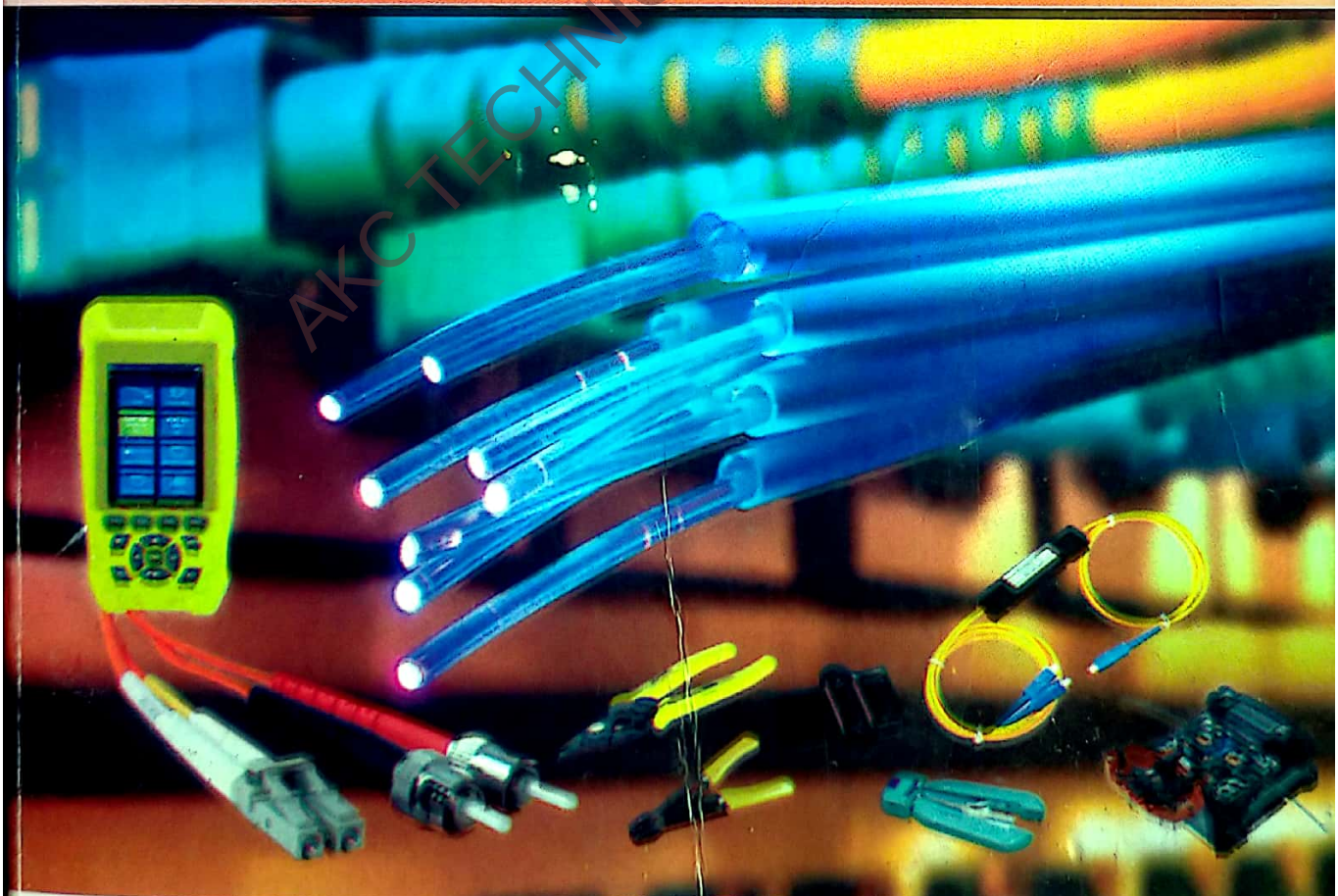
राहुल वाधवा

ऑप्टिकल फाइबर कम्युनिकेशन

OPTICAL FIBER COMMUNICATION

AKC TECHNICAL CLASSES



एशियन पब्लिशर्स, मुजफ्फरनगर®

Scanned with CamScanner

प्राविधिक शिक्षा परिषद्, उत्तर प्रदेश द्वारा स्वीकृत, नवीन संशोधित "NSQF" पाठ्यक्रमानुसार

ऑप्टिकल फाइबर कम्यूनिकेशन

(ऑप्टिकल फाइबर इंजीनियरिंग)

(OPTICAL FIBER COMMUNICATION)

(प्रयोगात्मक भाग सहित)

[For the Students Studying in Vth Semester (Final Year) of Three Years Diploma Course in Electronics Engineering]

Abhishek
Rol - °1 (AK.C.)

लेखक:

राहुल वाधवा

बी०ई० (इलैक्ट्रॉनिक्स), ज्योतिषविद्
अध्यक्ष इलैक्ट्रॉनिक्स
राजकीय पॉलीटेक्निक
शाहजहांपुर

AKC TECHNICAL CLASSES

2020-2021

प्रकाशक:

एशियन पब्लिशर्स, मुज़फ़्फ़रनगर®

46/20, कम्बल वाला बाग, नई मण्डी, मुज़फ़्फ़रनगर–251 001 (उ०प्र०)

Scanned with CamScanner

Syllabus

ऑप्टिकल फाइबर कम्यूनिकेशन

(Optical Fiber Communication)

L	T	P
4	–	6

RATIONALE

Progressing from communication over copper wire to today's fiber optic communication, we have increased our ability to transmit more information, more quickly and over longer distances. This has expanded our boundaries and is finding a good slot in communication system. Optical fiber has replaced existing transmission media due to its advantages. As a result the technicians are supposed to have knowledge of optical communication. This subject will provide basic concepts and requisite knowledge and skill required for optical fiber communication system.

LEARNING OUTCOMES

After completion of the subject, the students will be able to:

- understand various components and light propagation methods in optical fiber communication.
- demonstrate various types of optical fibers.
- identify and test losses in optical fibers.
- explain and demonstrate characteristics of optical source and optical detector.
- connect and provide joints in optical fibers.
- components and tools used in optical fiber.
- compare various optical amplifiers.

SUGGESTED DISTRIBUTION OF MARKS

S. No.	Topics	Time Allotted (Periods)	Marks Allotted (%)
1	Audio Systems	06	10
2	Digital Audio Fundamentals	05	09
3	Television	10	18
4	Digital Transmission and Reception	11	20
5	Digital Transmission and Reception	11	20
6	Digital Transmission and Reception	05	09
7	Introduction to different type of domestic/commercial appliances	08	14
	Total	56	100

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

DETAILED CONTENTS

1. Introduction (06 Periods)

1.1 Historical perspective, basic communication systems, optical frequency range, advantages of optical fiber communication, application of fiber optic communication

1.2 Electromagnetic spectrum used, Advantages and disadvantages of optical communication, optical windows.

1.3 Principle of light penetration, reflection, critical angle, numerical aperture, acceptance angle.

2. Optical Fibers (05 Periods)

2.1 Constructional details of various optical fibers, multimode and mono-mode fibers, step index and graded index fibers, acceptance angle and types of optical fiber cables.

3. Losses in Optical Fiber Cable (10 Periods)

3.1 Absorption Losses: Scattering Losses, Radiation losses, Connector losses, Bending loses.

3.2 Dispersion: Types and its effect on data rate.

3.3 Testing of losses using OTDR(Optical Time Domain Reflectometer).

4. Optical Sources (11 Periods)

Characteristics of light sources (LED and LASER) used in optical communication, principle of operation of LED, different types of LED structures used and their brief description, Injection laser diode, principle of operation, different injection laser diodes, comparison of LED and ILD.

5. Optical Optical Detectors (11 Periods)

Characteristics of photo detectors used in optical communication; PN photo diode, PIN diode and avalanche photo diode (APD),brief idea of Noise in detectors

6. Connectors and Splicers (05 Periods)

6.1 Optical Fibers cable connectors and splicing techniques (Mechanical, fusion)

7. Optical Amplifiers (08 Periods)

Types of optical amplifiers, semiconductor & fiber optical amplifiers, principle of operation of SOA, types of SOA. EDFA, Raman amplifiers. Comparison of SOA, EDFA and Raman Amplifiers.

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

OPTICAL FIBER COMMUNICATION

List of Practicals

1. To identify and use various components and tools used in optical fiber communication
2. To set up fiber analog link
3. To set up optic digital link
4. To measure bending losses in optical fibers
5. To observe and measure the splice or connector loss
6. To measure and calculate numerical aperture of optical fiber
7. To observe characteristics of optical source
8. To observe characteristics of optical detector
9. To splice the available optical fiber
10. To connect a fiber with connector at both ends

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

विषय-सूची

क्र०सं०	अध्याय	पेज
1.	संचार पद्धतियों की सामान्य जानकारी	1–27
2.	ऑपटिक्स तथा ऑप्टिकल फाइबर के सिद्धान्त	28–89
3.	ऑप्टिकल स्रोत	90–125
4.	ऑप्टिकल डिटैक्टर्स	126–153
5.	कनैक्टर्स, स्पलाइसर्स, स्पलिटर्स, कप्लर्स, केबिल्स	154–169
6.	ऑप्टिकल मापन	170–184
7.	ऑप्टिकल कम्यूनिकेशन	185–206
7A.	ऑप्टिकल एम्प्लीफायर्स	206(i)–206(xxvi)
8.	ऑप्टिकल फाइबर के ट्रांसमिशन अभिलक्षण	207–237
9.	ऑप्टिकल फाइबर के पदार्थ तथा फैब्रीकेशन तकनीकें	238–242
10.	वेवगाइड्स	243–269
11.	प्रयोगात्मक	270–321
12.	प्रोजैक्ट्स	322–336
13.	बहुविकल्पीय प्रश्न बैंक	337–345
14.	तैरते को नाव का सहारा	346–374
•	बोर्ड परीक्षा में पूछे जाने वाले महत्वपूर्ण प्रश्न	375–376
•	मॉडल प्रश्न-पत्र	

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

1 संचार पद्धतियों की सामान्य जानकारी
(GENERAL IDEA ABOUT COMMUNICATION SYSTEMS)

THINK ABOUT IT

- *You have to grow from the inside out. None can teach you, none can make you spiritual. There is no other teacher but your own soul.*
  —Swami Vivekananda
- *There are two types of seeds in the mind: those that create anger, fear, frustration, jealousy, hatred and those that create love, compassion, equanimity and joy. Spirituality is germination and sprouting of the second group and transforming the first group.* **—Amit Ray**
- *Every adversity is the fuel for the soul. The greatest self-realization occurs during the greatest adversity.* **—Lailah Gifty Akita**

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 1.1. परिचय (Introduction) :

संचार एक ऐसी प्रक्रिया है जिसके द्वारा विभिन्न माध्यमों का प्रयोग करके सूचना का आदान-प्रदान किया जाता है। कम्यूनिकेशन सिस्टम्स का अभिप्राय विभिन्न individual communication networks, transmission systems, relay stations, data terminal equipments आदि के समूह से है, जिनके interconnection से communication संभव होता है। Optical fiber communication संचार की एक आधुनिक विधि है जिसमें सूचना द्वारा light को intensity modulate किया जाता है तथा optical fibers द्वारा एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है। Optical fiber पर चर्चा प्रारम्भ करने से पूर्व विभिन्न संचार माध्यमों पर एक संक्षिप्त जानकारी इस अध्याय में दी जा रही है।

§ 1.2. डाटा कम्यूनिकेशन तकनीकें (Data Communication Techniques) :

टेलीग्राफी (Telegraphy)—टेलीग्राफी वह संचार तकनीक है जिसमें लिखित शब्दों के रूप में उपलब्ध सूचना को एक स्थान से दूसरे स्थान पर ट्रांसफर किया जाता है। टेलीग्राफी द्वारा भेजी जाने वाली सूचना को पहले कोड में कनवर्ट किया जाता है तथा इस कोड को ट्रांसमिट किया जाता है। रिसीवर पर इस कोड को रिसीव किया जाता है तथा इस कोड के आधार पर मूल सूचना रिकवर की जाती है।

टेलीग्राफी में सूचना को morse कोड के रूप में ट्रांसमिट किया जाता है। इसमें प्रत्येक कैरेक्टर (अर्थात् Alphabets तथा Digits इत्यादि) के लिये एक निर्धारित कोड होता है। जोकि

Scanned with CamScanner

dot व dash के संयोग से बना होता है। अतः, सूचना का संचरण कोड के रूप में होता है। आधुनिक युग में संचार के नित नये साधनों के आविष्कार के कारण टेलीग्राफी लगभग विलुप्त हो गयी है।

"In telegraphy, information is send by the help of morse codes. Each character has got its own code in form of dash and dots. Hence, the information is coded and sent.

The receiver receives the coded information and decodes it to get original information."

टेलीफोनी (Telephony)—ध्वनि तरंगों को एक स्थान से दूसरे स्थान पर प्रेषित करना टेलीफोनी कहलाता है। टेलीफोनी में ध्वनि तरंगों को ऑडियो आवृत्ति वैद्युत एनालॉग सिगनल में कनवर्ट किया जाता है तथा फिर इन्हें वैद्युत ट्रांसमिशन सिस्टम पर ट्रांसमिट किया जाता है। रिसीवर पर इन वैद्युत सिगनलों को पुनः साउन्ड सिगनल मे परिवर्तित किया जाता है।

"Telephony involves the conversion of sound signals into an audio frequency analog electrical signal, which can then be transmitted over an electrical transmission system and then reconverted to sound pressure signals at the receiving end."

टेलीफोनी में ट्रांसमीटर के रूप में माइक्रोफोन का प्रयोग किया जाता है। माइक्रोफोन एक ट्रांसड्यूसर होता है जो ध्वनि ऊर्जा को वैद्युत ऊर्जा में कनवर्ट करता है। टेलीफोन रिसीवर वैद्युत ऊर्जा को पुनः ध्वनि ऊर्जा में कनवर्ट करता है।

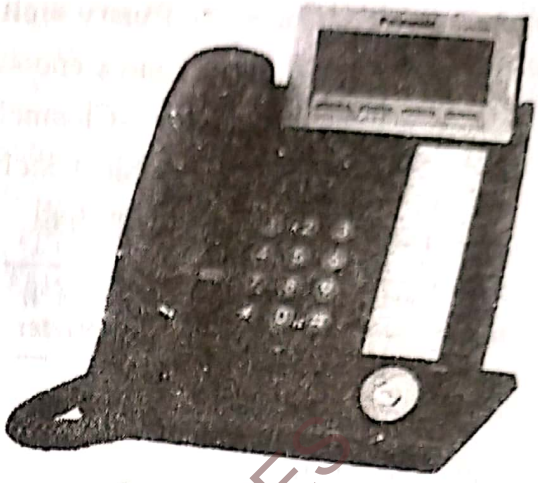
Telephony का तात्पर्य Telephone या Telephony System की संरचना प्रणाली से है जिनकी सहायता से Speech या दूसरी ध्वनियों को दो बिन्दुओं के बीच में संचलित (Transmit) किया जाता है (तार का उपयोग करके या बिना किये)। आधुनिक युग में Telephony का तात्पर्य Voice के Electronic Transmission, Fax या दूसरी Information के Transmission से है। Telephone एक ऐसी युक्ति को कहा जाता है जिसमें एक Transmitter तथा Receiver होता है। Computers के आने के बाद और सूचना के Digitalization होने के पश्चात आधुनिक युग में Telephony तथा Telecommunication को लगभग एक ही अर्थ में Use किया जाता है। Internet Telephony में Internet का Use होता है तथा इस प्रकार की telephony infrastructure (बुनियादी ढांचा) तथा Rate Structure (दर या cost) में पारम्परिक telephony से काफी भिन्न है। चूँकि Internet तक पहुँच Local Call Rates पर सुलभ हो गई है अतः लम्बी दूरी की Calls तथा अंतर्राष्ट्रीय Calls Internet Telephony में पारम्परिक Telephony की तुलना में काफी सस्ती पड़ती है।

"Telephony means construction or operation of telephones and telephonic systems and as a system of telecommunications in which telephonic equipment is employed in the transmission of speech or other sound between points, with or without the use of wires. Telephony is the technology associated with the electronic transmission of voice, fax, or other information between distant parties using systems historically associated with the telephone, a handheld device containing

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

both, a speaker or transmitter and a receiver (Fig. 1.1). With the arrival of computers and the transmission of digital information over telephone systems and the use of radio to transmit telephone signals, the distinction between telephony and telecommunication has become difficult to make. Internet telephony is the use of the Internet rathther than the traditional telephone company infrastructure and rate structure to exchange spoken or other telephone information. Since access to the Internet is available at local phone connection rates, an international or other long-distance call will be much less expensive than through the traditional call arrangement.



चित्र 1.1—टेलीफोन हैंडसैट

डिजिटल संचार (Digital Communication)—डिजिटल संचार पद्धतियों में मॉडुलेटिंग सिगनल डिजिटल होता है। इनपुट मैसेज को ट्रांसड्यूसर द्वारा वैद्युत रूप में बदला जाता है। इसके पश्चात् इस डाटा को बाइनरी प्रारूप में कनवर्ट किया जाता है। फिर इस बाइनरी डाटा को डिजिटल मॉडुलेटर की सहायता से बाइनरी तरंग के आकार में बदला जाता है तथा ट्रांसमिट किया जाता है।

रिसीवर पर सिगनल को रिसीव करने के पश्चात् उस पर Noise के प्रभाव को समाप्त करके उसका डिमॉडुलेशन किया जाता है। Decoder द्वारा सिगनल को डिकोड करके मूल सिगनल रिकवर किया जाता है। इस वैद्युत सिगनल को ट्रांसड्यूसर द्वारा मूल रूप में कनवर्ट कर दिया जाता है।

"In digital communication, the modulating signal is digital. Some examples of digital communication are fax, mobile phone network, E-mail, teleconferencing, telemetry, communication satellites, global positioning systems etc."

Digital communication is a physical transmission of data in forms of digital bit stream over point to point or point to multipoint communication channel अर्थात् Data को Digital bits के रूप में Transfer करना Digital Communication कहलाता है। जहाँ Analog Transmission में Signal कोई भी Value ले सकता है, वहीं Digital Transmission में Signal का Digitization करने के कारण वह पूर्व निर्धारित मानों में से ही कोई एक मान ले सकता है।

एक Digital Communication Transmitter में निम्न घटक होते हैं— (चित्र 1.2 देखें)

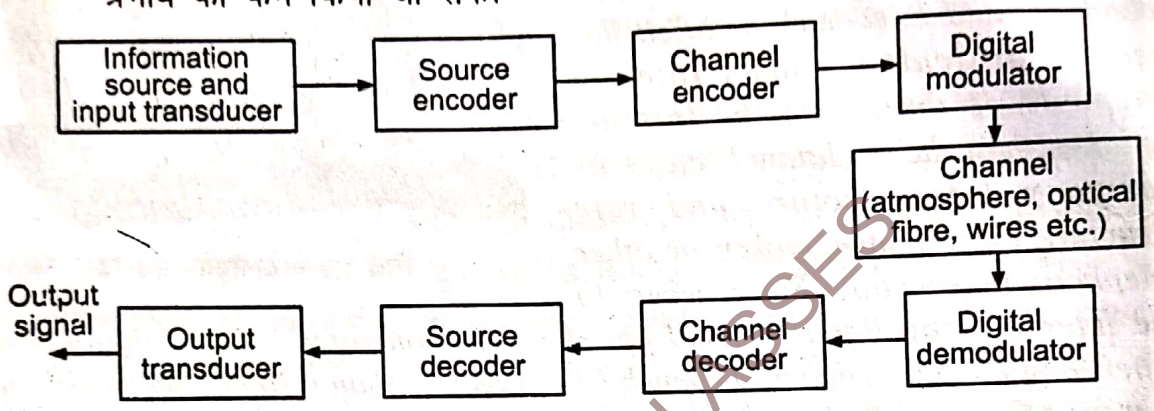
(i) **Information Source या Input Transducer**—Information source analog या digital हो सकता है। Audio तथा video signal analog होते हैं जबकि Teletype signal digital signal होते हैं। Transducers signal को वैद्युत प्रारूप में change करता है।

AKCTECHNICALCLASSES

Scanned with CamScanner

(ii) **Source Encoder**—यह source से signal लेकर binary या digital form में change करता है। Binary digit का क्रम information sequence कहलाता है तथा यह process source encoding या data compression कहलाती है।

(iii) **Channel Encoder**—Channel encoder के द्वारा bits में कुछ redundancy (अर्थात error check bits) included की जाती है ताकि receiver पर noise के प्रभाव को कम किया जा सके।



चित्र 1.2—Basic Elements of Digital Communication System

(iv) **Digital Modulator**—यहाँ पर signal का digital modulation होता है तथा इसके पश्चात् इसको channel में भेज दिया जाता है।

Channel—Signal को transmitter से receiver तक भेजने में जो भौतिक माध्यम use होता है उसे channel कहते हैं। Wireless system में atmosphere को ही channel के रूप में use किया जाता है जबकि पारम्परिक telephony में optical fiber का use किया जाता है।

एक digital receiver system में निम्न elements होते हैं—

(i) **Digital Demodulator**—यह आने वाले binary sequence को demodulate करता है तथा उनके error को दूर करता है।

(ii) **Channel Decoder**—Channel decoder original information को reconstruct (पुनरोत्पादित) करता है।

(iii) **Source Decoder**—यदि analog signal output पर आवश्यक है तो उसके लिए source decoder use किया जाता है।

Digital communication (electronic transmission of information that has been encoded digitally (as for storage and processing by computers) is the physical transfer of data (a digital bit stream or a digitized analog signal) over a point-to-point or point-to-multipoint communication channel. Effective digital communication is the ability to create persuasive communications (प्रेरक संचार) *in different media, be it websites, video, audio, text, or animated multimedia a means of digital communications that is capable of very high speeds; suitable for transmission of images or voice or video as well as data.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Information Source and Input Transducer: *The source of information can be analog or digital, e.g. analog : audio or video signal, digital: like teletype signal. In digital communication the signal produced by this source is convertea into digital signal consists of 1's and 0's. For this we need source encoder.*

Source Encoder: *In digital communication we convert the signal from source into digital signal we should like to use as few binary digits as possible to represent the signal. In such a way this efficient representation of the source output results in little or no redundancy. This sequence of binary digits is called information sequence. The process of converting efficiently the output of analog or digital source into a sequence of binary digits is known as source encoding or Data Compression.*

Channel Encoder: *The information sequence is passed through the channel encoder. Channel encoder is to introduced, in controlled manner. some redundancy in the binary information sequence that can be used at the receiver to overcome the effects of noise and interference encountered in the transmission on the signal through the channel.*

Channel: *The communication channel is the physical medium that is used for transmitting signals from transmitter to receiver. In wireless system, this channel consists of atmosphere, for traditional telephony, this channel is wired, there are optical channels, under water acoustic channels etc.*

Digital Demodulator: *The digital demodulator processes the channel corrupted transmitted waveform and reduces the waveform to the sequence of numbers that represents estimates of the transmitted data symbols.*

Channel Decoder: *This sequence of numbers then passed through the channel decoder which attempts to reconstruct the original information sequence from the knowledge of the code used by the channel encoder and the redundancy contained in the received data.*

Source Decoder: *At the end, if an analog signal is desired then source decoder tries to decode the sequence from the knowledge of the encoding algorithm. And which results in the approximate replica of the input at the transmitter end.*

Output Transducer: *Finally we get the desired signal in desired format analog or digital.*

माइक्रोवेव संचार (Microwave Communication)—माइक्रोवेव वह वैद्युत चुम्बकीय तरंगें (electromagnetic waves) होती हैं जिनकी आवृत्ति 1 GHz से 300 GHz होती है। (1 GHz = 10^9 Hz)। इनकी तरंगदैर्ध्य (Wavelength) कुछ मिलीमीटर के क्रम में होती है।

माइक्रोवेव में अच्छे दैशिक गुण (directional properties) होते हैं अर्थात् इसमें प्रकाश की तरह सीधी रेखाओं में गति करने का गुण होता है। अत: माइक्रोवेव को प्रकाश पुँज की भाँति किसी एक दिशा में बीम (beam) किया जा सकता है। चूँकि यह सीधी चलती है अत: यह अप

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

मार्ग में आने वाले अवरोध (obstacle) (जैसे पर्वत, इमारतें इत्यादि) द्वारा फैलती या मुड़ती नहीं हैं (do not spread or bend around the corner of any obstacle)।

माइक्रोवेव संचार तभी सम्भव है जब ट्रांसमिटिंग एन्टीना व रिसीविंग एन्टीना लाइन ऑफ साइट (line of sight) हों। अत: माइक्रोवेव ट्रांसमिशन को लाइन ऑफ साइट ट्रांसमिशन भी कहा जाता है।

माइक्रोवेव ट्रांसमिशन की रेंज सीमित होती है (लगभग 50 किमी की दूरी तक क्योंकि)— (i) पृथ्वी के curvature के कारण (ii) सिगनल की आवृत्ति उच्च होने के कारण ग्राउन्ड द्वारा सिगनल का absorption, जिससे सिगनल कुछ दूरी तक propagate करने के पश्चात् क्षीण हो जाता है।

माइक्रोवेव ट्रांसमिशन की रेंज बढ़ाने के लिये ट्रांसमीटर व रिसीवर के मध्य रिपीटर लगाये जाते हैं। ट्रांसमीटर व रिसीवर के मध्य कुछ दूरी पर इस प्रकार के कई रिपीटर लगाये जाते हैं। प्रत्येक रिपीटर सिगनल को रिसीव करता है, उसका प्रवर्धन करता है, और अगले रिपीटर को रिले (relay) कर देता है। किन्तु इससे दो स्टेशन के मध्य सिगनल को ट्रांसमिट करने का खर्च बढ़ जाता है।

पृथ्वी पर विभिन्न महासागर व पर्वत होने के कारण माइक्रोवेव ट्रांसमिशन द्वारा सम्पूर्ण पृथ्वी को कवर नहीं किया जा सकता। इस समस्या के समाधान हेतु संचार उपग्रहों का प्रयोग किया जाता है जिससे पूर्ण पृथ्वी को तीन भू-स्थिर उपग्रहों के सहायता से कवर किया जा सकता है।

"The main features of microwave communication are:

(i) *Microwaves are electromagnetic waves of frequencies in the range of 1 GHz to 3000 GHz and wavelength of the order of few millimeters. They have got good directional properties and do not spread or bend around the corner of any obstacle coming in their way such as mountains, buildings etc.*

(ii) *Microwave communication is a line of sight communication. The transmitting and receiving antennas are in the line of sight.*

(iii) *The range of microwave transmission is limited to a distance of about 50 km because of earth's curvature and absorption of signal by the ground due to its high frequency.*

(iv) *A number of repeaters are erected between transmitter and receiver to increase the range of microwave transmission. Each repeater receives the transmitted signal, amplifies it and relays it to the next repeater. Finally, the signal reaches the receiving antenna.*

(v) *The cost of microwave transmission depends on the distance between the transmitter and receiver.*

(vi) *Microwave transmission cannot be used to cover the entire earth due to presence of mountains, oceans etc. This problem was solved by communication satellite. The first communication satellite was launched by USA in 1958.*

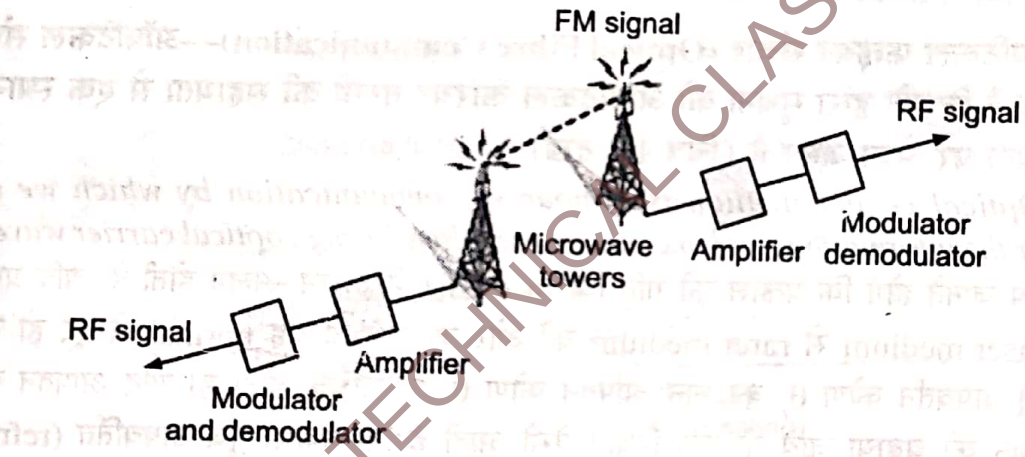
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

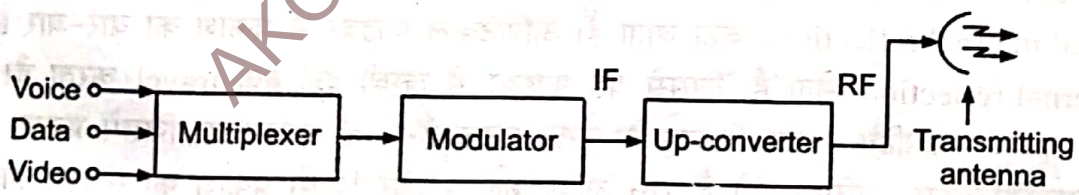
Microwave communication microwave transmission में energy को microwaves द्वारा transmit (संचरित या सम्प्रेषित) किया जाता है (चित्र 1.3 देखें)। Microwaves small wavelength होती है जिनकी wavelength centimeters (cm) में होती है और frequency लगभग 1 GHz से 300 GHz तक होती है। Microwaves को point to point communication में use किया जाता है क्योंकि इनकी small wavelength के कारण छोटे तथा narrow gain antennas आसानी से बनाये जा सकते हैं।

Microwave signals को antennas द्वारा एक बहुत ही narrow beam (पतली बीम) में concentrate (सीमित) किया जा सकता है (बिल्कुल एक search light की तरह)। Microwave system में normally frequency modulation का use किया जाता है। Microwave signal को modulate तथा amplify करके transmitting anenna को pass किया जाता है। इसी प्रकार receiving antenna signal को receive करके amplify तथा demodulate करता है। (चित्र 1.3)

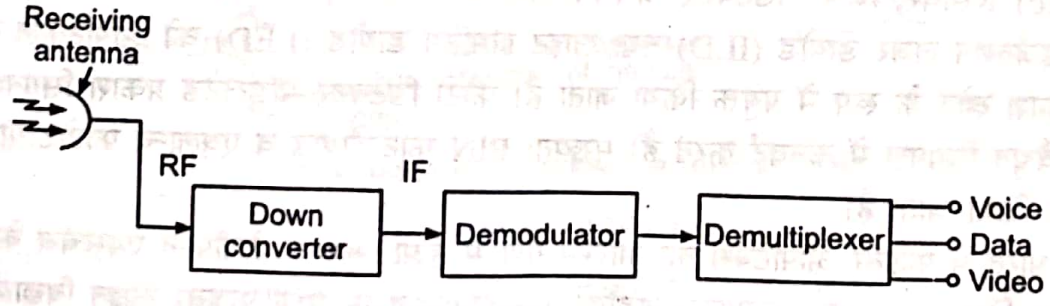
AKC TECHNICAL CLASSES



(a) Microwave Communication



(b) Microwave Transmitter



(c) Microwave Receiver

चित्र 1.3—Microwave Communication का सरलीकृत ब्लॉक डायग्राम

Scanned with CamScanner

The most popular devices for generating microwaves are magnetrons and klystrons. They produce microwaves of low power and require the use of an amplification device, such as a MASER (microwave amplification by stimulated emission of radiation), microwaves can be modulated for communication purposes.

Microwaves can be easily broadcast and received via aerial antennas. Unlike radio waves, microwave signals can be focused by antennas just as a search light concentrates (सीमित) *light into a narrow beam. Signals are transmitted directly from a source to a receiver site. Reliable microwave signal range does not extend very far beyond the visible horizon. Microwave systems normally use frequency modulation. Operating characteristics involve the generation of a radio frequency (RF) signal that is modulated, amplified, and passed to a transmitting antenna system. The resultant signal passes through the air to a receiving antenna where it is sampled, amplified, and demodulated.*

ऑप्टिकल फाइबर संचार (Optical Fibre Communication)—ऑप्टिकल संचार वह विधि है जिसके द्वारा सूचना को ऑप्टिकल कैरियर तरंगों की सहायता से एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है (चित्र 1.4 देखें)

"Optical communication is a mode of communication by which we can transfer the information from one place to another through optical carrier waves."

आप जानते होगें कि प्रकाश की गति विभिन्न media में अलग-अलग होती है। यदि प्रकाश पुँज denser medium से rarer medium की ओर जाता है तो वह normal से दूर हो जाती है अर्थात् अपवर्तन कोण θ_r का मान आपतन कोण θ_i से अधिक होता है। यदि आपतन कोण θ_i के मान को बढ़ाया जाये तो एक स्थिति ऐसी आती है कि प्रकाश पुँज अपवर्तित (refract) नहीं होता बल्कि परावर्तन (reflection) हो जाता है। इस प्रक्रिया को सम्पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (total internal reflection) कहा जाता है। ऑपटिकल फाइबर में प्रकाश का बार-बार total internal reflection होता है, जिससे वह फाइबर में लम्बी दूरी तक travel करता है।

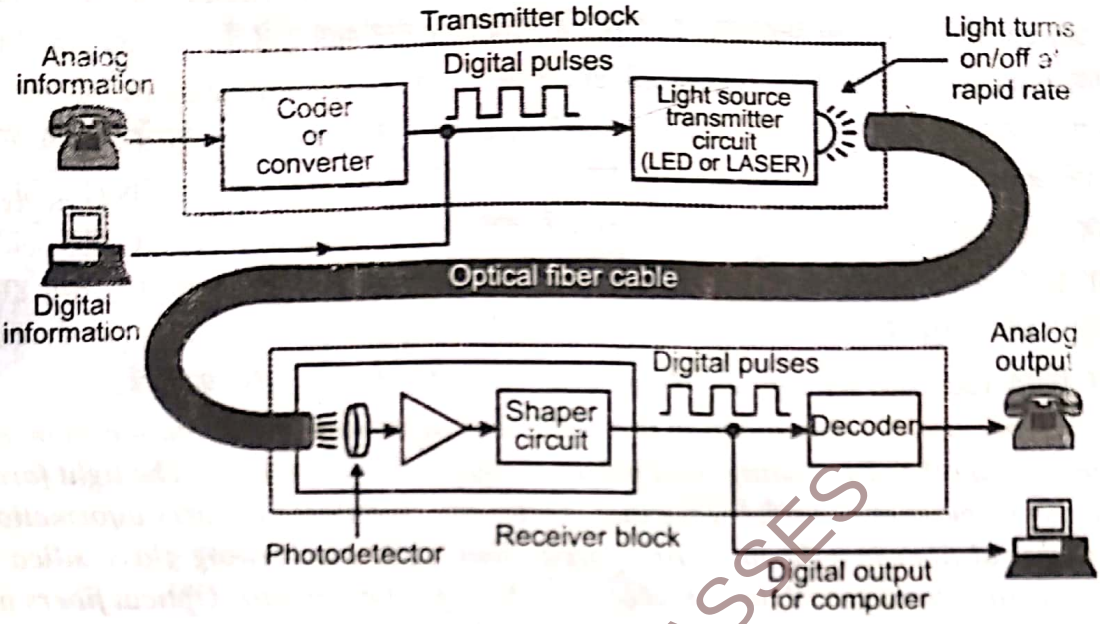
फाइबर ऑपटिक संचार सिस्टम के मुख्य घटक हैं—(a) ट्रांसमीटर, जिसमें प्रकाश स्रोत व सम्बन्धित ड्राइव परिपथ होते हैं, (b) ऑपटिकल फाइबर जिनमें प्रकाश का संचरण होता है तथा (c) रिसीवर, जिसमें डिटैक्टर, प्रवर्धक तथा अन्य परिपथ होते हैं।

इंजैक्शन लेजर डायोड (ILD) तथा लाइट इमिटिंग डायोड (LED) को ऑपटिकल संचार में प्रकाश स्रोत के रूप में प्रयुक्त किया जाता है। फोटो डिटैक्टर मॉडुलेटेड प्रकाश सिगनल को पुन: वैद्युत सिगनल में कनवर्ट करते हैं। मुख्यत: PIN फोटोडायोड व एवलान्च फ़ोटोडायोड को प्रयुक्त किया जाता है।

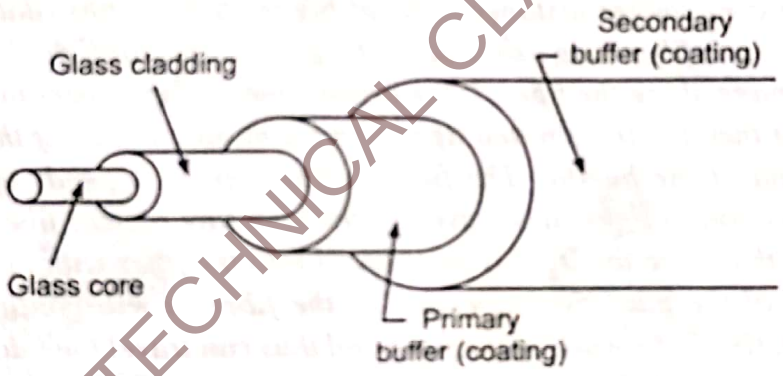
भारत में फाइबर आपटिक्स का आरम्भ पुणे में हुआ, जब दो टेलीफोन एक्सचेंज के मध्य फाइबर लिंक किया गया। तत्पश्चात्, बड़ौदा व अहमदाबाद के मध्य फाइबर लाइन बिछायी गई। 1985–88 के मध्य 2500 km लम्बे फाइबर आपटिक सिस्टम install किये गये। 1988 में ऑपटेल टेलीकम्यूनिकेशन लिमिटेड (Optel Telecommunication Ltd.) ने बॉम्बे पोर्ट ट्रस्ट हेतु पिपरऊ व बचर द्वीप के मध्य ऑपटिकल फाइबर सिस्टम की स्थापना की।

AKC TECHNICAL CLASSES

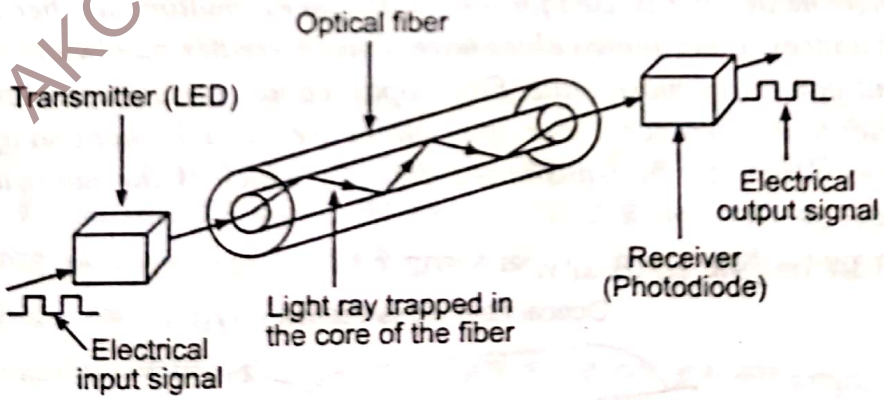
Scanned with CamScanner



(a) Optical Fiber Communication Block Diagram



(b) Optical Fiber Three Layer Structure



(c) Concept of Transmission through Optical Fiber

चित्र 1.4

ऑपटिकल फाइबर व ऑपटिकल फाइबर केबिल का निर्माण करने वाली मुख्य भारतीय कम्पनियाँ हैं—ऑपटेल टेलीकम्यूनिकेशन लिमिटेड, भोपाल तथा हिन्दुस्तान केबिल लिमिटेड, नैनी।

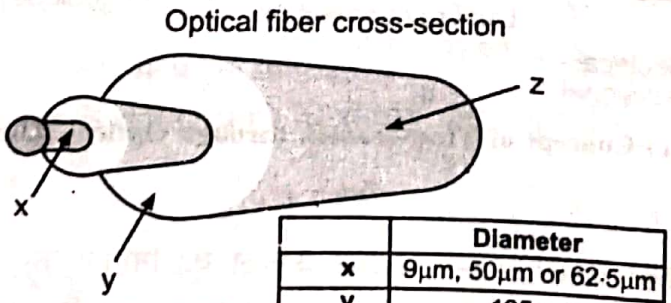
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

एक optical fiber से light pulses को भेजकर सूचना को transmit करना optical fiber communication कहलाता है। Optical fiber के तीन भाग होते हैं— core, cladding तथा coating. Fiber optic communication में light को electromagnetic carrier के रूप में उपयोग किया जाता है तथा light की intensity को modulate करके सूचना भेजी जाती है। Optical fiber एक लचीला, पारदर्शी तंतु (flexible transparent fiber) होता है। यह glass, silica या plastic का बना होता है तथा इसका diameter मनुष्य के बाल जितना या उससे थोड़ा बड़ा होता है। यह fiber एक light pipe की तरह काम करता है तथा इसमें light को fiber के दोनों सिरों के बीच लम्बी दूरी तक transfer किया जा सकता है। पृथ्वी पर स्थित receiver इन signals को receive करते हैं तथा amplify करते हैं।

Fiber-optic communication is a method of transmitting information from one place to another by sending light pulses through an optical fiber. The light forms an electromagnetic carrier wave that is intensity modulated to carry information. An optical fiber is a flexible, transparent fiber made by drawing glass, silica or plastic to a diameter slightly thicker than that of a human hair. Optical fibers are used as a means to transmit light between the two ends of the fiber and permit transmission over longer distances and at higher bandwidths (data rates) than wire cables. Each fiber acts like a pipe of light, transmitting the light from that part of the image along the fiber. If the arrangement of the fibers in the bundle is kept constant then the transmitted light forms a mosaic image of the light which struck the end of the bundle. The field of fiber optics depends upon the total internal reflection of light rays traveling through tiny optical fibers. The fibers are so small that once the light is introduced into the fiber with an angle within the confines of the numerical aperture of the fiber, it will continue to reflect almost losslessly off the walls of the fiber and thus can travel long distances in the fiber. Bundles of such fibers can accomplish imaging of otherwise inaccessible areas. Single mode fiber is used for longer distances; multimode fiber is used for shorter distances. Fiber optic cables have a much greater bandwidth than metal cables and can carry more data. Fiber optic cables are less susceptible than metal cables to interference. Fiber optic cables are much thinner and lighter than metal wires. Data can be transmitted digitally which is the natural form for computer.

विचार प्रश्न—चित्र 1.5 में x, y, व z क्या हैं?



	Diameter
x	9μm, 50μm or 62·5μm
y	125μm
z	250μm

चित्र 1.5

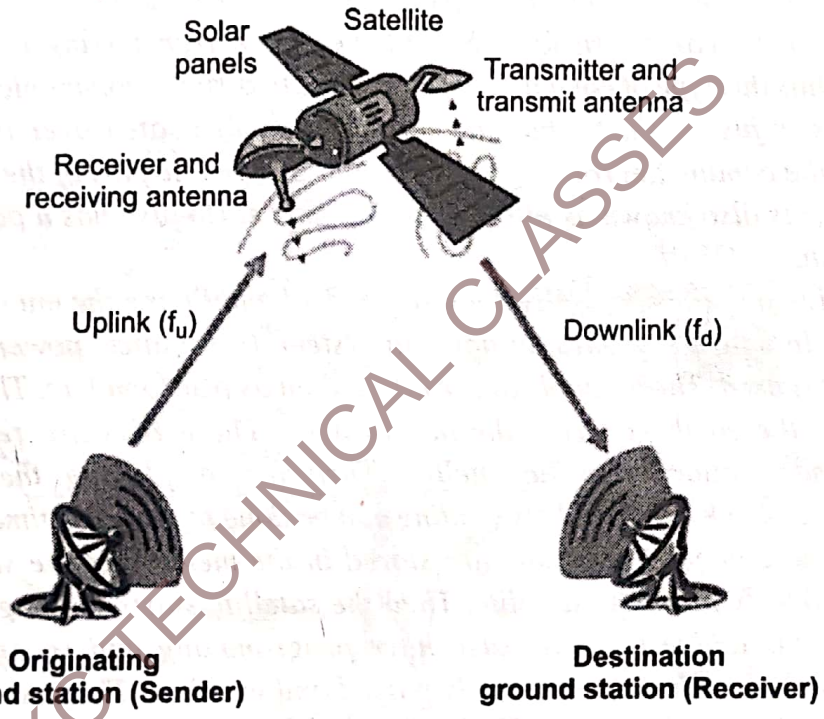
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

सैटेलाइट संचार (Satellite Communication)—उपग्रह संचार वह विधि है जिसमें सिगनल को उपग्रह के माध्यम से ट्राँसमीटर से रिसीवर को संचरित किया जाता है (चित्र 1.6 देखें)।

"The satellite communication is a mode of communication of signal between transmitter and receiver through satellite."

भारत के लिये अन्तर्राष्ट्रीय उपग्रह संचार तब सम्भव है जब भारत 1970 में INTELSAT का सदस्य बना तथा पुणे के निकट, आरवी (Arvi) में प्रथम earth स्टेशन की commissioning की गई। भारत में घरेलू उपग्रह संचार 1977 में सैटेलाइट टेलीकम्यूनिकेशन एक्सपैरिमैंटल प्रोग्राम (STEP) की सहायता से प्रारम्भ किया गया। 1983 में INSAT सीरीज के उपग्रहों के लाँच (launch) होने के पश्चात् उपग्रह सेवाओं में काफी वृद्धि हुई है।



चित्र 1.6—Satellite Communication

Satellite communication में satellites के द्वारा communication किया जाता है। इसमें signal को (जो कि modulated microwave beam के रूप में होता है) satellite को भेजा जाता है। Satellite इस signal को amplify करती है तथा पृथ्वी पर किसी दूसरे स्थान पर स्थापित receiver antenna को भेज देती है। Satellite दो प्रकार की होती है Passive satellites तथा Active satellites।

Passive satellites केवल reflecting bodies होती है तथा इनके द्वारा कोई amplification नहीं किया जा सकता। उदाहरणत: चंद्रमा पृथ्वी का निष्क्रिय (passive) उपग्रह है।

Communication में use किये जाने वाले उपग्रह सक्रिय (active) उपग्रह होते हैं जोकि आने वाले microwave signal को amplify करते हैं। Active satellite में antenna system, transmitter, power supply तथा receiver होते हैं। इन satellites को transponders

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

भी कहा जाता है। पृथ्वी पर स्थापित transmitters microwave को generate (उत्पन्न) करते हैं तथा इन rays को satellite से जुड़े transponder receive करते हैं (इसे uplink कहा जाता है) इसके बाद इन signals को amplify करके वापस पृथ्वी को भेजा जाता है (इसको downlink कहा जाता है)। पृथ्वी पर receiver इसको receive करके amplify करते हैं (for further use)। Uplink व Downlink आवृत्तियाँ (frequencies) अलग-अलग होती हैं।

Satellite communication is the branch of telecommunication which establishes and communication using satellites across the globe. In this process, the signal which is basically a beam of modulated microwaves is sent towards the satellite. Then the satellite amplifies the signal and sent it back to the receiver's antenna present on the earth's surface. So, all the signal transferring is happening in space. Thus this type of communication is known as space communication. Passive satellites is just a plastic balloon having a metal coated over it. This sphere reflects the coming microwave signals coming from one part of the earth to other part. This is also known as passive sphere. Our earth also has a passive satellite i.e., moon.

Active satellites basically does the work of amplifying the microwave signals coming. In active satellites an antenna system, transmitter, power supply and a receiver is used. These satellites are also called as transponders. The transmitters fitted on the earth generate the microwaves. These rays are received by the transponders attached to the satellite. Then after amplifying, these signals are transmitted back to earth. This sending can be done at the same time or after some delay. These amplified signals are stored in the memory of the satellites, when earth properly faces the satellite. Then the satellite starts sending the signals to earth. Some active satellites also have programming and recording features. Then these recording can be easily played and watched. The first active satellite was launched by Russia in 1957. The signals coming from the satellite when reach the earth, are of very low intensity. Their amplification is done by the receivers themselves. After amplification these become available for further use.

मोबाइल संचार (Mobile Communication)—मोबाइल संचार का तात्पर्य उस पद्धति से है, जिसकी सहायता से लोगों के मध्य तब सम्पर्क स्थापित किया जा सके, जब वह mobile हों अर्थात् एक स्थान पर स्थिर न हों (चित्र 1.7(a) देखें)। इसके लिये सैलुलर मोबाइल दूरसंचार तकनीक का विकास किया गया। इस पद्धति में सम्पूर्ण भौगोलिक क्षेत्र को छोटे-छोटे cells में बाँट दिया जाता है। यह सैल (cells) षड्कोण (hexagon) के आकार के होते हैं। प्रत्येक सैल का एक बेस स्टेशन होता है। सैल के अन्दर के मोबाइल phones का सैल के बेस स्टेशन से सम्पर्क बना रहता है। इस प्रकार सेल की सभी कॉल बेस स्टेशन के द्वारा ठीक उसी प्रकार रूट की जाती हैं जैसे कि साधारण टेलीफोनी में लोकल एक्सचेंज करता है।

मोबाइल टेलीफोन के लिये विभिन्न तकनीकें उपलब्ध हैं—TACS (Total Access Communication System), CT-2, NMT (Nordic Mobile Telephones), AMPS (Advance Mobile Phone System)। भारत में मोबाइल सेवाओं हेतु GSM (Global System

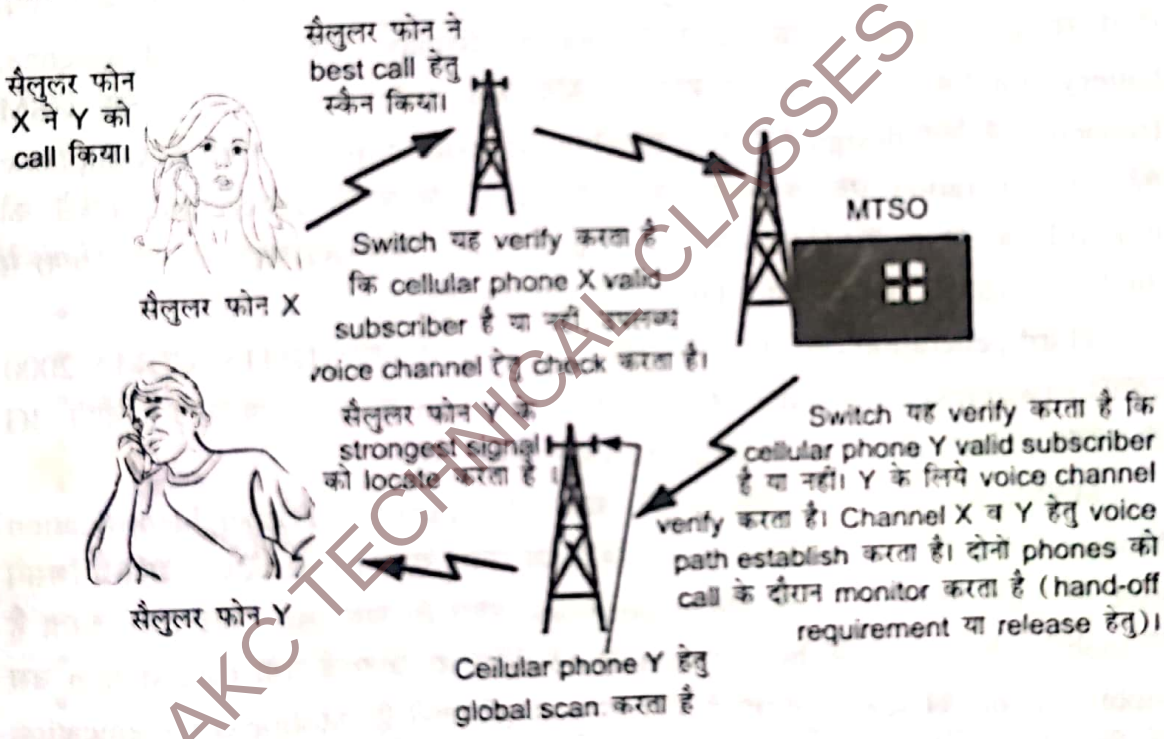
ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

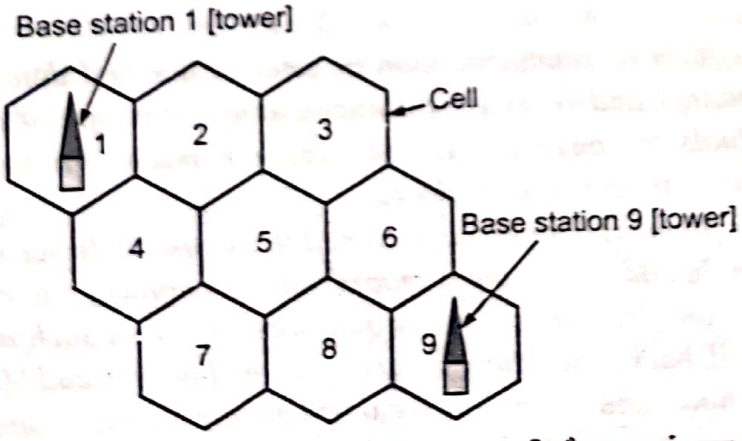
for Mobile Communication) तकनीक का प्रयोग किया जाता है। GSM 900 MHz की बैंडविड्थ में कार्य करती है, तथा इसमें *200 kHz* का *frequency separation* होता है।

"The aim of cellular system is to provide telephone services to subscriber on the move. In cellular communications, a region is geographically divided into cells. The cells are hexagon in shape : this is to suit the modular design of the network in case of expansion of the service area requiring more cells to be added. However, in reality, the shape, size, location etc. are dependent on other parameters like radio pattern of the transceiver, signal strength, topography, radio interference due to multipath reflection by objects.

Each cell has a base station. Mobile terminals in a cell communicate via best station of that cell."



चित्र 1.7(a)—Concept of Mobile Communication



चित्र 1.7 (b)—Mobile Communication की सैलुलर संरचना

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Mobile communication एक प्रकार का wireless communication (बिना तार वाला संचार माध्यम) है जिसमें voice तथा data information को microwaves द्वारा transmit या receive किया जाता है। इस प्रकार के communication में व्यक्ति एक जगह से दूसरी जगह move करते समय (अर्थात गतिशील होते हुये) भी communicate कर सकता है। Cellular phone एक प्रकार का telephone होता है जिसमें wire connection नहीं होते और इसमें voice के साथ-साथ अन्य सुविधायें भी होती है (SMS, MMS, packet switching (internet access के लिए)।

Mobile phones एक base station (cell sites) से connect होते हैं जो कि PSTN (Public Service Telephone Network) से connect होते हैं। Cellphone के अन्दर एक छोटा सा microphone, एक LCD या plasma display, एक keyboard, antenna, battery तथा एक circuit board होता है। यदि कोई cellphone एक से अधिक GSM frequency के लिए design होता है तो इसको multimode cellphone कहते हैं। Cellphone की कई generation एक के बाद एक आयी, 1980 में पहली generation, (जैसे की motorola का Dyna TAC 8000X); दूसरी generation जिसे 2G कहा जाता है, 1990 में आयी तथा GSM TDMA तथा CDMA की शुरूआत हुई।

Third generation या 3G 21वीं सदी के प्रारम्भ में आई (UMTS, CDMA 2000 इत्यादि) (wireless technology) की, Fourth generation को 4G कहा जाता है जोकि 3G से अधिक bandwidth तथा services provide करती है।

Mobile phone में use किया जाने वाला SIM card (Subscriber Identification Module Card) एक detachable (अलग किया जा सकने वाला) smart card होता है जिसमें user की subscription सूचना तथा phone book होती है। जब user कोई call करता है तो mobile phone cell के base station से connect हो जाता है तथा base station उस mobile phone को search करता है जहाँ पर call की जानी है। Mobile communication के लिए GSM (Global System for Mobile Communication) एक 2G system या standard है।

A wireless form of communication in which voice and data information is emitted, transmitted and received via microwaves. The type of communication allows individuals to converse with one another and/or transmit and receive data while moving from place to place.

The mobile phone is a long-range, portable electronic device used for mobile communication. In addition to the standard voice function of a telephone, current mobile phones can also support many additional services such as SMS for text messaging, email, packet switching for access to the Internet, and MMS for sending and receiving photos and videos. Most current mobile phones connect to a cellular network of base stations, which is in turn interconnected to the public switched telephone network (PSTN).

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

- *Cellular phone is a portable telephone that does not use a wired connection.*
- *A cellular phone network uses a number of short-range radio transmitter-receivers to communicate.*
- *The wireless network is connected to the public telephone telephone system, another wireless carrier network or the Internet for completing calls to another phone or to a computer.*

The main parts of Cellphone:

- *A microscopic microphone*
- *Loudspeaker*
- *An LCD or plasma display*
- *A keyboard*
- *An antenna*
- *A battery*
- *A printed circuit board*

Main Uses of Cellphones

- *Voice calling*
- *E-mail*
- *Messaging*
- *Mobile content*
- *Gaming*
- *Play music*
- *Take photos or videos*
- *Download and view images*
- *Organize personal information*
- *Banking*

AKC TECHNICAL CLASSES

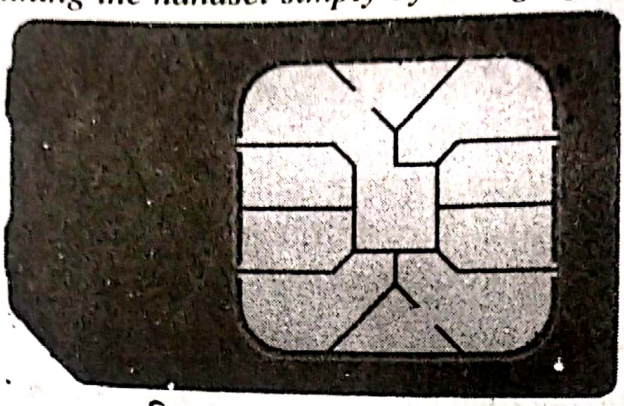
A mobile phone is an electronic device used for mobile telecommunications over a cellular network of specialized base stations known as cell sites. It offers full Duplex Communication and transfer the link when the user moves from one cell to another. As the phone user moves from one cell area to another, the system automatically commands the mobile phone and a cell site with a stronger signal, to switch on to a new frequency in order to keep the link.

Signal Frequency in Cell Phone: *The cellular system is the division of an area into small hexagonal cells. This allows extensive frequency reuse across that area, so that many people can use cell phones simultaneously. Cellular networks has a number of advantages like increased capacity, reduced power use, large coverage area, reduce interference from other signals etc.*

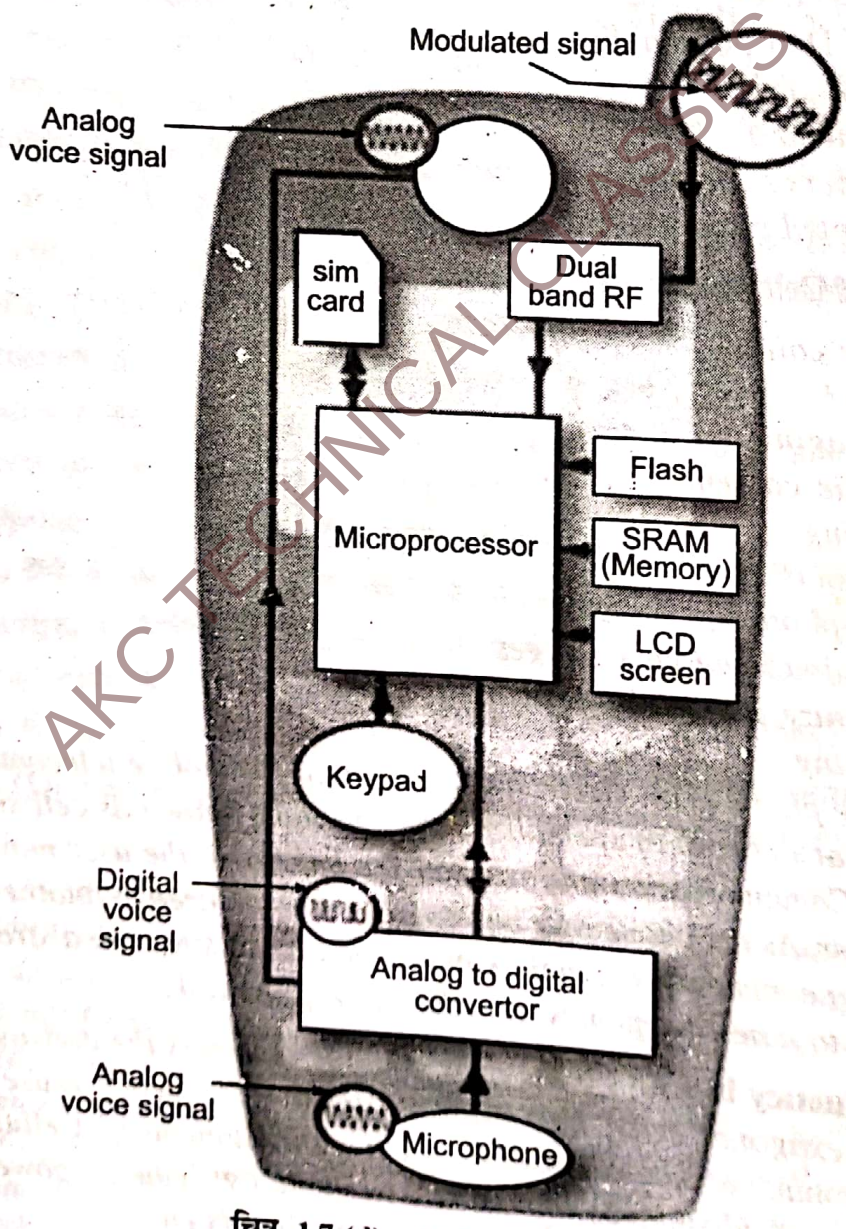
SIM card (Subscriber Identification Module is a type of Smart card used in mobile phone. The SIM is a detachable smart card containing the user's subscription information and phone book. This allows the user to retain his

Scanned with CamScanner

information even after switching off the handset. User can also change service providers while retaining the handset simply by changing the SIM card.



चित्र 1.7 (c)—SIM Card



चित्र 1.7 (d)—Mobile Phone

AKC TECHNICAL CLASSES

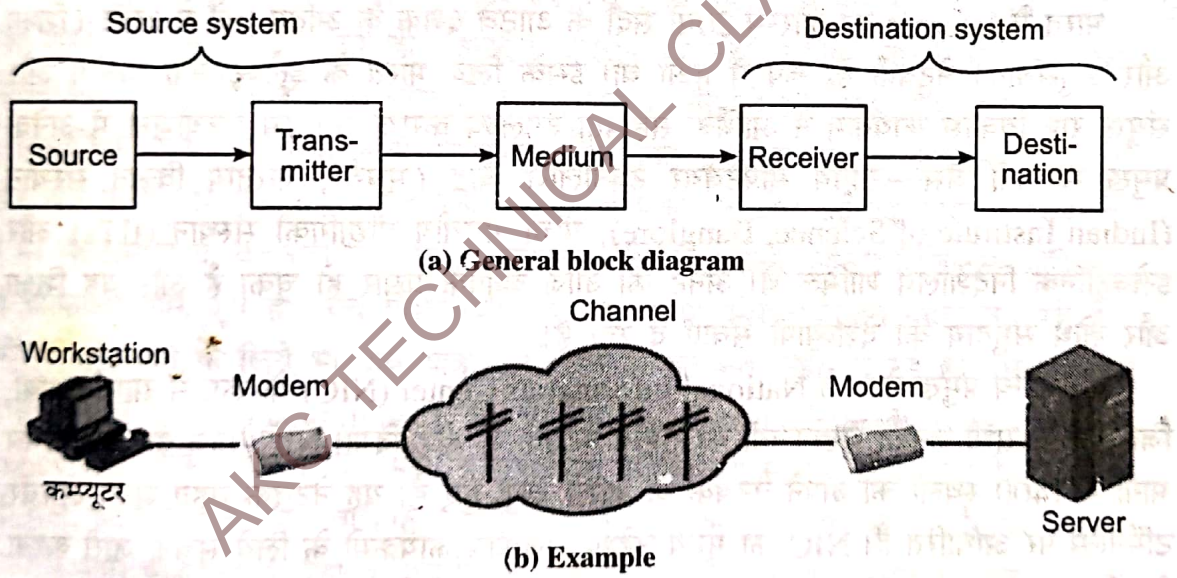
Scanned with CamScanner

Data Communication—Data communication का अर्थ हैं "Digital data को दो computer के बीच में transmit करना।" Computer network के data network वह telecommunication networks होते हैं जिनकी सहायता से computers data का आदान प्रदान करते हैं। Computer devices के बीच का physical connection (भौतिक कनैक्शन) cable media या wireless media द्वारा स्थापित किया जाता है।

Internet एक computer network का उदाहरण है।

Data communication के मुख्य घटक हैं—Information या data digital encoder. Transfer of data (sender or receiver), specific medium.

***Data communication** is the exchange of data (in the form of 0s and 1s) between two devices via some form of transmission medium (such as a wire cable). Data communications refers to the transmission of this digital data between two or more computers and a computer network or data network is a telecommunication network that allows computers to exchange their data. The physical connection between networked computing devices is established using either cable media or wireless media.*



चित्र 1.8 (a)—Concept of Data Communication

AKC TECHNICAL CLASSES

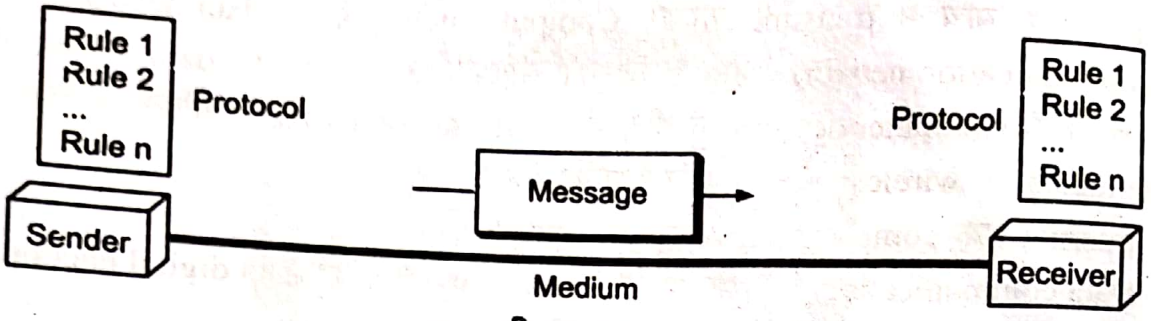
What is Data Communication?

- Electronic transmission of information that has been encoded digitally with some standard from one network to other network via certain medium, knows as Data Communication.

Elements of Data Communication:

- Information/Data
- Digital encoded signal
- Transfer of data/sender and receiver
- Specific medium

Scanned with CamScanner



चित्र 1.8 (b)

कुछ महत्वपूर्ण जानकारी (Some Important Information) :

प्रश्न 1—भारत में इंटरनैट के विकास के विषय में बतायें?

उत्तर—*Internet is made of hundreds of thousands of separate network each connected in some way to a backbone that moves data from one network to the other. The backbone is formed by biggest networks in the systems owned by major Internet Service Providers (ISP's).*

भारत में Internet का आरम्भ 20वीं सदी के आठवें दशक के अंतिम वर्षों में अर्नेट (शिक्षा और अनुसंधान) नेटवर्क के रूप में हुआ था। इसके लिये भारत के इलेक्ट्रॉनिक विभाग और संयुक्त राष्ट्र विकास कार्यक्रम ने आर्थिक सहायता उपलब्ध करायी थी। इस परियोजना में अनेक प्रमुख संस्थानों जैसे—राष्ट्रीय सॉफ्टवेयर टेक्नोलॉजी केंद्र (मुंबई), भारतीय विज्ञान संस्थान (Indian Institute of Science, Banglore), पांचों भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान (IITs) और इलेक्ट्रॉनिक निदेशालय शामिल थे। अर्नेट का आज व्यापक प्रसार हो चुका है और वह शिक्षा और शोध समुदाय को देशव्यापी सेवाएँ दे रहा है।

एक अन्य प्रमुख नेटवर्क National Informatics Center (NIC) के रूप में सामने आया, जिसने प्राय: सभी जनपद मुख्यालयों को राष्ट्रीय नेटवर्क से जोड़ दिया। NIC आज देश के विभिन्न भागों में 1400 स्थलों को अपने नेटवर्क के जरिये जोड़े हुए हैं। यह नेटवर्क बहुत सूक्ष्म अपर्चर टर्मिनल्स पर आधारित है। NIC का मुख्य उद्देश्य राजकीय कार्यक्रमों के लिये सूचना जारी करना है, लेकिन कुछ समय से NIC अर्धसरकारी संगठनों के लिये भी बैंडविड्थ (Bandwidth) उपलब्ध करा रहा है।

भारत में आम आदमी के लिये Internet का आगमन 15 अगस्त, 1995 को हुआ, जब विदेश संचार निगम लिमिटेड (VSNL) ने देश में अपनी सेवाएँ प्रारम्भ कीं। शुरू के कुछ वर्षों तक इंटरनेट की पहुँच काफी धीमी रही, लेकिन हाल के वर्षों में VSNL के उपभोक्ताओं की संख्या में जबर्दस्त इजाफा हुआ। 1999 में टेलीकॉम क्षेत्र निजी कम्पनियों के लिये खोल दिये जाने के फलस्वरूप अनेक नये सेवा प्रदाता (Service Providers) बेहद प्रतिस्पर्धा विकल्पों के साथ सामने आये।

अनेक राज्य सरकारों ने भी सूचना प्रौद्योगिकी को प्रोत्साहन देने वाली नीतियाँ अपनायी हैं। इनमें ग्राम स्तर तक सम्पर्क और पहुँच बनाने के उद्देश्य पर मुख्य बल दिया है। भारतीय रेल द्वारा कम्प्यूटरीकृत आरक्षण, आंध्र प्रदेश सरकार द्वारा शहरों के मध्य सूचना प्रणाली व स्थापना तथा

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

केरल सरकार के सूचना प्रौद्योगिकी विभाग द्वारा *'फास्ट रियालबल इंस्टैंट एफीशिएंट नेटवर्क फॉर डिस्त्रेसमेंट ऑफ सर्विसेज'* (फ्रेंड्स) जैसी पेशकशों ने इस दिशा में देश के आम नागरिकों की अपेक्षाओं को काफी बढ़ा दिया है।

प्रश्न 2—सूचना प्रौद्योगिकी ने भारतीय समाज में परिवर्तन लाने में किस प्रकार का योगदान दिया है?

उत्तर—सूचना प्रौद्योगिकी के कारण ही आज हमारे वैज्ञानिक हर क्षेत्र में नित नये अनुसंधान कर रहे हैं। कृषि, उद्योग, रक्षा, चिकित्सा, अंतरिक्ष आदि क्षेत्रों में अत्यन्त विकास हुआ है। सूचना तक हमारी पहुँच आसान हो गई है। हज़ारों किलोमीटर प्रति सैकण्ड की रफ्तार से सूचना हम तक पहुँच रही है। E-mail, Chatting, Video conferencing आदि सुविधाओं से हम दुनिया के किसी कोने में बैठे व्यक्ति से face-to-face बातचीत कर सकते हैं। चाँद को देखकर उसे छूने की तमन्ना के दिन अब बीत चुके हैं। चाँद पर लहरा रहा तिरंगा अंतरिक्ष विज्ञान में भारतीय सपनों को नई ऊर्जा दे रहा है। वैज्ञानिक अब स्पेस वॉक के मिशन में जुट गये हैं। अब केवल राकेश शर्मा, कल्पना चावला या डा० अब्दुल कलाम ही नहीं, बल्कि लाखों भारतीय युवा सम्भावनाओं के इस अनलिमिटेड स्पेस में अपनी चमक बिखेरने को तैयार हैं।

सामाजिक जीवन के विभिन्न क्षेत्रों को सूचना प्रौद्योगिकी ने अनेक नई अवधारणाओं से जोड़ा है। घर बैठे TV और कम्प्यूटर पर इंटरनैट के जरिये मनोरंजन और आमोद-प्रमोद सम्भव हो पाया है। मल्टीमीडिया, वर्चुअल रियलिटी, डिजीटल वीडियो, सराउंड साउंड डिजीटल ऑडियो, 3-डी ग्राफिक्स और ऐसे ही अन्य प्रौद्योगिकी चमत्कार शिक्षा और मनोरंजन प्रदान कर रहे हैं। बैठकों में भाग लेने के लिये भी अब यात्रा करने की आवश्यकता नहीं रह गई है। इसके लिये वीडियो कांफ्रेंस (Video conference) की व्यवस्था है। E-commerce, E-money व E-currency प्रौद्योगिकियों के जरिये समस्त व्यावसायिक गतिविधियाँ सम्पन्न की जा रही हैं। इंटरनैट पर ई-मेल, इंटरनैट चर्चा और वीडियो फोन के जरिये मित्रों के साथ मुलाकातों और सामाजिक सम्पर्कों में भारी वृद्धि हुई है। शिक्षक बच्चों को उन्हीं के पास जाकर शिक्षा और मनोरंजन प्रदान कर रहे हैं। Online education, Online turors तथा ऐसी कई सुविधाओं से शिक्षा प्राप्त की जा सकती है। Orkut जैसी Social networking site व्यक्ति के एकाँकीपन को दूर करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभा रही है।

उपरोक्त परिदृश्य समृद्ध शहरी समाज का है, तो ग्रामीण वातावरण में अलग ढंग से परिवर्तन आ रहा है। अब ग्रामवासी भी नेटवर्क से जुड़े समाज का हिस्सा बन रहे हैं और शहरी समाज भी एक नई अवधारणा आकार को ग्रहण कर रहा है। पहले ग्रामीण क्षेत्र के नागरिक को सरकार के कर या बिल चुकाने अथवा राजस्व दस्तावेज या जन्म प्रमाण-पत्र प्राप्त करने तथा ऐसे ही अन्य कार्यों के लिये जिला मुख्यालय (District Headquarters) या तालुका कार्यालय की यात्रा करनी पड़ती थी। नये *'सूचना समाज'* ने Cyber cafe को जन्म दिया है, जो कोने-कोने में स्थापित हैं। नागरिक अब इन Cyber cafe के जरिये करों का भुगतान या सरकारी दस्तावेज प्राप्त कर सकते हैं। जो शहरी नागरिक अपने निजी इंटरनैट कनेक्शन का निर्वाह नहीं कर सकते, वे

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

भी ई-मेल सेवा, वीडियो फोन और ई-कॉमर्स द्वारा इसका फायदा उठा सकते हैं। एक छोटा किसान अपने आस-पास के शहरों के विभिन्न बाजारों में माल की कीमतों और आवक की जानकारी पलभर में हासिल कर सकता है। परिणामस्वरूप वह सही निर्णय ले सकता है कि अपने माल को अच्छी कीमत पर जल्दी बेचने के लिये कौन-से बाजार में ले जायें।

प्रश्न 3—Internet क्या है? इसकी विभिन्न क्षेत्रों में क्या भूमिका है?

उत्तर—*The internet is a collection of interconnected computer networks, linked by copper wires, fiber-optic cables, wireless connections, etc. In contrast, the Web is a collection of interconnected documents and other resources, linked by hyperlinks and URLs. The World Wide Web is one of the services accessible via the Internet, alongwith various others including e-mail, file-sharing, online gaming and others. However, "the Internet" and "the Web" are commonly used interchangeably in non-technical settings.*

आज इंटरनेट की दुनिया इतनी विशाल हो गई है कि इसका अंदाज़ा लगा पाना आसान नहीं है। इंटरनेट ने पूरी दुनिया को एक जाल में लपेट कर उसे छोटा सा कर डाला है। शायद ही ऐसा कुछ हो जिसका कोई न कोई सूत्र इंटरनेट से नहीं जुड़ा हो। आपको यह जानकर ताज्जुब होगा कि देवताओं और ईश्वर के लिये अगर नेट पर एक अरब से ज़्यादा पते हैं तो 23 करोड़ साइटें ऐसी हैं जिन पर आपको राक्षसों और शैतान के बारे में लेख पढ़ने को मिल सकते हैं। इंटरनेट पर पाश्विकता को लेकर कोई 45 लाख से ज़्यादा पते मौजूद हैं। नेट पर ही आपके लिये दुनिया के तमाम मन्दिर, चर्च, मसजिदें और दूसरे धार्मिक स्थल उपलब्ध हैं। यानी कुल मिलाकर कितना विशाल दायरा है नेट का, इसकी कल्पना नहीं होती।

इसी का ही दूसरा पक्ष भी है। वह यह कि नेट उपयोगी भी है। इसने दुनिया के हर कोने को और हर व्यक्ति को जोड़ दिया है। इंटरनेट के ज़रिए आप दुनिया के किसी भी देश में रह रहे अपने रिश्तेदार, दोस्त से चैट कर सकते हैं, उसे संदेश दे सकते हैं, दुनिया के किसी भी बाज़ार से ख़रीदारी कर सकते हैं, बैंक से लेनदेन कर सकते हैं और यही नहीं ऑनलाइन शिक्षा भी हासिल कर सकते हैं।

पिछले कुछ वर्षों में नेट के जरिए खरीदारी करने का प्रचलन काफी तेजी से बढ़ा है। वैसे भारत में अभी ऑनलाइन खरीदारी का बहुत ज्यादा चलन नहीं है, लेकिन फिर भी बड़े शहरों में तो इसकी शुरूआत हो ही चुकी है। मार्केटिंग का सबसे बड़ा ठिकाना (site) ईबे ऑनलाइन है। इसके पास दस करोड़ उपभोक्ता दर्ज हैं और करीब डेढ़ लाख लोग खरीदारी करते हैं। इसलिये इस कंपनी ने अपने को दुनिया का ऑनलाइन मार्केटप्लेस नाम दिया है। यहाँ आप छोटी सुई और चिंवगम से लेकर हवाई जहाज तक का सौदा कर सकते हैं। हाँ, इतना जरूर ध्यान रखें कि ऑनलाइन सौदे हमेशा क्रेडिट कार्ड से ही होते हैं और क्रेडिट कार्ड की खरीद सीमा से ऊपर नहीं जा सकते।

दुनिया के किसी भी देश में अब फोन पर बात करना बहुत ही सस्ता हो गया है। अगर आप डायलपैडडॉटकॉम (www.dialpad.com) पर से अमेरिका फोन करते हैं तो 75 पैसे प्रति मिनट को दर से बात हो सकती है। इंटरनेट को इस बात से कोई मतलब नहीं है कि वह अपने

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

रूटर से क्या भेज रहा है। चाहे फोन की बातचीत हो या फिर कोई वीडियो फिल्म हो या फिर आप उस पर कोई सर्च करें, सबका खर्च एक ही है। फोन पर इंटरनेट के जरिए बातचीत भी डिजिटल पैकेटों के रूप में ही होती है। इसे आप या तो डायलपैडडॉटकॉम की साइट पर जाकर कर सकते हैं, या फिर अपने इंटरनेट सेवा प्रदाता की साइट पर जाकर। लेकिन यह तभी होगा जब आपका आईएसपी इस तरह की सेवा मुहैया कराता हो। अगर आप अपने कंप्यूटर से इस तरह की कॉल करना चाहते हैं तो आपको इसके लिये पहले डायलपैड जैसी किसी बेबसाइट पर जाना होगा। इसके बाद इस साइट से प्रीपेड पैकेज खरीदना होगा। प्रीपेड पैकेज क्रेडिट कार्ड से खरीदा जायेगा। इसके बाद आप उस नंबर को मिला सकते हैं जिस पर बात करनी हो। इंटरनेट के जरिए बात करने के लिये आपको एक अच्छा हैंडसेट भी चाहिए होगा। कई बार आवाज साफ नहीं आती है या बीच में टूट जाती है। वैसे ब्रॉडबेंड एक्सेस से क्वालिटी भी सुधरेगी और डायल-अप लागत भी बचेगी।

शिक्षा के क्षेत्र में इंटरनेट ने बहुत ही महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। आप दुनिया के किसी भी विश्वविद्यालय या संस्थान में ऑनलाइन कोर्स में भी दाखिला ले सकते हैं और पढ़ाई कर सकते हैं। यह एक तरह से दूरवर्ती शिक्षा का ही उन्नत रूप है। कई बड़े प्राइवेट संस्थान भी अपने ऑनलाइन कोर्स चला रहे हैं। आप चाहें तो पीस एंड गवर्नेंस में यूनाइटेड नेशंस यूनिवर्सिटी में कोर्स कर सकते हैं या हॉलीवुड की सोसायटी ऑफ पिक्चर एंड एनिमेशन से डिप्लोमा ले सकते हैं। इग्नू से आईटी या मैनेजमेंट की पढ़ाई कर सकते हैं। यानी सब कुछ इंटरनेट से संभव है।

ऑनलाइन के माध्यम से देशी-विदेशी ट्यूटर से मार्गदर्शन ले सकते हैं, असाइनमेंट जमा कर सकते हैं और अब तो ऑनलाइन परीक्षायें भी कई जगह ली जाती हैं। नौकरी के लिये आवेदन और पढ़ाई के लिये दाखिला फॉर्म भी ऑनलाइन भरे जाते हैं। टॉफेल और जीआरई की परीक्षायें तो ऑनलाइन ही होती हैं। रोजगार हेतु नौकरी टॉट कॉम (naukri.com) पर आवेदन कर सकते हैं।

इंटरनेट का सबसे बड़ा फायदा यही हुआ है कि सूचनाओं तक व्यक्ति की पहुँच काफी आसान हो गई है और इसी कारण हर व्यक्ति सूचना के अधिकार के लिये सजग भी है। भारत में न सिर्फ केंद्र सरकार ने, बल्कि ज़्यादातर राज्य सरकारों ने भी अपने महकमों के कंप्यूटरीकरण का काम काफी तेज़ कर दिया है। अब तो कई जगहों पर ऐसी व्यवस्था की गई है कि नगर निगम में जरूरी कामकाज, शिकायतें आदि लोग ऑनलाइन ही निपटा लें। भारत सरकार की कई साइटें हैं जिन पर से जानकारियाँ ले सकते हैं। अफसरों के पते, फोन नंबर, मंत्रियों और उनके विभागों के बारे में जानकारी भी सरकार की साइट से ली जा सकती है। इसी तरह पर मंत्रालय की अपनी साइट भी है। अगर आपको पासपोर्ट बनवाना है तो इसके लिये पासपोर्टडॉट एनआईसीडॉटइन (passport.nic.in) पर जाकर फार्म डाउनलोड कर लें और भर कर भेज दें। यदि आपको यह जानकारी नहीं है कि आपका नाम मतदाता सूची में है या नहीं तो चुनाव आयोग की साइट पर जाकर देख सकते हैं। कई बार होता यह है कि व्यक्ति अपने को अकेला महसूस करता है। उसे जरूरत होती है उन लोगों की जो उस जैसी सोच और रुचि वाले हों जिनके साथ वह चर्चा कर सके। ऐसे साथी नेट पर आसानी से उपलब्ध हो जाते हैं और आप ऑनलाइन चैट के जरिए उनके साथ बातचीत, बहस या चर्चा में शिरकत कर सकते हैं। इसमें स्कूल के

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

बच्चे, कॉलेज छात्र, पुराने बैच के लोग या फिर समान विचारधारा वाले लोग अपना समूह बना सकते हैं।

इसी तरह लोग इंटरनेट के माध्यम से अपना जीवनसाथी भी तलाश सकते हैं। ऑनलाइन मैरिज ब्यूरो में अपना पंजीकरण करा कर उपयुक्त साथी तलाशा जा सकता है। शादीडॉटकॉम (www.shaadi.com) और जीवनसाथीडॉटकॉम (www.jeevansathi.com) ऐसे ही ऑनलाइन ठिकाने हैं।

इंटरनेट ने बैंकिंग कारोबार की तो दिशा ही बदल डाली है। आज जगह-जगह जो एटीएम नजर आ रहे हैं, वे इंटरनेट की ही देन हैं। अब भारत में शायद ही कोई बैंक ऐसा रहा होगा जिसने अपना कंप्यूटरीकरण न किया हो और एटीएम सेवा शुरू न की हो। अगर आपके बैंक खाते में पैसे हैं तो आप किसी भी शहर में एटीएम से पैसा निकाल सकते हैं। इसके साथ ही कुछ प्राइवेट बैंकों ने तो यह भी सुविधा दी है कि यदि आपका उनके बैंक में खाता है तो उनकी किसी भी शाखा में या कलेक्शन बॉक्स में चैक डाल दें वह आपके खाते में जमा हो जायेगा। कुल मिलाकर यह सारी करामात इंटरनेट की ही है। इसका सबसे बड़ा फायदा यह हुआ है कि लोग बैंकों की भीड़भाड़ से बच जाते हैं और समय भी काफी बच जाता है।

अब बात आती है ऑनलाइन गेम की। ब्रांडबैंड और लोकल एरिया नेटवर्क गेमिंग ने इसे एक नई दिशा दी है। पीसी गेम और मोबाइल गेम के अलावा गेम खेलने वालों के लिये यह सबसे लोकप्रिय विकल्प है। ऑनलाइन गेमिंग उद्योग तो दुनिया भर में एक बड़े कारोबार के रूप में विकसित हो चुका है। जिस तरह आप चैट करते हैं उसी तरह ऑनलाइन पर साथी खिलाड़ी का चुनाव करके उसके साथ शतरंज, क्रिकेट, क्वेक एंड काउंटर जैसे खेल भी खेल सकते हैं।

दुनिया भर में घूमने वालों को इंटरनेट का एक बड़ा फायदा यह हुआ है कि कहीं से भी कहीं के लिये टिकट बुक कर सकते हैं। चाहे हवाई जहाज यात्रा का टिकट हो या फिर रेल यात्रा का टिकट। इसके अलावा नेट पर आरक्षण की स्थिति, गाड़ियों के आने-जाने का समय, देरी से चल रही हैं या समय से, सब कुछ इंटरनेट पर देखा जा सकता है।

प्रश्न 4—इंटरनेट तथा सूचना प्रौद्योगिकी के कौन-कौन से दुरुपयोग हो रहे हैं? चर्चा करें।

उत्तर—इंटरनेट का दुरुपयोग (Misuse of Internet)—कोई भी तकनीक बुरी नहीं होती, किन्तु उसका दुरुपयोग बुरा होता है। सागर के मंथन में अमृत भी निकलता है तथा विष भी, किन्तु यह मानव पर निर्भर करता है कि वह किसका पान करता है, इसी प्रकार यह भी मानव पर ही निर्भर करता है कि वह सूचना प्रौद्योगिकी को अपने हित के लिये प्रयोग करता है या विध्वंस के लिये। सूचना प्रौद्योगिकी के बढ़ते कदमों ने आज हमें एक ऐसे चौराहे पर लाकर खड़ा कर दिया है, जहाँ उसका दुरुपयोग भी होने लगा है।

इंटरनेट का सबसे बड़ा दुरुपयोग यह हो रहा है कि नैट आज आतंकवादियों का सबसे बड़ा हथियार बन गया है। आतंकवाद ने आज अपना तरीका बदल लिया है। वह ज्यादा चालाक, ज्यादा संगठित व अत्याधुनिक तरीकों से लैस है। आतंकवादियों के अपनी पहुँच का विस्तार करने के लिये नैट पर तेज़ी से इस्तेमाल किया है। इस्राइल की हफ़ीफ़ा यूनीवर्सिटी में प्रोफेसर और Terror

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

on the Internet – The New Arena, The New Challenges जैसी किताब के लेखक गैब्रियल विएमन के मुताबिक वर्ष 2000 तक आतंकवाद वैबसाइट्स की संख्या महज 12 थी जो 2009 तक बढ़कर 5000 से अधिक हो गई है। खासकर 9/11 के हमले के बाद आतंकवादी Websites की संख्या बहुत तेज़ी से बढ़ी है। इंटरनेट पर मौजूद ऐसी सैकड़ों Websites हैं जिन पर ऐसी ओपत्तिजनक सामग्री है जिनको कोई भी मुल्क प्रकाशित करने की इजाज़त नहीं दे सकता। किन्तु इंटरनेट की Virtual दुनिया में कोई रोकटोक नहीं है।

आतंकवादी समूह हैकिंग के मामलों में भी पारंगत हैं। प्रमुख भारतीय वेबसाइटों को हैक करने के लिये तमाम हैकर समूह जी-जान से लगे हुए हैं। पाकिस्तान में ही एफबीएच के अलावा 'किल इंडिया', 'जी फोर्स पाकिस्तान', 'डेथ टू इंडिया', 'मुसलिम ऑनलाइन सिंडीकेट' 'सिल्वर लॉर्ड' जैसे अजीब नामों वाले हैकर समूह हैं। इनमें से कई भारतीय वेबसाइटों को हैक करने की तमाम संभावनाएँ तलाशते हैं। पासवर्ड चुराकर डीएनएस संरचना में छेड़छाड़ कर भारतीय वेबसाइटों का सत्यानाश करने में जुटे अपराधी जिन साइटों को अपना निशाना बना चुके हैं, इनमें भाभा एटोमिक रिसर्च इंस्टीट्यूट और विदेश मंत्रालय जैसी वेबसाइटें भी हैं।

सभी बम धमाकों के दौरान आतंकवादियों ने मोबाइल फोन को भी हथियार के तौर पर इस्तेमाल किया है। सेलफोन के जरिये आतंकवादी आपस में सम्पर्क साधते तो ही हैं, इसका इस्तेमाल टाइमर के तौर पर भी किया जाता है।

अहमदाबाद विस्फोट हो, दिल्ली के धमाके या मुंबई के धमाके आतंकवादियों ने सूचना प्रौद्योगिकी का बखूबी इस्तेमाल किया है। सूचना प्रौद्योगिकी अधिनियम 2000 में साइबर आतंकवाद को लेकर कोई प्रावधान नहीं है। इसकी धारा 66 में हैकिंग के आरोप में तीन साल की सजा तथा दो लाख रुपये तक जुर्माने की बात कही गई है। लेकिन आतंकवादी किसी दूसरे व्यक्ति के नेटवर्क में जाकर अपनी गतिविधियाँ संचालित करते हैं। उन्हें पता है कि पकड़ लिये जाने पर भी उन्हें सजा नहीं हो सकती। इसी कारण आतंकवादी बार-बार इंटरनेट आदि का इस्तेमाल हथियार के तौर पर करते हैं। वाई-फाई सिस्टम को भी सुरक्षित नहीं माना जा सकता।

साइबर क्राइम्स की संख्या में लगातार वृद्धि हो रही है। साइबर क्राइम अपराध करने का एक ऐसा तरीका है, जिसमें किसी की गोपनीय बातों, उसके पैसे तक अवैध रूप से पहुँच बनायी जा सकती है। साइबर अपराधों के जरिये धोखाधड़ी, छेड़छाड़, अश्लील दृश्यों का प्रचार तथा पासवर्ड चोरी इत्यादि अपराधों को अंजाम दिया जा सकता है। चाहे कम्पनियों का डाटा हैक कर चोरी का मामला हो, या फिर नैट बैंकिंग के जरिये करोड़ों रुपयों की निकासी का मामला हो, सब कुछ नैट के जरिये ही सम्भव हो रहा है। नैट पर कई हैकर्स तथा ठग हैं, जो लोगों की गतिविधियों पर लगातार नजर रखते हैं।

नैट पर होने वाले कई प्रकार के Cyber crimes का विवरण निम्नवत् है—

***Tampering with computer source documents**—A person who knowingly or intentionally, conceals, destroys, alters or causes another to conceal, destroy or alter any computer source code used for a computer, computer program, computer system or computer network, when the computer source code is required to be kept or maintained by law is punishable.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Hacking—*Hacking is the unauthorized access of a computer system and networks. Originally, the term "hacker" describes any amateur computer programmer who discovered ways to make software run more efficiently. Hackers usually "hack" on a problem until they find a solution, and keep trying to make their equipment work in new and more efficient ways. A hacker can be a Code Hacker, Cracker or a Cyber Punk.*

Whoever with the intent to cause or knowing that he is likely to cause wrongful loss, alteration or damage to the public or any person destroy; or deletes or alters any information residing in a computer resource or diminishes its value or utility or affects it injuriously by any means is said to commit hacking.

Publishing of information, which is obscene in electronic form—*A person who publishes or transmits or causes to be published in the electronic form, any material which is obscene, or if its effect it such as to tend to deprave and corrupt persons who are likely in read, see or hear the matter contained or embodied in it, is liable to punishment. The important ingredients of such an offence are publishing (make generally known or issue copies for sale to public), or transmitting (transfer or be a medium for), or causing to be published (to produced the effect of publishing), pornographic material in the electronic form. Pornography is an important example of such cyber crimes.*

Child Pornography—*Child pornography is apart of cyber pornography but it is such a grave offence that it is individually also recognized as a cyber crime. The internet is being highly used by its abusers to reach and abuse children sexually, worldwide, The internet is very fast becoming a household commodity in India. Its explosion has made the children a viable victim to the cyber crime. As more homes have access to internet, more children would be using the internet and more are the chances of falling victim to the aggression of paedophiles. The paedophiles use their false identity to trap children and even contact them in various chatrooms where they be friend them any gain persona! information from the innocent preys. They even start contacting children on their e-mail addresses. These paedophiles drag children to the net for the purpose of sexual assault or so as to use them as a sex object.*

Accessing protected system—*Any unauthorized person who secures access or attempts to secure access to a protected system is liable to be punished with imprisonment and may also be liable to fine.*

Breach of confidentially and privacy—*Any person who, secures access to any electronic record, book, register, correspondence, information, document or other material without the consent of the person concerned or discloses such electronic record, book, register, correspondence, information, document or other material to any other person shall be liable to be punished under the Information Technology Act.*

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Cybersquatting—*Cybersquatting is the obtaining of a domain name in order to seek payment from the owner of the trademark (including business name, trade name, or brand name).*

Cyber Stalking—*Cyber stalking is defined as the repeated acts of harassment or threating behaviour of the cyber criminal towards the victim by using internet services. Stalking can be reffered to as the repeated acts of harassment targeting the victim such as following the victim, making harassing phone calls, killing the victims pet, vandalizing victims property, leaving writtten messages or objects. Stalking may be followed by serious violet acts such as physical harms to the victim. It all depends on the course of conduct of the stalker.*

Cyber stalking is when a person is followed and pursued online. Their privacy in invaded, their every move watched. It is c form or harassment, and can disrupt the life of the victim and leave them feeling very afraid and threatened.

Stalking or being 'followed' are problems that many people, especially women, are familiar with. Sometimes these problems (harassment & stalking) can occur over the internet. This is known as cyber stalking. The internet mirrors the real world. That means it also reflects real life and real people with real problems. Although it is rare, Cyber stalking does occur. Cyber Stalking usually occurs with women, who are stalked by men, or children who are stalked by adult predactors or paedophiles. A cyber stalker does not have to leave his home to find, or harass his targets, and has no fear of physical violence since the believes he cannot be physically touched in cyberspace. He may be on the other side of the earth or a neighbour or even a relative! And a stalker could be of either sex.

Typically, the cyber stalker's victim is new on the web, and inexperienced with the rules or etiquette and internet safety. Their main targets are the mostly females, children, emotionally weak or unstable, etc. It is believed that over 75% of the victims are female, but sometimes men are also stalked. The figures are more or assumed basis and the actual figures can really never be known since most crimes of such natures go unreported.

प्रश्न 5—Fiber Optics (तंतु प्रकाशिकी) क्या है? इसकी लाभ व सीमाएं क्या हैं?

उत्तर—Fiber optics वह तकनीक है, जिसकी सहायता से प्रकाश का transmission thin fibers से होता है। ये तंतु पारदर्शी कांच (transparent glass) अथवा प्लास्टिक के बने होते हैं। यदि ये तंतु सीधे हों, तो प्रकाश ऊर्जा बहुत ही कम विनष्ट हो पाती है, लेकिन इनमें थोड़ा-सा भी मोड़ आ जाता है, तो प्रकाश ऊर्जा का क्षय होने लगता है, क्योंकि ऐसी स्थिति में प्रकाश का बिखराव हो जाता है। इस प्रणाली में सामान्यतया शीशे के तंतुओं का ही उपयोग किया जाता है, जिनका व्यास लगभग 120 माइक्रोमीटर होता है। प्रत्येक तंतु शीशों का बना एक कोर (core) होता है, जिसका व्यास 50 माइक्रोमीटर तथा उसके चारों ओर शीशे के क्लैड का निर्माण किया जाता है। इसकी मदद से पूर्ण आंतरिक परावर्तन (total internal reflection) के उपरान्त तंतु के कोर में प्रकाश का

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उपयोग किया जाता है कोर का अपवर्तनांक क्लैड की तुलना में अधिक होता है। यद्यपि क्लैडिंग में प्रकाश नहीं होता है, फिर भी यह तंतु का एक अनिवार्य भाग है। इसकी मदद से तंतु की सम्पूर्ण लम्बाई तक क्रांतिक कोण (critical angle) का मान सामान्य बना रहता है।

लाभ—

(i) पारम्परिक तंतुओं की अपेक्षा प्रकाश तंतुओं का भार कम है (less weight)।
(ii) यह विद्युत चुम्बकीय प्रेरण, तड़ित, रेडियो संकेतों एवं अन्य सामान्य संकेतों के प्रतिरोधक की क्षमता रखता है।
(iii) यह विस्फोटक एवं ज्वलनशील वातावरण में भी नुकसान रहित है (Safe)।
(iv) इसमें विद्युत प्रवाह नहीं होने के कारण अनचाही सूचनाओं के संचरण पर अंकुश रहता है (Low noise)।
(v) इससे वीडियो सहित किसी भी प्रकार के आंकड़ों का संप्रेषण सम्भव है।
(vi) इसकी मूल कच्ची सामग्री अर्थात सिलिका (SiO_2) की बहुतायत है।
(vii) इससे बिना किसी विशेष ऊर्जा क्षय के सूचनाओं का सम्प्रेषण सम्भव है।
(viii) इसका प्रयोग शरीर के आंतरिक अंगों के परीक्षण के लिये भी किया जा सकता है, जैसे—एंडोस्कोपी।
(ix) यह किसी भी प्रकार के स्पार्क से मुक्त है (Free from spark)।
(x) यह परस्पर वार्तालाप अथवा शोर से मुक्त है।
(xi) इसमें 25 गीगा बिट्स प्रति सैकण्ड क्षमता वाले 40 हजार टेलीफोनों को एक साथ ढोने की क्षमता है।
(xii) इससे बिना रिपीटर की मदद से 70 किलोमीटर तक की दूरी की सूचनाओं का सम्प्रेषण सम्भव है।

सीमाएँ—

(i) प्रकाश स्रोत का modulation एक निश्चित सीमा तक ही सम्भव है।
(ii) न्यून शक्ति स्रोतों के कारण दो प्रवर्धकों (amplifier) के बीच न्यून दूरी की आवश्यकता होती है।
(iii) मूल सामग्री के रूप में सिलिका का उपयोग होने के बावजूद इन पर तांबे की तार की अपेक्षा अधिक व्यय होता है।
(iv) तांबे की तार की अपेक्षा इन तंतुओं को जोड़ना कठिन होता है।

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

प्रश्नावली–1

1. टेलीग्राफी व टेलीफोनी में अन्तर समझाइये।
2. माइक्रोवेव संचार की मुख्य विशेषतायें बताइये।
3. मोबाइल संचार से आप क्या सकझते हैं?
4. उपग्रह संचार क्या होता है?
5. मान लीजिये आप अपना Board Exam का result Internet पर देखना चाहते हैं। इसके लिये आप कौन-कौन से Steps follow करेंगे?
6. सर्च इंजन से आप क्या समझते हैं? मान लीजिये आपको किसी Search engine पर जाकर कोई जानकारी प्राप्त करनी है तो कैसे करेंगे?
7. Optical fiber संचार से आप क्या समझते हैं? इनके क्या लाभ हैं?
8. रिपीटर्स क्या होते हैं?

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

2 ऑपटिक्स तथा ऑप्टिकल फाइबर के सिद्धान्त
(FUNDAMENTALS OF OPTICS AND OPTICAL FIBER)

THINK ABOUT IT

Love never lies and it never tries, it's unafraid and heaven made.
Keep the faith, surrender the time, just like a grape we need to ripen on the vine.
Be like a fairy, constantly glow, leave a trail of love wherever you go.
Do not try to make sense of this world
But try to know yourself and to grow yourself
The more you are, the more you have.
Rather than making the best of a situation, make the best situation. Create, don't negate.
Keep the dream alive and the heart open.
Be your most glorious self, and even better, be indifferent to what Others may think of it
Don't get afraid of the dark, it's helping you find the light. We wouldn't know morning, if we didn't see night.
Never give to say you've given, never shy away from a good cry, never stop a laugh from happening, and always wonder, why?
Don't get feared, get motivated! **—Allyson Giles**

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 2.1. परिचय (Introduction) :

प्रकाश प्रकृति द्वारा दिया गया एक अद्भुत तोहफा है। वैज्ञानिक दृष्टि से देखें तो प्रकाश भी energy का एक रूप है तथा प्रकाश की तरंगें transverse electromagnetic form में होती हैं तथा यह 3×10^8 m/s की velocity से travel करती हैं। Single frequency light को monochromatic कहा जाता है तथा multiple frequency वाली light को polychromatic light कहा जाता है। Light का amplitude उसकी intensity (तीव्रता) से से संबंधित होता है।

Light is a form of energy visible to the human eye that is radiated by moving charged particles. Light from the sun provides the energy needed for plant growth and plants convert the energy in sunlight into storable chemical form through a process called photosynthesis.

Scanned with CamScanner

Scientists have learned through experimentation that light behaves like a particle at times, and like a wave at other times. The particle like features are called photons. Photons are different from particles of matter in that they have no mass and always move at the constant speed of 300,000 km/sec (186,000 mi/sec). When light diffracts, or bends slightly as it passes around a comer, it shows wavelike behavior.

The waves associated with light are called electromagnetic waves because they consist of changing electric and magnetic fields.

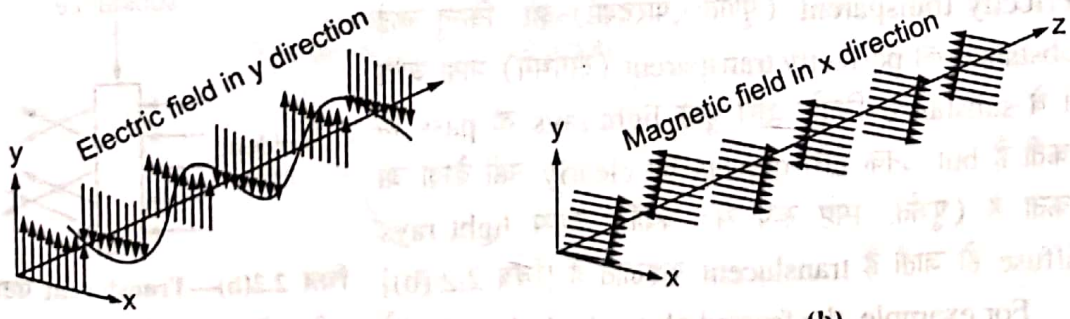
- *Monochromatic light is described by only one frequency.*

Laser light is effectively monochromatic. There are six colours each associated with a band of monochromatic light. In order of increasing frequency they are red, orange, yellow, green, blue, and violet. Light is sometimes also known as visible light to contrast it from "ultraviolet light" and "infrared light". Other forms of electromagnetic radiation that are not visible to humans are sometimes also known informally as "light". Polychromatic light is described by many different frequencies. Nearly every light source is polychromatic. White light is polychromatic. A graph of relative intensity vs. frequency is called a spectrum (plural: spectra). The amplitude of a light wave is related to its intensity. Intensity is the absolute measure of a light wave's power density. Brightness is the relative intensity as perceived by the average human eye. The frequency of a light wave is related to its colour.

§ 2.2. प्रकाश की वैद्युत चुम्बकीय प्रकृति (Electromagnetic Nature of Light):

प्रकाश भी RF तरंगों के समान एक वैद्युत चुम्बीय तरंग है। अंतर वेवलैंथ का है।

वैद्युत चुम्बकीय तरंग में दो फील्ड्स (वैद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र) होती हैं, दोनों फील्ड्स की दिशा एवं strength होती है। दोनों फील्ड्स एक दूसरे के लम्बवत् (90°) होती है तथा इनके यह अपने 90° दिशा में प्रकाश की गति से move करती है। अत:, इलैक्ट्रिक फील्ड की दिशा, मैगनेटिक फील्ड की दिशा तथा movement की दिशा, यह तीनों आपस में लम्बवत् (mutually perpendicular) होती है। (The direction of electric field, magnetic field and direction of propagation, all these three are mutually perpendicular to each other)। अत: three dimensions में हम electric field को x-axis की ओर oriented मान सकते हैं (चित्र 2.1(a)) magnetic field को y-axis की ओर oriented मान सकते हैं (चित्र 2.1(b)), तो direction of travel z-axis की

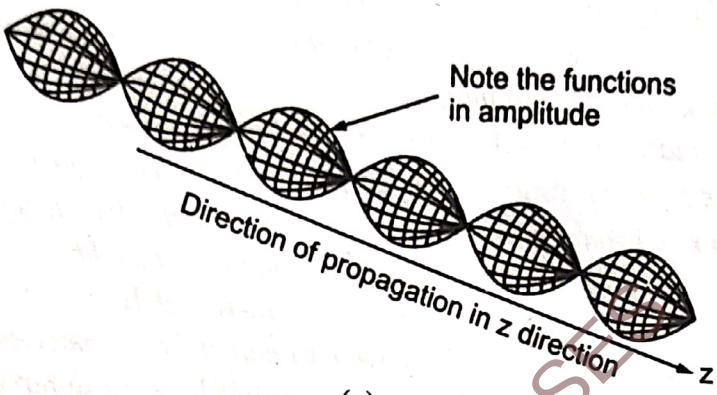


चित्र 2.1

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

ओर होगा (चित्र 2.1(c))। Electric field तथा magnetic fields overlap करती है तथा z-direction में oscillate करती है।



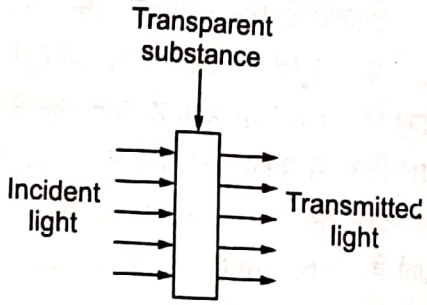
(c)

चित्र 2.1

§ 2.3. प्रकाश के गुण (Properties of Light) :

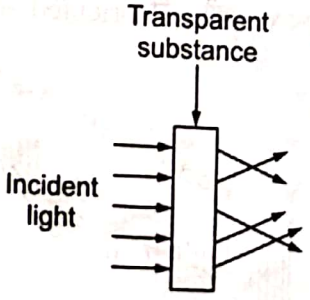
Properties of light—जब straight lines के रूप में travel करने वाली (चलने वाली) light waves किसी substance (पदार्थ) पर पड़ती है तो reflect, absorb, transmit होती है या refract हो जाती है।

पारदर्शी पदार्थ (Transparent Materials)—वे substance पदार्थ जो अपने ऊपर पड़ने वाले almost all light (अर्थात् सभी प्रकाश) को transmit कर देते हैं, transparent (या पारदर्शी) कहलाते हैं। Transparent वह substance है जिसके द्वारा हम clearly (स्पष्ट रूप से) देख सकते हैं, clear glass transparent होता है क्योंकि यह light rays को बिना diffuse किये ही transmit कर देता है [चित्र 2.2 (a)]



चित्र 2.2(a)—पारदर्शी पदार्थ

पारभासी (Translucent)—ऐसा कोई पदार्थ नहीं है जो perfectly transparent (पूर्णत: पारदर्शी) हो, किन्तु कई substance को perfectly transparent (लगभग) माना जाता है। वे substance जिनके द्वारा कुछ light rays तो pass हो सकती है but उनके द्वारा objects को clearly नहीं देखा जा सकता है (पूर्णत: स्पष्ट रूप से) क्योंकि उनसे light rays diffuse हो जाती है translucent कहलाते हैं [चित्र 2.2 (b)]



चित्र 2.2(b)—Translucent पदार्थ

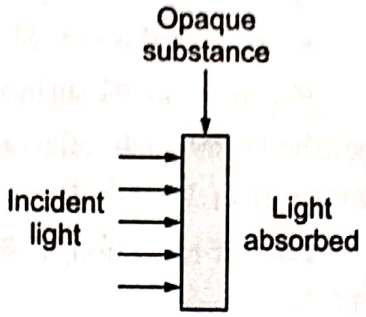
For example, the frosted glass of a light bulb (ऐसा शीशा जिस पर ओस के कण लगे हों) and a piece of oiled paper (तैलीय कागज) are translucent materials.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

अपारदर्शी (Opaque)—वें substance (पदार्थ) जो rays को transmit करने में unable (असमर्थ) होते हैं opaque कहलाते हैं चित्र 2.2 (c)। Opaque substance अपने ऊपर पड़ने वाली all light को reflect या absorb कर लेते हैं।

यदि light medium के द्वारा न तो transmit होती है और न ही reflect होती है तब यह medium के द्वारा absorb (अवशोषित) कर ली जाती है।

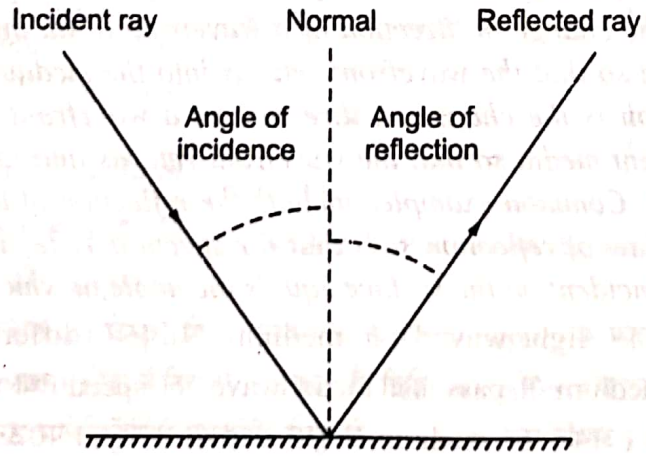


चित्र 2.2(c)—Opaque पदार्थ

जब light किसी substance पर strike करती है तब कुछ absorption और कुछ reflection होता है। पदार्थ (प्रकाश के स्रोतों के अलावा) केवल इसलिये दिखाई दे पाते हैं क्योंकि वह luminous source से अपने पर पड़ने वाले प्रकाश का कुछ भाग reflect तथा शेष भाग अवशोषित करते हैं। Luminous source अर्थात प्रकाश उत्पन्न करने वाले पदार्थ (सूर्य, gas flame light filament (bulb) इत्यादि) हैं। कोई भी substance अपनी surface (सतह) तक पहुँचने वाली light rays को completely transmit or absorb नहीं करता है।

प्रतिबिंब (Reflection)—साधारणत: reflected waves वे होती है जो न transmit और न ही absorb होती है बल्कि उस medium की surface से reflect होती है जिस पर ये strike (चोट) करती है जब एक wave (तरंग) एक reflecting surface (परावर्ती सतह) पर approach (पहुँचना) करती है जैसे कि mirror, तब वह wave जो कि surface से टकराती है incident wave कहलाती है और वह wave जो strike होकर back (वापस) हो जाती है reflected (आपतित) wave कहलाती है यह चित्र 2.3 में प्रदर्शित है। जिस बिन्दु पर incident wave reflecting सतह पर strike (चोट) करती है, उस बिन्दु के लम्बवत् (perpendicular) एक काल्पनिक रेखा (imaginary line) को normal या perpendicular कहा जाता है।

Bouncing back of a light ray on striking another medium is called reflection



चित्र 2.3

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

- Incident wave और normal (अभिलम्ब) के बीच का angle, angle of incidence कहलाता है।
- Reflected wave और normal के बीच का angle, angle of reflected कहलाता है।

यदि medium की surface जो incident wave के contact में होती है वह smooth और polished है तब each reflected wave, incident wave की तरह same angle समान कोण पर वापस reflect हो जाती है।

Law of reflection के अनुसार angle of reflection, angle of incidence के equal होता है।

The angle of reflection is equal to the angle of incidence

Laws of reflection—
- The angle of reflection is equal to angle of incidence.
- The incident ray, normal and the reflected ray all lie in the same plane.

एक surface से reflected होने वाली energy का amount निम्न बिन्दुओं पर depend करता है—

- the nature of the surface (सतह की प्रकृति)
- वह angle जिस पर wave surface से strike करती है (angle of incidence)

Reflected wave energy का amount (मात्रा) angle of incidence के साथ-साथ increase करता है (बढ़ता है)। जब wave reflecting wave के nearly parallel (लगभग समानान्तर में) होती है तब energy का reflection सबसे ज्यादा होता है। जब incidence wave surface के perpendicular होती है तब energy का ज्यादातर अंश substance में transmit हो जाता है और energy का reflection बहुत कम होता है। किसी भी incident angle पर, एक mirror almost all wave energy (लगभग समस्त ऊर्जा को) reflect करता है, जबकि एक dull, black surface बहुत कम wave energy को reflect करता है।

Light waves, law of reflection को obey (पालन) करती है।

Reflection is the change in direction of a wavefront at an interface between two different media so that the wavefront returns into the medium from which it originated reflection is the change in direction of a wavefront at an interface between two different media so that the wavefront returns into the medium from which it originated. Common examples include the reflection of light, sound and water waves. The law of reflection says that for specular reflection the angle at which the wave is incident on the surface equals the angle at which it is reflected.

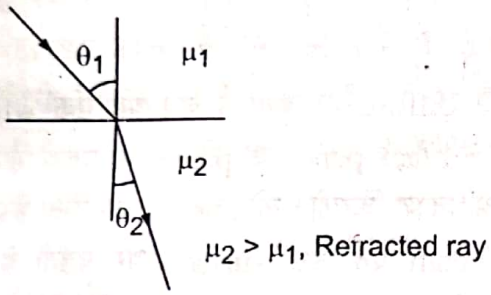
Refraction—जब light wave एक medium से दूसरे different velocity of propagation वाले medium में pass होती है तब wave की speed तथा direction में एक change occur होता है (अर्थात् एक medium से दूसरे मीडियम में पहुँचने पर उनकी गति में परिवर्तन हो जाता है तथा उनकी दिशा में परिवर्तित हो जाती है) अतः, दूसरे मीडियम में प्रवेश करते ही तरंग

AKC TECHNICAL CLASSES

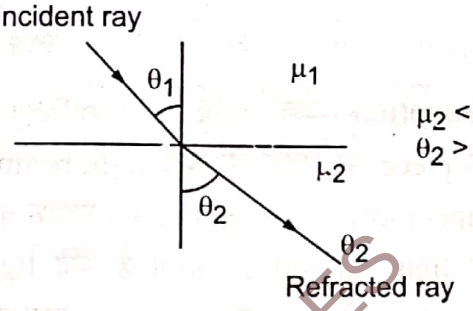
Scanned with CamScanner

की दिशा में परिवर्तन हो जाना refraction कहलाता है जैसे ही wave boundary द्वारा pass होती है यह normal की ओर या normal से दूर bent हो जाती है (मुड़ जाती है)।

Normal और second medium के द्वारा path of refracted wave के बीच के angle को angle of refraction कहते हैं Wave का refraction चित्र 2.4 में प्रदर्शित है।



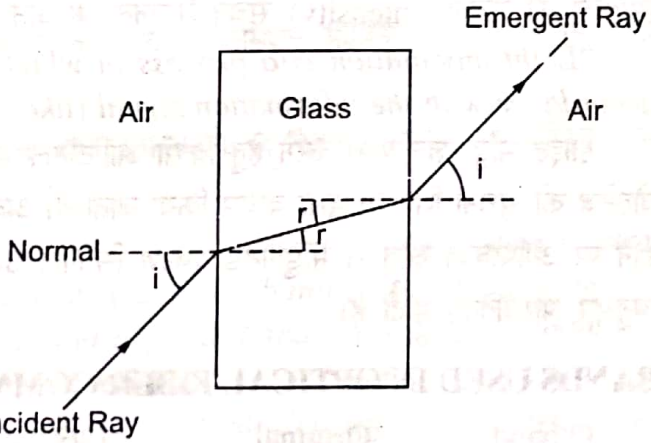
चित्र 2.4(a)—Refraction from rarer to denser medium



चित्र 2.4(b)—Refracted from denser to rarer medium

जैसा कि चित्र 2.4 में प्रदर्शित है यदि wave less dense medium से more dense medium (कम घनत्व वाले मीडियम से अधिक घनत्व वाले मीडियम) में pass होती है तब यह normal की ओर bent हो जाती है और angle of refraction (θ_2), angle of incidence (θ_1) की अपेक्षा कम होता है (अर्थात् if $\mu_2 > \mu_1$, $\theta_2 < \theta_1$)और यदि wave more dense medium से less dense medium (अधिक घनत्व वाले मीडियम से कम घनत्व वाले मीडियम) में pass होती है तब यह normal से दूर bent हो जाती है और angle of refraction (θ_2), angle of incidence (θ_1) से ज्यादा हो जाता है (अर्थात् if $\mu_2 > \mu_1$, $\theta_2 < \theta_1$)।

Refraction is the bending of a wave when it enters a medium where its speed is different. The refraction of light when it passes from a fast medium to a slow medium bends the light ray toward the normal to the boundary between the two media.



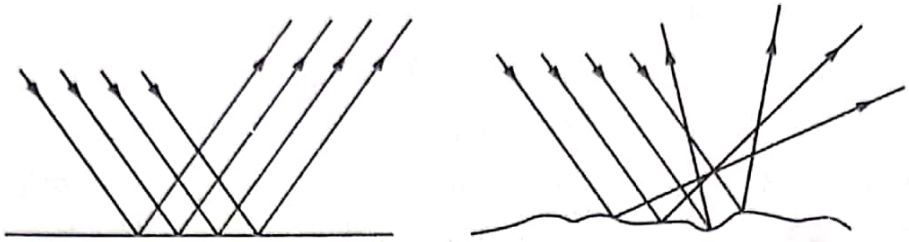
चित्र 2.5—Refraction through a glass slab

Diffusion—जब light किसी mirror के द्वारा reflect होती है तब angle of reflection, और angle of incidence equal हो जाता है। जब light किसी plain white paper, के piece (सफेद कागज़ के) टुकड़े के द्वारा reflected होती है तब भी reflected beams scatter (फैलना) या diffuse हो जाती है जैसा कि चित्र 2.6 में प्रदर्शित है।

चूँकि paper की surface smooth नहीं होती, इसलिए reflected light कई light beams में बँट जाती है जो all directions में reflect हो जाती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 2.6

Absorption—एक light beam reflect और diffuse हो जाती है जब यह एक white paper के piece पर पड़ती है। यदि light beam एक black paper के piece पर पड़ती है तब black paper most of the light rays (प्रकाश की अधिकांश किरणों) को absorb कर लेता है और बहुत कम light को reflect करता है यदि light beam एक ऐसी surface पर पड़ती है जो perfectly black है तब कोई reflection नहीं होता है। i.e totally absorb (प्रकाश का पूर्णत: अवशोषण) हो जाती है।

§ 2.4. ऑप्टिकल संचार के मूल सिद्धांत (Basic Principles of Optical Communication) :

''ऑप्टिकल फाइबर कम्यूनिकेशन वह विधि है जिसके द्वारा सूचना को ऑप्टिकल कैरियर तरंगों की सहायता से एक स्थान से दूसरे पर भेजा जाता है।''

"Optical fiber communication is a mode of communication by which we can transfer the information from one place to another through optical carrier waves."

लाइट मॉडुलेशन (Light Modulation)—लाइट मॉडुलेशन वह क्रिया है जिसमें प्रकाश सिगनल की तीव्रता (intensity) सूचन सिगनल के अनुसार परिवर्तित की जाती है।

"Light modulation is a process in which the intensity of light is varied in accordance with the information signal (like speech, music, digital code etc.)."

लाइट मॉडुलेशन प्राप्त करने हेतु किसी ऑप्टिकल स्रोत (LED या लेजर डायोड) की धारा या वोल्टेज को सूचना सिगनल द्वारा बायस किया जाता है। अत: आरोपित सूचना सिगनल वोल्टेज आरोपित होने पर ऑप्टिकल स्रोत से मॉडुलेटेड प्रकाश सिगनल उत्पन्न होता है, जिसकी तीव्रता सूचना स्रोत के अनुसार परिवर्तितत होती है।

BANDS USED IN OPTICAL FIBER COMMUNICATION

O band:	Original,	1260 – 1360 nm
E band:	Extended,	1360 – 1460 nm
O band:	Short,	1460 – 1530 nm
C band:	Conventional,	1530 – 1565 nm
L band:	Long,	1565 – 1625 nm
U band:	Ultra-long,	1625 – 1675 nm

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

§ 2.5. ऑप्टिकल संचार पद्धति अन्य संचार पद्धतियों से बेहतर क्यों है? (Why Optical Communication System is Highly Capable and Better than Other Communication Systems?) :

किसी संचार पद्धति के द्वारा सूचना carry करने की क्षमता (information carrying capacity) उसकी बैंडविड्थ के समानुपाती (directly proportional) होती है। यदि बैंड चौड़ाई (bandwidth) अधिक होगी, तो सूचना carry करने की क्षमता भी अधिक होगी। सामान्यत: कम्यूनिकेशन सिस्टम की बैंडविड्थ उसकी कैरियर आवृत्ति की 10% होती है। एक 100 MHz पर ऑपरेट करने वाले VHF रेडियो सिस्टम की बैंडविड्थ लगभग 10 MHz (कैरियर आवृत्ति का दस प्रतिशत) होती है। एक 6 MHz पर ऑपरेट करने वाले माइक्रोवेव रेडियो सिस्टम की बैंडविड्थ लगभग 0·6 GHz (अर्थात् 600 MHz) होती है।

अत: अधिक कैरियर आवृत्ति होने पर बैंडविड्थ अधिक होगी तथा information capacity भी अधिक होगी।

ऑप्टिकल संचार में प्रयुक्त होने वाली आवृत्तियाँ 10^{14} Hz से 4×10^{14} Hz (अर्थात् 1,00,000 से 4,00,000 GHz) के मध्य होती हैं। अत: बैंडविड्थ 10,000 से 40,000 GHz होती है। स्पष्ट है कि ऑप्टिकल ट्रांसमिशन बैंडविड्थ माइक्रोवेव ट्रांसमिशन की अपेक्षा 10,000 गुना (10^4 time) अधिक होती है। इतनी अधिक बैंडविड्थ न केवल वर्तमान युग की संचार आवश्यकताओं की पूर्ति करती है, बल्कि भविष्य की संचार आवश्यकताओं को भी पूरा करने में सक्षम है। इससे यह सिद्ध होता है कि ऑप्टिकल संचार पद्धति अन्य संचार पद्धतियों से बेहतर है।

प्रश्न यह उठता है कि ऑप्टिकल संचार का प्रयोग पूर्व में क्यों नहीं किया गया। इसके दो कारण हैं—

(i) ऑप्टिकल सिगनल उत्पन्न करने हेतु प्रकाश स्रोत उपलब्ध नहीं था।

(ii) ऑप्टिकल सिगनल को ट्रांसमिट करने हेतु ट्रांसमिशन मीडियम् अर्थात् केबिल उपलब्ध नहीं था।

आगे आप देखेंगे कि किस प्रकार उक्त दोनों समस्याओं का निदान हुआ जिससे ऑप्टिकल संचार सम्भव हो सका।

"The information carrying capacity of a communication system is directly proportional to its bandwidth. The wider the bandwidth, the greater is its information carrying capacity. Generally, the bandwidth of a communication system is about 10% of its carrier frequency.

Light frequencies used in optical communication system lie between 1,00,000 GHz to 4,00,000 GHz. The bandwidth corresponding to 1,00,000 GHz is 10,000 GHz. This bandwidth is around 10^4 times higher than the highest frequency microwave transmission. This enormous bandwidth makes optical transmission suitable to meet today's communication need and makes it highly capable and better than other communication system."

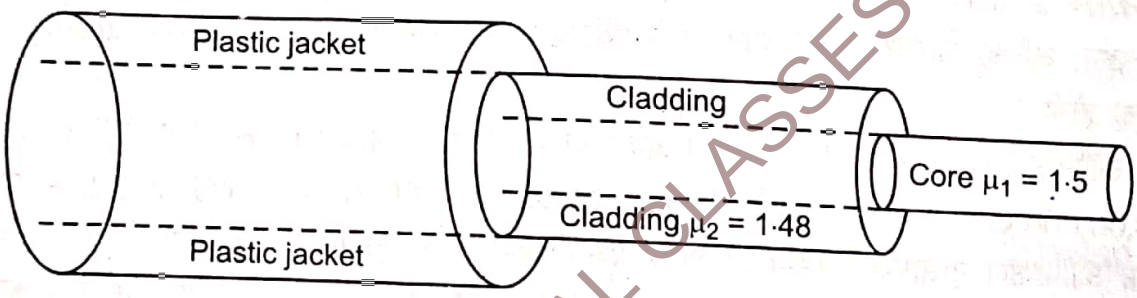
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

ऑप्टिकल संचार आवृत्तियाँ 1,00,000 GHz की रेंज की होती है। अत: ऑप्टिकल ट्रांसमिशन की बैंडविड्थ 10,000 GHz से भी अधिक होती है। इतनी अधिक बैंडविड्थ के कारण ऑप्टिकल संचार सिस्टम की information carrying capacity अधिक होती है तथा वह अन्य संचार प्रणालियों से बेहतर होती है।

§ 2.6. ऑप्टिकल फाइबर (Optical Fiber) :

प्रकाश सिगनलों (light signals) को एक स्थान से दूसरे स्थान पर ट्रांसमिट करने हेतु ऑप्टिकल फाइबर केबिल के रूप में प्रयुक्त किये जाते हैं। ऑप्टिकल फाइबर की संरचना चित्र 2.7 में प्रदर्शित है। ऑप्टिकल फाइबर के मुख्य भाग निम्न हैं—



चित्र 2.7—ऑप्टिकल फाइबर की संरचना

AKC TECHNICAL CLASSES

(i) **मध्य कोर** (Central core)—यह ऑप्टिकल फाइबर की अन्दरूनी (innermost) कोर होती है, जो पारदर्शी ग्लास, पोलीमर (polymer), प्लास्टिक (plastic) या पैरावैद्युत (dielectric) की बनी होती है। इस कोर का व्यास (diameter) 10 से 100 μm तक होता है। ग्लास कोर को इसलिये प्राथमिकता (preferred) दी जाती है क्योंकि प्लास्टिक कोर में प्रकाश सिगनल की तीव्रता में अधिक loss (high loss in the intensity of light) होता है।

(ii) **क्लैडिंग** (Cladding)—यह परत मध्य कोर के चारों ओर होती है तथा ग्लास या प्लास्टिक की बनी होती है। इसका inner diameter तथा outer diameter क्रमश: 100 μm तथा 420 μm होता है। क्लैडिंग का अपवर्तनांक μ_2 (refractive index) कोर के अपवर्तनांक μ_1 से थोड़ा सा कम (little less) होता है ($\mu_2 < \mu_1$) किन्तु अपवर्तनांकों में यह अन्तर बहुत कम होता है ($\mu_2 - \mu_1 \simeq 10^{-3}$)

(iii) **प्लास्टिक जैकेट या बफर कोटिंग** (Plastic jacket or Buffer coating)—ऑप्टिकल फाइबर को सुरक्षा (safety) तथा मजबूती (strength) प्रदान करने हेतु मध्य कोर तथा क्लैडिंग को प्लास्टिक जैकेट में कवर किया जाता है।

"The optical fibers are used as cables (transmission medium) to transmit light signals from one place to another without any appreciable loss in the intensity of light. The main parts of an optical fiber are central core, cladding and plastic jacket.

Scanned with CamScanner

(i) ***Central core***—*It is the innermost core of the optical fibre made of thin and fine quality glass or plastic. The diameter of this core is 10 to 100 μm, with refractive index* μ_1.

(ii) ***Cladding***—*It is a layer of glass or plastic surrounding the central core. Its inner and outer diameters are about 100 μm and 420 μm respectively. The refractive index of cladding is little less than that of the core, but this difference is very small* ($\simeq 10^{-3}$).

The presence of the cladding is not absolutely essential for the optical fiber for the propagation of optical signals through the core of the optical fiber, but it serves the following purposes:

(i) *It adds mechanical strength to the fiber and protects the fiber from absorbing surface contaminants with which it may come in contact.*

(ii) *The cladding is capable of reducing the scattering loss of light resulting from dielectric discontinuities at the core surface.*

(iii) ***Plastic jacket***—*It is a protective plastic jacket, which encloses central core and cladding, to provide safety and strength to optical fibre."*

§ 2.7. ऑप्टिकल फाइबर में प्रकाश का संचरण (Transmission of Light through Optical Fiber) :

यह पूर्ण परवर्तन (total internal reflection) के सिद्धान्त पर आधारित होता है। जिसको निम्न प्रकार से समझाया जा सकता है—

माना कि कोई प्रकाश पुंज ऑप्टिकल फाइबर के क्रोड (refractive index μ_1) से क्लैडिंग (refractive index μ_2) (जहाँ $\mu_1 > \mu_2$) में प्रवेश करता है। यह प्रकाश पुँज कोर-क्लैडिंग बाउन्ड्री (core-cladding boundary) पर आपतन कोण θ_i (angle of incidence) पर आपतित (incident) होता है।

स्नैल के नियम (Snell's law) के अनुसार—

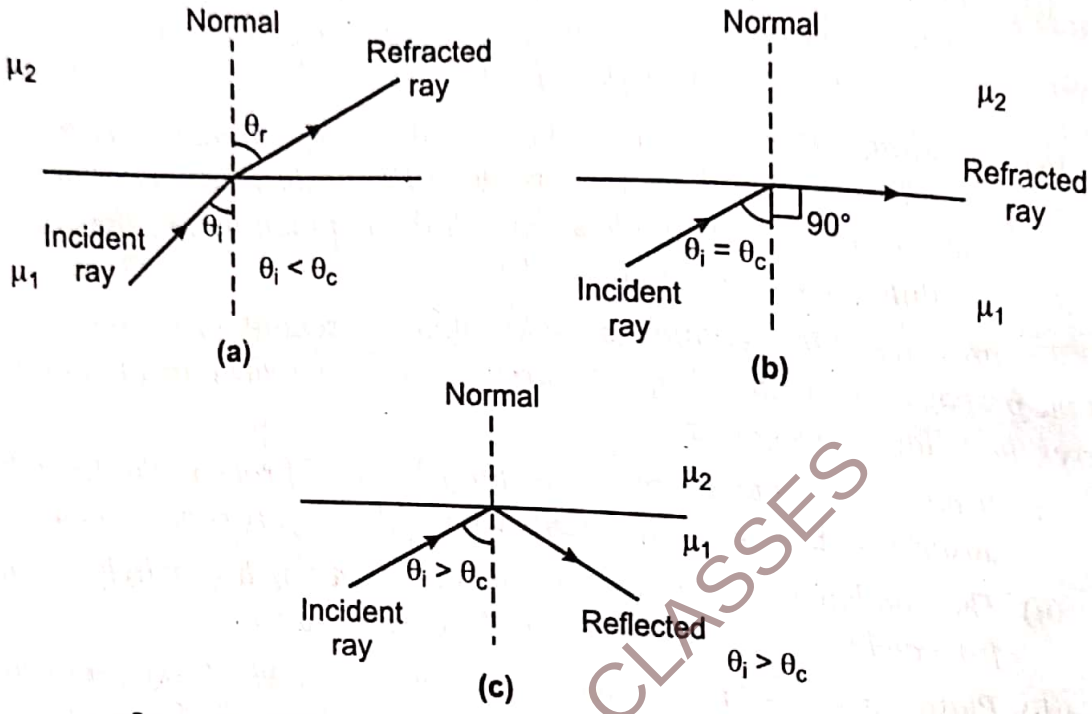
$$\mu_1 \sin\theta_i = \mu_2 \sin\theta_r \qquad ...(1)$$

अर्थात्
$$\sin\theta_r = \frac{\mu_1 \sin\theta_i}{\mu_2}$$

चूँकि $\mu_1 > \mu_2$, अत:, $\theta_r > \theta_i$ अर्थात् अपवर्तन कोण θ_r (angle of refraction) आपतन कोण θ_i (angle of incidence) से अधिक होगा (चित्र 2.8 (a))। यदि θ_i को बढ़ाया जाये तो अपवर्तन कोण बढ़ेगा तथा θ_i के एक विशेष मान θ_c (जिसको क्रिटिकल कोण (critical angle) कहा जाता है) पर θ_r का मान 90° हो जायेगा अर्थात् अपवर्तित पुंज (refracted ray) क्रोड-क्लैडिंग बाउन्ड्री के समान्तर हो जायेगी (चित्र 2.8(b))।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 2.8—विभिन्न आपतनों कोणों पर प्रकाश पुंज का व्यवहार ($\mu_1 > \mu_2$)
(a) $\theta_i < \theta_c$ (b) $\theta_i = \theta_c$ (c) $\theta_i > \theta_c$

समीकरण 1 के अनुसार—

$$\mu_1 \sin\theta_c = \mu_2 \sin 90^\circ \qquad (\theta_i = \theta_c \text{ तथा } \theta_r = 90^\circ)$$

अत:

$$\sin\theta_c = \frac{\mu_2}{\mu_1} \qquad \ldots(2)$$

या

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right) \qquad \ldots(3)$$

तथा

$$\cos\theta_c = \sqrt{1-\sin^2\theta_c}$$

$$= \sqrt{1-\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^2}$$

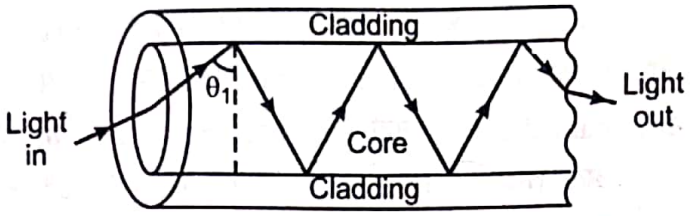
$$= \frac{\sqrt{\mu_1^2-\mu_2^2}}{\mu_1} \qquad \ldots(4)$$

यदि आपतन कोण θ_i को क्रिटिकल कोण θ_c से अधिक रखा जाये ($\theta_i > \theta_c$) तो आपतित पुँज का अपवर्तन (refraction) नहीं होगा बल्कि वह पूर्णत: परावर्तित (totally reflected) हो जायेगी (चित्र 2.8 (c))।

यही स्थिति एक ऑप्टिकल फाइबर में उत्पन्न होती है। जब प्रकाश पुँज क्रोड क्लैडिंग बाउन्ड्री पर पहुँचती है तो उसका आपतन कोण θ_i क्रिटिकल कोण θ_c से अधिक होता है। अत: इस प्रकाश पुँज का बार-बार पूर्ण परावर्तन (total internal reflection) होता है जिससे वह क्रोड में ही सीमित रहता है तथा कई किलोमीटर तक ट्रांसमिट किया जा सकता है। (चित्र 2.9)।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 2.9—ऑप्टिकल फाइबर में प्रकाश का संचरण

ऑप्टिकल फाइबर कई रूपों में उपलब्ध होते हैं जैसे प्लास्टिक कोर तथा क्लैडिंग (plastic core and cladding or PCC), ग्लास कोर तथा प्लास्टिक क्लैडिंग (glass core with plastic cladding or PCS, *i.e.*, plastic clad silica fibre) तथा ग्लास कोर तथा ग्लास क्लैडिंग (glass core and glass cladding or SCS, *i.e.*, silica clad silica fibre)।

प्लास्टिक फाइबर ग्लास फाइबर कर तुलना में लचीले (flexible), शक्तिशाली, सस्ते व हल्के होते हैं, किन्तु कम दक्ष (less efficient), अधिक ट्रांसमिशन loss वाले होते हैं।

चूँकि optical fiber में light का propagation total internal reflection के सिद्धान्त पर आधारित होता है, अत: क्लैडिंग का refractive index core के refractive index से थोड़ा कम रखा जाता है। अत: light ray बार-बार कोर-क्लैडिंग बाउन्ड्री पर reflect होकर बहुत दूर तक भेजी जा सकती है।

"Transmission of light through optical fibre is based on the phenomenon of total internal reflection of light. When a light enters from a denser medium (refractive index μ_1) to a rarer medium (refractive index μ_2), i.e., $\mu_1 > \mu_2$ and the angle of incidence is greater than the critical angle θ_c, then there in no refracted ray and incident light is totally internally reflected back. Thus, total internal reflection is said to take place.

This is the condition which is applicable during the transmission of light trough optical signals. In a optical fiber, the refractive index of the core is reater than that of the cladding, (i.e., we can say that core is denser and ladding is rarer medium). Since the core dimension is quite small (≃ 10 μm), the ray of light entering the core will meet the core-cladding boundary at ri ngle greater than the critical angle. Hence, the ray of light will suffer total intemal reflection. There will be successive total internal reflections at oppsite boundaries of core-cladding surface, and so the ray of light will be confined in the core of optical fiber, and emerges out with maximum intensity even if the optical fiber is several kilometers long. Since the ray of light travels in the core a guided manner, the optical fiber is also called optical waveguide."

Acceptance Angle—Fiber optics में optical fiber में प्रकाश का propagation total internal reflection पर आधारित होता है तथा जब incident ray का angle critical angle से ज्यादा होता है तो वह fiber में propagate कर सकती है।

चित्र 2.10 में meridional ray show की गयी है जोकि critical angle θ_c पर core cladding interface पर strike करती है। यदि यह ray fiber core की axis से θ_a angle पर fiber में प्रवेश करती है और air core पर इसका refraction होता है इसके बाद यदि यह core

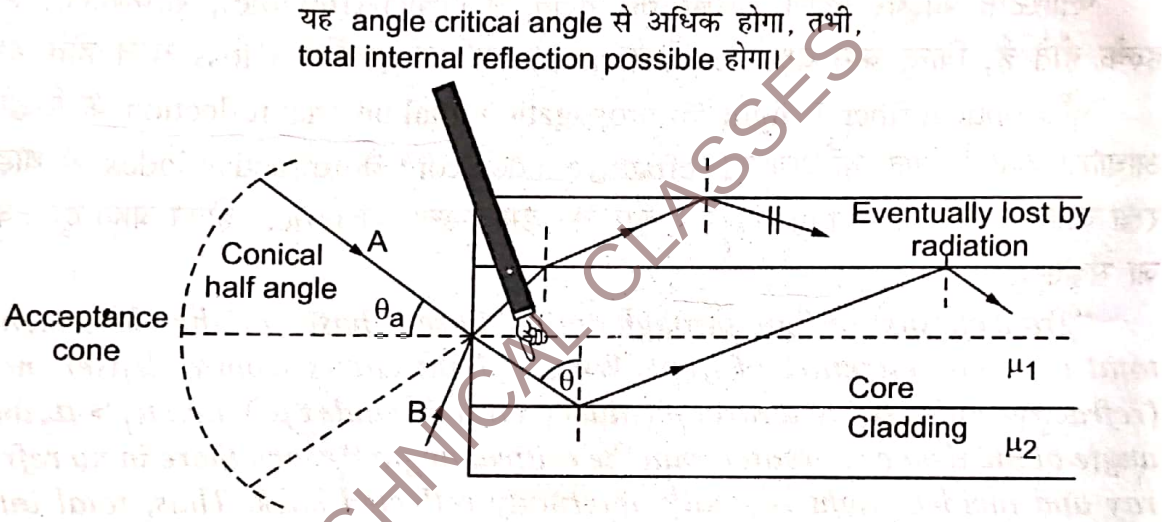
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

cladding interface पर θ_c से अधिक angle पर strike करेगी, तभी इसका Total Internal reflection होगा। Strike करती है अत: यदि कोई ray fiber पर θ_a angle से अधिक angle पर पहुँचेगी। तो वह core cladding interface पर θ_c से कम angle पर पहुँचेगी और उसका total internal reflection नहीं होगा और यह ray lost हो जायेगी।

अत: fiber में transmission हेतु यह आवश्यक है कि rays fiber में acceptance cone के अन्दर-अन्दर ही incident हो। इस acceptance angle को conical half angle θ_a द्वारा define किया जाता है।

θ_a axis वह अधिकतम angle होता है जिसके अन्दर रहने पर light fiber में enter कर सकती है और propagate हो सकती है इसको fiber का acceptance angle कहा जाता है।



चित्र 2.10—Acceptance angle

Numerical Aperture—न्यूमेरिकल अपरचर किसी optical fiber द्वारा light को capture करने की क्षमता का माप होती है इसको fiber का acceptance cone परिभाषित करने के लिए भी use किया जाता है। चित्र 2.11 में fiber core पर acceptance angle से कम angle θ_1 पर एक light ray incident की गयी। यह ray किसी medium (refractive index μ_0) से fiber की core (refractive index μ_1) प्रवेश करती है इस fiber की cladding का refractive index μ_2 है जो μ_1 से थोड़ा सा कम है ताकि total internal reflection हो सके। चित्र से यह स्पष्ट है कि एक cone of acceptance होगा जिसके अन्दर की किरणें ही fiber में प्रवेश कर सकेगी। यदि कोई ray जोकि cone के अन्दर है तो fiber द्वारा capture हो जायेगी और mode के रूप में fiber में propagate करेगी।

हम जानते हैं कि,

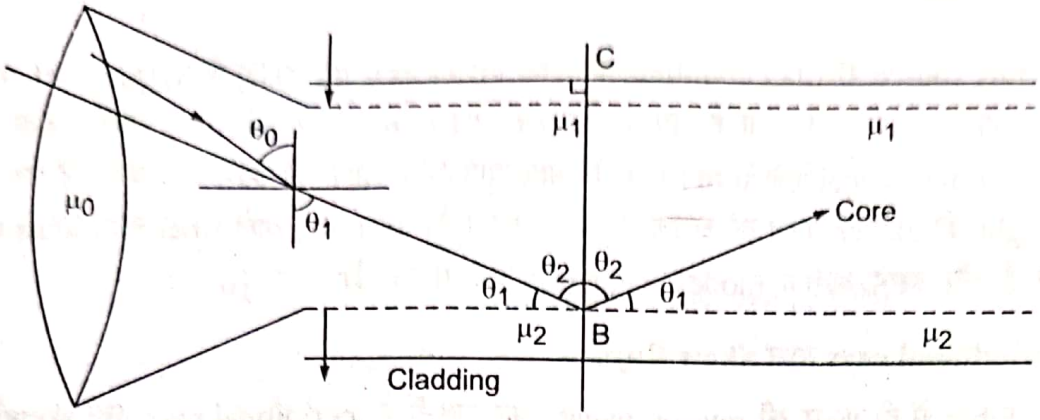
$$\sin \theta_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} \qquad ...(1)$$

जहाँ θ_2 critical angle को व्यक्त करता है। Snell's law के अनुसार

$$\mu_0 \sin \theta_0 = \mu_1 \sin \theta_1 \qquad ...(2)$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 2.11

अब, $$\cos\theta_1 = \sin\theta_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

इसलिए $$\sin\theta_1 = \sqrt{1-\cos^2\theta_1} = \sqrt{1-\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^2} \quad ...(3)$$

चूँकि $\mu_0 = 1$ (for air), अत: समीकरण 1 व 3 से

$$\sin\theta_0 = \mu_1\sqrt{1-\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^2} \quad ...(4)$$

Numerical aperture की परिभाषा के अनुसार

$$NA = \mu_0 \sin\theta_0$$

अत: $$NA = \sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2} \quad ...(5)$$

Numerical aperture को सापेक्ष अपवर्तनांक अन्तर Δ (relative refractive index difference) के रूप में भी व्यक्त किया जा सकता है।

$$\Delta = \frac{\mu_1^2 - \mu_2^2}{2\mu_1^2} \quad ...(6)$$

$$\Delta = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1} \text{ for } \Delta \le 1 \quad ...(7)$$

समी० (5) तथा (7) को combine करने पर

$$\sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2} = \sqrt{2\mu_1^2\Delta}$$

या $$NA = \mu_1(2\Delta)^{1/2} \quad ...(8)$$

Numerical aperture किसी fiber की light को इकट्ठा करने की क्षमता को मापने का एक सुविधाजनक तरीका है। Source से fiber की power coupling efficiencies अर्थात् प्रकाश शक्ति को युग्मित करने की दक्षता को मापने के लिए इसका प्रयोग किया जाता है एक उच्च numerical

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

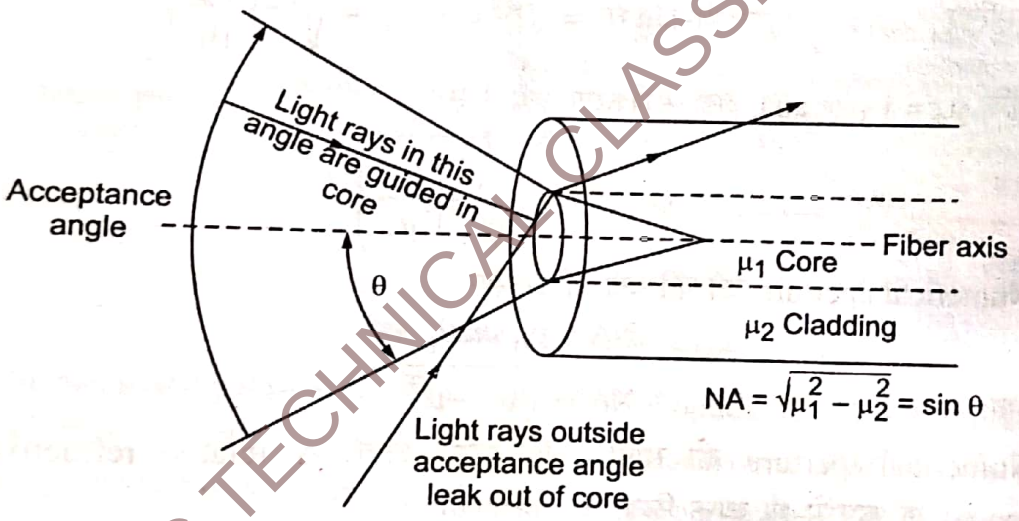
aperture source से fiber coupling की उच्च efficiency को दर्शाता है। Glass fiber के लिए इसका मान 0·2 से 0·3 होता है। Plastic fibers का numerical aperture अधिक होता है।

अत: numerical aperture fiber की महत्वपूर्ण अभिलक्षणों को अभिव्यक्त करता है यह fiber की light को gather करने की क्षमता को व्यक्त करता है। उच्च NA वाले fiber का radius small होात है और इसमें अधिक modes propagate कर सकती है।

Meriodional rays तथा Skew Rays—

Fiber में दो प्रकार की rays propagate कर सकती है meridional rays तथा skew rays।

Meridional Rays—यह rays fiber के meridional plane तक ही सीमित रहती है। यह वह plane होते हैं जिन पर fiber की axis (या core axis) lie करती है। Meridional ray एक single plane में propagate करती है और इसका path track करना आसान होता है। यह दो प्रकार की होती हैं bound rays तथा unbound rays।



चित्र 2.12

Bound rays fiber की core में trap सीमित होकर core में propagate कर सकती है जबकि unbound rays refract होकर fiber core से बाहर निकल जाती है तथा fiber में travel नहीं कर सकती है।

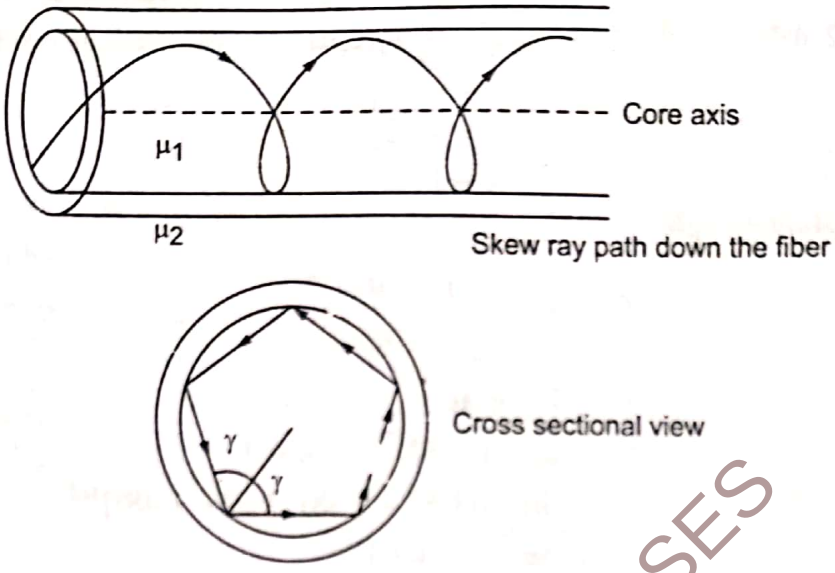
Skew Rays—Skew rays बिना fiber के core से pass हुए propagate करती है। यह किसी single plane में सीमित न रहकर helical path (spring की तरह) में propagate करती है। (चित्र 2.12(b))

इनको track करना मुश्किल होता है क्योंकि इनका motion three dimensional होता है। प्रत्येक reflection के बाद इनका direction 2γ angle change हो जाता है।

जहाँ γ = angle between the projection of the ray in two dimensions and the radius of the fiber core at the point of reflection अर्थात् γ ray के projection तथा reflection बिन्दु पर fiber core के radius के बीच के angle को व्यक्त करता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 2.12(b)

अत: skew rays के fiber से बाहर आने का बिन्दु reflections की संख्या पर निर्भर करता है (जबकि meridional rays में यह input conditions पर निर्भर करता है) यदि fiber में light input uniform नहीं होती तो skew rays द्वारा transmitted light के वितरण में smoothing प्रभाव उत्पन्न किये जाने के कारण output light uniform हो जाती है। Skew rays का एक advantage यह है कि इनके लिए fiber का numerical aperture (तथा acceptance angle भी) अधिक होता है।

Acceptance angle for skew rays को निम्न सूत्र द्वारा calculate किया जा सकता है।

$$\sin \theta_{as} = \frac{\mu_1}{\mu_0 \cdot \cos \gamma} \left(1 - \frac{\mu_2^2}{\mu_1^2}\right)^{1/2}$$

जहाँ θ_{as} = Acceptance angle for skew rays

γ = Angle between core radius and projection of ray on a plane normal to core axis.

Skew rays का numerical aperture—

$$NA = \sin \theta_{as} \cdot \cos \gamma$$

Skew rays propagate without passing through the center axis of the fiber. The acceptance angle for skew rays is larger than the acceptance angle of meridional rays. Skew rays are often used in the calculation of light acceptance in an optical fiber. The addition of skew rays increases the amount of light capacity of a fiber. In large NA fibers, the increase may be significant.

Near field and Far Field—यदि electromagnetic field fiber के पास वाले छोर पर measure की जाती है तो उसे near field कहते हैं किन्तु near field को directly measure करना मुश्किल होता है इसलिए fiber के दूर वाले छोर पर field को measure करके near field की calculation की जाती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

प्रश्न—एक multimode index fiber के लिए core तथा cladding की refractive index 1·52 तथा 1·48 है। इसके angle of acceptance तथा critical angle की गणना कीजिए।

$$\mu_1 = 1{\cdot}52$$
$$\mu_2 = 1{\cdot}48$$

Acceptance angle

$$\theta_a = \sin^{-1}\left[\frac{(\mu_1^2 - \mu_2^2)^{1/2}}{\mu_0}\right]$$

जहाँ

$$\mu_0 = 1 \text{ (for air)}$$

$$\theta_A = \sin^{-1}[(1{\cdot}52)^2 - (1{\cdot}48)^2]^{1/2}$$
$$= \sin^{-1}[(1{\cdot}52 + 1{\cdot}48)(1{\cdot}52 - 1{\cdot}48)]^{1/2}$$
$$= \sin^{-1}[3 * 0{\cdot}04]^{1/2}$$
$$\theta_a = \sin^{-1}[0{\cdot}12]^{1/2} = 20{\cdot}26^\circ$$

Critical angle $\theta_C = \sin^{-1}\left(\frac{1{\cdot}48}{1{\cdot}52}\right) = 76{\cdot}82^\circ$

§ 2.8. ऑप्टिकल फाइबर के प्रकार तथा उनकी विशेषताएँ (Types of Optical Fiber and their Characteristics) :

ऑप्टिकल फाइबर का वर्गीकरण कई आधार पर किया जा सकता है। पिछले खण्ड में आपने देखा कि क्लैडिंग का अपवर्तनांक (refractive index) कोर से कम होता है। यदि कोर के पदार्थ का अपवर्तनांक uniform है तो कोर से क्लैडिंग की ओर अपवर्तनांक एकदम से (abruptly) परिवर्तित होगा तो इस प्रकार का ऑप्टिकल फाइबर स्टैप इंडैक्स (step index) फाइबर कहलाता है। यदि कोर से क्लैडिंग की ओर अपवर्तनांक का परिवर्तन धीरे-धीरे (gradually) कम होता है, तो फाइबर को ग्रेडेड इंडैक्स (graded index) फाइबर कहा जाता है।

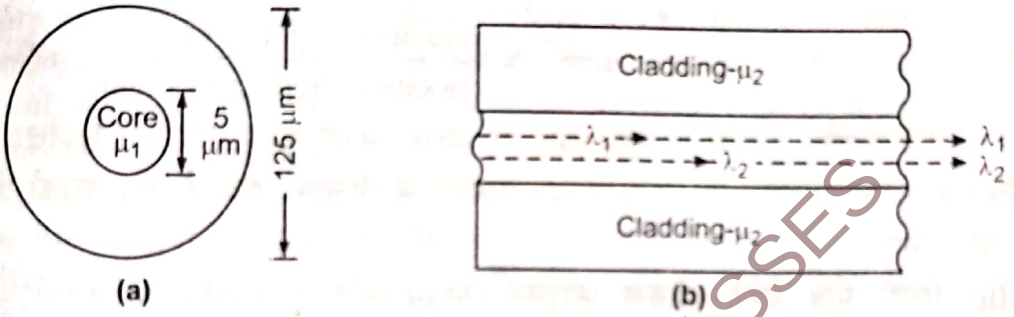
मोड के आधार पर भी ऑप्टिकल फाइबर का वर्गीकरण किया जा सकता है। ऑप्टिकल फाइबर में प्रकाश का संचरण निर्देशित विद्युत चुम्बकीय तरंगों के रूप में (in terms of guided electromagnetic waves) वर्णित (describe) किया जा सकता है, जिनको मोड (mode) कहा जाता है। प्रत्येक निर्देशित मोड (guided mode) विद्युत तथा चुम्बकीय लाइनों का एक pattern है, जो कि फाइबर में बार-बार repeat किया जाता है। फाइबर की dimension तथा configuration के आधार पर, एक फाइबर में कुछ निश्चित मोड ही प्रोपेगेट हो सकते है। **यदि फाइबर में एक ही मोड propagate हो सकता है तो उसे सिंगल मोड फाइबर (single mode fibre) कहा जाता है। यदि फाइबर में कई मोड propagate हो सकते हैं, तो उसे मल्टीमोड फाइबर (mutlimode fibre) कहा जाता है।**

अत: ऑप्टिकल फाइबर निम्न प्रकार के होते हैं—

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(i) सिंगल-मोड स्टैप-इंडैक्स फाइबर (Single mode step-index fiber)—इसमें मध्य कोर बहुत पतला होता है तथा इसका व्यास (diameter) 5 μm से 10 μm होता है तथा अपवर्तनांक (refractive index) $\mu_1 = 1{\cdot}5$ होता है (चित्र 2.13 (a))। क्लैडिंग का diameter लगभग 125 μm तथा अपवर्तनांक $\mu_2 = 1{\cdot}48$ होता है। Step index से तात्पर्य यह है कि core-cladding के मध्य well defined boundary होती है तथा refracting index abruptly (एकदम से) change होता है।

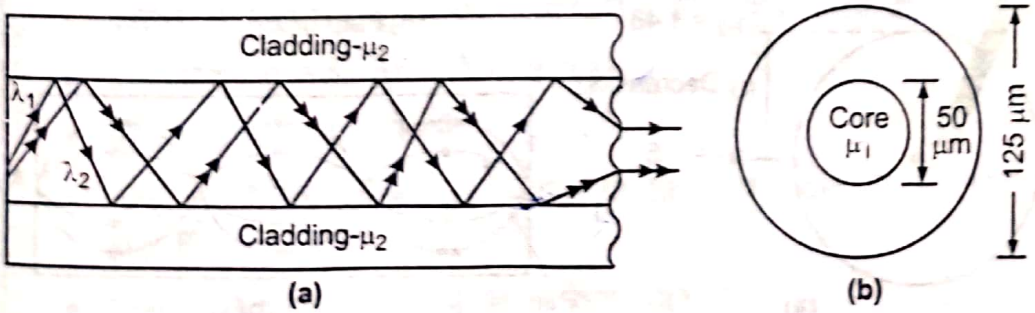


चित्र 2.13—सिंगल-मोड स्टैप-इंडैक्स फाइबर (a) संरचना (b) प्रोपेगेशन

इस फाइबर का कोर अत्यन्त पतला होता है। इसमें प्रकाश का propagation परावर्तनों (reflections) से नहीं होता अर्थात् इस फाइबर में प्रवेश करने वाले प्रकाश पुंज (light rays) सीधे travel करते हैं (चित्र 2.13 (b)) या फिर केवल एक बार उनका पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (total internal reflection) होता है। अतः यदि दो अलग-अलग वेवलैंथ (wave length) के प्रकाश पुँज इस फाइबर मे प्रवेश करें, तो वह एक ही पथ का अनुसरण करते हैं (follow the same path) तथा उन्हें फाइबर में travel करने में एक ही समय लगता है।

(ii) मल्टी-मोड स्टैप-इंडैक्स फाइबर (Multi-mode step-index fiber)—इसकी संरचना सिंगल मोड स्टैप-इंडैक्स फाइबर की भाँति होती है किन्तु इसका सैन्ट्रल कोड बड़ा होता है (लगभग 50 μm व्यास का) (चित्र 2.14(a))। इसमें भी core-cladding boundary clear-cut होती है किन्तु इसमें कई modes एक साथ प्रोपेगेट कर सकते हैं।

मल्टी-मोड स्टैप-इंडैक्स फाइबर में प्रकाश का प्रोपेगेशन total internal reflection द्वारा होता है।



चित्र 2.14—मल्टीमोड स्टैप इंडैक्स फाइबर (a) संरचना (b) प्रोपेगेशन

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

यदि मल्टीमोड स्टैप-इंडैक्स फाइबर में दो अलग-अलग वेवलैंथ के प्रकाश पुँज प्रवेश करते हैं, तो वह अलग-अलग पथों का अनुसरण (follow different paths) करते हैं, क्योंकि पदार्थ का अपवर्तनांक μ प्रकाश का वेवलैंथ पर कौची के सम्बन्ध (Cauchy's relationship) के अनुसार निर्भर करता है—

$$\mu = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \qquad ...(1)$$

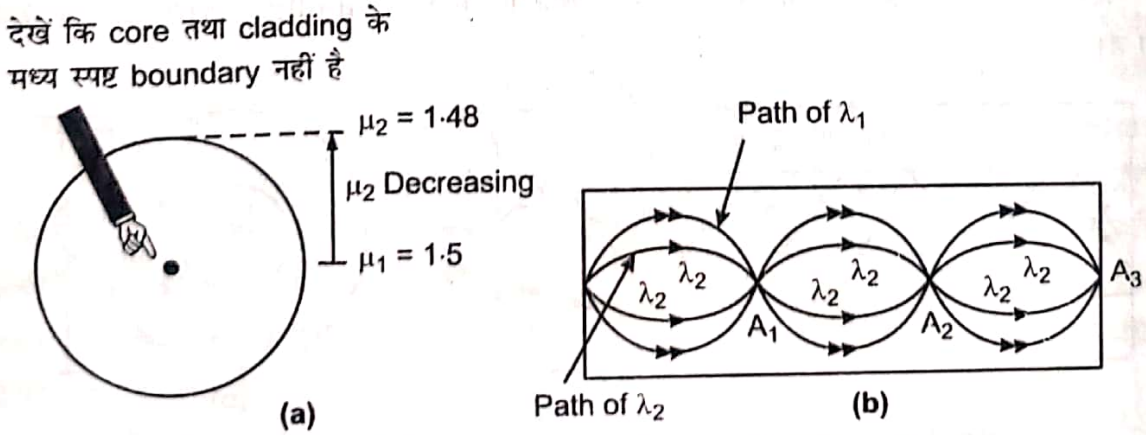
जहाँ A, B, C नियतांक हैं।

तथा $$\mu = \frac{c}{v} = \frac{\text{velocity of light in vaccum}}{\text{velocity of light in medium}}$$

अत: दोनों वेवलैंथ फाइबर के दूसरे छोर पर अलग-अलग समय तथा अलग-अलग पथों से पहुँचती हैं इससे आउटपुट पर प्राप्त प्रकाश सिगनल में विरूपण होता है तथा उसकी तीव्रता में भी कमी आती है।

(iii) मल्टी मोड ग्रेडेड-इंडैक्स फाइबर (Multimode graded-index fiber)—इस फाइबर में कोर तथा क्लैडिंग के मध्य clear cut separation नहीं होता। कोर तथा cladding का अपवर्तनांक non-uniform होता है। कोर के centre में अपवर्तनांक अधिकतम होता है तथा फाइबर की बाहरी सतह की ओर (क्लैडिंग की ओर) घटता है (चित्र 2.15 (a))। Refractive index में परिवर्तन धीरे-धीरे किन्तु लगातार (slow but gradual) होता है।

यदि मल्टीमोड ग्रेडेड इंडैक्स फाइबर में दो अलग-अलग वेवलैंथ λ_1 तथा λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2$) के प्रकाश पुँज प्रवेश करते हैं तो वह अलग-अलग पथों का अनुसरण करते हैं, किन्तु यह पथ कुछ बिन्दुओं पर मिलते (focus) भी हैं (चित्र 2.15 (b)) जैसे A_1, A_2 इत्यादि। ऐसा इसलिये क्योंकि वेवलैंथ λ_1 के लिये पदार्थ का अपवर्तनांक λ_2 की अपेक्षा कम होता है (समीकरण 1 देखें)। अत: वेवलैंथ λ_1 के लिये प्रकाश के गति अधिक होती है (λ_2 की अपेक्षा) अत: λ_1 का पथ λ_2 की अपेक्षा लम्बा होता है किन्तु यह A_1 तथा A_2 पर एक ही समय में पहुँचती हैं। अत: इस प्रकार के फाइबर में प्रकाश की सभी वेवलैंथ लगभग एक साथ पहुँचती हैं। अत: इस फाइबर में आउटपुट प्रकाश सिगनल की तीव्रता मल्टीमोड स्टैप-इंडैक्स फाइबर से अधिक होती है।



चित्र 2.15—मल्टीमोड ग्रेडेड इंडैक्स फाइबर (a) संरचना (b) प्रोपेगेशन

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

"If the refractive index of core is uniform, there occurs an abrupt change in the refractive index value when we move from the core to cladding, i.e. at the core-cladding interface, such fibres are known as step index fibers.

In same fibres, refractive index gradually decreases from center towards the surface of the core. Such fibers are known as graded index fibres.

The propagation of light along an optical fiber is described in terms of a set of guided electromagnetic waves called the modes of optical fibres. Each quided mode is a pattern of electric and magnetic field lines which is repealed along the fibre at intervals, equal to the wavelength. The number of modes which can progagate through the fiber depend an dimension and configuration of the fiber. If only one mode can propagate though the fiber, it is called a single mode fiber. If many modes propagate, it is called a multimode fibre.

In a monomode fiber, the diameter of the fiber core is of a size comparable to the wavelength of light. The diameter of core is very small (= 5 μm) and light wavelengths rays propagate straight down the core without reflections. This effectively gives a single transmission path which in turn leads to low dispersion and high bit rate capability.

In a multimode fiber, the diameter of fiber core is significantly greater than the wavelength of lifht being propagated along the fiber (= 50 μm). The rays propagate along the fiber by multiple internal reflections.

AKC TECHNICAL CLASSES

सिंगल-मोड स्टैप इंडैक्स फाइबर

- छोटे आकार की कोर (≈ 5 μm)।
- कोर--क्लैडिंग बाउन्ड्री पर अपवर्तनांक में अकस्मात् (abrupt) परिवर्तन अर्थात् स्पष्ट कोर-क्लैडिंग बाउन्ड्री।
- न्यूनतम dispersion ।
- अधिक accuracy ।
- अधिक ट्रांसमिशन दर।
- अधिक बैंडविड्थ।
- फाइबर से प्रकाश couple करना मुश्किल (कोर बहुत पतली होने के कारण)
- उच्च दैशिकता वाले स्रोत की आवश्यकता।
- महँगे तथा बनाने में मुश्किल।
- इनकी स्पलाइसिंग (splicing) (अर्थात् दो fibers को join करना) बहुत मुश्किल होती है।
- इनको under sea cables में प्रयुक्त किया जाता है।

Scanned with CamScanner

मल्टीमोड स्टैप-इंडैक्स फाइबर

- बड़े आकार की कोर ($\simeq 50\ \mu m$)
- कोर क्लैडिंग बाउन्ड्री पर अपवर्तनांक में अकस्मात् (abrupt) परिवर्तन अर्थात् स्पष्ट कोर-क्लैडिंग बाउन्ड्री।
- फाइबर से प्रकाश couple करना आसान।
- सस्ते, बनाने में आसान।
- अधिक विरूपण।
- कम बैंडविड्थ।
- low ट्रांसमिशन रेट।
- इनकी स्पलाइसिंग अपेक्षाकृत आसान होती है।
- इनको data link में उपयोग किया जाता है।

मल्टीमोड ग्रेडेड-इंडैक्स फाइबर

- कोर से क्लैडिंग की ओर अपवर्तनांक का धीरे-धीरे कम होना अर्थात् अस्पष्ट कोर-क्लैडिंग बाउन्ड्री।
- फाइबर में प्रकाश couple करना आसान।
- सिंगल मोड स्टैप इंडैक्स से अधिक विरूपण (किन्तु मल्टीमोड स्टैप इंडैक्स से कम)।
- संरचना सिंगल मोड स्टैप इंडैक्स से सरल।
- इनकी स्पलाइसिंग मुश्किल होती है।
- इनको Intercity trunks में प्रयुक्त किया जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 2.9. ऑप्टिकल स्रोत (Optical Sources) :

फाइबर ऑप्टिकल संचार में प्रयुक्त होने वाले मुख्य ऑप्टिकल स्रोत हैं—लाइट इमिटिंग डायोड (LED) तथा इंजैक्शन लेजर डायोड (ILD)।

यह स्रोत ऑप्टिकल कम्यूनिकेशन के लिये उपयुक्त होते हैं क्योंकि (a) यह ऑप्टिकल फाइबर संचार हेतु उपयुक्त पॉवर उत्पन्न कर सकते हैं। (b) लेज़र द्वारा monochromatic (सिंगल वेवलैंथ) व coherent प्रकाश बीम उत्पन्न की जा सकती है जिसको अधिक दूरी तक ट्रांसमिट किया जा सकता है। (c) LED द्वारा उत्पन्न प्रकाश कम monochromatic (अर्थात् wideband) होता है किन्तु LED सस्ता होता है तथा कम दूरी ट्रांसमिशन हेतु उपयुक्त होता है। (d) LED या लेजर डायोड द्वारा उत्पन्न प्रकाश का आरोपित वोल्टेज या धारा इनका सूचना सिगनल के अनुसार परिवर्तित किया जा सकता है। (e) LED तथा Laser डायोड की dimensions ऑप्टिकल फाइवर के compatable (समरूप) होती हैं अत:, इनको ऑप्टिकल फाइबर से आसानी से couple किया जा सकता है।

Scanned with CamScanner

(i) लाइट इमिटिंग डायोड (Light emitting diodes or LEDs)—प्रकाश उत्सर्जक डायोड (या LED) ऐसे *p-n* सन्धि डायोड होते हैं जो चालन (अग्र बायस) की अवस्था में प्रकाश का उत्सर्जन करते हैं।

यदि एक *p-n* जंक्शन को अग्र बायस किया जाये तो वह पोटैन्शियल बैरियर का विरोध करता है। इससे डिप्लीशन परत की चौड़ाई कम हो जाती है। अत:, *p-n* जंक्शन पर मैजोरिटी वाहकों का डिफ्यूज़न होता है तथा इलेक्ट्रॉनों व होल का पुन: संयोग (recombination) होता है। प्रत्येक पुन: संयोग में ऊर्जा मुक्त होती है, जो कि प्रकाश के फोटॉन (photon of light) के रूप में होती है। इस फोटॉन की वेवलैंथ सेमीकन्डक्टर के संयोजी बैंड (valence band) व चालन बैंड (conduction band) के मध्य ऊर्जा अन्तराल E_g (energy gap) पर निर्भर करती है । प्रकाश फोटॉन की वेवलैंथ समीकरण $E_g = hc/\lambda$ से ज्ञात की जा सकती है अर्थात्

$$\lambda = \frac{hc}{E_g}$$

जहाँ h = Planck's constant = $6{\cdot}634 \times 10^{-34}$

c = velocity of light = 3×10^8 m/s

अत: सेमीकन्डक्टर में चालन व संयोजी बैंड का ऊर्जा अन्तराल (Energy gap) इस प्रकार होना चाहिये, जिससे visible radiations उत्पन्न हों। visible radiations की वेवलैंथ 400 nm से 800 nm होती है, जिनके लिये सेमीकन्डक्टर ऊर्जा अन्तराल 1·55 eV से 3·11 eV होना चाहिये। चूँकि Si ($E_g \simeq 1{\cdot}1$ eV) तथा Ge ($E_g \simeq 0{\cdot}72$ eV) का ऊर्जा अन्तराल कम होता है, अत: यह LED हेतु उपयुक्त नहीं होते। गैलियम आरसेनाइड GaAs (Gallium Arsenide) जिसका ऊर्जा अन्तराल लगभग 1·55 eV होता है, LED बनाने के लिये प्रयुक्त किया जाता है।

"When p-n junction is forward biased, it opposes the potential barriers of the junction so, the size of deplation region decreses and majority carriers cross the junction. Recombination of electrons and holes take place and energy is released in the form of photon of light. If the energy gap between valence and conduction band of the semiconductor lies between 1·55 eV to 3·11 eV, the emitted light falls in the visible range (wavelength range of 400 nm to 800 nm). Since energy gap for Si and Ge is less than 1·55 eV (1·1 eV and 0·72 eV respectively) they are not suitable for LEDs, instead, GaAs ($E_g \simeq 1{\cdot}55$ eV) alone in conjunction with aluminium doped Gallium Arsenide are commonly used for LED's. In visible region, LEDs available are of green, orange, red and other colours."

(ii) लेजर डायोड (Laser diodes)—LASER का तात्पर्य light amplification by stimulated emission of radiation से है। लेज़र बीम की कार्यप्रणाली विकिरणों के उत्तेजित उत्सर्जन तथा जनसंख्या प्रतिलोमन (stimulated emission of radiation and population inversion) पर आधारित होती है।

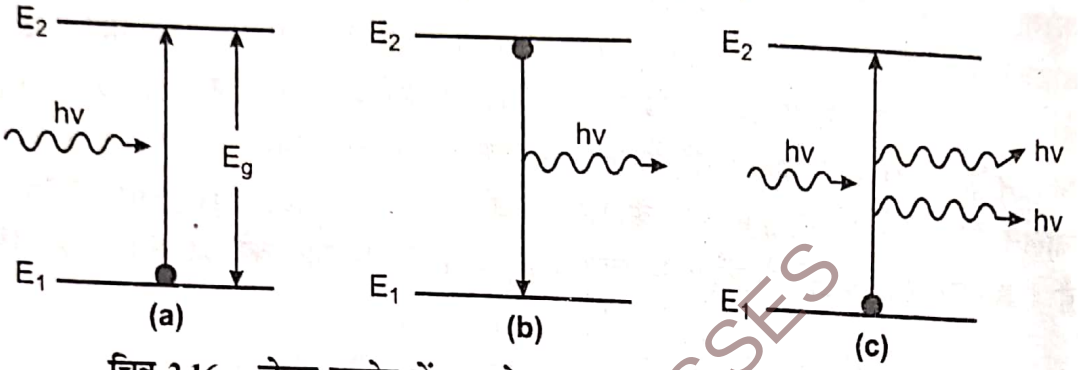
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

एक सेमीकन्डक्टर लेजर डायोड में तीन मुख्य क्रियाएँ होती हैं—

(i) Photon absorption
(ii) Spontaneous emission
(iii) Stimulated emission

इन क्रियाओं को चित्र 2.16 में प्रदर्शित किया गया है जहाँ—



चित्र 2.16—लेज़र डायोड में अवशोषण तथा उत्सर्जन क्रियाएँ (a) अवशोषण (b) Spontaneous उत्सर्जन (c) Stimulated उत्सर्जन

E_1–stable ground state energy level
E_2–unstable excited state energy level

इन दो ऊर्जा स्तरों के मध्य अन्तराल E_g (energy gap) है।

अत:, कोई इलैक्ट्रान एक स्तर से दूसरे स्तर पर transition करता है तो photon का अवशोषण अथवा उत्सर्जन (absorption or emission) होता है

प्लैन्क (Planck) के नियम के अनुसार

$$h\nu = E_2 - E_1$$

जहाँ h = Planck's constant

ν = frequency of emission or absorption

सामान्यतया, इलैक्ट्रॉन स्थाई अवस्था (अर्थात् ग्राउन्ड स्टेट) में रहते हैं। माना युक्ति पर ऊर्जा $h\nu = E_2 - E_1$ का photon आपतित (incident) होता है, तो इलैक्ट्रॉन इस फोटॉन का अवशोषण (absorption) करके E_2 state पर ट्रांसफर हो जाता है (चित्र 2.15 (a))। यह फोटॉन अवशोषण प्रक्रिया (photon absorption process) है।

चूँकि E_2 exited स्टेट है तथा अस्थाई है, अत: इलैक्ट्रॉन अपने आप (spontaneously) वापस ग्राउन्ड पर आ जाता है तथा ग्राउन्ड स्टेट पर वापस आते समय एक फोटॉन का उत्सर्जन करता है (चित्र 2.16 (b))। इसको spontaneous emission कहा जाता है। यह उत्सर्जन random होते हैं तथा इनमें उत्सर्जित होने वाले फोटॉन में कोई कला सम्बन्ध (phase relationship) नहीं होता।

यदि कोई फोटॉन excited state के इलैक्ट्रॉन से interact करता है तथा इलैक्ट्रॉन को आपतित फोटॉन (incidents photon) की दिशा में तथा समान कला में फोटॉन उत्सर्जन के लिये प्रेरित करता है तो इसे उत्तेजित उत्सर्जन या प्रेरित उत्सर्जन (stimulated emission or induced emission) कहा जाता है (चित्र 2.16 (c))। इस प्रक्रिया के repeat होने से हमें

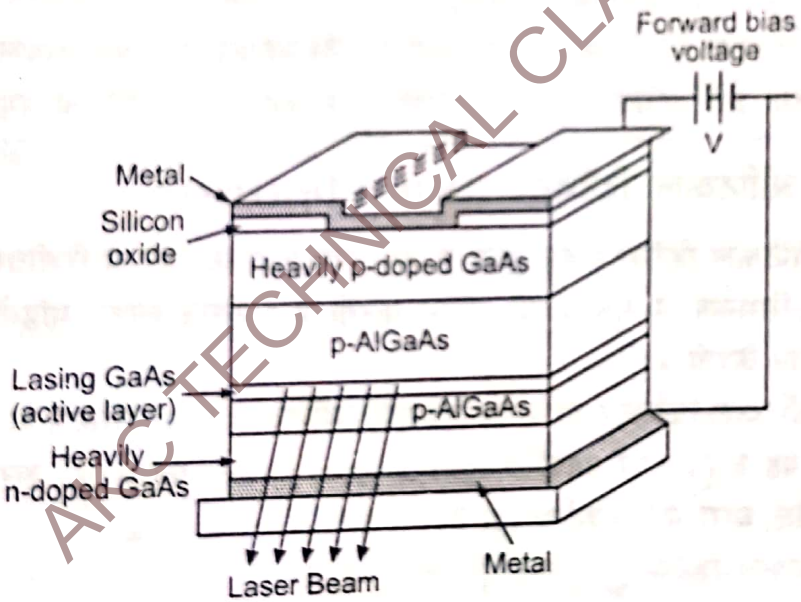
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

visible light की intense monochromatic unidirectional beam (तीव्र एकल वेवलैंथ एकल दिशीय बीम) प्राप्त होती है।

Stimulated emission हेतु population inversion प्रक्रिया आवश्यक है। Population inversion से तात्पर्य यह है कि excited energy state E_2 में इलैक्ट्रॉनों की संख्या को किसी प्रकार stable ground state E_1 में इलैक्ट्रॉनों की संख्या से अधिक कर दिया जाये। Population inversion प्राप्त करने हेतु ऑप्टिकल पम्पिंग (optical pumping) तकनीक प्रयुक्त की जाती है।

ऑप्टिकल संचार में प्रयुक्त होने वाले आधुनिक सेमीकन्डक्टर लेजर (चित्र 2.17) अत्यन्त जटिल होते हैं। इसमें GaAs परत सक्रिय लेजिंग पदार्थ (active lasing material) का कार्य करती है। इस परत को दो एल्यूमीनियम गैलियम आरसेनाइड (AlGaAs) परतों के मध्य सैंडविच किया गया है। इस व्यवस्था से मध्य परत (central layer) एक वेवगाइड की भाँति व्यवहार करती है जिसका अपवर्तनांक (refractive index) आसपास की परतों से अधिक होता है। अतः ऑप्टिकल बीम एक निश्चित क्षेत्र में सीमित (confined) हो जाती है तथा side losses कम हो जाते हैं।



चित्र 2.17—सेमीकन्डक्टर लेज़र

"There are three key processes that take place in a semiconductor laser diode—photon absorption, spontaneous emission, stimulated emission.

Normally, device is in stable ground state E_1. When a photon of energy $hv = E_2 - E_1$ is incident on the device, an electron in state E_1 may absorb the energy and transfer itself to excited state E_2 (photon absorption). The excited state being unstable, the electron returns to the ground state after staying in the excited state for a short duration, emitting a photon of energy (spontaneous emission). These emission are isotropic and random in nature. The electrons can also be induced to make a downward transition from the excited state to the ground state by external stimulation. When a photon of energy with proper wavelength impinges on the device, an electron in the excited state may be stimulated to drop to ground

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

state emitting a photon. The emitted photon and the incident photon are in phase with each other and the resultant emission is known as stimulated emission. The radiation produced by stimulated emission is confined to a narrow band of wavelength and is very directional. Significant stimulated emission can occur only when the population of electrons in the excited state is much higher than that in ground state. This is called population inversion and can be achieved by external pumping technique."

ऑप्टिकल ट्रांसमिशन हेतु ऑप्टिकल स्रोत के रूप में LED तथा लेजर डायोड प्रयुक्त किये जाते हैं। Low बिट रेट सिस्टम में LED उपयुक्त होते हैं। LED द्वारा उत्सर्जित प्रकाश wide band non-coherent होता है। LED एक *p-n* जंक्शन युक्ति है जो जंक्शन को अग्रधारा प्रवाहित होने पर प्रकाश का उत्सर्जन करती है।

उच्च स्पीड ट्रांसमिशन हेतु (मोनोमोड फाइबर द्वारा) coherent light source आवश्यक होता है। इसके लिये गैलियम आरसेनाइड लेजर प्रयुक्त किया जाता है। लेजर LED से महंगे होते हैं तथा इनके drive circuits भी महंगे होते हैं। यह LED से कम विश्वसनीय (reliable) होते हैं तथा इन्हें अधिक servicing तथा replacement की भी आवश्यकता होती है।

§ 2.10. ऑप्टिकल डिटैक्टर (Optical Detector) :

"ऑप्टिकल डिटैक्टर वह युक्ति है जो ऑप्टिकल फाइबर से रिसीवर को प्राप्त लाइट मॉडुलेटेड सिगनल से सूचना को अलग करती है (अर्थात् लाइट मॉडुलेटेड सिग्नल का डिमॉडुलेशन करती है।"

"आप्टिकल डिटैक्टर या फोटो डिटैक्टर ऑप्टिकल संचार सिस्टम के रिसीवर का मुख्य भाग है। यह अपने ऊपर आपतित luminescent power को sense करता है तथा उसको इलैक्ट्रॉनिक धारा में कनवर्ट करता है।"

ऑप्टिकल डिटैक्टर में निम्न गुण होने चाहिये—

(i) इसका आकार (size) ऑप्टिकल फाइबर के तुलनात्मक होना चाहिये। (compatable dimensions)।

(ii) ऑप्टिकल स्रोतों की वेवलैंथ के लिये इसकी सैन्सिटिविटी उच्च होनी चाहिये (high sensitivity)।

(iii) उच्च डाटा रेट्स हेतु इसकी रिस्पॉंस fast होनी चाहिये (fast response and sufficient bandwidth to handle the desired data rates)।

ऑप्टिकल संचार में डिटैक्टर के रूप में फोटो डायोड, फोटो ट्रांज़िस्टर, PIN फोटोडायोड, फोटो डारलिंगटन आदि का प्रयोग किया जाता है। फोटो डिटैक्टर की कार्यप्रणाली का सिद्धान्त इस बात पर आधारित होता है कि यदि उचित आवृत्ति का फोटॉन सेमीकन्डक्टर डिटैक्टर पर आपतित होता है तो इलैक्ट्रॉन संयोजी बैंड से चालन बैंड में चला जाता है। यदि फोटॉन की उर्जा hv सेमीकन्डक्टर के बैंड गैप E_g से अधिक है (*i.e.*, $hv > E_g$) तो फोटॉन इलैक्ट्रान को संयोजी

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

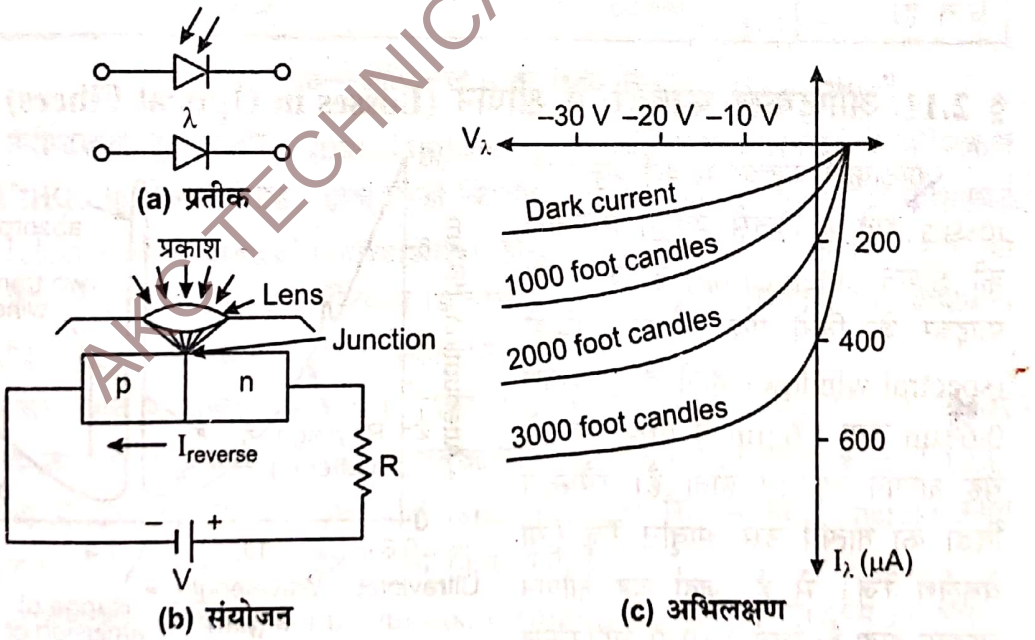
बैंड से चालन बैंड में excite कर देगा जिससे संयोजी बैंड में होल उत्पन्न हो जायेगा। इस प्रकार इलैक्ट्रॉन-होल युग्म (electron hole pair) उत्पन्न होंगे। इन आवेश वाहकों को प्रकाश जनित आवेश वाहक (photogenerated charge carriers) कहा जाता है। इससे फोटोडिटैक्टर की चालकता बढ़ती है। प्रकाश द्वारा उत्पन्न आवेश वाहकों प्रकाश की तीव्रता (या फोटॉन की संख्या) पर निर्भर करती है।

फोटो डायोड (Photo Diodes) :

"फोटो डायोड एक ऐसा *p-n* सन्धि डायोड है जिसकी रिवर्स बायस धारा का मान उसमें पड़ने वाले प्रकाश की तीव्रता (intensity of light) पर आश्रित होता है।"

फोटो डायोड एक ऐसी युक्ति है जो कि रिवर्स बायस में कार्य करती है। इसकी संयोजन प्रतीक (connection symbol) व अभिलक्षण चित्र 2.18 में प्रदर्शित हैं।

आपको याद होगा कि रिवर्स सैचुरेशन धारा का मान माइक्रोएम्पीयर में होता है तथा यह माइनोरिटी वाहकों के कारण होती है। सन्धि पर प्रकाश पड़ने पर प्रकाश तरंगों की ऊर्जा डायोड की परमाणु संरचना (atomic structure) को प्राप्त हो जाती है जिससे माइनौरिटी आवेश वाहकों की संख्या बढ़ जाती है व रिवर्स धारा भी बढ़ जाती है। प्रकाश को जंक्शन पर (concentrate) करने के लिये लैंस (lens) का प्रयोग किया जाता है। प्रकाश की तीव्रता फुट कैन्डिल्स (foot candles) में मापी जाती है। अत:, फुट कैन्डिल्स के विभिन्न मानों पर फोटो डायोड में रिवर्स धारा का ग्राफ चित्र 2.18 (c) में प्रदर्शित है।



चित्र 2.18—फोटो डायोड

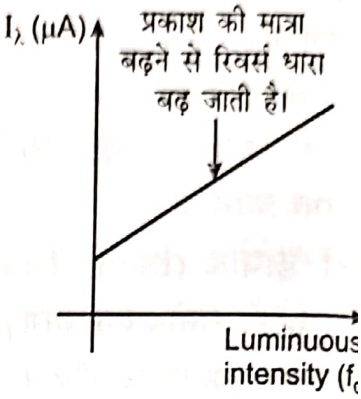
जब प्रकाश न पड़ रहा हो, उस समय डायोड में प्रवाहित धारा को अंधकार धारा (dark current) कहते हैं। प्रकाश की तीव्रता (luminous intensity) बढ़ाने पर रिवर्स धारा लगभग रेखीय (linearly) रूप से बढ़ती है। प्रकाश की तीव्रता व रिवर्स धारा के मध्य ग्राफ चित्र 2.18(d) में प्रदर्शित हैं। फोटो डायोड बनाने के लिये जरमेनियम का प्रयोग किया जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

"An optical detection is a device which is employed to isolate the information signal (i.e., demodulation) from light modulated signal, reaching the receiver.

The working principle of photodetection is based on the fact that if an optical photon of energy hv (hv > E_g, the band gap of the semiconductor) falls on the semiconductor, the photon will excite the electron from the valence band to conduction band, leaving a vacancy or hole in the valence band. These additional charge carriers (electron hole pairs), called photogenerated charge carriers increase the conductivity of the photodiode. Th increase in conductivity depends on number of additional charge carrier generated in the photodiode which in turn depends on the number of photons o light falling on it."

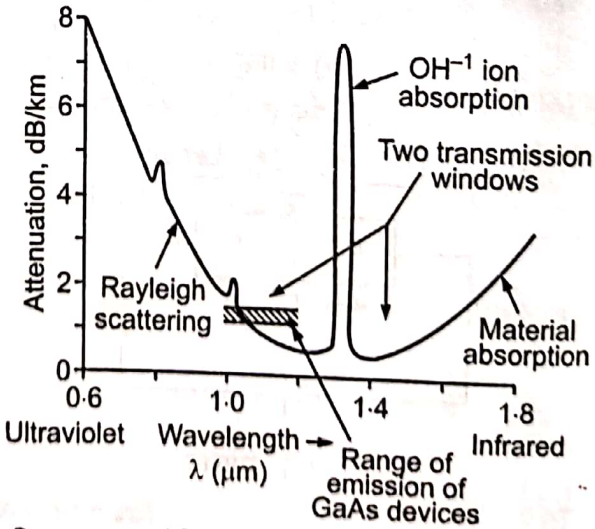


चित्र 2.18(d)—प्रकाश तीव्रताव रिवर्स धारा के मध्य ग्राफ

कम स्पीड वाले systems में *p-i-n* फोटोडायोड डिटैक्टर के रूप में प्रयुक्त किये जाते हैं। हालांकि यह कम sensitive होते हैं किन्तु इनकी ताप व बायस स्थिरता अच्छी होती है। इनकी कीमत भी कम होती है। उच्च स्पीड अनुप्रयोगों हेतु एवलान्च फोटोडायोड प्रयुक्त किये जाते हैं।

§ 2.11. ऑप्टिकल फाइबर में क्षीणन (Losses in Optical Fibers) :

आप्टीकल फाइबर में कई प्रकार के losses होते हैं जिनसे प्रकाश सिगनलों की क्षीणन (attenuation) हो जाता है। फाइबर के लिये एक स्पैक्ट्रल विंडो (spectral window) होती है (वेवलैंथ 0·6 μm तथा 1·6 μm में मध्य) जिसमें यह क्षीणन न्यूनतम होता है। स्पैक्ट्रम विंडो का तात्पर्य उस आवृत्ति रेंज (या वेवलैंथ रेंज) से है, जहाँ यह क्षीणन न्यूनतम होता है। चित्र 2.19 में ऑप्टिकल फाइबर के क्षीणन अभिलक्षण प्रदर्शित हैं।



चित्र 2.19—ऑप्टिकल फाइबर के क्षीणन अभिलक्षण

फाइबर में losses होने के मुख्य कारण हैं—

(i) क्रिस्टकल संरचना में molecular vibrations के कारण ऊर्जा का अवशोषण (absorption of energy due to molecular vibrations in the crystal structure)।

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(ii) फाइबर पदार्थ की क्रिस्टल संरचना में अनियमितता (irregularities) के कारण Rayleigh scattering।

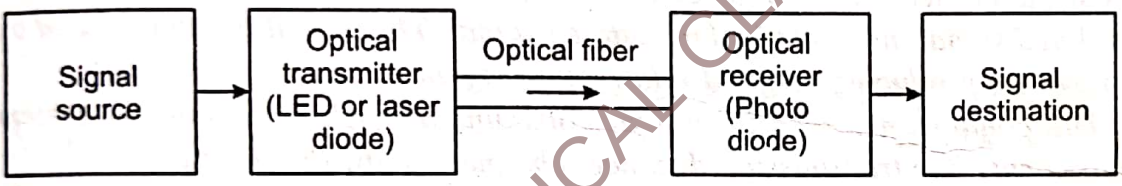
(ii) हाइड्रौक्सिल आयन (OH^-) के कारण अवशोषण (absorption)।

"There are a number of loss mechanisms which cause attenuation of light signals at various frequencies in the spectrum. In general, fibres have a spectral window between wavelengths of about 0·6 μm and 1·6 μm, where the attenuation is at a minimum."

§ 2.12. ऑप्टिकल फाइबर संचार सिस्टम (Optical Fiber Communication System) :

एक ऑप्टिकल फाइबर संचार सिस्टम का ब्लॉक डायग्राम चित्र 2.20 में प्रदर्शित है। इसके विभिन्न ब्लॉक का विवरण निम्नवत् है—

(i) सिगनल स्रोत (Signal source)—सिगनल स्रोत का ऑप्टिकल ट्रांसमीटर को वह सूचना सिगनल प्रदान करता है, जिसको ट्रांसमिट किया जाना है। यह सूचना वैद्युत सिगनल के रूप में होती है।



चित्र 2.20—ऑप्टिकल संचार लिंक सिस्टम

(ii) ऑप्टिकल ट्रांसमीटर (Optical transmitter)—ऑप्टिकल ट्रांसमीटर में ऑप्टिकल स्रोत (जैसे LED या लेजर डायोड) होता है जो कि वैद्युत सिगनल को प्रकाश सिगनल में कनवर्ट करता है (electrical to optical conversion) इस प्रकार ट्रांसमीटर में प्रकाश तरंगों का मॉडुलेशन होता है तथा मॉडुलेटेड ऑप्टिकल सिगनल प्राप्त होता है। इस सिगनल को ऑप्टिकल फाइबर केबिल द्वारा एक स्थान से दूसरे स्थान पर पहुँचाया जाता है।

ऑप्टिकल स्रोत के चुनाव इस बात पर निर्भर करता है कि ट्रांसमिशन हेतु कौन सा फाइबर प्रयुक्त किया जा रहा है। मल्टीमोड फाइबर प्रयुक्त कम बिट रेट वाले सिस्टम के लिये LED उपयुक्त होता है उच्च स्पीड वाले मोनोमोड (signal mode) सिस्टम हेतु coherent स्रोत आवश्यक होता है, अत: लेजर डायोड प्रयुक्त किये जाते हैं।

(iii) ट्रांसमिशन मीडियम (Transmission medium)—ट्रांसमिशन मीडियम के रूप में ऑप्टिकल फाइबर प्रयुक्त किए जाते हैं। अत: मल्टीमोड, मोनोमोड तथा ग्रेडेड इंडैक्स फाइबर में से उपयुक्त फाइबर का चुनाव करना होता है। यह मुख्यत: डाटा-रेट आवश्यकताओं पर निर्भर करता है। 10 M bits/s की डाटा रेट प्राप्त करने हेतु मल्टीमोड फाइबर उपयुक्त रहते हैं क्योंकि यह सस्ते होते हैं तथा इनकी splicing भी सरल होती है। बहुत अधिक डाटा रेट प्राप्त करने हेतु (जैसे डिजिटल टेलीविजन में) मोनोमोड फाइबर प्रयुक्त किये जाते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(iv) ऑप्टिकल रिसीवर (Optical receiver)—रिसीवर पर ऑप्टिकल मॉडुलेटेड सिगनल का ऑप्टिकल डिटैक्टर द्वारा डिटैक्शन किया जाता है। ऑप्टिकल डिटैक्टर के रूप में फाटोडायोड फोटोट्राजिस्टर, फोटो डारलिंगटन, PIN photodiode इत्यादि) का प्रयोग किया जाता है जो ऑप्टिकल मॉडुलेटेड सिगनल को वैद्युत मॉडुलेटेड सिगनल में बदलता है। तत्पश्चात् इस सिगनल का डिमॉडुलेशन किया जाता है जिससे मूल सूचना प्राप्त होती है। इस मूल सूचना को अपने लक्ष्य (destination) को पहुँचाया जाता है।

कम स्पीड वाले systems में *p-i-n* फोटोडायोड डिटैक्टर का प्रयोग किया जाता है। हालांकि यह कम sensitive होते हैं, किन्तु इनकी ताप में बायस स्थिरता अच्छी होती है। इनकी कीमत भी कम होती है। उच्च स्पीड अनुप्रयोगों हेतु एवलान्च फोटोडायोड प्रयुक्त किये जाते हैं।

"The signal source provides an electrical signal to the optical transmitter, which is having an optical source (LED or Laser diode). It provides electrical to optical conversion of the signal and drives an optical source to give modulation of light waves, producing modulated optical signal. The modulated optical signal is send from transmitter to receiver through an optical fibre cable. At receiver, the optical modulated signal is detected by a photodiode, which converts optical modulated signal into electrical modulated signal. This signal is demodulated by the receiver, producing original information signal.

The components used in optical communication link depend on system requirements like transmission distance, channel bandwidth, cost etc.

For a short distance transmission link, the wavelength of light (from light source such as LED or laser diode) may be about 800 μm to 900 μm. For long distance transmission, we use wavelength which is attenuated less, about 130 nm to 1550 nm.

At receiver, a p-i-n photodiode is used to obtain a strong optical signal while a highly sensitive photodiode has to be used for detecting weak optical signal."

ऑप्टिकल कम्यूनिकेशन लिंक सिस्टम (Optical Communication Link System)—एक ऑप्टिकल संचार लिंक सिस्टम का ब्लॉक डायग्राम चित्र 2.20 में प्रदर्शित है। सिगनल को ऑप्टिकल ट्रांसमीटर को दिया जाता है जो कि LED या laser diode होता है। यह विद्युत सिगनल को प्रकाशीय सिगनल में कनवर्ट करता है तथा प्रकाश तरंगों का मॉडुलेशन करके मॉडुलेटेड ऑप्टिकल सिगनल उत्पन्न करता है। तत्पश्चात् इस सिगनल को ऑप्टिकल फाइबर केबिल द्वारा ट्रांसमीटर से रिसीवर तक पहुँचाया जाता है। अत: ऑप्टिकल फाइबर केबिल ट्रांसमिशन माध्यम के रूप में कार्य करती है।

रिसीवर पर ऑप्टिकल मॉडुलेटेड सिगनल को ऑप्टिकल डिटैक्टर द्वारा डिटैक्ट किया जाता है जो कि फोटोडायोड या एवलान्च फोटोडायोड होता है। यह ऑप्टिकल मॉडुलेटेड सिगनल को वैद्युत मॉडुलेटेड सिगनल में कनवर्ट करता है। फिर रिसीवर में सिगनल का डिमॉडुलेशन करके मूल मॉडुलेटिंग सिगनल (सूचना सिगनल) को रिकवर किया जाता है।

A/C TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

§ 2.13. ऑप्टिकल फाइबर ट्रांसमिशन के गुण तथा दोष (Merits and Demerits of Optical Fibre Transmission) :

(i) ऑप्टिकल फाइबर कम्यूनिकेशन की बैंडविड्थ बहुत अधिक होती है (enormous bandwidth) ।

(ii) ऑप्टिकल फाइबर केबिल छोटे आकार के होते हैं व कम स्थान लेते हैं (small size cables) ।

(iii) ऑप्टिकल फाइबर विद्युतरोधी (insulators) होते हैं तथा इनमें interfacing की समस्या नहीं होती (no interface problem) ।

(iv) इनमें विद्युतचुम्बकीय व्यतिकरण की समस्या नहीं होती (no electromagnetic interference)।

(v) सिगनल को सुरक्षा प्रदान करते हैं (high degree of signal security) ।

(vi) ट्रांसमिशन loss कम होता है (small transmission loss) ।

(vii) ऑप्टिकल संचार रव से मुक्त होता है (noise free transmission) ।

(viii) ऑप्टिकल फाइबर वेवलैंथ मल्टीप्लैक्सिंग के लिए उपयुक्त होते हैं जिसमें वेवलैंथ में कम अन्तर वाले सिगनल (signal with small difference in wavelength) एक ही फाइबर में भेजे जा सकते हैं (suitable for wavelength multiplexing) ।

(ix) डिजीटल ट्रांसमिशन व स्विचिंग सिस्टम के लिए उपयुक्त हैं (suitable for digital transmission and switching systems) ।

ऑप्टिकल फाइबर संचार के दोष (Demerits of optical fibre communication)—

(i) ऑप्टिकल फाइबर का निर्माण कार्य महंगा होता है (high manufacturing cost) ।

(ii) ग्लास फाइबर आसानी से टूट सकते हैं, अत: इनको instal करते समय अतिरिक्त सावधानी आवश्यक होती है (extra care needed during installation) ।

§ 2.14. फाइबर स्पलाइसेज़ (Fiber Splices) :

ऑप्टिकल फाइबर्स को join करने की प्रक्रिया splicing कहलाती है। Transmitter तथा receiver end पर connector या splices होते हैं। इसके अतिरिक्त कई किलोमीटर लम्बे फाइबर्स प्राप्त करने हेतु बीच में कई splices हो सकते हैं, यदि installation के दौरान फाइबर में accidental break हो जाये, तो भी repair splices की आवश्यकता होती है। Connectors temporary joints प्रदान करते हैं जबकि splicing द्वारा permanent joining की जाती है।

फाइबर स्पलाइसिंग दो प्रकार की होती है—

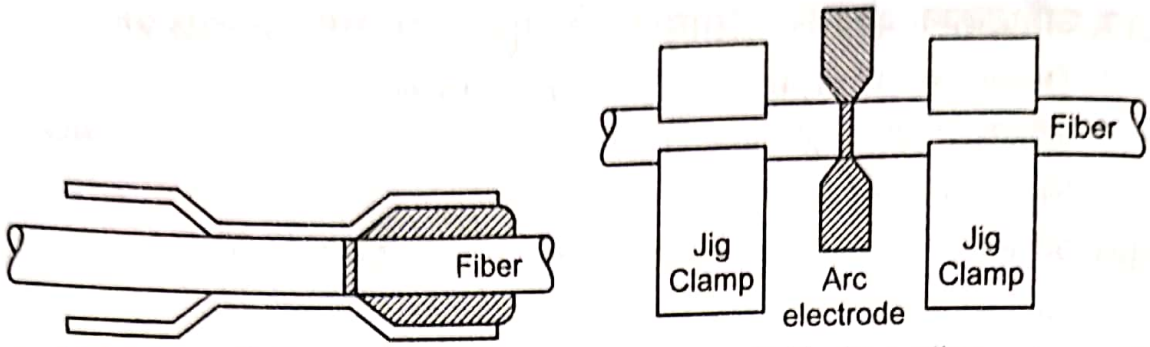
(i) Collapsed glass sleeve splice (ii) Fusion splice

Collapsed glass sleeve splice (चित्र 2.21 (a)) बनाने में आसान होती है। इनमें insertion loss लगभग 0·5 dB या अधिक होता है।

फ्यूज़न स्पलाइस (चित्र 2.21 (b)) बनाने में मुश्किल होती है, किन्तु इसमें insertion loss कम होता है।

AK TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



(a) Collapsed glass sleeve splice (b) Fusion splice

चित्र 2.21—फाइबर स्पलाइस

"Fiber splicing procedures must meet two criteria. First, splices must be easy to make under the worst of environmental conditions. Second, they must provide a minimum of introduced loss.

The collapsed glass sleeve splice is easy to assemble in the field without the need for sophisticated equipment. The fibers are first prepared by removing short lengths of protective sheath from each and then cleaving both ends using a special hand-operated cleaving tool to provide smooth mating end faces. Next, a short piece of soft glass tubing (the sleeve) is slid onto one fiber end and softened with an oxy-hydrogen torch until it collapses around the fiber. After cooling the mating fiber is pressed into the free end of the sleeve with some optical matching cement. After the cement has set, the entire splice is encased in protective heat-shrink tubing and replaced in the cable casing. Onfy simple hand tools are required, but care must be taken to avoid getting dirt or moisture into the splice. Splices of this type typically give about 0·5 dB or more insertion loss.

Fusion splices give the lowest insertion losses of any method, but they are more difficult to make in the field. The fiber ends are first stripped and cleaved in the manner described for sleeve splicing, or a special stripping and cleaving tool mounted in a splicing machine may be used. The prepared fiber ends are then placed in clamps on a jig that can be aligned using vernier screws. The fiber ends are butted and aligned using a binocular microscope, a process requiring considerable skill of the operator. Once aligned, the ends are heated either with a microtorch or with an electric are until the two ends fuse together. This is a critical step since too much heat will cause the molten glass to flow and deform the fiber. Finally, the splice is encased in a protective sleeve and replaced in the cable. Low-loss splices are relatively easy to make, and typically insertion losses will be even less than 0·1 dB.

***Optical Fiber Communication**—"The term **communication** refers to the sending, recording and processing of information by electronic means. A modern communication system is first concerned with the sorting, processing and storing of information before its transmission. The actual transmission then follows, with further processing and the filtering of noise. Finally, we have reception, which may include processing steps such as decoding, storage and interpretation.*

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

These elements include at one end an information source which inputs a message to a transmitter. The transmitter couples the message onto a transmission channel in the form of a signal which matches the transfer properties of the channel. The channel is the medium bridging the distance between the transmitter and the receiver. This can be either a guided transmission line such as wire or wave guide, or it can be an unguided atmospheric or space channel. As the signal transverses the channel, it may be progressively both attenuated and distorted with increasing distance. The function of the receiver is to extract the weakened and distorted signal from the channel, amplify it, and restore it to its original from before passing it on to the message destination.

During past decades, the electronic communication industry has experienced many remarkable and dramatic changes. A large increase in voice, data and video communication has caused a corresponding increase in the demand for more economical and larger capacity communication system. This has caused a technical revolution in the electronic communication industries. Radio-waves and terrestrial microwave system have reached their capacity, and satellite communation system can provide, only a temporary relief to the large increasing demand. But the satellite communication system are constrained by various external factors. The most important of these are; the extremely high initial cost of launching, the geometry of suitable orbits, the available microwave frequency allocations and if needed, repair is nearly impossible after launching of satellite. In all these systems, it is often necessary to interconnect points that are distance apart from each other. For such purposes, transmission lines; parallel-wires or coaxial cables, depending upon the frequency are employed. Accordingly parallel wires are never used for UHF and microwave frequencies, to avoid the risk of radiation from the transmission line itself and the coaxial lines are extremely lossy. Thus, it is natural that more economical communication systems that can handle large capacities and provide high quality services are needed.

AKC TECHNICAL CLASSES

Why the Optical System?

The information carrying capacity of a communications system is directly proportional to its bandwith; the wider the bandwidth, the greater its information carrying capacity. For comparison purposes, it is common to express the bandwidth of the system as a percentage of its carrier frequency. For instance, in general, bandwidth is 10% of carrier frequency.

Thus the higher the carrier frequency, the wider the bandwidth possible and consequently the greater the information carrying capacity.

A system which uses light as carriers of frequency 10^5 Hz or 10^6 GHz has a bandwidth of 10^5 GHz.

This is an excessive bandwidth and will meet the today's communication needs or the needs of the foreseable future.

Scanned with CamScanner

As a result communication systems that use light as the carrier of information have received a great deal of attention. The major difficulty in using light as carrier is that transmission of light wave for any useful distance through the earth's atmosphere is impractical because water vapours, oxygen and particulate in the air absorb and attenuate the ultra high frequencies. Consequently, the only partical type of optical communication system is one that uses a fiber guide. **Communication system that carry information through a guided fibre cable are called fiber-optic system**. Systems that use glass or plastic fibre cables to contain a light wave and guide it from a source to a destination are being researched continuously.

A major revolution in the optical fiber communication system occurred with the invention of LASER in 1960. A laser gives high output power, high frequency of operation and capability of carrying extremely wide bandwidth signal and is proved to be an ideal source of light in communication systems. However, at that time, the fibre cables available were extremely lossy (around one thousand decibels per kilometer) and limit the transmission to short distances. In 1970, Kapron, Keck and Maurer of Corning Glass Works in Corning, New York, developed an optical fibre with losses less than 20 dB/km. This was the big breakthrough needed to permit practical fiber optics communication systems.

The refinement of optical cables and the development of high quality, affordable light sources and detectors have opended the avenues to development of high quality, high capacity and efficient fiber optics communication systems.

The refinement of optical cables and the development of high quality, affordable light sources and detectors have opened the door to development of high quality, high capacity and efficient fiber optics communication systems.

AKC TECHNICAL CLASSES

What is an optical fiber?

An optical fiber is a strand of glass or plastic material with special optical properties, which enable light to travel a large distance down its length.

Elements of an Optical Fiber Transmission System

The key sections of a optical fiber transmission system are a transmitter consisting of a light source and its associate drive circuitry, a cable offering mechanical and environmental protection to the optical fibers contained inside, and a **receiver** consisting of photodetector plus amplification and signal restoring circuitry. Additional components include optical connectors, splices, couplers or beam splitters and repeaters.

In the fiber optic transmitter, the light source can be modulated by a digital or an analog signal. For this purpose, an electrical interface (an analog to digital converter and voltage to current converter) is used between input circuitry ana light source. The light source is either a light emitting diode (LED) or an **injection laser diode** (ILD). The amount of light emitted by either an LED or ILD

Scanned with CamScanner

is proportional to the amount of drive current. A voltage to current converter (ADC) converts an input signal voltage to a current which is used to drive the light source.

The source to fibre coupler is mechanical connector and its purpose is to couple the light emitted by the source into the optical fibre cable. The cabled optical fibre is one of the most important elements in an optical fibre link, which carries light output from light source to receiver. A mechanical coupler is used to couple maximum light from the fibre cable to light detector.

The receiver part consists of a light detector (a photodiode, phototransistor, photo darlington, PIN photodiode etc.), an amplifier and signal restorer. The light detector is very either a PIN (positive intrinsic negative) diode or an APD (avalanche photodiode). Both the APD and the PIN diode convert light energy to current. Consequently, a current-to-voltage converter is required. It transforms changes in detector current to changes in output signal voltage. Finally, an electrical interface in the form of analog or digital interface at the receiver output is used to give output signal.

Advantages of Optical Fibers

Communication through glass or plastic fiber cables has several encouraging advantages over conventional metallic or coaxial cable facilities.

(i) ***Low Transmission Loss and Wide Bandwidth—****Optical fibers have lower transmission losses and wider bandwidths than copper wires. This means that with optical fibers systems more data can be sent over longer distances (i.e. enhanced information carryig capacity), thereby decreasing the number of wires and reducing the number of repeaters needed for these spans. This reduction in equipment and components decreases the system cost and complexity.*

(ii) ***Small size and Weight—****The low weight and the small dimensions of fibers offer a distinct advantage over heavy, bulky wire cables in crowded underground city ducts or in ceiling mounted cable trays. This is also important in aircraft, satellites and ships (where space is at premium), where small light weight cables are advantageous and in tactical military applications, where large amount of cable must be unreeled and retrieved rapidly.*

(iii) ***Immunity to Interference—****An important feature of optical fiber is that they are immune to static interference caused by lighting, electric motors, fluorescent light, and various other electrical noise sources. Optical fibres are non-conductors of electricity. Fiber cables do not radiate energy and therefore cannot cause interference with other communication systems. This characterstic makes fibers systems ideally suited to military applications, where the effects of nuclear weapons has a devastating effect on conventional communications systems.*

(iv) ***Electrical Isolation—****Since optical fibers are constructed of glass (or plastic), which is an electrical insulator, there is no need to worry about ground*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

loops, fibre-to-fibre crosstalk is very low, and equipment interface problems are simplified. This also makes fibers attaractive in electrically hazardous environments since the fibre creates no arcing or sparking. Also, it is safer and easier to install and maintain optical fibers because they are smaller, much more light weight and no electrical currents are associated with them.

(v) *Resistance to Environment*—*Fiber cables can operate over a larger temperature variation than their metallic companions. They are comparatively less affected by corrosive liquids and gases.*

(vi) *Signal Security*—*By using an optical fiber a high degree of data security is afforded, since the optical signal is well confined within the waveguide. This makes fibers attractive in applications where information security is important, such as banking, computer networks and military systems. The digital data can be encrypted and decrypted, as per need.*

(vii) *Abundant Raw Material*—*Of additional importance is the fact that silica (SiO_2) is the principal material of which optical fibres are made. This raw material is abundant and inexpensive, since it can be found in ordinary sand. The expense in making the actual fibre arises in the process required to make ultra pure glass from this raw material.*

Major application areas of OFC are —

- *Telecommunication.*
- *ISDN (Integrated Services Digital Networks).*
- *Sensors.*
- *Networks, LANS.*
- *Defence.*
- *Railways.*

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 2.15. मोड सिद्धान्त (Mode Theory) :

Optical fiber में light का propagation ray theory के साथ-साथ mode theory की सहायता से समझा जा सकता है।

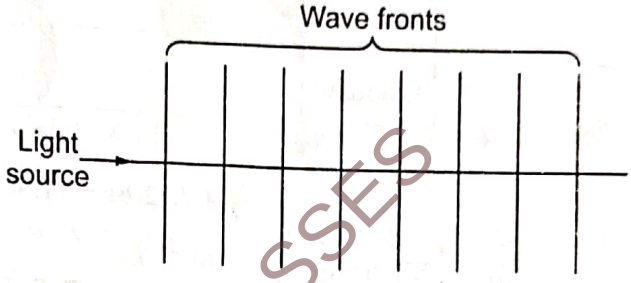
Optical fiber में propagate करने वाली कई light waves एक साथ propagate कर सकती है जिनको fiber की modes कहा जाता है। Mode theory के अनुसार light wave को एक plane wave की तरह represent किया जा सकता है। एक plane wave को व्यक्त करने के लिए उसकी दिशा, amplitude तथा wavelength की जानकारी आवश्यक होती है। Plane wave वह wave होती है जिसमें constant phase के surfaces होते हैं और यह surfaces propagation की दिशा में अनन्त parallel plane के रूप में सोचे जा सकते हैं। Same phase वाले planes को wavefront कहा जाता है। Plane wave की wavelength λ का मान

$$\lambda = \frac{c}{f\mu}$$

Scanned with CamScanner

c = speed of light
f = frequency of light
μ = refractive index of plane wave medium

Plane wave propagation की दिशा तथा wavelength चित्र 2.22 में प्रदर्शित है। Plane wave या wavefront fiber में light rays की तरह ही travel करती है। Fiber केवल वही wavefronts propagate कर पाती है जिनका incident angle, acceptance angle के बराबर या उससे कम होता है। Wavefront के fiber में travel करते समय उसमें phase change होता रहता है। यदि wavefront reflect करती है तो भी उसका phase change होता है। Wavefront के fiber से दो बार transverse करने या दो बार reflect करने पर उसका phase unchanged (समान) रहता है (दो waves के मध्य 2π के integral multiple का phase difference same phase कहलाता है)



चित्र 2.22—प्लेन वेव प्रोपेगेशन

यदि propagating wavefronts same phase में नहीं होगी destructive interference के कारण wavefronts एक-दूसरे को cancel कर देगी। जो wavefronts phase में होती है वह उन waves के साथ interfere करती है जो out of phase होती है जिसके कारण सीमित modes ही fiber में propagate कर सकती है। Fiber के propagation constant को β द्वारा व्यक्त किया जाता है। जैसे-जैसे wavelength change होती है β का मान भी change होता है। किसी विशेष मोड के लिये, wavelength के change होने से वह mode fiber में propagate होने से रूक सकती है। वह wavelength जिस पर कोई mode fiber में propagate नहीं हो सकती, cut-off wavelength कहलाती है। optical fiber में कम से कम एक mode propagate हो सकती है जो कि fundamental mode कहलाती है एक optical fiber जो कि cut-off wavelength ऊपर operate करता है single mode fiber कहलाता है और जो fiber cut-off wavelength से नीचे operate करता है Multimode fiber कहलाता है।

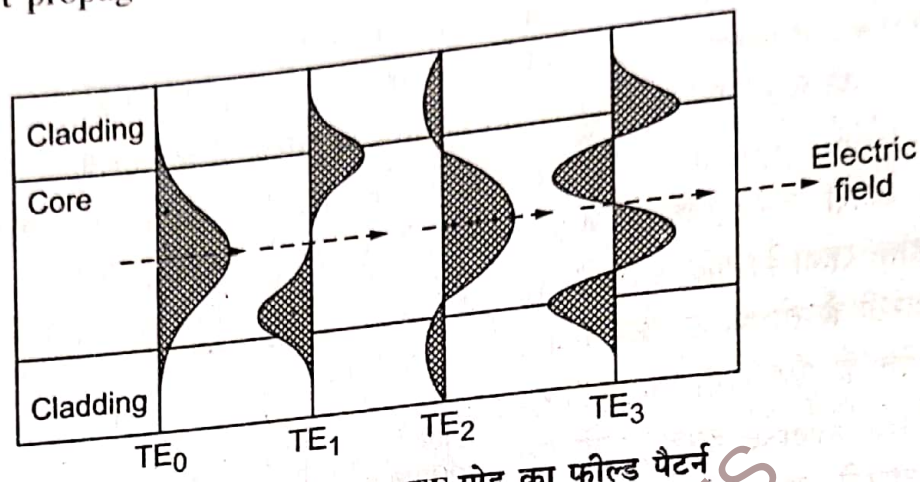
Maxwell समीकरणों के अनुसार electromagnetic waves या modes के दो component होते हैं, Electric field component, E तथा magnetic field component, H। यह दोनों components एक दूसरे के right angle होते हैं।

जिन modes में electric field components direction of propagation के perpendicular होता है और magnetic field component propagation के direction में होता है Transverse electric या TE mode कहलाती है। वह modes जिनमें magnetic field component direction of propagation के perpendicular होता है तथा electric field

AKC TECHNICAL CLASSES

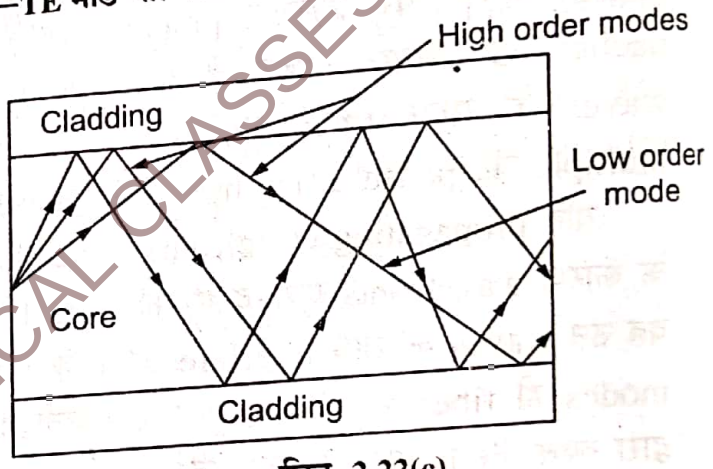
Scanned with CamScanner

component propagation की direction में होता है, transverse magnetic mode कहलाती है।



चित्र 2.22(b)—TE मोड का फील्ड पैटर्न

Mode का order ये बताता है कि core के अन्दर field maxima की संख्या कितनी है। For example TE zero में 1 field maxima होता है तथा electric field core के centre में maximum होती है। To fundamental mode होती है जैसे-जैसे maxima की संख्या बढ़ती जाती है Mode का order भी बढ़ता जाता है (चित्र 2.22(c)।



चित्र 2.22(c)

Wavefront तथा fiber की axis की बीच का angle भी mode के order को दर्शाता है। Higher angle mode में यह angle अधिक होता है। [Fig. 2.22(c)]

Modes आंशिक रूप से cladding material में extend कर सकती है। Higher order modes में यह extension (विस्तार) अधिक होता है कुछ ऐसी modes भी हो सकती है जो cladding में ही trap होकर रह जाये ऐसी modes को cladding modes कहा जाता है।

जैसे-जैसे modes fiber में travel करती है modes के बीच में power का exchange होने लगता है जिसको mode coupling कहा जाता है।

Mode को core के अन्दर सीमित करने के लिए निम्नलिखित boundary condition का पूरा होना जरूरी है—

$$\frac{2\pi\mu_2}{\lambda} < \beta < \frac{2\pi\mu_1}{\lambda}$$

जहाँ μ_1 और μ_2 क्रमशः core की तथा cladding की refractive indices है। यदि propagation constant β, $\frac{2\pi\mu_2}{\lambda}$ से कम हो जाये तो power fiber से बाहर निकलने लगती है जिसको leaky mode कहा जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Phase Velocity—किसी माध्यम में electromagnetic wave के propagation की speed को phase velocity कहा जाता है। Fiber optics में planar phase front की speed phase velocity कहलाती है।

$$v_{\text{phase}} = \frac{C}{\mu_{\text{effective}}}$$

जहाँ $\mu_{\text{effective}}$ fiber की effective index है।

या $$v_{\text{phase}} = \frac{\omega}{\beta}$$

Effective index का मान core तथा cladding refractive index के मान के बीच की संख्या होता है।

Group Velocity—इसका मान phase velocity से कम होता है यह fibers में modulations की speed को दर्शाती है। Group velocity तथा phase velocity के मान में अन्तर medium में होने वाले dispersion के कारण होता है। यदि dispersion न हो तो group velocity और phase velocity same होगी।

यदि बहुत निकट frequency वाली waves group के रूप में travel करती है तो उनका परिणामी (resultant) एक packet of wave के रूप में होती है। यह wave packet individual wave (व्यक्तिगत वेव) की phase velocity के बजाय group velocity से travel करता है

$$v_g = \frac{\delta\omega}{\delta\beta}$$

किसी medium में जिसका refractive index μ_1 है, Propagation constant β को निम्नवत् define किया जाता है।

$$\beta = \mu_1 \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\mu_1 \omega}{c}$$

इसको निम्नवत् भी लिखा जा सकता है—

$$v_p = \frac{c}{\mu_1}$$

Group velocity का मान

$$v_g = \frac{d\omega}{d\beta} = \frac{d\lambda}{d\beta} \cdot \frac{d\omega}{d\lambda}$$

$$= \frac{d}{d\lambda}\left(d\mu_1 \cdot \frac{2\pi}{\lambda}\right)^{-1}\left(\frac{-\omega}{\lambda}\right)$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$= \frac{-\omega}{2\pi\lambda}\left[\frac{1}{\lambda}\cdot\frac{d\mu_1}{d\lambda} - \frac{\mu_1}{\lambda^2}\right]^{-1}$$

$$v_g = \frac{c}{\left(\mu_1 - \lambda\frac{d\mu_1}{d\lambda}\right)} = \frac{c}{N_g}$$

इसमें N_g को guide का group index कहा जाता है।

किसी optical fiber का वर्गीकरण इस बात पर निर्भर करता है कि उसमें कितनी modes propagate कर सकती है। Single mode fiber में केवल fundamental mode propagate कर सकती है जबकि multimode fiber में कई सौ modes propagate कर सकती है। एक optical fiber की properties उसकी RIP (refractive index profile) और core के size पर depend करती है। Refractive index profile किसी fiber diameter पर core की refractive index तथा radial distance के मध्य सम्बन्ध व्यक्त करती है। इस प्रकार fibers को निम्नवत् classify किया जा सकता है।

- Multimode step index fiber
- Multimode graded index fiber
- Single mode step index fiber
- Single mode graded index fiber

Step index fiber में core की refractive index uniform होती है और core cladding boundary पर refractive index में एक दम से change (step change) हो जाता है। Graded index fiber में core की refractive index fiber के cemtre से radially चलने पर धीरे-धीरे किन्तु लगातार change होती है।

कम band width वाली applications में multimode fibers के single mode fibers, की तुलना में कई लाभ हैं जैसे कि LEDs को multimode fiber में ज्यादा efficiently coupled किया जा सकता है, इनका numerical aperture बड़ा होता है और fiber connectors के लिए इनकी tolerance आवश्यकताऐं भी कम होती है। सामान्यत: single mode fibers अधिकतर step indexed होते हैं।

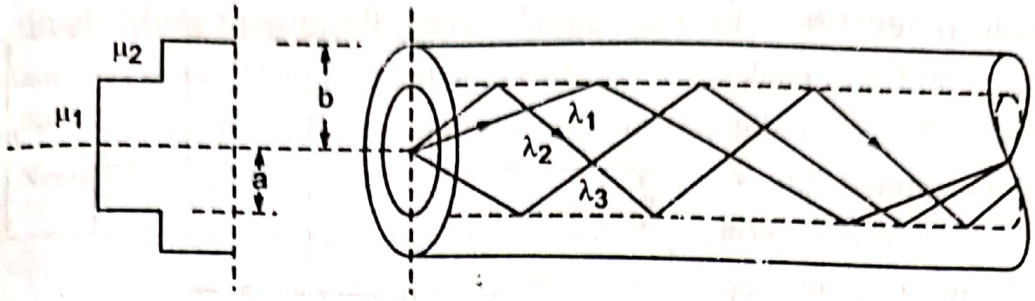
Multimode fiber step indexed या graded indexed दोनों हो सकते हैं।

इन fibers में light का movement चित्र 2.23 (a) (b) (c) में प्रदर्शित है

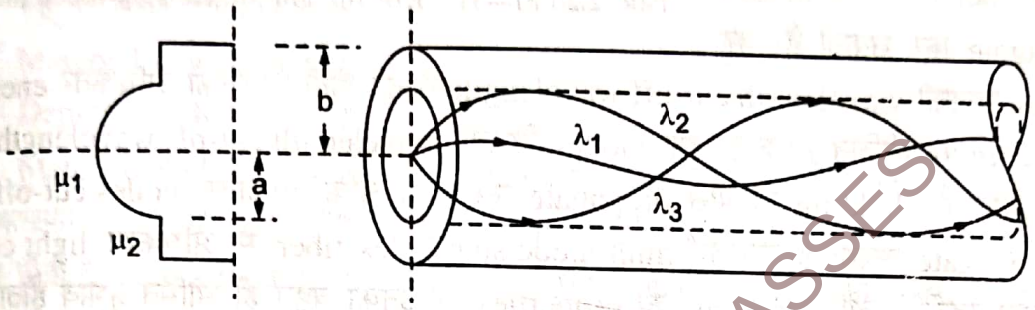
- Multimode step index fiber का core size 50 μm तथा 100 μm होता है।
- Multimode graded idex fiber का core size 50 μm, 62·5 μm, 85 μm तथा 100 μm होता है।
- Single mode fibers का diameter 8 μm या 10 μm होता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

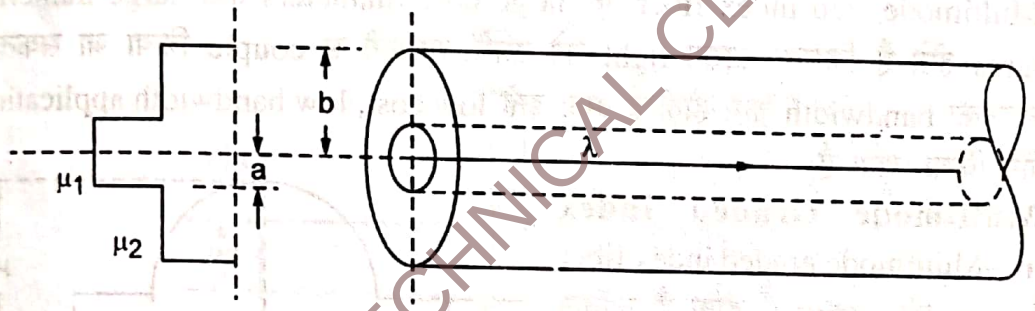
Scanned with CamScanner



(a) Multimode step-index fiber



(b) Multimode graded-index fiber



(c) Single mode step-index fiber

चित्र 2.23

Multimode Step Index Fiber—एक multimode step index fiber में core की radius a और refractive index μ_1 होती है। इस core के चारों ओर claddig होती है जिसकी refractive index core से थोड़ी सी कम (μ_2) होती है अत: इस fiber की RIP (चित्र 2.24(a)) देखें—

$$\mu(r) = \begin{cases} \mu_1 & r < a \text{ (core)} \\ \mu_2 & r \geq a \text{ (cladding)} \end{cases}$$

Core तथा cladding के बीच के relative refractive index अन्तर को δ से दर्शाया जाता है—

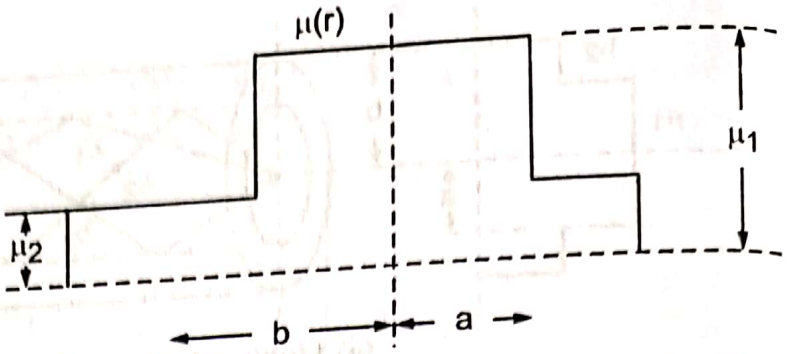
$$\delta = \frac{\mu_1^2 - \mu_2^2}{2\mu_1^2}$$

Numerical aperture तथा Δ में निम्न सम्बन्ध होता है—

$$NA = \mu_1\sqrt{2\Delta}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

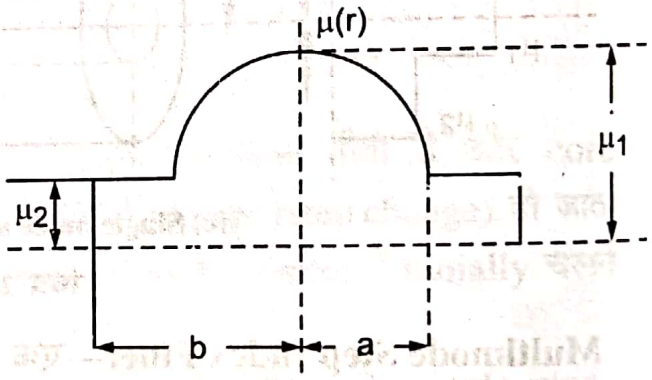


चित्र 2.24(a)—The RIP for multimode step-index fibers

Step index fiber में propagate करने वाली modes की संख्या Δ पर, core radius पर तथा transmitted light की wavelength λ पर निर्भर करती है। एक multimode step index fiber में कई सौ modes propagate कर सकती है। वह modes जिनकी wavelength cut-off wavelength से दूर होती है उनकी अधिकतर energy fiber core पर सीलित रहती है। वह modes जिनकी wavelength cut-off wavelength के निकट होती है cladding के पास propagate करती है। चूँकि ज्यादातर modes cut-off से दूर propagate करती है इसलिए multimode step index fiber से अधिकतर light core के निकट रहती है और cladding की properties पर इनका बहुत ही सीमित प्रभाव होता है।

Multimode step index fiber के large core diameters तथा large numerical apertures होते हैं जिसके कारण light को इसमें आसानी से couple किया जा सकता है लेकिन इनकी bandwidth कम होती है अत: इन्हें low cost, low bandwidth applications में प्रयोग किया जाता है।

Multimode Graded Index Fiber—Multimode graded index fiber में भी core की radius a होता है लेकिन core की refractive index तथा cladding की refractive index के बीच में एक दम से (in step) परिवर्तन नहीं होता बल्कि धीरे-धीरे होता है इसकी RIP को निम्न सूत्रों द्वारा व्यक्त किया जा सकता है (चित्र 2.24(b) देखें)—



चित्र 2.24(b)—The for multimode graded-index fibers

$$\mu(r) = \begin{cases} \mu_1 \left[1 - 2\Delta\left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha}\right]^{1/2} & r < a \text{ (core)} \\ \mu_2 (1-2\Delta)^{1/2} = \mu_2 & r \geq a \text{ (cladding)} \end{cases}$$

Fiber के centre से चलने पर distance r के साथ μ_1 कम होती जाती है और cladding में इसका मान μ_2 होता है! μ_2 की value न्यूनतम μ_1 से कम होती है। एक multimode fiber में source to fiber coupling अच्छी होती है, bending losses कम होते हैं और bandwidth उच्च होती है। यह सामान्यत: 50/125 μm 62·5/125 μm, 85/125 μm तथा 100/140 μm core cladding sizes में उपलब्ध होती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Single Mode Step Index Fiber—Single mode fiber वह होते हैं जिनमें केवल fundamental mode ही propagate कर सकती है।

नोट—Graded mode fibers be single mode operation हेतु use किये जा सकते हैं।

Normalized आवृत्ति का सूत्र—

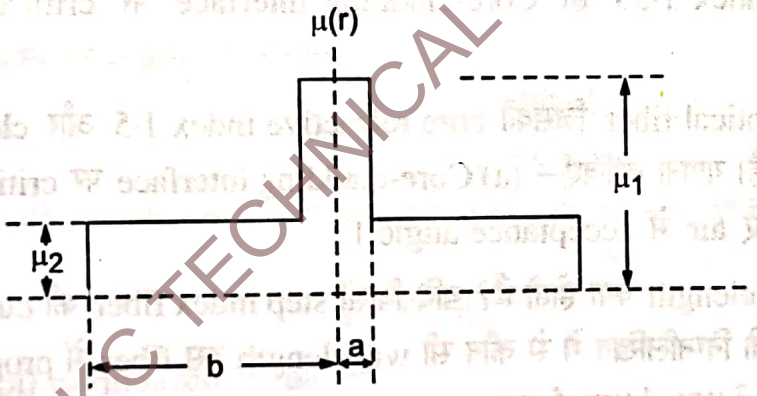
$$v_c = 2{\cdot}405\left(1+\frac{2}{\alpha}\right)^{1/2}$$

यह दो प्रकार के होते हैं—

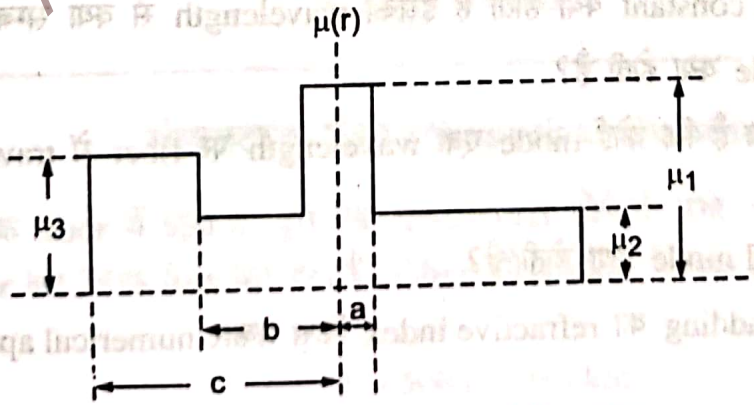
Matched cladding type

Depressed cladding type

Matched cladding का अर्थ है कि fiber cladding परावैद्युत पदार्थ की homogeneous (एकसमान) परत का बना होता है जबकि depressed cladding में cladding दो क्षेत्र की बनी होती है inner cladding तथा outer cladding, matched cladding तथा depressed cladding की RIP चित्र 2.25 (a) तथा (b) में प्रदर्शित है।



चित्र 2.25(a)—Matched cladding RIP



चित्र 2.25(b)—Depressed cladding RIP

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

विचार प्रश्न

- Refractive index change होने पर light की speed में क्या अन्तर पड़ता है?
- Total internal reflection के लिए क्या condition जरूरी है?
- एक light ray 1·49 से 1·51 refractive index वाले medium में प्रवेश करती है तो क्या इसका total internal reflection सम्भव है यदि नहीं तो क्यों? यदि हाँ, किस incidence angle पर?
- एक light ray 1·51 से 1·49 refractive index वाले medium में प्रवेश करती है। क्या इसका total internal reflection संभव है यदि नहीं तो क्यों? यदि हाँ तो किस incidence angle पर?
- एक light ray 1·53 से 1·48 refractive index वाले medium में प्रवेश करती है। निम्नलिखित incidence angle में से किस incidence angle पर total internal reflection होगा और किस पर नहीं होगा? 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°
- एक optical fiber जिसका numerical aperture 0·20 और cladding की refractive index 1·48 है। उस water में इसके acceptance angle की गणना कीजिए जिसकी refractive index 1·33 है। Core-cladding interface पर critical angle की गणना कीजिए?
- एक silica optical fiber जिसकी core refractive index 1·5 और cladding refractive index 1·47 है। गणना कीजिए– (a) Core-cladding interface पर critical angle और (b) Fiber के लिए air में acceptance angle ।
- Cut-off wavelength क्या होती है? यदि किसी step index fiber की cut-off wavelength 3·21 μm है तो निम्नलिखित में से कौन सी wavelength इस fiber में propagate कर पायेगी? 1 μm, 2 μm, 3 μm, 4 μm, 5 μm
- Propagation constant क्या होता है इसका wavelength से क्या सम्बन्ध होता है?
- Cut-off mode क्या होती है?
- क्या यह सम्भव है कि कोई mode एक wavelength पर fiber में travel करें दूसरी पर न कर पाये।
- Fundamental mode क्या होती है?
- Core तथा cladding का refractive index किस प्रकार numerical aperture को प्रभावित करता है?
- Bound rays और unbound rays में क्या अन्तर होता है?

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

संख्यात्मक प्रश्नों हेतु महत्वपूर्ण सूत्र—

(i) Snell's law: $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$

(ii) Critical angle for total internal reflection:

$$\sin\theta_c = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

(iii) Numerical aperture

$$NA = \sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}$$

(iv) Relative refractive index difference

$$\Delta = \frac{\mu_1^2 - \mu_2^2}{2\mu_1^2}$$

$$= \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1} \quad \text{for } \Delta \leq 1$$

$$NA = \mu_1 (2\Delta)^{1/2}$$

(v) Acceptance angle for skew rays

$$\theta_{as} = \sin^{-1}\left(\frac{NA}{\cos\gamma}\right)$$

(vi) Normalized frequency for single mode operation in graded index fiber

$$v_c = 2{\cdot}405\left(1 + \frac{2}{a}\right)^{1/2}$$

(vii) Cut-off normalized frequency

$$v_c = \frac{2\pi}{\lambda_c} a\,(\text{NA})$$

AKC TECHNICAL CLASSES

संख्यात्मक प्रश्न (Numerical Question)

उदाहरण : एक fiber में 500 m दूरी तक transverse होने के बाद optical signal अपनी input power का 75% loss कर देता है। Fiber की db/km में loss ज्ञात कीजिये?

हल : दिया है

$$L = 500\text{ m} = 0{\cdot}5\text{ km}$$

$$\frac{P_i}{P_o} = \frac{1}{0{\cdot}25}$$

The loss in dB/km of the fiber—

$$= \frac{10}{0{\cdot}5}\log\left(\frac{P_i}{P_o}\right)$$

Scanned with CamScanner

$$= \frac{10}{0{\cdot}5} \log\left(\frac{P_i}{0{\cdot}25P_i}\right)$$

$$= 20 \log\left(\frac{1}{0{\cdot}25}\right)$$

$$= 20 \times 0{\cdot}6020$$

$$\text{Loss} = 12 \text{ dB/km}$$

उदाहरण : एक 1 mW input power level वाले एक optical signal को $\lambda = 0{\cdot}82$ पर एक 0·5 dB/km attenuation loss वाले fiber में launch किया जाता है। इसके 5 km दूरी तक यात्रा करने के बाद power level की गणना कीजिए।

हल : दिया है—

$$\lambda = 0{\cdot}82 \text{ km}$$

$$\alpha = 0{\cdot}5 \text{ dB/km}$$

$$L = 5 \text{ km}$$

$$P_i = 1 \text{ mW}$$

Optical fiber के attenuation loss

$$\alpha = \frac{10}{L} \log \frac{P_i}{P_o}$$

$$P_o = P_i\left[10^{-\left(\frac{\alpha L}{10}\right)}\right]$$

$$= (1)\left[10^{-\left(\frac{0{\cdot}5 \times 5}{10}\right)}\right]$$

$$P_o = 0{\cdot}562 \text{ mW}$$

उदाहरण : यदि एक fiber link में launch की जाने वाली mean power 1·5 mW और fiber की attenuation 0·2 dB/km है जब detector पर minimum mean optical power level 2 μW है तब maximum सम्भव link length की गणना कीजिये।

हल : दिया है

$$P_i = 1{\cdot}5 \text{ mW}$$

$$P_o = 2 \mu\text{W}$$

$$\alpha = 0{\cdot}2 \text{ dB/km}$$

Signal attenuation

$$\alpha = \frac{10}{L} \log_{10}\left(\frac{P_i}{P_o}\right)$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$L = \frac{10}{0{\cdot}2}\log_{10}\left(\frac{1{\cdot}5\times10^{-3}}{2\times10^{-6}}\right)$$

$$= 50\log_{10}\left(\frac{1{\cdot}5\times10^{3}}{2}\right)$$

$$= 50\log_{10}(750)$$

$$= 50\times 2{\cdot}875$$

$$L = 143{\cdot}75 \text{ km}$$

उदाहरण : एक Multimode step index fiber के लिए core और cladding की refractive indices 1·52 तथा 1·48 है। जब light multimode step index fiber पर पड़ती है तब acceptance angle तथा critical angle की गणना कीजिए।

हल : दिया है

$$\mu_1 = 1{\cdot}52$$

$$\mu_2 = 1{\cdot}48$$

Fiber के लिए acceptance angle

$$\theta_A = \sin^{-1}\left[\frac{(\mu_1^2 - \mu_2^2)^{1/2}}{\eta_0}\right]$$

जहाँ $\mu_0 = 1$ (For air)

$$\theta_A = \sin^{-1}[(1{\cdot}52)^2 - (1{\cdot}48)^2]^{1/2}$$

$$= \sin^{-1}[3\times 0{\cdot}04]^{1/2}$$

$$= \sin^{-1}[0{\cdot}12]^{1/2}$$

$$\theta_A = 0{\cdot}35 \text{ rad or } 20{\cdot}26^\circ$$

Fiber के लिए critical angle

$$\theta_c = \sin^{-1}\frac{1{\cdot}48}{1{\cdot}52}$$

$$\theta_c = \sin^{-1}(0{\cdot}97)$$

$$= 75{\cdot}93^\circ$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उदाहरण : एक step index fiber की 1400 nm wavelength पर normalized frequency 23·3 है यदि core radius 15 μm है तो numerical aperture की गणना कीजिए।

हल : दिया है

$$V = 23{\cdot}3$$

$$\lambda = 1400 \text{ nm} = 1{\cdot}4 \ \mu\text{m}$$

$$a = 15 \ \mu\text{m}$$

एक step index fiber की normalized frequency,

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda}(\text{NA})$$

$$\text{NA} = \frac{v \cdot \lambda}{2\pi a}$$

$$= \frac{23{\cdot}3 \times 1{\cdot}4}{2 \times 3{\cdot}14 \times 15}$$

अत: $$\text{NA} = 0{\cdot}3462$$

उदाहरण : एक single mode fiber के numerical aperture की गणना कीजिए। जहां $\mu_1 = 1{\cdot}53, \mu_2 = 1{\cdot}47$

हल :

$$NA = \sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}$$

$$= \sqrt{1{\cdot}53^2 - 1{\cdot}47^2}$$

$$= \sqrt{3 \times 0{\cdot}06}$$

$$= \sqrt{0{\cdot}18} = 0{\cdot}424$$

उदाहरण : एक step index fiber के लिए निम्न दी गयी है–

$a = 4 \ \mu\text{m}$ $\mu_1 = 1{\cdot}53$ $\mu_2 = 1{\cdot}47$

Fiber की cut-off wavelength ज्ञात करो।

हल : Fiber के लिए cut-off wavelength

$$\lambda_c = \frac{2\pi a(NA)}{2{\cdot}405}$$

$$= \frac{2\pi a(\mu_1^2 - \mu_2^2)^{1/2}}{2{\cdot}405}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$= \frac{2\times 3\cdot 14\times 4\times[(1\cdot 3)^2-(1\cdot 47)^2]^{1/2}}{2\cdot 405}$$

$$= \frac{25\cdot 12\times[3\times 0\cdot 06]^{1/2}}{2\cdot 405}$$

$$= \frac{25\cdot 12\times(0\cdot 18)^{1/2}}{2\cdot 405}$$

$$\lambda = 10\cdot 65\ \mu m$$

उदाहरण : Single mode के एक optical fiber को 1·65 μm वाले communication system के लिए design किया गया है। Core की अधिकतम allowable diameter की गणना कीजिए ($\mu_1 = 1\cdot 52$ और $\mu_2 = 1\cdot 48$)।

हल : दिया है

$$\lambda = 1\cdot 65\ \mu m$$

Fiber के लिए core thickness,

$$a = \frac{2\cdot 405\lambda}{2\pi\,(NA)}$$

$$= \frac{2\cdot 405\times 1\cdot 65}{2\times 3\cdot 14\,[(1\cdot 52)^2-(1\cdot 48)^2]^{1/2}}$$

$$= \frac{3\cdot 96}{2\times 3\cdot 14\,[3\cdot 04\times 0\cdot 04]^{1/2}}$$

$$= \frac{3\cdot 96}{6\cdot 28\times(0\cdot 1216)^{1/2}}$$

$$a = \frac{0\cdot 6318}{(0\cdot 1216)^{1/2}}$$

$$a = 1\cdot 85\ \mu m$$

अत:, $\text{diameter} = 2a$

$$= 1\cdot 85\times 2$$

$$= 3\cdot 7\ \mu m$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उदाहरण : एक optical fiber 0·84 μm wavelength पर कार्य करता है। Fiber के द्वारा propagate होने वाली modes की संख्या की गणना कीजिए यदि core diameter $a = 20$ μm और $\mu_1 = 1{\cdot}48$, $\mu_2 = 1{\cdot}47$ ।

हल: $$m = 2\cdot\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{a^2}{2}(NA)^2 = \cancel{2}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{a^2}{\cancel{2}}(\mu_1^2 - \mu_2^2)^2$$

Values put करने पर

$$\text{Number of modes} = \left(\frac{2\times 3{\cdot}14}{0{\cdot}84}\right)^2 \cdot (20)^2\,[(1{\cdot}48)^2 - (1{\cdot}47)^2]$$

$$= 55{\cdot}95 \times 400 \times [2{\cdot}95 \times 0{\cdot}01]$$

$$= 49018{\cdot}91$$

$$m = 660{\cdot}2$$

and $$m = \frac{v^2}{2}$$

जहाँ v = modes की संख्या

$$660{\cdot}2 = \frac{v^2}{2}$$

$$v^2 = 1320{\cdot}4$$

$$v = \sqrt{1320{\cdot}4} = 36{\cdot}34$$

अत: $$v = 36$$

उदाहरण : एक step index fiber के numerical aperture की गणना कीजिए जब core की refractive index $\mu_1 = 1{\cdot}53$ और cladding की refractive index $\mu_2 = 1{\cdot}48$ हैं। यदि fiber air में स्थित है तो Numerical aperture की गणना कीजिए।

हल : दिया है

$$\mu_1 = 1{\cdot}53 \quad \mu_2 = 1{\cdot}5$$

$$NA = \sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}$$

$$= \sqrt{(1{\cdot}53)^2 - (1{\cdot}5)^2}$$

$$NA = 0{\cdot}301$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उदाहरण : एक step index fiber 2·3 μm wavelength पर कार्य करता है। यदि $\mu_1 = 1{\cdot}450$, $\mu_2 = 1{\cdot}44$ गणना कीजिए–(a) Core radius (b) NA (c) Maximum acceptance angle

हल : (a) For a single mode fiber $v \leq 2{\cdot}405$

$$v = \frac{2\pi a}{\lambda}\sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}$$

$$2{\cdot}405 \geq \frac{2\times 3{\cdot}14\times a}{2{\cdot}3}\sqrt{(1{\cdot}45)^2 - (1{\cdot}44)^2}$$

$$2{\cdot}405 \geq \frac{1{\cdot}0676}{2{\cdot}3}a$$

अत: $$a \leq \frac{2{\cdot}405\times 2{\cdot}3}{1{\cdot}0676}$$

$$a \leq 5{\cdot}18\ \mu m$$

अत: fiber core की radius 5·337 μm के बराबर या इससे कम होनी चाहिए।

(b) $$NA = \sqrt{(1{\cdot}45)^2 - (1{\cdot}44)^2}$$

$$= \sqrt{0{\cdot}0289}$$

$$NA = 0{\cdot}17$$

(c) चूँकि $$NA = \sin\theta_{max}$$

$$\theta_{max} = \sin^{-1}(NA)$$

$$= \sin^{-1}(0{\cdot}17)$$

$$\theta_{max} = 9{\cdot}78^\circ$$

उदाहरण : एक optical fiber का NA 0·35 है। Skew rays के लिए acceptance angle की गणना करिये? जो प्रत्येक reflection पर 102° direction change करता है।

हल : दिया है $$NA = 0{\cdot}35$$

चूँकि skew rays प्रत्येक reflection पर 102° angle के द्वारा direction change करती है अत:

$$2\gamma = 102^\circ$$

$$\gamma = 51^\circ$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Acceptance angle for skew rays

$$\theta_{as} = \sin^{-1}\left(\frac{NA}{\cos\gamma}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{0{\cdot}35}{\cos 51^\circ}\right)$$

$$\theta_{cs} = 33{\cdot}8^\circ$$

उदाहरण : एक step index fiber के single mode operation हेतु cut-off wavelength की गणना कीजिए? जब core की refractive index और radius क्रमश: 1·46 और 6·5 μm है तथा relative index difference 0·26% है।

हल : दिया है

$$a = 6{\cdot}5\,\mu m$$
$$\mu_1 = 1{\cdot}46$$
$$\Delta = 0{\cdot}26\% = 0{\cdot}0026$$

एक single mode fiber के लिए v_c का मान $v_c \le 2{\cdot}405$, step index fiber के लिए cut-off wavelength—

$$\lambda_c = \frac{2\pi a\mu_1(2\Delta)^{1/2}}{2{\cdot}405}$$

$$= \frac{2\times 3{\cdot}14\times 1{\cdot}46\times 6{\cdot}5\times(2\times 0{\cdot}0026)^{1/2}}{2{\cdot}405}$$

$$= \frac{6{\cdot}28\times 9{\cdot}46\times 0{\cdot}072}{2{\cdot}405}$$

$$\lambda_c = \frac{4{\cdot}27}{2{\cdot}405}$$

$$\lambda_c = 1{\cdot}77\,\mu m$$

उदाहरण : एक glass clad fiber को 1·5 refractive index वाले core glass से बनायी गयी है और claddig को 0·0006 fractional index difference देने के लिए अशुद्ध किया गया है गणना कीजिए—

(a) The cladding index
(b) The critical internal reflection angle
(c) The external critical acceptance angle
(d) The numerical aperture

हल : दिया है

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$\mu_1 = 1{\cdot}5$$
$$\Delta = 0{\cdot}0006$$

(a) यदि cladding की refractive index μ_2 है तो

$$\Delta = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1}$$

$$0{\cdot}0006 = \frac{1{\cdot}5 - n_2}{1{\cdot}5}$$

$$n_2 = 1{\cdot}5 - 1{\cdot}5 \times 0.0006$$
$$n_2 = 1{\cdot}4991$$

(b) माना θ_c critical internal reflection angle है तब

$$\sin\theta_c = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{1{\cdot}4991}{1{\cdot}5}\right)$$

$$= \sin^{-1}(0{\cdot}9994)$$
$$\theta_c = 88{\cdot}01°$$

(c)
$$\mu_0 = 1$$

$$\theta_a = \sin^{-1}\sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}$$

$$= \sin^{-1}\sqrt{(1{\cdot}5)^2 - (1{\cdot}4991)^2}$$

$$= \sin^{-1}\sqrt{0{\cdot}0027}$$
$$\theta_a = 2{\cdot}98°$$

(d) Numerical aperture

$$NA = \mu_1\sqrt{2\Delta} = 1{\cdot}5\sqrt{2\times 0{\cdot}0006}$$

$$= 1{\cdot}5\sqrt{0{\cdot}0012}$$
$$\mathbf{NA = 0{\cdot}0525}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उदाहरण : एक optical fiber जिसका NA = 0·21 और cladding की refractive index 1·57 है। Water में fiber के acceptance angle की गणना कीजिए जिसकी refractive index 1·32 है।

हल : दिया है

$$NA = 0{\cdot}21$$

$$\mu_2 = 1{\cdot}57$$

For air $\mu_0 = 1$

$$NA = \sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}$$

$$0{\cdot}21 = \sqrt{\mu_1^2 - (1{\cdot}57)^2}$$

$$\mu_1^2 = (0{\cdot}21)^2 + (1{\cdot}57)^2$$

$$\mu_1 = \sqrt{0{\cdot}0441 + 2{\cdot}4649}$$

$$\mu_1 = \sqrt{2{\cdot}509}$$

$$\mu_1 = 1{\cdot}583$$

$$\mu = 1{\cdot}33 \text{ (In water)}$$

$$NA = \frac{\sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}}{\mu}$$

$$= \frac{\sqrt{1{\cdot}583^2 - 1{\cdot}57^2}}{1{\cdot}33}$$

$$NA = \frac{\sqrt{2{\cdot}506 - 2{\cdot}465}}{1{\cdot}33}$$

$$= \frac{0{\cdot}202}{1{\cdot}3}$$

$$NA = 0{\cdot}155$$

Acceptance angle in water:

$$\theta_a = \sin^{-1}(NA)$$

$$= \sin^{-1}(0{\cdot}155)$$

$$\theta_a = 8{\cdot}9^\circ$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उदाहरण : एक glass से बना optical fiber जिसकी refractive index 1·58 और clad किसी दूसरे glass से बनी है जिसकी refractive index 1·51 है यदि air के द्वारा launching होती है तो गणना कीजिए–

(a) Fiber का NA

(b) Acceptance angle

$$\mu_1 = 1{\cdot}58 \quad \mu_2 = 1{\cdot}51$$

हल : Indices के बीच normalized difference

$$\Delta = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1} = \frac{1{\cdot}58 - 1{\cdot}51}{1{\cdot}58}$$

$$\Delta = 0{\cdot}0443$$

$$NA = \sqrt{2\Delta} = \sqrt{2 \times 0{\cdot}0443}$$

$$NA = 0{\cdot}3$$

(b) Acceptance angle

$$\theta_a = \sin^{-1}(NA)$$

$$= \sin^{-1}(0{\cdot}03)$$

$$\theta_a = 17{\cdot}46^\circ$$

उदाहरण : निर्वात में प्रकाश की चाल और किसी fiber में speed क्रमश: 3×10^8 ms^{-1} और $2{\cdot}4 \times 10^8$ ms^{-1} है। यदि fiber air में स्थित है तब core-cladding interface पर critical angle 75° है, गणना कीजिए, तो fiber का NA ज्ञात कीजिये।

हल : दिया है

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$v = 2{\cdot}4 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\theta_c = 75^\circ$$

$$\mu_1 = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{2{\cdot}4 \times 10^8}$$

$$\mu_1 = 1{\cdot}25$$

$$\sin 75^\circ = \frac{\mu_2}{1{\cdot}25}$$

$$\mu_2 = 1{\cdot}25 \sin 75^\circ$$

$$= 1{\cdot}21$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(a) Numerical aperture

$$NA = \sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}$$

$$= \sqrt{(1{\cdot}25)^2 - (1{\cdot}21)^2}$$

$$NA = \sqrt{0{\cdot}0984}$$

$$NA = 0{\cdot}313$$

उदाहरण : एक step index fiber जिसकी core cladding refractive indices क्रमश: 1·53 और 1·47 है। Fiber के critical angle और NA की गणना कीजिए।

हल : दिया है

$$\mu_1 = 1{\cdot}53$$
$$\mu_2 = 1{\cdot}47$$

Critical angle

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

$$= \sin^{-1} \frac{1{\cdot}47}{1{\cdot}53}$$

$$= \sin^{-1} (0{\cdot}9607)$$

Numerical aperture (NA) $= \sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}$

$$= \sqrt{(1{\cdot}53)^2 - (1{\cdot}47)^2}$$

$$= \sqrt{3 \times 0{\cdot}06}$$

$$= \sqrt{0{\cdot}18}$$

$$NA = 0{\cdot}42$$

उदाहरण : एक optical fiber जिसका NA 0·4 है। Meridional rays के लिए acceptance angle की गणना कीजिए? Skew rays के लिए acceptance angle की कीजिए, जिनकी direction प्रत्येक reflection पर 80° के द्वारा change होती है।

हल : दिया है

$$NA = 0{\cdot}344$$
$$2\gamma = 80^\circ$$
$$\gamma = 40^\circ$$

AKO TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Meridional rays के लिए acceptance angele

$$\theta_a = \sin^{-1}(NA) = \sin^{-1}(0{\cdot}4)$$

$$\theta_a = 20{\cdot}12^\circ$$

Acceptance angle for skew rays

$$\theta_{as} = \sin^{-1}\frac{NA}{\cos\gamma}$$

$$= \sin^{-1}\frac{0{\cdot}4}{\cos 40^\circ}$$

$$\theta_{as} = 31{\cdot}5^\circ$$

IMPORTANT DEFINITIONS

Light: *Light is electromagnetic radiation within a certain portion of the electromagnetic spectrum. The word generally means visible light, visible to the human eye and responsible for the sense of sight. Light is a form of energy visible to the human eye that is radiated by moving charged particles. Light is made of discrete packets of energy called photons. Photons carry momentum, have no mass, and travel at the speed of light. All light has both particle-like and wave-like properties.*

Electromagnetic nature of light: *Light does not carry any charge itself, so it does not attract or repel charged particles like electrons. Instead light is an oscillating electric and magnetic field.*

Reflcction: *Reflection involves a change in direction of waves when they bounce off a barrier*

Refraction: *Refraction occurs when a wave crosses a boundary from one medium to another. A wave entering a medium at an angle will change direction. Hence, refraction of waves involves a change in the direction of waves as they pass from one medium to another*

Diffraction: *Diffraction refers to the bending of waves around an edge of an object. Diffraction depends on the size of the object relative to the wavelength of the wave. Diffraction involves a change in direction of waves as they pass through an opening or around a barrier in their path.*

Polarization: *The direction in which the electrical field of an electromagnetic wave points. One of the physical properties of light is that it can be polarized. Polarization is a measurement of the electromagnetic field's alignment. Polarization is a property of waves that can oscillate with more than one orientation Electromagnetic waves such as light exhibit polarization. Polarized*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

light waves are those in which the vibrations occur in a single plane. The process of transforming unpolarized light into polarized light is known as polarization.

Optical fiber communication: *Fiber-optic communication is a method of transmitting information from one place to another by sending pulses of light through an optical fiber. The light forms an electromagnetic carrier wave that is modulated to carry information.*

Total internal reflection: *Total internal reflection is a phenomenon which occurs when a propagating wave strikes a rarer medium at an angle larger than a particular critical angle with respect to the normal to the surface.*

Optical Fiber: *Optical fiber refers to the medium associated with the transmission of information as light pulses along a glass or plastic fiber. An optical fiber is a flexible, transparent fiber made by drawing glass or silica or plastic to a diameter slightly thicker than that of a human hair through which light can be transmitted by successive internal reflections.*

Fiber optics: *The technology of sending computer data, video and voice signals, etc., through laser-generated light carried in bundles of ultrapure, transparent fiber (optical fiber) whose refraction properties allow the light to be transmitted around curves.*

Classification of fiber: *Optical fiber falls into three basic classifications: step-index multimode, graded-index multimode, and single mode. A mode is essentially a path that light can follow down the fiber. Step-index fiber has a core with one index of refraction, and a cladding with a second index. Each fiber has a cone of light that it can propagate, known as the cone of acceptance of the fiber. It is driven by the critical angle of the fiber, which in turn varies according to the refractive index of the material. Light outside the cone of acceptance will not undergo total internal reflection and will not travel down the fiber.*

Physical structure of optical fiber: *The basic structure of an optical fiber consists of three parts; the core, the cladding, and the coating or buffer.*

Core: *The core is a cylindrical rod of dielectric material. Light propagates mainly along the core of the fiber. The core is generally made of glass.*

Cladding: *The core is surrounded by a layer of material called the cladding. The index of refraction of the cladding material is less than that of the core material. The cladding is generally made of glass or plastic. The cladding reduces loss of light from the core into the surrounding air, reduces scattering loss at the surface of the core, protects the fiber from absorbing surface contaminants and adds mechanical strength.*

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Buffer: *For extra protection, the cladding is enclosed in an additional layer called the coating or buffer. The coating or buffer is a layer of material used to protect an optical fiber from physical damage. The material used for a buffer is a type of plastic.*

Electromagnetic mode theory for optical propagation: *The mode theory, along with the ray theory, is used to describe the propagation of light along an optical fiber. The mode theory is used to describe the properties of light that ray theory is unable to explain. The mode theory uses electromagnetic wave behavior to describe the propagation of light along a fiber. A set of guided electromagnetic waves is called the* ***modes*** *of the fiber.*

Electromagnetic waves Electromagnetic radiation (EM radiation or EMR) is a form of radiant energy released by certain electromagnetic processes. Visible light is one type of electromagnetic radiation, other familiar forms are invisible electromagnetic radiations such as X-rays and radio waves.

Modes in planar guide: *The optical wave is effectively confined within the guide and the electric field distribution in the x direction does not change as the wave propagates in z direction. The stable field distribution in the x direction with only a periodic z dependence is known as a mode. A specific mode is obtained only when the angle between the propagation vectors or the rays and the interface has a particular value. Hence, the light propagating within the guide is formed into discrete modes, each typified by a distinct value.*

TE and TM Modes: *Maxwell's equations describe electromagnetic waves or modes as having two components. The two components are the electric field E(x, y, z), and the magnetic field H(x, y, z). The electric field E and the magnetic field H are at right angles to each other. Modes traveling in an optical fiber are said to be transverse. The transverse modes propagate along the axis of the fiber. In TE modes, the electric field is perpendicular to the direction of propagation. In TM modes, the magnetic field is perpendicular to the direction of propagation. The electric field is in the direction of propagation.*

Single Mode Fibers: *Fiber supporting single mode is called a single-mode fiber. Single-mode fiber allows for a higher capacity to transmit information because it can retain the fidelity of each light pulse over longer distances, and it exhibits no dispersion caused by multiple modes. Also known as monomode fiber.*

Multi-mode Fiber: *Multimode fiber is best designed for short transmission distances, and is suited for use in LAN systems and video surveillance. Modes result from the fact that light will only propagate in the fiber core at discrete angles within the cone of acceptance.*

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Cylindrical mode characteristics: *Electromagnetic waves can propagate through cylindrical waveguides.. These waveguides support transverse magnetic (TM) and transverse electric (TE) modes. Each mode has a specific propagation constant β.*

Phase and group velocity: *The phase velocity of light is the velocity with which phase fronts propagate in a medium. It is related to the wave number and the angular frequency:*

$$V_{ph} = \frac{\omega}{k}$$

In vacuum, the phase velocity is c = 299792458 m/s(roughly taken as 300 000 000m/s), independent of the optical frequency, and equals the group velocity. The group velocity is the velocity with which the envelope of a weak narrow-band optical pulse propagates in a medium The group velocity of light in a medium is defined as the inverse of the derivative of the wavenumber with respect to angular frequency. Due to chromatic dispersion, the group velocity in a medium is in general smaller than the phase velocity.

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रश्नावली–2

1. (a) प्रकाश के electromagnetic nature से आप क्या समझते हैं?
   (b) Reflection, refraction तथा polarisation के सिद्धान्त को समझाइए?
   (c) Block diagram की सहायता से to optical communication की व्याख्या कीजिए।
   (d) चित्र की सहायता से optical fiber की भौतिक संरचना को समझाइए।
   (e) Optical propagation हेतु electromagnetic mode theory पर टिप्पणी लिखिए।
   (f) वैद्युत चुम्बकीय तरंगें क्या होती है?
   (g) Modes क्या होती है? Planar guides में modes किस प्रकार propagate करती है?
   (h) Cylindrical fiber में कौन-कौन सी modes होती है?
   (i) Phase और group velocity में क्या अन्तर होता है?
2. Transparent, translucent और opaque पदार्थ क्या होते हैं?
3. Diffusion तथा absorption क्या होता है?
4. Total internal reflection क्या होता है?
5. Optical fiber में acceptance angle और numerical aperture क्या होता है? इनका क्या महत्व है?
6. Skew rays क्या होती है? यह meridional rays से किस प्रकार अलग होती है।
7. Index से क्या तात्पर्य है? Step index और graded index में क्या अन्तर है।
8. Mode से क्या तात्पर्य है? Single mode और multimode में क्या अन्तर है?

Scanned with CamScanner

9. ऑप्टिकल संचार पद्धति अन्य संचार पद्धतियों से किस आधार पर बेहतर है?
10. ऑप्टिकल फाइबर केबिल की संरचना बताइये।
11. ऑप्टिकल फाइबर के विभिन्न प्रकार बताइये।
12. विभिन्न ऑप्टिकल स्रोतों का वर्णन कीजिये।
13. फोटोडिटैक्टर का सिद्धान्त बताइये। ऑप्टिकल संचार में फोटोडिटैक्टर की महत्ता पर प्रकाश डालिये।
14. ऑप्टिकल फाइबर संचार पद्धति को ब्लॉक डायग्राम द्वारा समझाइये।
15. ऑप्टिकल संचार प्रणाली का बनाइये तथा संक्षेप में समझाइये।
16. ऑप्टिकल फाइबर के महत्वपूर्ण अभिलक्षणों को बताइये। विभिन्न प्रकार के ऑपटिकल फाइबर के नाम दीजिये व उनकी संरचना दर्शाइये।
17. ऑपटिकल फाइबर संचार प्रणाली का ब्लॉक आरेख बनाइये तथा इसे समझाइये।

बुद्धि परीक्षा

नीचे जो रिक्त स्थान दिये गये हैं, उनके उत्तर इस पुस्तक में ही कहीं न कहीं छिपे हुये हैं। आपको इन रिक्त स्थानों को इस पुस्तक में से खेज-खोज कर भरना है। आपकी बुद्धि की परख के लिये आपको एक घंटे का समय दिया जा रहा है इस एक घंटे में आप इनके उत्तर खोज निकालिये।

56 से अधिक उत्तर खोजने वाला : जीनियस
50 से अधिक उत्तर खोजने वाला : ब्रिलियैंट
45 से अधिक उत्तर खोजने वाला : अत्यंत बुद्धिमान
36 से अधिक उत्तर खोजने वाला : बुद्धिमान
24 से अधिक उत्तर खोजने वाला : औसत
24 से कम उत्तर खोजने वाला : महान् आत्मा

1. The communication system in which information is transmitted in the form of light rays is called ..... .
2. In an optical fiber the light travels in the central member known as .....
3. The core is covered by another layer known as ..... .
4. The refractive index of core is ..... . Then the cladding to faciliate ..... .
5. The group velocity is a little ..... then phase velocity.
6. The gradual change of index in a fiber is known as ..... index.
7. The abrupt change in refractive index of the fiber material from core to cladding is known as ..... index.
8. The fiber is made of ..... .
9. The reduction of optical power as a it travels along the fiber is known as ..... .

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

10. The absorption due to impurities is known as ..... absorption.
11. The absorption due to basic fiber-material properties is known as ..... absorption.
12. The Windows of optical fibers are centered around ....., ... and ..... nm.
13. Small microscopic bends are known as ..... .
14. Large radius bends are known as ..... .
15. Scattering is of two types ..... and ..... .
16. Linear scattering is of two types ..... and ..... .
17. Non-linear scattering is of two types ..... and ..... .
18. In ..... scattering losses are inversely proportional to the fourth power of wavelength.
19. If the size of defect is greater than ..... is known as mie scattering.
20. The full form of SBS is ..... .
21. The full form of SRS is ..... .
22. Intra model dispersions are of two types ..... and ..... .
23. A demountable joint is known as ..... .
24. A permanent joint is known as ..... .
25. A device which distribute power from main fiber to branch fiber is known as ..... .
26. Splices is of two types ..... and ..... .
27. Attenuation can be measured by ..... method.
28. The word Laser is an acronym for ..... .
29. The word LED is an acronym for ..... .
30. The term DH stands for ..... .
31. In ..... band gap material charge carriers can make conduction to valence band transition at same momentum.
32. In ..... band gap material use photon assisted transition to conserve the momentum.
33. Example of direct band gap semiconductor is ..... .
34. Example of indirect band gap semiconductor is ..... .
35. The LED internal quantum efficiency is the ratio of ..... and ..... .
36. The LED external quantum efficiency is the ratio of ..... and ..... .
37. The type of LEDs used in OFC are ....., ... and ..... .
38. Recombination life time is of two types ..... and ..... ,

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

39. 10% to 90% time of the maximum is known as ..... .
40. 90% to 10% time of the maximum is known as ..... .
41. The relation between input optical radiation and output electrical current is known as ..... of the detector.
42. The absorption coefficient of a semiconductor material strongly depends on its ..... .
43. The full form of APD is ..... .
44. A very high gain transistor pair (also called super gain pair use for photodetection is known as ..... .
45. The full forms of ASK, FSK, PSK, DPSK and BPSK are respectively ....., ..., ..., and ....
46. Any disturbance that obscures or reduces the quality of the signal is known as ..... .
47. The numerical aperture of the fiber depends on the ..... of refractive indices.
48. The numerical aperture is the measurement of ability of optical fiber to capture ..... .
49. The rays which travel in a spiral path in an optical fiber are known as ..... .
50. The maximum angle to the axis of fiber at which the light may enter the fiber in order to be allowed to propagate in the fiber is known as ..... for the fiber.
51. The Numerical aperture of a fiber with $\mu_1 = 1{\cdot}53$ and $\mu_2 = 1{\cdot}47$ will be square root of ..... .
52. The fibers in which multiple modes can propagate is called ..... .
53. The full form of RIP is ..... .
54. The full form of ISI is ..... .
55. The full form of PMF is ..... .
56. Computers can communicate using ..... port.
57. If a light wave traves from denser to rarer medium, its speed ..... .
58. The full form of LAN, MAN and WAN is ....., ... and ..... .
59. The full form of TDM, FDM and WDM is ....., ... and ..... .
60. A *pn* diode with a sandwiched intrinsic layer is called a ..... diode.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

3 ऑप्टिकल स्त्रोत
(OPTICAL SOURCES)

THINK ABOUT IT

Once upon a time a daughter complained her father that her life was miserable. She was tired of fighting and struggling all the time. It seemed just as one problem was solved, another one soon followed.

Her father, a chef, took her to the kitchen. He filled three vessels with water and placed each on a high fire. Once the three vessels began to boil, he placed potatoes in the first, eggs in the second, and ground coffee beans in the third.

He then let them sit and boil. After twenty minutes he turned off the burners. He took the potatoes out of the vessel and placed them in a bowl, eggs in another bowl and placed coffee in a cup. Turning to her he asked. "Daughter, what do you see?" "Potatoes, eggs, and coffee," she replied.

"Look closer," he said, "and touch the potatoes." She noted that they were soft. He then asked her to take an egg and break it. After pulling off the shell, she observed the hard-boiled egg. Finally, he asked her to sip the coffee. Its rich aroma brought a smile to her face.

"Papa, what does this mean?" She asked.

He then explained that the potatoes, the eggs and coffee beans had each faced the same adversity- the boiling water. However, each one reacted differently. The potatoes went in strong, hard, and unrelenting, but in boiling water, they became soft and weak. The egg was fragile, with the thin outer shell protecting its liquid interior until it was put in the boiling water. Then the inside of the egg became hard. However, the ground coffee beans were unique. After they were exposed to the boiling water, they changed the water and created something new.

"Which are you," he asked his daughter. "When adversity knocks on your door, how do you respond? Are you a potato, an egg, or a coffee bean? "

The moral of this story is that in life, things happen around us, things happen to us, but the only thing that truly matters is what happens within us. Which one are you?

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

§ 3.1. परिचय (Introduction) :

Optical communication के लिए visible तथा infrared wavelength spectrum में electromagnetic energy उत्पन्न करने वाले स्रोत को light source या optical source कहते हैं। यही energy optical fiber communication में information carrier (सूचना वाहक) का काम करती है। यदि उत्पन्न की गई light एक single frequency या wavelength की है (अर्थात् मोनोक्रोमैटिक है) और uniform phase front को maintain करती है तो उसको coherent source कहा जाता है, किन्तु अधिकतर sources द्वारा उत्पन्न light में विभिन्न wavelengths होती है और इनके phase front भी uniform नहीं होते ऐसा light source incoherent light source कहलाता है। Optical fiber communication में use होने के लिए light source को कई शर्तों को पूरा करना चाहिए जैसे—power output, physical size, power efficiency, operating temperature, spectral emission modulation capability, coherence, cost तथा fiber compatibility. विभिन्न light sources के उदाहरण हैं— incandescent lamps, arc lamps, lasers तथा LEDs.

एक light source के मुख्य गुण निम्नवत् हैं—

1. **Power Output**—Power output जितनी ज्यादा होगी उतनी ही उसको attenuation (क्षीणन) को सहन करने की क्षमता होगी और signal को अधिक दूरी तक transmit किया जा सकेगा।
2. **Physical Size**—Source जितना small तथा compact होगा उतना ही उसे handle करना आसान होगा और weight या space की समस्या नहीं होगी।
3. **Power Efficiency**—यदि power efficiency (दक्षता) खराब है तो optical power output प्राप्त करने के लिए अधिक electrical input power की जरूरत होगी। अधिक heat dissipation होगा जिसको हटाने के लिए heat sinks की व्यवस्था करनी पड़ेगी। अत: light source की power efficiency अच्छी होनी चाहिए।
4. **Life**—यदि कोई युक्ति सिस्टम में अधिक संख्या में उपयोग की जा रही है तो उसकी life तथा MTBF (mean time before failure) बहुत important हो जाते हैं। सामान्यत: लगभग 10^4 hours का MTBF उचित माना जा सकता है।
5. **Spectral Emission**—किसी optical source को optical fiber transmission की designed spectral characteristic के अनुसार ही light का emission करना चाहिए तथा losses वाले क्षेत्र में उत्सर्जित की गई wavelength spectral characteristics में नहीं होनी चाहिए। कहने का तात्पर्य यह है कि सिस्टम जिन वेवलैंथ्स को बेहतर तरीके से carry कर सकता है, जिन wavelengths पर सिस्टम का attenuation कम है, वही wavelengths उत्पन्न करनी चाहिये।
6. **Modulation**—Optical communication में सामान्यत: intensity modulation का इस्तेमाल किया जाता है, जिसमें light की intensity (तीव्रता) सूचना के अनुसार change की जाती है। Light source की fast response (तीव्र रिस्पॉंस) से अधिक bandwidth

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

को handle किया जा सकता है। Analog systems में response के साथ-साथ linearity रेखीयता भी important होती है।

7. **Operating Temperature**—सामान्य उपकरणों में लगभग –20°C से +40°C तक का temperature sufficient (पर्याप्त) होता है जबकि space application या terrestrial application में –55°C से +125°C तक का extreme temperature range आवश्यक होता है जिसको प्राप्त करने के लिए heat sinking, heat sheilding, cooling की व्यवस्थाओं की ज़रूरत होती है।
8. **Coherence**—Incoherent source से noise उत्पन्न होती है तथा इन्हें shifting द्वारा modulate भी नहीं किया जा सकता।
9. **Cost**—System की source cost actual device cost, equipment cost, life cost, replacement cost तथा maintainence cost का overall sum होती है।

फाइबर ऑप्टिकल संचार में प्रयुक्त होने वाले मुख्य ऑप्टिकल स्रोत हैं—लाइट इमिटिंग डायोड (LED) तथा इंजैक्शन लेजर डायोड (ILD)।

यह स्रोत ऑप्टिकल कम्यूनिकेशन के लिये उपयुक्त होते हैं क्योंकि (a) यह ऑप्टिकल फाइबर संचार हेतु उपयुक्त पॉवर उत्पन्न कर सकते हैं। (b) लेज़र द्वारा monochromatic (सिंगल वेवलैंथ) व coherent प्रकाश बीम उत्पन्न की जा सकती है जिसको अधिक दूरी तक ट्रांसमिट किया जा सकता है। (c) LED द्वारा उत्पन्न प्रकाश कम monochromatic (अर्थात् wideband) होता है किन्तु LED सस्ता होता है तथा कम दूरी ट्रांसमिशन हेतु उपयुक्त होता है। (d) LED या लेजर डायोड द्वारा उत्पन्न प्रकाश का आरोपित वोल्टेज या धारा इनका सूचना सिगनल के अनुसार परिवर्तित किया जा सकता है। (e) LED तथा Laser डायोड की dimensions ऑप्टिकल फाइबर के compatable (समरूप) होती हैं अत:, इनको ऑप्टिकल फाइबर से आसानी से couple किया जा सकता है।

(i) लाइट इमिटिंग डायोड (Light emitting diodes or LEDs)—प्रकाश उत्सर्जक डायोड (या LED) ऐसे *p-n* सन्धि डायोड होते हैं जो चालन (अग्र बायस) की अवस्था में प्रकाश का उत्सर्जन करते हैं।

यदि एक *p-n* जंक्शन को अग्र बायस किया जाये तो वह पोटैन्शियल बैरियर का विरोध करता है। इससे डिप्लीशन परत की चौड़ाई कम हो जाती है। अत:, *p-n* जंक्शन पर मैजोरिटी वाहकों का डिफ्यूज़न होता है तथा इलेक्ट्रॉनों व होल का पुन: संयोग (recombination) होता है। प्रत्येक पुन: संयोग में ऊर्जा मुक्त होती है, जो कि प्रकाश के फोटॉन (photon of light) के रूप में होती है। इस फोटॉन की वेवलैंथ सेमीकन्डक्टर के संयोजी बैंड (valence band) व चालन बैंड (conduction band) के मध्य ऊर्जा अन्तराल E_g (energy gap) पर निर्भर करती है । प्रकाश फोटॉन की वेवलैंथ समीकरण $E_g = hc/\lambda$ से ज्ञात की जा सकती है अर्थात्

$$\lambda = \frac{hc}{E_g}$$

जहाँ h = Planck's constant = $6{\cdot}634 \times 10^{-34}$

c = velocity of light = 3×10^8 m/s

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

अत: सेमीकन्डक्टर में चालन व संयोजी बैंड का ऊर्जा अन्तराल (Energy gap) इस प्रकार होना चाहिये, जिससे visible radiations उत्पन्न हों। visible radiations की वेवलैंथ 400 nm से 800 nm होती है, जिनके लिये सेमीकन्डक्टर ऊर्जा अन्तराल 1·55 eV से 3·11 eV होना चाहिये। चूंकि Si (E_g = 1·1 eV) तथा Ge (E_g = 0·72 eV) का ऊर्जा अन्तराल कम होता है, अत: यह LED हेतु उपयुक्त नहीं होते। गैलियम आरसेनाइड GaAs (Gallium Arsenide) जिसका ऊर्जा अन्तराल लगभग 1·55 eV होता है, LED बनाने के लिये प्रयुक्त किया जाता है।

"When p-n junction is forward biased, it opposes the potential barriers of the junction so, the size of deplation region decreses and majority carriers cross the junction. Recombination of electrons and holes take place and energy is released in the form of photon of light. If the energy gap between valence and conduction band of the semiconductor lies between 1·55 eV to 3·11 eV, the emitted light falls in the visible range (wavelength range of 400 nm to 800 nm). Since energy gap for Si and Ge is less than 1·55 eV (1·1 eV and 0·72 eV respectively) they are not suitable for LEDs, instead, GaAs (E_g 1·55 eV) alone in conjunction with aluminium doped Gallium Arsenide are commonly used for LED's. In visible region, LEDs available are of green, orange red and other colours."

Fiber communication में use किये जाने वाले optical sources की निम्न आवश्यकताओं को पूरा करना चाहिए—

- Intensity (तीव्रता)
- Radiation pattern
- Emission wavelength
- Spectral characteristics
- Response time

इन्हीं बातों को ध्यान में रखकर LED तथा lasers को optical source के रूप में use किया जाता है।

LED अर्थात् light emitting diode एक semiconductor diode (*p-n* diode) होता है जो कि forward bias की स्थिति में प्रकाश का उत्सर्जन करता है (emits incoherent narrow spectrum light)। इस electroluminescence कहा जाता है।

LED एक small area source होता है (छोटे क्षेत्रफल वाला source) जिसको chip में design करके इसका radiation pattern shape किया जाता है। उत्सर्जित प्रकाश का रंग चालक पदार्थ की composition तथा condition पर निर्भर करता है तथा यह infrared, visible या ultraviolet क्षेत्रफल में हो सकता है।

§ 3.2. प्रत्यक्ष तथा अप्रत्यक्ष बैंडगैप अर्द्धचालक (Direct and Indirect Bandgap Semiconductor) :

Band gap के आधार पर अर्द्धचालक पदार्थ दो प्रकार के होते हैं—

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

1. Direct band gap semiconductors
2. Indirect band gap semiconductors

Direct band gap semiconductors में charge carrier (आवेश वाहक) conduction band से valence band में बिना momentum के change के ही transition (move) कर सकते हैं। इसी कारण direct band gap materials जैसे कि Gallium Arsenide LED के लिए सबसे उपयुक्त तथा efficient पदार्थ हैं।

Indirect band gap material जैसे कि Si में transitions photon assisted होते हैं ताकि momentum (संवेग) conserve हो सके।

LED को light source के रूप में use करने की मुख्य वजह यह है कि यह उपयुक्त power प्रदान करते हैं, कम noise उत्पन्न करते हैं। इनकी dimension भी fiber से compatible (समरूप, मिलती-जुलती) होती है जिसके कारण fiber तथा source की coupling आसान हो जाती है तथा LED से उत्सर्जित प्रकाश को applied voltage या current से परिवर्तित या modulate किया जा सकता है।

विभिन्न रंगों का उत्सर्जन करने वाले LED विभिन्न पदार्थों के बने होते हैं। ये अर्द्ध चालक direct band gap के होते हैं और binary, ternary या quaternary semiconductor को use किया जाता है।

Binary semiconductor में एक anion तथा एक cation होता है तथा LED के रूप में use किये जाने वाले इस प्रकार के पदार्थों के उदाहरण हैं—SiC, ZnSe, GaN, GaP, GaAs, InP, InAs, GaSb.

इनमें से पहले तीन wide band semiconductors है और blue light उत्पन्न करते हैं किन्तु इनकी दक्षता कम होने के कारण use नहीं किये जाते। Nitrogen doped material yellow light उत्पन्न करते हैं। जब GaP को zinc or oxygen से doped किया जाता है तो यह Red light का उत्सर्जन करते हैं।

Ternary semiconductor जैसे कि GaAsP, GaAlAs and InGaAs को इसलिए use किया जाता है ताकि इनके energy gap को उपयुक्त composition का चयन करके वाँछित wavelength पर adjust किया जा सके। अत: ternary lights का मुख्य benefit यह है कि इनकी composition को change करके emitted light की wavelength change की जा सकती है और वांछित wavelength पर use किया जा सकता है।

Ternary LED के energy gap को निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जा सकता है—

$$E_g(A_{1-x}B_xC) = E_g(AC) + [E_g(BC) - E_g(AC)]\,x \quad ...(3.1a)$$

एक अन्य समीकरण के अनुसार

$$E_g(A_{1-x}B_xC) = E_g(AC) + [E_g(BC) - E_g(AC)]x - b_{AB}\,x\,(1-x) \quad ...(3.1b)$$

where, x = fraction of component B

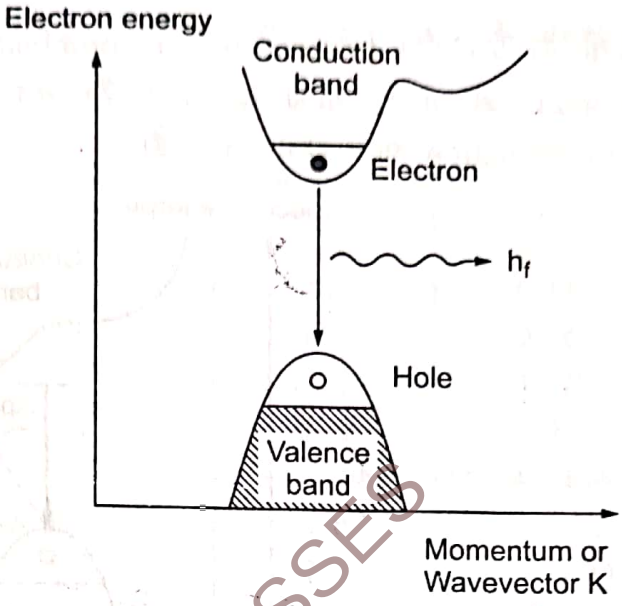
b_{AB} = bowing parameter (experimentally determined parameter i.e. always positive)

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Direct semiconductor वे होते हैं जिसमें forbidden energy gap (वर्जित) दोनों sides के electrons तथा holes का momentum same होता है जिस कारण इनका direct recombination सम्भव हो जाता है।

Direct band gap semiconductor में electroluminescence को चित्र 3.1 में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 3.1—Direct band-gap semiconductor का energy-momentum diagram

आप देखें कि direct bandgap semiconductors में valence band electron की अधिकतम ऊर्जा electron crystal momentum के उसी मान पर होती है जिस पर condition band की न्यूनतम ऊर्जा होती है। अत: जब electron-hole recombination होता है तो electron momentum लगभग नियत (constant) रहता है और इसलिए band gap energy प्रकाश के रूप में उत्सर्जित होती है। अत: electron का energy gap के across सीधा transition होने के कारण photon का उत्सर्जन बहुत क्षमता (efficiency) से होता है, तथा recombination से पूर्व minority carriers बहुत ही कम समय के लिए free state में रहते हैं (10^{-8} से 10^{-10} sec के लिए)।

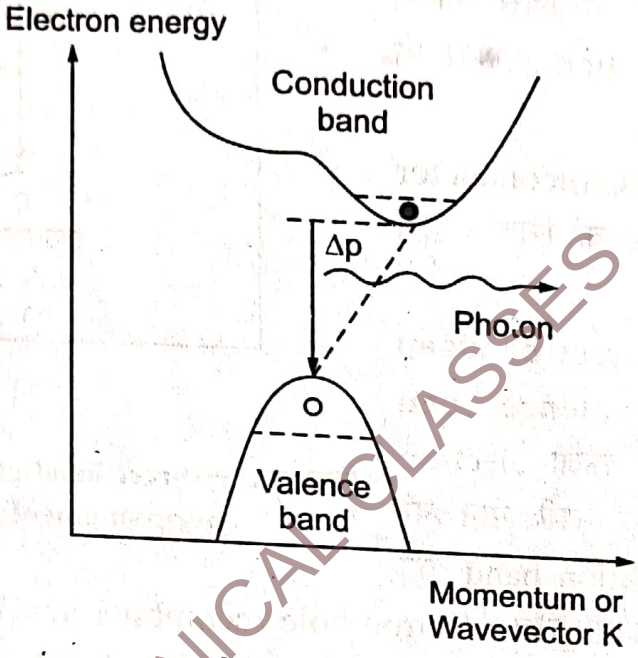
Most useful materials for electro-luminescence are the direct band gap semiconductors in which the energy maximum of the valence band and the energy minimum in the conduction band occur at the almost same value of electron crystal momentum so that the direct recombination between an electron and a hole is possible. When the recombination occurs the momentum of the electron remains virtually constant and the energy released corresponding to the band gap energy E_g may be emitted as light. The direct transition of an electron across the energy gap provides an efficient mechanism of photon emission. The average time during which the minority carriers remain the free state before recombination is known as "minority carrier life time". Direct bandgap semiconductors have a short value of the lifetime of the order of 10^{-8} to 10^{-10} seconds.

Indirect band gap semiconductor में maximum तथा minimum energies के लिए crystal momentum का मान अलग-अलग होता है (चित्र 3.2)। इस स्थिति में electron-hole combination तब होता है जब electron का momentum कम (या अधिक) होकर valence band की maximum energy के corresponding हो जाता है)। Momentum के इस conversion के लिए एक third particle (photon) के उत्सर्जन या अवशोषण की आवश्यकता

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

होती है। इस तीन particle वाले recombination की probability दो particle वाले recombination से काफी कम होती है। अत: indirect band gap semiconductor में recombination बहुत slow होता है।



चित्र 3.2—Indirect band gap के लिए electron energy momentum diagram

Semiconductor के अवशोषण गुणांक को माप कर recombination coefficient की गणना की जा सकती है। यदि majority carrier density minority carrier density से काफी कम है तो minority carrier life time तथा recombination coefficient का सम्बन्ध निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जा सकता है—

$$\tau_r = [B_r (n + p)]^{-1} \qquad ...(3.2a)$$

where, τ_r = Recombination coefficient

n and p = Majority carrier concentration in n and p type regions

Electron energy की wavelength निम्न सूत्र द्वारा दी जा सकती है—

$$\lambda = \frac{hc}{\varepsilon_{ph}} = \frac{1{\cdot}24}{\varepsilon_{ph}\,(eV)} \qquad ...(3.2b)$$

where, λ = wavelength in microns

h = Plancks constant $6{\cdot}63 \times 10^{-34} = 4{\cdot}14 \times 10^{-15}$ electron volt-seconds

c = Speed of light = 3×10^8 m/s

ε_{ph} = Photon energy in eV

अत: LED द्वारा उत्सर्जित प्रकाश की wavelength और रंग LED के पदार्थ पर निर्भर करते हैं जिसको तालिका 3.1 में प्रदर्शित करते हैं

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

सारणी 3.1—विभिन्न पदार्थों की Bandgap Energy तथा Wavelength Ranges

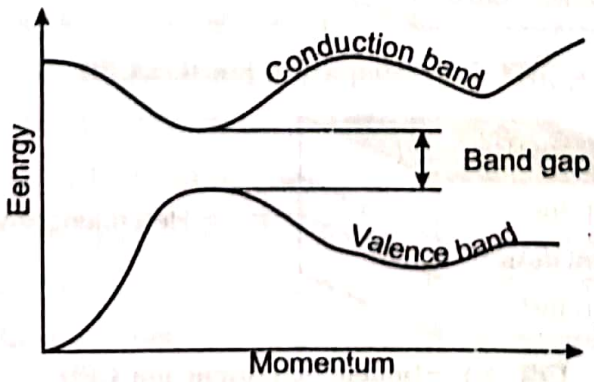
Material	Wavelength Range λ (μm)	Bandgap Energy E_g (eV)
Indium Phosphide (InP)	0·92	1·35
Indium Arsenide (InAs)	3·6	0·34
Gallium Phosphide (GaP)	0·55	2·24
Gallium Arsenide (GaAs)	0·87	1·42
Aluminium Arsenide (AlAs)	0·59	2·0ऽ
Gallium Indium Phosphide (GaIaP)	0·64–0·68	1·82–194
Aluminium Gallium Arsenide (AlGaAs)	0·8–0·9	1·4–1·55
Indium Gallium Arsenide (InGaAs)	1·0–1·3	0·95–1·24
Indium Gallium Arsenide Phosphide (InGaAsP)	0·8–1·7	0·73–135

In the case of an indirect band-gap semiconductor the energy maximum in the valence band and the energy minimum in the conduction band occur at different values of electron crystal momentum. For the electron-hole recombination to occur, it is essential that as electron loses momentum so that the electron has a momentum corresponding to the maximum energy in the top of valence band.

The principle of conse.vation of momentum requires the emission of a third particle which is known as "photon" with a momentum of Δp. The three particle recombination is less probable than the two particle recombination process exhibited by a direct band gap semiconductor. So, the recombination in an indirect band gap semiconductor is relatively slow and the minority carrier life-time is of the order of 10^{-2} to 10^{-4} seconds in an indirect bandgap semiconductor.

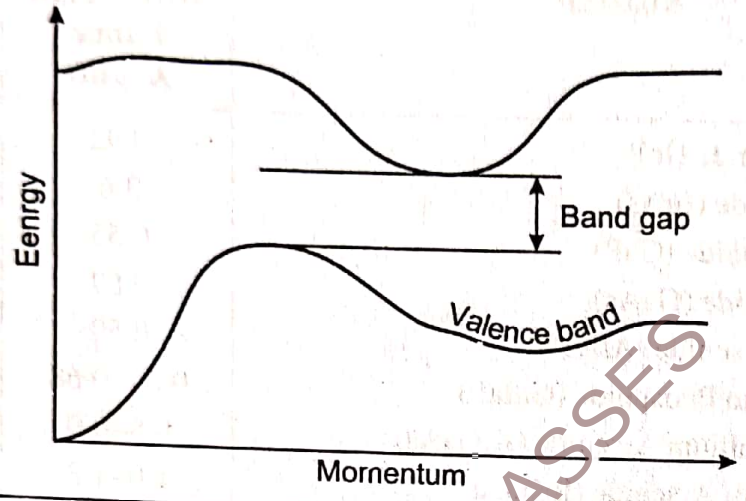
AKC TECHNICAL CLASSES

The valence band and the bottom of the conduction band are not generally at the same value of the electron momentum. In a **direct band gap semiconductor**, the top of the valence band and the bottom of the conduction band occur at the same value of momentum.



Scanned with CamScanner

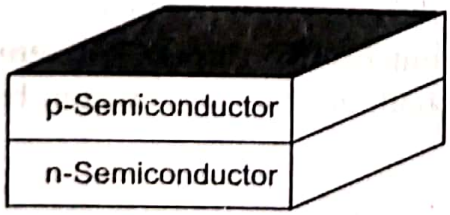
In an **indirect band gap semiconductor**, the maximum energy of the valence band occurs at a different value of momentum to the minimum in the conduction band energy:



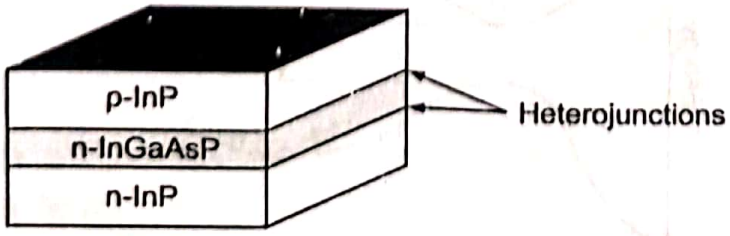
§ 3.3. हैटरोजंक्शन (Heterojunction) :

Heterojunction वह junction होते हैं जिनके *p* तथा *n* type पदार्थ अलग-अलग semiconductor के होते हैं। इन पदार्थों की bandgap energies में अन्तर होने के कारण one way barrier (एक दिशीय अवरोध) उत्पन्न हो जाता है। आवेश वाहक (eiectrons तथा holes) उच्च bandgap energies से निम्न bandgap energy वाले पदार्थ की ओर आकर्षित होते हैं।

Fiber optics में LED की दो configurations use की जाती है। Surface emitter तथा edge emitter। Heterojunction LED का एक advantage यह है कि इसको edge emitter के रूप में use किया जा सकता है। GaAlAs heterojunction में LED की light एक मध्य क्षेत्र में उत्पन्न होती है, यह मध्य क्षेत्र दो GaAlAs layers के बीच sandwich होता है इस कारण इसको double heterojunction कहा जाता है।



चित्र 3.3—Simple p-n junction LED



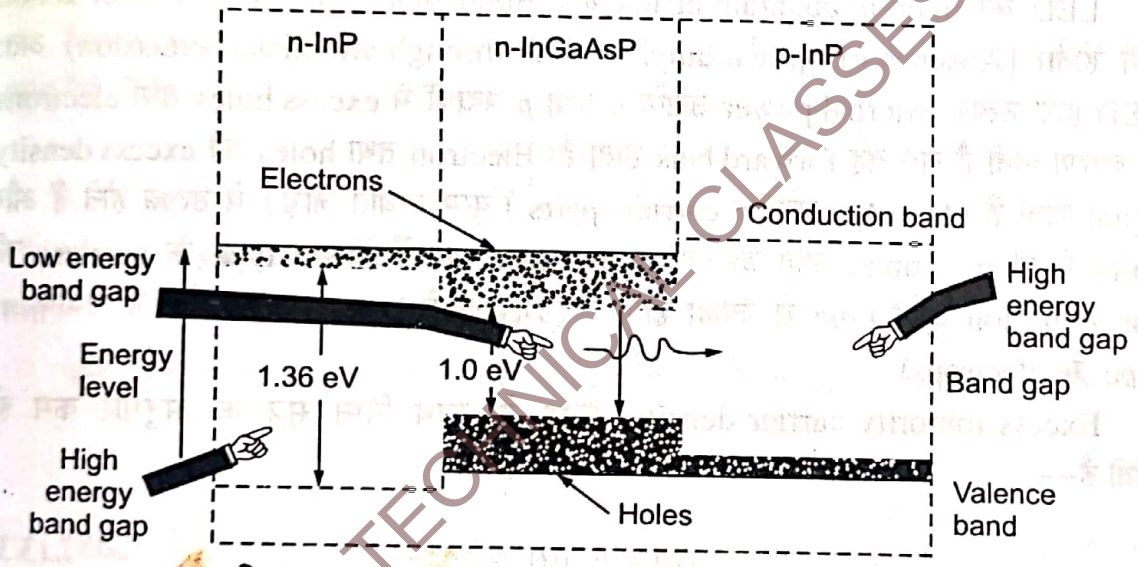
चित्र 3.4—Double heterojunction LED

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Planar LED का area काफी large होता है तथा इनसे उत्पन्न light सभी दिशाओं में फैल जाती है। अत: optical fiber communication में ये उपयोगी नहीं होते। अत: light को localized करने के लिए उसकी intensity बढ़ाने के लिए और उसको fiber में confine (सीमित) करने के लिए heterojuntions का use किया जाता है।

Double Heterojunction (DH)—यदि किसी पदार्थ की परत को उच्च energy bandgap वाले पदार्थ की दो परतों के बीच में sandwich कर दिया जाता है तो इसको double heterojunction इसलिए कहा जाता है क्योंकि इसमें active पदार्थ के दोनों ओर एक-एक heterojunction होता है। Double hetrojunction बनने से एक barrier उत्पन्न हो जाता है जो electron-hole recombination को lower band gap पदार्थ तक ही सीमित कर देता है। Double heterojunction के energy band gap को चित्र 3.5 में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 3.5—Double heterojunction में energy bands

चित्र 3.5 में double heterojunction के तीन भाग प्रदर्शित हैं जो कि निम्नलिखित है—

(i) Left में *n*-type InP है इसके नीचे की dotted line इस पदार्थ के valence band के energy level को प्रदर्शित करती है। Upper dotted line इस पदार्थ के conduction band की lower energy को प्रदर्शित करती है। अत: इसमें 1·36 eV का bandgap difference है।

(ii) Middle section में *n*-type InGaAs है जिसका valence band *n*-type InA के valence band से अधिक energy स्तर पर है और conduction band lower energy level पर है। अत:, इसका कम है (1 eV)।

(iii) Right में *p*-type InP है जिसके energy levels *n*-type InP से उच्च है लेकिन इनके बीच का bandgap समान है (अर्थात 1·36 eV है)।

Electrons left hand junction में *n*-type InP से *n*-type InGaAs की तरफ आकर्षित होती है जबकि holes right hand junction में *p*-type InP से *n*-type InGaAs की ओर

A1C TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

आकर्षित होते हैं। इससे *n*-type InP में recombination होता है और spontaneous emission या lasing action उत्पन्न होता है।

When a layer of material with a particular bandgap energy is sandwiched between layers of material with a higher energy bandgap a double heterojunction is formed. This is called a double heterojunction because there are two heterojunctions present—one on each side of the active material. DH forms a barrier which restricts the region of electron-hole recombination to the lower bandgap material. This region is then called the active region.

§ 3.4. LED की पॉवर तथा दक्षता (LED Power and Efficiency) :

LED की internal quantum efficiency सीमित होती है क्योंकि इसमें laser action नहीं होता। (Absence of optical amplification through stumilated emission) अत: LED द्वारा उत्पन्न external power उसके *n* तथा *p* पदार्थों में excess holes तथा electrons के कारण होती है जब वह forward bais होता है। Electron तथा holes की excess density equal होती है ($\Delta n = \Delta p$) क्योंकि carriers pairs (युग्म अर्थात जोड़े) में उत्पन्न होते हैं और pairs में ही recombine होते हैं। लेकिन extrinsic पदार्थों में एक type के carriers की concentration दूसरे type से ज्यादा होती है (*p*-type में holes अधिक होते हैं जबकि *n*-type में electrons)

Excess minority carrier density समय के साथ निम्न सूत्र के अनुसार कम हो जाती है—

$$\Delta n = \Delta n(0) \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \qquad ...(3.3)$$

where, $\Delta n(0)$ = Initial injected excess electron density
t = Total carrier recombination life time
Δn = Small fraction of the majority carriers and comprises of all the minority carriers.

जब junction में धारा का नियत प्रवाह होता है तो एक equilibrium की स्थिति उत्पन्न हो जाती है, इस स्थिति में carriers के उत्पन्न होने की कुल दर बाहर से supply किये जाने वाले carriers की दर तथा ऊष्मीय कंपनों के कारण उत्पन्न charge carrier की दर के बराबर होती है।

यदि diode में current density का मान τ एम्पीयर प्रति वर्ग मीटर है तो electron density के पर per unit मान में increase (increase in electron density per unit time) को $\frac{J}{ed}$ electrons per cubic meter per sec के रूप में व्यक्त किया जा सकता है जहाँ—

e = charge on an electron
d = thickness of the recombination region

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

LED में charge recombination की equation

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = \frac{J}{ed} - \frac{\Delta n}{\tau} \ (\mathrm{m^{-3}\,s^{-1}}) \qquad ...(3.4)$$

अत: उक्त समीकरण का मान शून्य रखकर equilibrium की condition स्थापित की जा सकती है।

$$\frac{J}{ed} - \frac{\Delta n}{\tau} = 0 \qquad ...(3.4a)$$

या

$$\Delta n = \frac{J\tau}{ed} \qquad ...(3.4b)$$

Equation (3.4b) steady state electron density में increase Δn को प्रदर्शित करती है जबकि junction में एक constant current density flow करती है।

Steady state में total number of carrier recombination per sec या recombination rate का मान—

$$r_t = \frac{J}{ed} = r_r + r_{nr} \ (\mathrm{m^{-3}})$$

where r_r = radiative recombination rate per unit volume

तथा r_{nr} = non-radiative recombination rate per unit volume.

यदि LED में forward current i है तो उसमें होने वाले कुल recombinations की संख्या

$$R_t = \frac{i}{e} \qquad ...(3.6)$$

Diode में excess carriers raditively या non-radiatively combine कर सकते हैं, जब recombination radiative होता है तो photon generate होता है लेकिन जब recombination non-radiative होता है तो energy heat के form में release होती है। अर्थात् यदि पुन:संयोग से प्रकाश उत्पन्न हो तो इसे radiative recombination कहते हैं तथा यदि ऊष्मा उत्पन्न हो, तो non-radiative recombination कहते हैं।

चूँकि double heterojunction की active region की thickness बहुत कम होती है लगभग (1000–2000°A) अत: इसमें radiative recombinations की संख्या non-radiative recombination से बहुत ज्यादा होती है। अत: ज्यादातर recombinations प्रकाश उत्पन्न करते हैं तथा optical fiber communication में यही वांछनीय भी है।

Internal Quantum Efficiency (η_{int})—उत्पन्न होने वाले photons की संख्या तथा inject किये जाने वाले electrons की संख्या के अनुपात को internal quantum efficiency कहा जाता है। LED में radiative recombination rate तथा total recombination rate के ratio को internal quantum efficiency कहा जाता है। अत:—

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$\eta_{int} = \frac{r_r}{r_t} = \frac{r_r}{r_r + r_{nr}} = \frac{R_r}{R_t} \quad ...(3.7)$$

where R_r = total no. of radiative recombination per second
and R_t = total number of recombination per second

समीकरण (3.6) तथा (3.7) को recombine करने पर—

$$R_r = \eta_{int} \frac{i}{e} \quad ...(3.8)$$

LED द्वारा उत्पन्न internal optical power—

$$P_{int} = \eta_{int} \frac{i}{e} hf \quad ...(3.9)$$

या

$$P_{int} = \eta_{int} \frac{hci}{e\lambda} \quad ...(3.10)$$

कैरियर्स के exponential decay हेतु—
Radiative minority carrier lifetime—

$$\tau_r = \frac{\Delta n}{r_r}$$

Non-radiative minority carrier liftime—

$$\tau_{nr} = \frac{\Delta n}{r_{nr}}$$

समीकरण (3.7) से internal quantum efficiency होगी—

$$\eta_{int} = \frac{1}{1+\left(\frac{r_{nr}}{r_r}\right)} = \frac{1}{1+\left(\frac{\tau_r}{\tau_{nr}}\right)} \quad ...(3.11)$$

और total recombination lifetime—

$$\tau = \frac{\Delta n}{r_t}$$

समीकरण (3.5) का use करने के पश्चात—

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_{nr}} \quad ...(3.12)$$

अत:

$$\eta_{ext} = \frac{\tau}{\tau_r} \quad ...(3.13)$$

External Quantum Efficiency—उत्सर्जित शक्ति की गणना करने के लिए external quantum efficiency की आवश्यकता पड़ती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Externally emitted optical power तथा device को दी जाने वाली electrical power का अनुपात external quantum efficiency कहलाता है।

$$\eta_{exp} = \frac{P_e}{P} \times 100\% \qquad ...(3.14)$$

इसी प्रकार एक planer LED (refractive index μ_x के पदार्थ से बने हुए) से एक low refractive index medium μ में emit की जाने वाली optical power का मान—

$$P_e = \frac{P_{int} F^2 \mu}{4\mu_x^2} \qquad ...(3.15)$$

where, P_{int} = Power generated internally

F = Transmission factor of the semiconductor-external interface

Coupling Efficiency—जब optical source की light output को fiber से couple किया जाता है तो इसमें भी कुछ loss होता है हालांकि वास्तविक coupling efficiency की गणना थोड़ी जटिल होती है लेकिन कुछ सरल सूत्रों के सहायता से इसकी लगभग गणना ली जा सकती है। माना कि किसी step index fiber के लिए fiber पर incident होने वाली समस्त light (within the acceptance of any θ_a) fiber को couple हो जाती है

$$\theta_a = \sin^{-1}(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \qquad ...(3.16)$$

$$= \sin^{-1}(NA) \qquad ...(3.17)$$

θ_a से अधिक angle वाली incident light couple नहीं होगी। एक Lambertian source के लिए angle θ पर radiation intensity (I_θ) का मान—

$$I_\theta = I_0 \cos\theta \qquad ...(3.18)$$

where I_0 = Radiant intensity along the line तथा $\theta = 0$

एक ऐसा source जो fiber core से काफी छोटा तथा उसके बहुत पास है को consider करते हुए तथा cylindrical symmetry assume करते हुए coupling intensity का मान—

$$\eta_c = \frac{\int_0^{\theta_1} I(\theta) \cdot \sin\theta \cdot d\theta}{\int_0^{\pi/2} I(\theta) \cdot \sin\theta d\theta}$$

उपरोक्त समीकरण से—

$$\eta_c = \frac{\int_0^{\theta_a} I_0 \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \, d\theta}{\int_0^{\pi/2} I_0 \cos\theta \cdot \sin\theta \, d\theta}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$= \frac{\int_0^{\theta_a} I_0 \sin 2\theta \, d\theta}{\int_0^{\pi/2} I_0 \sin 2\theta \, d\theta}$$

$$\eta_c = \frac{\left[-I_0 \frac{\cos 2\theta}{2}\right]_0^{\theta_a}}{\left[-I \frac{\cos 2\theta}{2}\right]_0^{\pi/2}}$$

$$\boxed{\eta_c = \sin^2 \theta_a} \qquad \text{...(3.19)}$$

∴ अत:

$$\eta_c = (\text{NA})^2 \qquad \text{...(3.20)}$$

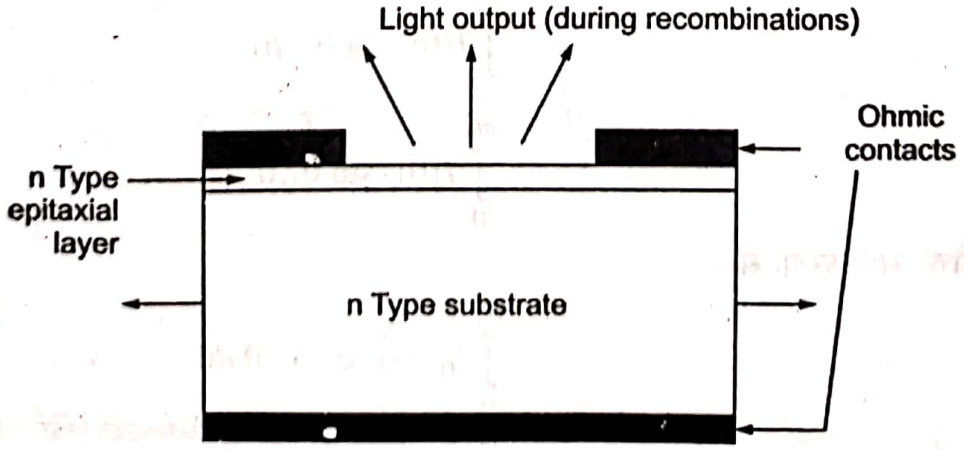
उपरोक्त समीकरण से पता चलता है कि coupling efficiency Numerical aperture के वर्ग के बराबर होती है।

§ 3.5. LED संरचना (LED Structures) :

LED की संरचनायें कई प्रकार की होती है जिसे कि—

(i) Planar LED
(ii) DOME shaped
(iii) Surface emitter LED
(iv) Edge emitter LED
(v) Super luminescent LED या SLD

Planar LED—यह LED की सबसे simple संरचना होती है और इसको GaAs subtrate पर liquid या vapour epitaxial process द्वारा बनाया जाता है (चित्र 3.6(a))। इसके लिये *n*-type substance पर *p*-type diffusion की जाती है। जब इसको forward bias



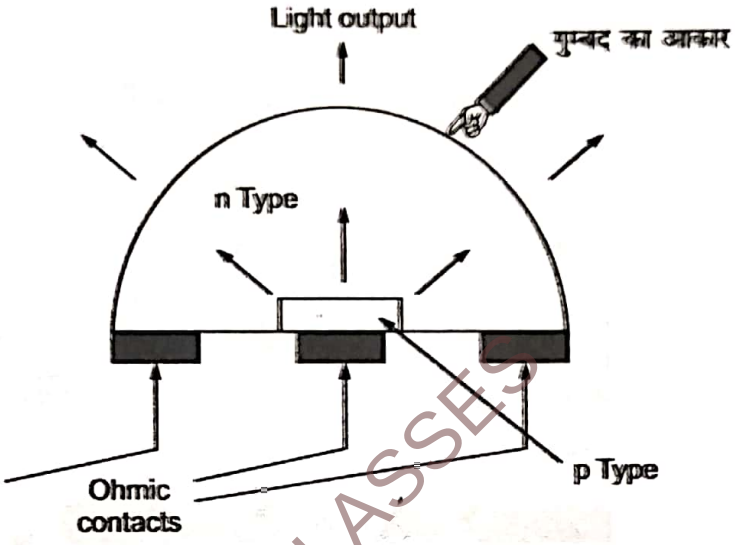
चित्र 3.6(a)—Planar LED

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

किया जाता है तो forward current के कारण इसमें lambertian spontaneous emission होता है और सभी सतहों से light का उत्सर्जन होता है। Internal reflection के कारण बहुत कम light इस device से बाहर आ पाती है जिसके कारण इसका radiance बहुत कम होता है इस लिए इसको optical fiber communication में उपयोग नहीं किया जाता।

Dome LED—इसकी संरचना चित्र 3.6(b) में प्रदर्शित है। इसमें एक p-क्षेत्र के चारों ओर n-type GaAs का hemisphere (अर्द्धगोला) बनाया जाता है जिसको Dome (अर्थात् गुम्बद के आकार का) कहते हैं। Dome का diameter (व्यास) ऐसे रखा जाता है ताकि उत्सर्जन अधिकतम हो। इसकी power efficiency planar LED से अधिक होता है, लेकिन Dome का आकार recombination क्षेत्र की तुलना में काफी बड़ा होता है जिससे कि radiance कम हो जाता है। इसको भी optical fiber communication में use नहीं किया जाता है।



चित्र 3.6(b)

Surface Emitter LED—यह एक उच्च radiance वाली LED संरचना है क्योंकि इसमें उत्सर्जन को एक छोटे से क्षेत्र में ही सीमित कर दिया जाता है (चित्र 3.6(c))। इस तकनीक को Burrus and Dawson द्वारा विकसित किया गया। इसमें Ga substrate के अन्दर एक well (कुआँ) etch किया जाता है जिससे उत्सर्जित radiation का कम से कम अवशोषण (absorption) हो तथा device को fiber से भी आसानी से couple (युग्मित किया जा सके। इस प्रकार की संरचना के active region में thermal impedance भी कम होता है, जिससे current density उच्च होती है optical fiber में उच्च radiation का उत्सर्जन सम्भव हो जाता है। एक multimode step index fiber में coupled power को निम्न सूत्र द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है—

$$P_c = \pi (1 - \gamma) A R_D (NA)^2 \qquad \text{...(3.21)}$$

where, r = Fresnel reflection coefficient at the fiber surface

A = Fiber core cross section or the emission area of the source (whichever is smaller)

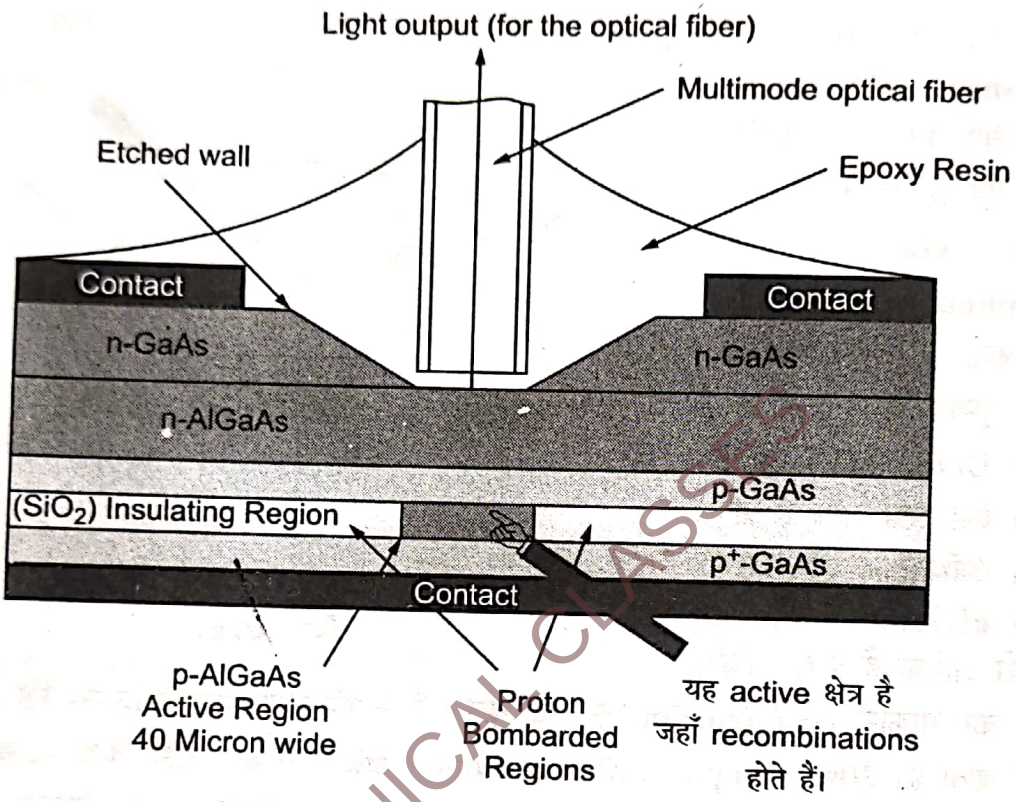
R_D = Radiance of the source

Fiber में couple कि जाने वाली Power कई अन्य factors पर भी depend करती है जैसे कि दूरी, Emission area तथा fiber के बीच का alignment तथा उनके बीच का medium, emission pattern इत्यादि।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Etched well में resin को add करके refractive index mismatch कम किया जा सकता है और external power efficiency को बढ़ा सकता है।



चित्र 3.6(c)—Surface emitter LED संरचना

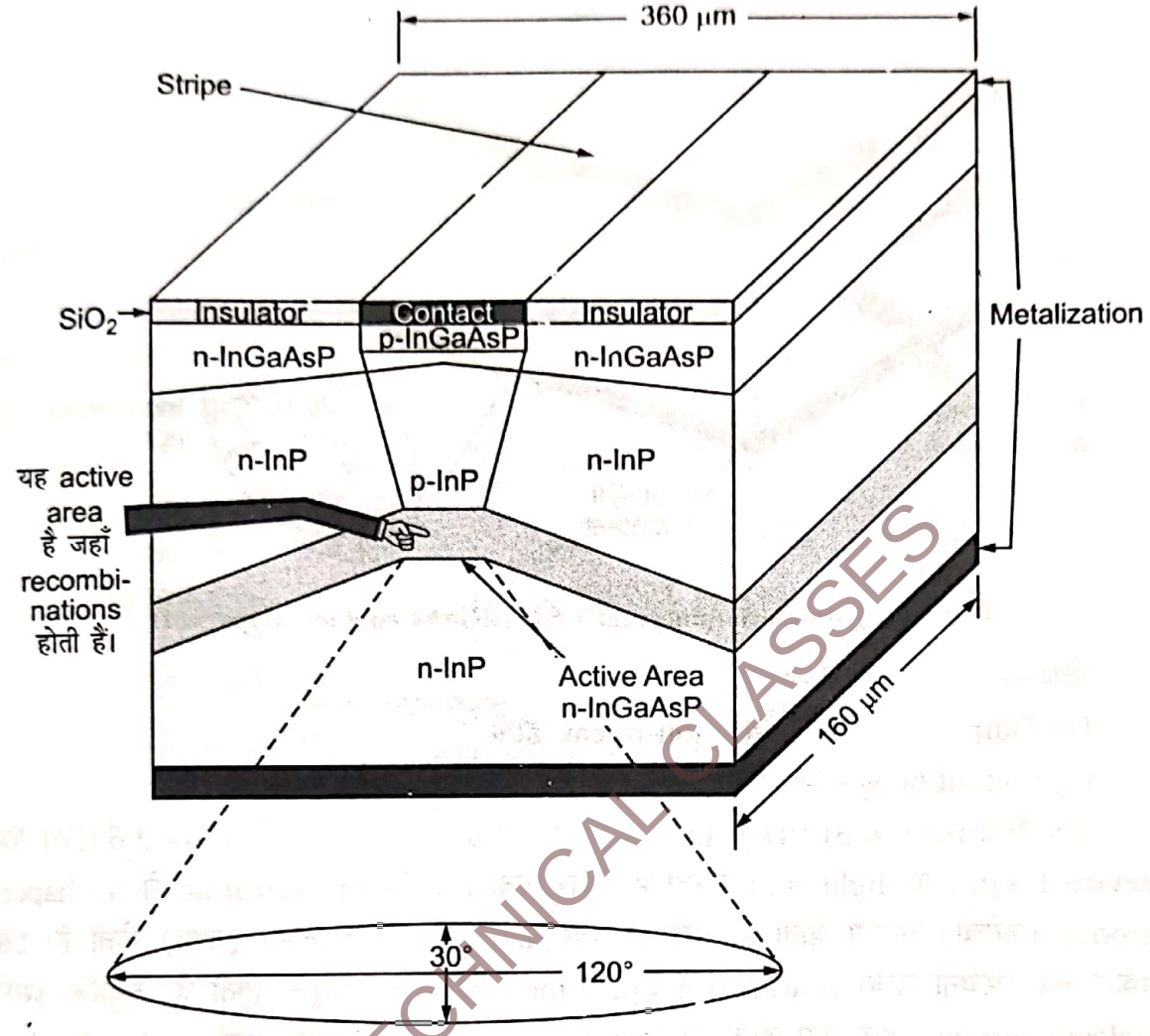
Edge Emitter LED—यह भी एक उच्च radiance वाली संरचना है जो कि contact stripe injection laser के समान है। Active layer में absorption को कम करने के लिए इसमें transparent guiding layer होते हैं तथा बीच में 50 μm से 100 μm का पतला active layer होता है, waveguiding के कारण beam divergence बहुत पतला हो जाता है और half power width junction के perpendicular लगभग 30° हो जाती है (चित्र 3.6(d))। Waveguiding के कारण edge emitter एक low NA fiber को surface emitter की तुलना में 7·5 surface से 8 गुना power couple कर सकता है।

Edge emitter की stripe geometry के कारण carrier injection density बहुत उच्च होता है जिसके कारण कुछ milliwatt power inject करने पर 400–500 mA तक के drive current प्राप्त हो जाते हैं। Edge emitter की modulation bandwidth भी कई सौ MHz होती है।

Super Luminescent LED or SLEDs—इसकी संरचना भी उच्च radiance वाली होती है इसकी संरचना की विशेष बात यह होती है कि इसके एक सिरे पर contact stripe के साथ-साथ एक अवशोषण क्षेत्र (absorbing region) भी होता है जिससे laser action suppressed हो जाता है। Anti-reflection coating के कारण Fabry Parot resonance भी suppressed हो जाता है। इस प्रकार की युक्तियाँ से 50 μm diameter के multimode graded

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



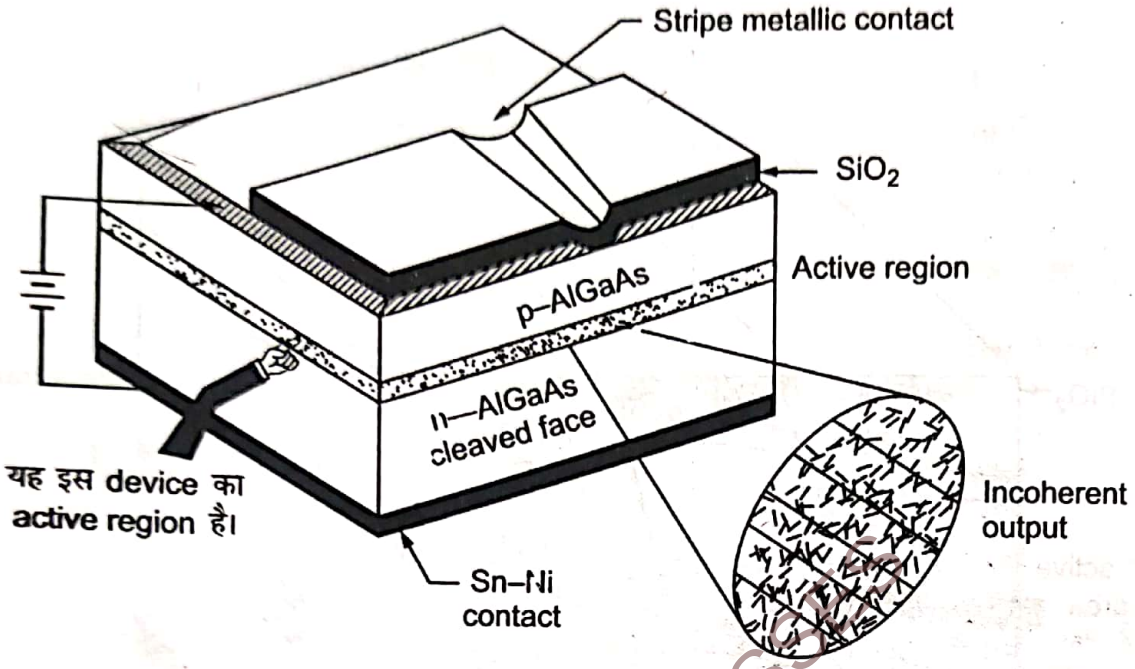
चित्र 3.6(d)—Edge emitter LED

index fiber में 200 mA के trive current पर 400 μW power launch की जा सकती है तथा 30-40 nm की line width प्राप्त की जा सकती है। (चित्र 3.4(e)) इनको भी optical fiber communication में use किया जाता है। SLED's तथा ELED's की तुलना में इसकी output power उच्च होती है, output beam directional होती है और spectral line width पतली होती है जिसके कारण इसको single mode fiber से आसानी से couple किया जा सकता है।

Working—Injected current को तब तक बढ़ाया जाता है जब तक stimulated emission नहीं होता फलस्वरूप amplification होता है। लेकिन device के दूसरे end पर high loss होने के कारण optical feed back की सम्भावना नहीं बनती और laser oscillations भी उत्पन्न नहीं होते। Stimulated emission के कारण होने वाली gain से device की output device current के साथ बढ़ती है। अत: stimulated emission के कारण इस device से उच्च output power के साथ-साथ पतली spectral width भी प्राप्त होती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



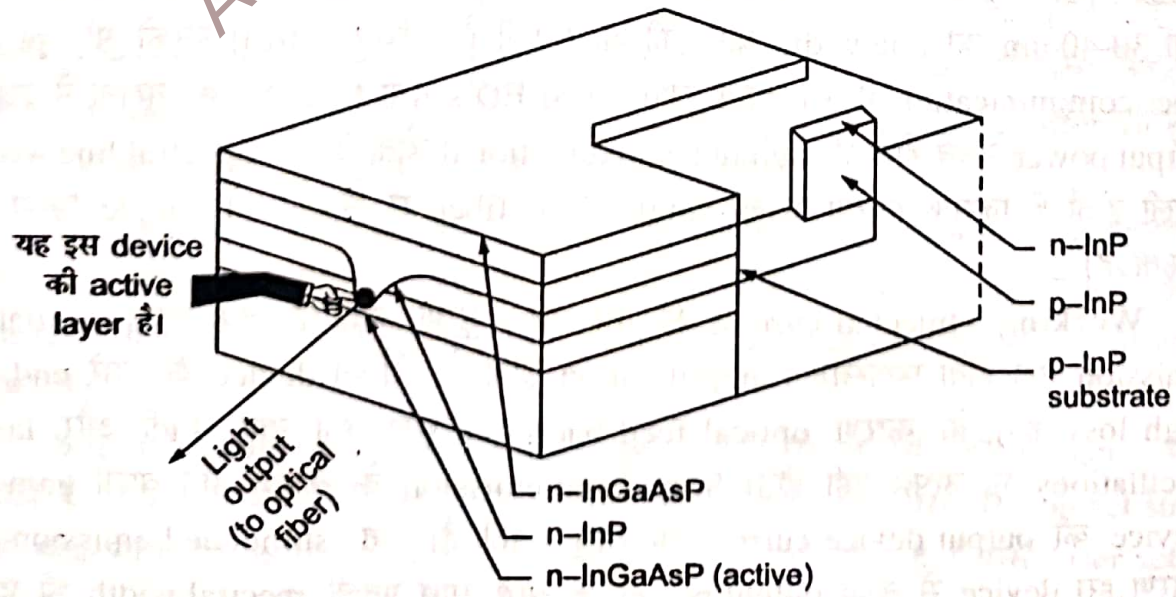
चित्र 3.6(e)—Superluminescent LED AlGaAs contact-stripe SLD

दोष—

(1) Output अभिलक्षणों का non-linear होना

(2) Output power का ताप पर निर्भर करना

एक अन्य type के SLED में InGaAs/InP का use किया जाता है। (चित्र 3.6 (f))। यह device 1·3 μm पर light emit करता है, इसमें एक *P*-type InP substrate में V-shaped groove (खाँचा) बनाया जाता है, जिसके अंदर active layer buried (दबा) होती है। इस प्रकार की संरचना उच्च power वाले operations के लिए उपयुक्त होती है, क्योंकि इसमें leakage current बहुत कम होता है। Feedback से बचने के लिए इसमें anti-reflection coating के बजाय एक हल्की diffusion वाली सतह का use किया जाता है। इस सतह को



चित्र 3.6(f)—उच्च power InGaAs LED

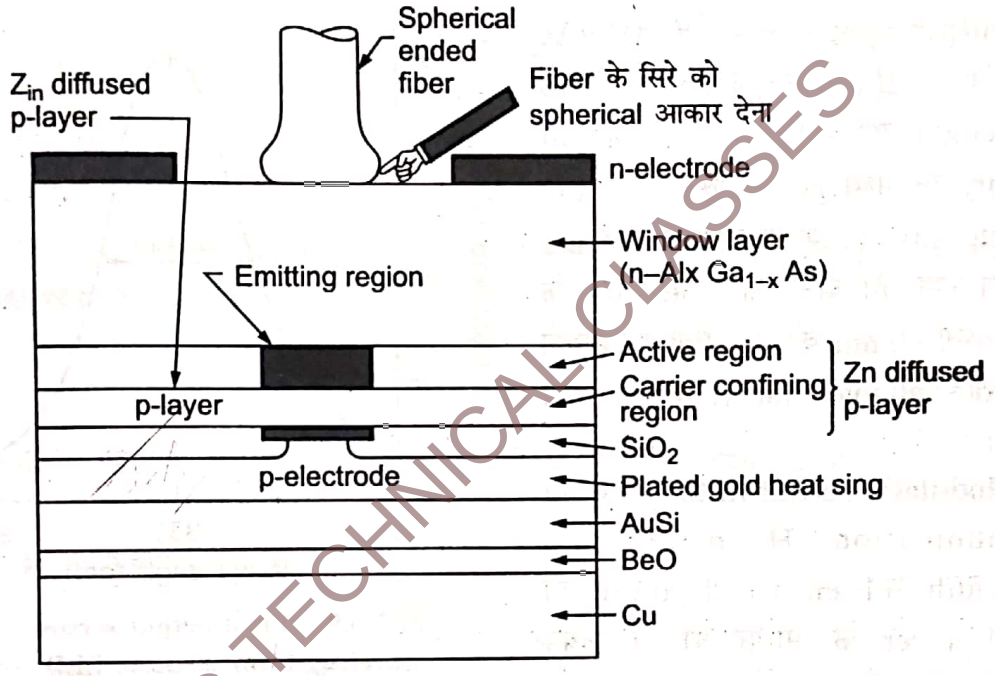
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

350 μm की active layer पर diagonally apply किया जाता है जिससे active layer द्वारा उत्सर्जित background light scatter हो जाती है और feedback कम हो जाता है।

LED को lens द्वारा fiber से couple करना—एक spherical ended fiber को use करने पर coupling efficiency 4 गुना तक बढ़ाई जा सकती है (चित्र 3.7)।

इसके लिए फाइबर के सिरे को controlled melting द्वारा spherical form में ढाल दिया जाता है जिससे beam को coilect तथा collimate (पतला करना) फाइबर के लिये आसान हो जाता है।

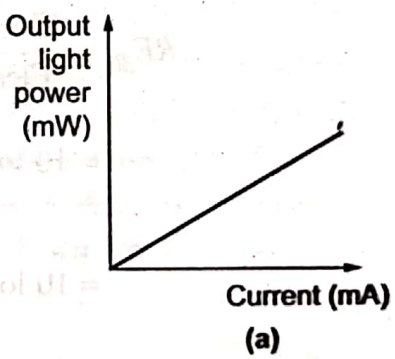


चित्र 3.7—Spherical ended fiber coupled with AlGaAs LED

§ 3.6. LED अभिलक्षण (LED Characteristics) :

(i) Optical Output Power Current Characteristics—एक अच्छे source की current तथा output के बीच की characteristics linear होना चाहिए (चित्र 3.8 (a))

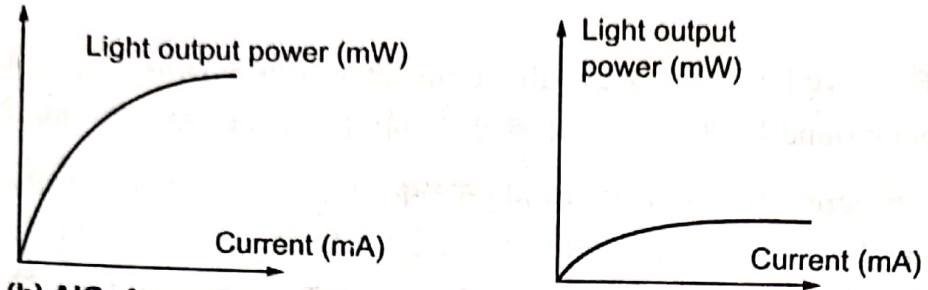
LED एक linear device होता है, किन्तु कुछ configuration non-linear भी होती है जैसे कि surface emitter संरचना (चित्र 3.8(b)) तथा edge emitter संरचना (चित्र 3.8(c))। अत:, इन संरचनाओं को use करते समय linearization circuit use करना आवश्यक हो जाता है, हालांकि drive current के कम मानों (values) के लिए दोनों devices लगभग linear होते हैं।



चित्र 3.8

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



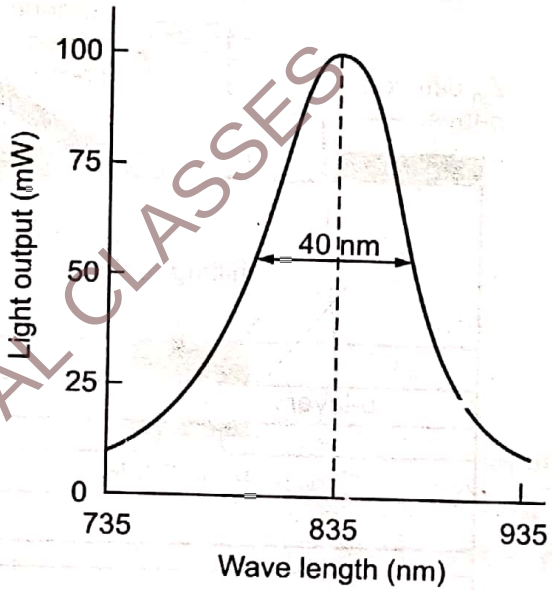
(b) AlGaAs surface emitter LED characteristics

(c) Edge emitter LED characteristics

चित्र 3.8—Ideal output against current characteristics

Output Spectrum—एक AlGaAs LED चित्र 3.9 (a) में प्रदर्शित है, जिसमें wavelength को relative light output intensity के मध्य graph किया गया है।

Intensity का शिखर लगभग 835 nm पर प्राप्त होता है। दोनों half intensity के बीच लगभग 40 nm की दूरी होती है जिसको full width half maximum (FWHM) कहा जाता है।



चित्र 3.9—Light output versus wavelength for AlGaAs LED

Modulation Bandwidth—Optical communication में modulation bandwidth को electrical power या optical power के आधार पर परिभाषित किया जा सकता है। Electrical bandwidth वह आवृत्ति range होती है जिसके अन्दर electrical power अपने अधिकतम मान के आधी ही रहती है (optical signal के modulated portion के कारण) इन दोनों 3 db points के अन्दर की range को electrical bandwidth कहा जाता है—

$$RE_{db} = \frac{\text{Electrical Power output}}{\text{Electrical Power input}}$$

$$= 10 \log_{10} \frac{I_{out}^2 \times R_{out}}{I_{in}^2 \times R_{in}}$$

$$= 10 \log_{10} \frac{I_{out}^2 \, R_{out}}{I_{in}^2 \, R_{in}} = 10 \log_{10} \left(\frac{I_{out}^2}{I_{in}^2} \right)$$

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{I_{out}}{I_{in}} \right) \qquad (\text{As.ume that } R_{in} = R_{out})$$

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

The electrical 3 dB point (70%) occurs when the electrical power ratio is $\frac{1}{2}$.

$$\left(\frac{I_{out}}{I_{in}}\right)^2 = \frac{1}{2}$$

or
$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}707 \qquad ...(3.22a)$$

Optical bandwidth—ऑप्टिकल बैंडविड्थ वह frequency range होती है जिसमें detector पर प्राप्त optical power, transmitted power से 3 dB कम हो जाती है—

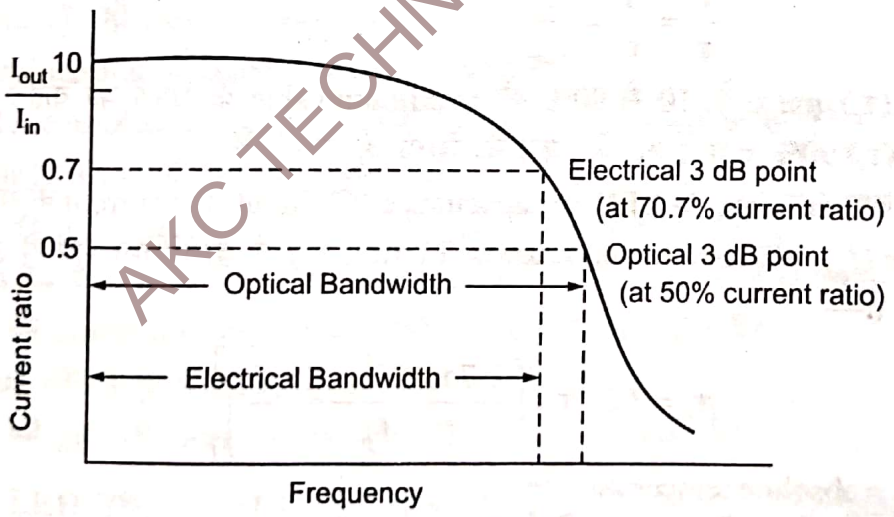
$$RO_{dB} = 10 \log_{10} \frac{\text{Optical power output (at the detector)}}{\text{Optical power input (transmitted at the source)}}$$

$$= 10 \log_{10} \frac{I_{out}}{I_{in}} \qquad ...(3.22b)$$

यह तब होता है जब optical power धारा के समानुपाती होती है। अत: optical 3 dB point तक होता है। जब—

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{1}{2} \qquad ...(3.22c)$$

Electrical तथा optical bandwidth को चित्र 3.10 में प्रदर्शित किया गया है।



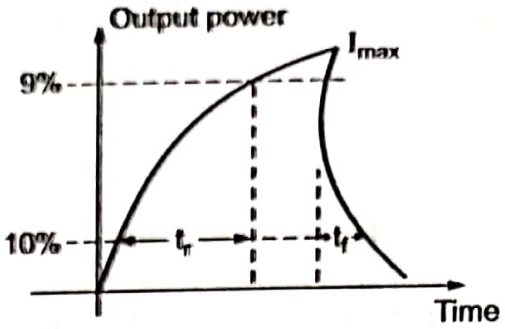
चित्र 3.10(a)—The frequency response for an optical fiber system illustrating electrical and optical bandwidth

Modulation bandwidth कई factors से प्रभावित होती है जैसे कि—

(i) active layer में impurity concentration मात्रा
(ii) injected carier का life time
(iii) system के parasitic capacitance

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 3.10(b)

Bandwidth तथा rise time में निम्न संबंध होता है—

$$BW = \frac{0\text{-}35}{t_r} \qquad ...(3.23)$$

Life Time, Rise/Fall Time—Charge carriers का life time उनके excite होने और recombine होने के बीच का समय होता है। ये nano seconds से milli seconds के बीच होता है। Life time दो प्रकार के होते हैं—

(1) Radiative (τ_r)

(2) Non-radiative (τ_{nr})

Total carrier life time निम्न सूत्र द्वारा दिया जा सकता है—

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_r} = \frac{1}{\tau_{nr}} \qquad ...(3.24)$$

Rise (τ_r), pulse के 10 से 90% की maximum value के समय को कहते हैं जबकि fall time (τ_f) 90% तथा 10% के बीच के समय को कहते हैं।

Rise तथा fall time को LED के capacitance (C), input step current के समय with amplitude (I_p) और total recombination life time (τ) के द्वारा निम्न सूत्र से ज्ञात किया जा सकता है—

$$\tau_r = 2\text{-}2\left[\tau + \left(\frac{1\text{-}7\times10^{-4}\times T\times C}{I_p}\right)\right] \qquad ...(3.25)$$

where Ts = absolute temperature in K.

Light output की ताप पर निर्भरता—ताप बढ़ने पर LED की internal quantum efficiency exponentially कम हो जाती है। Edge emitting device ताप से SLED के तुलना में ज्यादा प्रभावित होते हैं जबकि SLD पर ताप का सबसे ज्यादा प्रभाव पड़ता है। [चित्र (3.11)]

विश्वसनीयता—सामान्यता समय का कोई बहुत तीव्र प्रभाव नहीं पड़ता लेकिन समय (आयु) के साथ output power पर थोड़ा बहुत प्रभाव पड़ने लगता है—

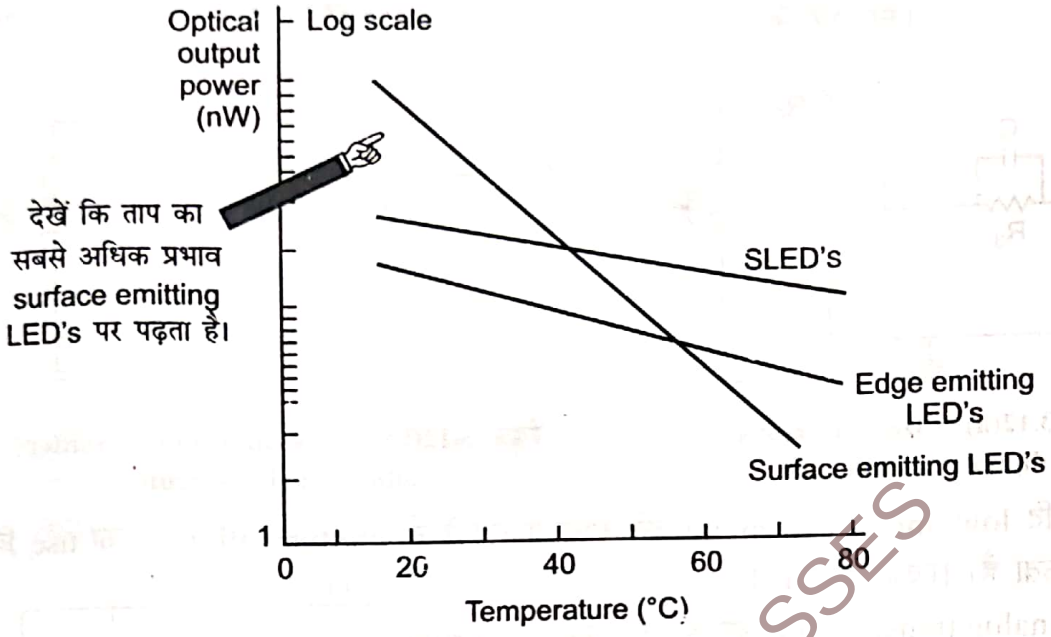
$$P_{out}(t) = P_{out}\exp(-\beta_r t) \qquad ...(3.26)$$

where, P_{out} = Initial output power

β_r = Degradation rate

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 3.11—Temperature का LED power output पर प्रभाव

विचार प्रश्न

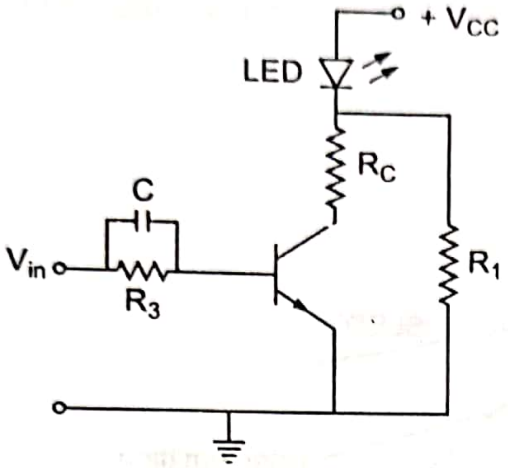
- Optical sources के लिए direct band gap तथा indirect band gap में से कौन से ज्यादा उपयुक्त होते हैं और क्यों?
- किन semiconductors में valence band का top और conduction band का bottom एक ही electron momentum पर होता है।
- Heterojucntion में active region क्या होती है?
- Total recombination life time किन factors पर depend करता है?
- Planar LED, OFC हेतु क्यों उपयुक्त नहीं है?
- OFC हेतु प्रयुक्त sources की beam directional क्यों होनी चाहिए।
- Beam को directional बनाते हेतु spectral line width narrow होनी चाहिए या wide?
- LED की power bandwidth क्या होती है? इसका क्या महत्व है?
- Analog और digital modulation में क्या अन्तर होता है?
- LED की तुलना में laser को use करने के क्या advantage है?

§ 3.7. LED तथा LASER हेतु ड्राइवर परिपथ (Driver Circuits for LEDs and Laser) :

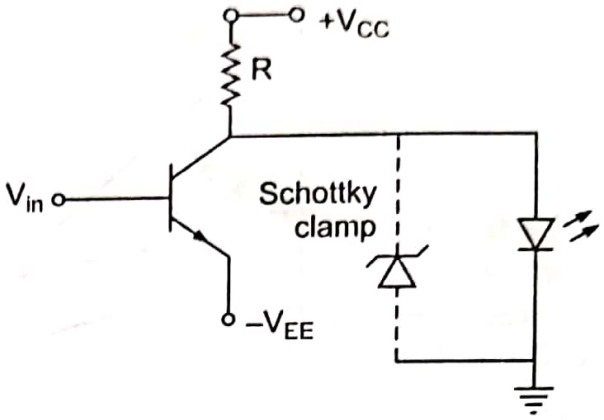
LED को drive करने के लिए कई प्रकार के driver circuits use किये जाते हैं। एक simple drive circuit को चित्र 3.12 (a) में प्रदर्शित किया गया है। यह circuit digital transmission हेतु उपयुक्त रहता है। इसमें logic voltage के अनुसार LED को switch on या off किया जाता है। *n-p-n* transistor को common emitter mode में connect करके collector पर लगे LED के लिए current gain प्राप्त की जा सकती है। ON स्थिति में transistor के collector तथा emitter के बीच में केवल 0·2 V का drop होता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



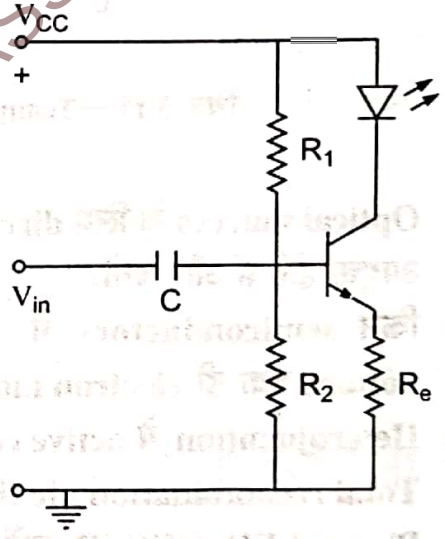
चित्र 3.12(a)—Drive circuit for digital transmission



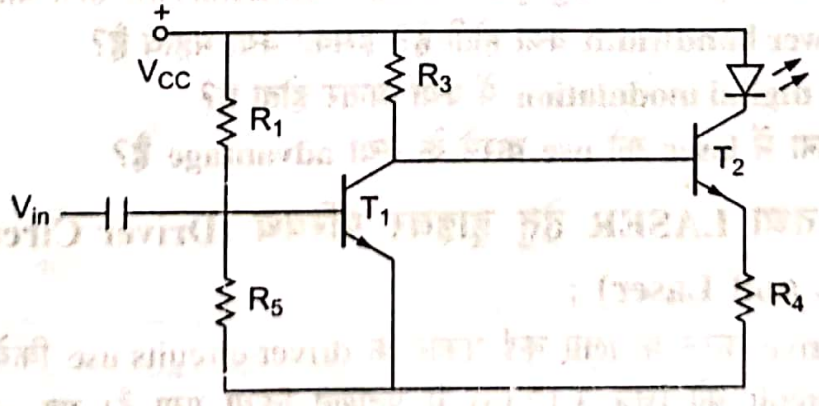
चित्र 3.12(b)—Slow impedance emitter follower drive circuit

यदि low impedance circuit की आवश्यकता है तो emitter follower का use किया जा सकता है। [चित्र 3.12(b)]

Analog transmission हेतु भी कई प्रकार के drive use होते हैं चित्र 3.12(c) में analog transmission हेतु एक diode circuit प्रदर्शित है जिसमें common transconductance amplifier की सहायता से input base voltage के समानुपात में collector धारा प्राप्त की जा सकती है। इसको class A में modulate किया गया है। एक अन्य drive परिपथ 3.12 (d) में प्रदर्शित किया गया है। यह परिपथ एक Darlington transistor pair use करता है जिससे source का impedance कम हो जाता है तथा gain बढ़ जाती है। इस परिपथ से 70 MHz पर high radiance वाली LED's को drive किया जा सकता है।



चित्र 3.12(c)—Low impedance drive circuit



चित्र 3.12(d)—Transimpedance drive circuit for analog transmission

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

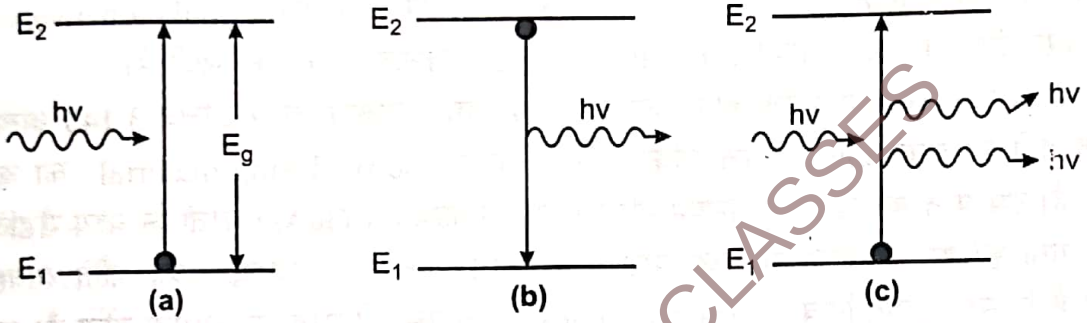
§ 3.8. लेजर डायोड (Laser Diodes) :

LASER का तात्पर्य light amplification by stimulated emission of radiation से है। लेज़र बीम की कार्यप्रणाली विकिरणों के उत्तेजित उत्सर्जन तथा जनसंख्या प्रतिलोमन (stimulated emission of radiation and population inversion) पर आधारित होती है।

एक सेमीकन्डक्टर लेजर डायोड मे तीन मुख्य क्रियाएँ होती हैं—

(i) Photon absorption
(ii) Spontaneous emission
(iii) Stimulated emission

इन क्रियाओं को चित्र 3.13 में प्रदर्शित किया गया है जहाँ—



चित्र 3.13—लेज़र डायोड में अवशोषण तथा उत्सर्जन क्रियाएँ (a) अवशोषण (b) Spontaneous उत्सर्जन (c) Stimulated उत्सर्जन

E_1–stable ground state energy level
E_2–unstable excited state energy level

इन दो ऊर्जा स्तरों के मध्य अन्तराल E_g (energy gap) है।

अत:, कोई इलैक्ट्रान एक स्तर से दूसरे स्तर पर transition करता है तो photon का अवशोषण अथवा उत्सर्जन (absorption or emission) होता है

प्लैन्क (Planck) के नियम के अनुसार

$$h\nu = E_2 - E_1$$

जहाँ h = Planck's constant
ν = frequency of emission or absorption

सामान्यतया, इलैक्ट्रॉन स्थाई अवस्था (अर्थात् ग्राउन्ड स्टेट) में रहते हैं। माना युक्ति पर ऊर्जा $h\nu = E_2 - E_1$ का photon आपतित (incident) होता है, तो इलैक्ट्रॉन इस फोटॉन का अवशोषण (absorption) करके E_2 state पर ट्रांसफर हो जाता है (चित्र 2.15 (a))। यह फोटॉन अवशोषण प्रक्रिया (photon absorption process) है।

चूँकि E_2 exited स्टेट है तथा अस्थाई है, अत: इलैक्ट्रॉन अपने आप (spontaneously) वापस ग्राउन्ड पर आ जाता है तथा ग्राउन्ड स्टेट पर वापस आते समय एक फोटॉन का उत्सर्जन करता है (चित्र 3.13 (b))। इसको spontaneous emission कहा जाता है। यह उत्सर्जन random होते हैं तथा इनमें उत्सर्जित होने वाले फोटॉन में कोई कला सम्बन्ध (phase relationship) नहीं होता।

AKC TECHNICAL CLASSES

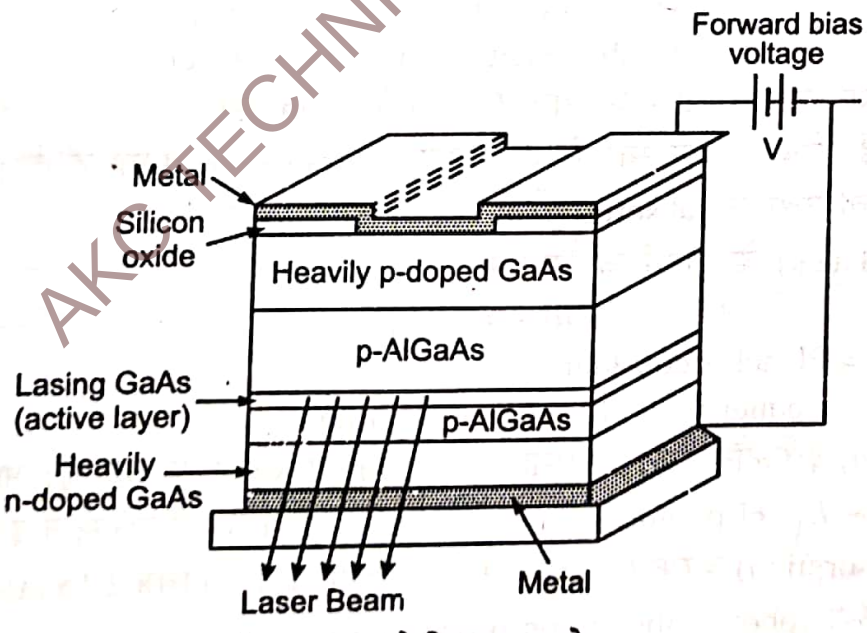
Scanned with CamScanner

यदि कोई फोटॉन excited state के इलैक्ट्रॉन से interact करता है तथा इलैक्ट्रॉन को आपतित फोटॉन (incidents photon) की दिशा में तथा समान कला में फोटॉन उत्सर्जन के लिये प्रेरित करता है तो इसे उत्तेजित उत्सर्जन या प्रेरित उत्सर्जन (stimulated emission or induced emission) कहा जाता है (चित्र 3.13 (c))। इस प्रक्रिया के repeat होने से हमें visible light की intense monochromatic unidirectional beam (तीव्र एकल वेवलैंथ एकल दिशीय बीम) प्राप्त होती है।

Stimulated emission हेतु population inversion प्रक्रिया आवश्यक है। Population inversion से तात्पर्य यह है कि excited energy state E_2 में इलैक्ट्रॉनों की संख्या को किसी प्रकार stable ground state E_1 में इलैक्ट्रॉनों की संख्या से अधिक कर दिया जाये। Population inversion प्राप्त करने हेतु ऑप्टिकल पम्पिंग (optical pumping) तकनीक प्रयुक्त की जाती है।

ऑप्टिकल संचार में प्रयुक्त होने वाले आधुनिक सेमीकन्डक्टर लेजर (चित्र 3.14) अत्यन्त जटिल होते हैं। इसमें GaAs परत सक्रिय लेजिंग पदार्थ (active lasing material) का कार्य करती है। इस परत को दो एल्यूमीनियम गैलियम आरसेनाइड (AlGaAs) परतों के मध्य सैंडविच किया गया है। इस व्यवस्था से मध्य परत (central layer) एक वेवगाइड की भाँति व्यवहार करती है जिसका अपवर्तनांक (refractive index) आसपास की परतों से अधिक होता है। अत: ऑप्टिकल बीम एक निश्चित क्षेत्र में सीमित (confined) हो जाती है तथा side losses कम हो जाते हैं।

AKS TECHNICAL CLASSES



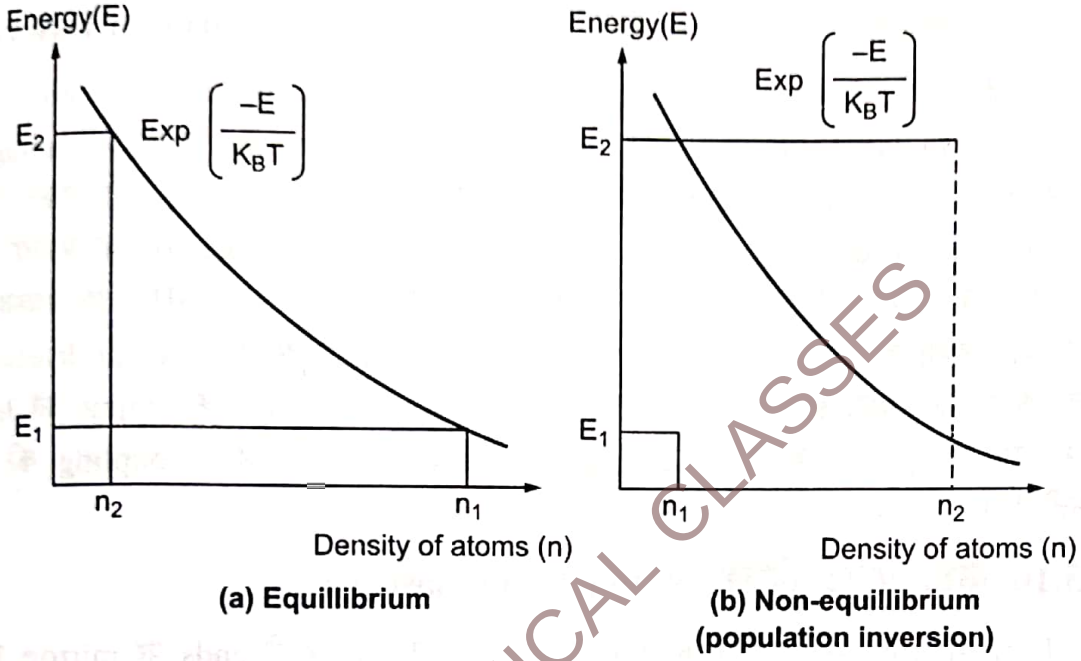
चित्र 3.14—सेमीकन्डक्टर लेज़र

जनसंख्या का विलोमन (Population Inversion) :

Boltzman distribution के अनुसार thermal equilibrium की यह है कि किसी atomic system के lower energy level E_1 में atoms की संख्या upper energy level E_2 से अधिक होनी चाहिए [चित्र 3.15 (a)]। Optical amplification प्राप्त करने के लिए (atoms की non-equilibrium distribution उत्पन्न करना) आवश्यक है जिससे की upper energy

Scanned with CamScanner

level E_2 में electron population lower energy level E_1 से अधिक हो जाए $(n_1 > n_2)$। [चित्र 3.15(b)] इस condition को population inversion कहा जाता है। चूँकि यह equilibrium condition नहीं होती इसलिए population inversion प्राप्त करने के लिए pumping techniques का इस्तेमाल किया जाता है। Pumping की कई विधियाँ होती हैं।



चित्र 3.15—(a) Boltzmann distribution system in thermal equilibrium and (b) a non-equilibrium distribution during population inversion

Semiconductor laser में population inversion प्राप्त करने के लिए device पर contact (स्पर्श पदार्थ) में electrons inject किये जाते हैं और उसके conduction band के lower energy states को भर दिया जाता है। P-N junction के case में population inversion प्राप्त करने के लिए forward bias voltage apply की जाती है जिससे *P*-region के conduction bands में electron तथा *n*-region के valence band में holes generate हो जाते हैं।

The population inversion in a p-n junction is achieved by forward biasing the junction when the injection of the minority carriers occur in both the regions. Heavy doping which degenerates the semiconductor distinguishes a p-n junction which provides a stimulated emission from one which provides the spontaneous emission as in the case of a LED. Thus a p-n junction made of degenerated semiconductors is responsible for the stimulated emission as in the case of a laser. Another requirement of the p-n junction diode for establishing lasing is that there should be an arrangement for optical feedback which transform an optical amplifier into an optical oscillator. This may be achieved by constructing an optical cavity within the structure and by polishing the end faces of the junction diode to act as mirrors. Each end face of the junctions diode is polished and cleaved and the sides are roughened to prevent the undesirable light

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

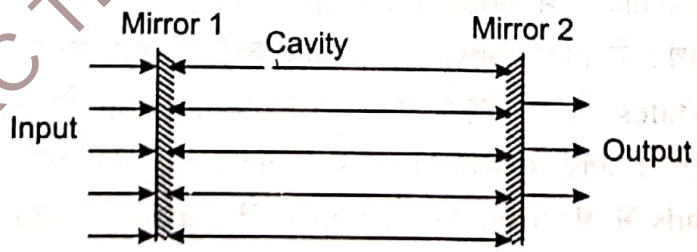
emission. A high impurity concentration within the semiconductor gives rise to a slight difference in the value of band gap energy E_g in comparison with an intrinsic semiconductor. As result, the lasing wavelength in the case of a GaAs p-n junction may be varied between 0·85 to 0·95 mm.

§ 3.9. सेमीकंडक्टर इंजेक्शन लेजर (Semiconductor Injection Laser) :

Semiconductor injection laser में injected carriers के recombination की सहायता से stimulated emission उत्पन्न किया जाता है। Injection laser के कई advantages होते हैं जैसे कि— (i) high radiance (कई mV optical power supply कर सकते हैं), (ii) पतली bandwidth (1 nm से भी कम जिससे कि material dispersion के प्रभावों को कम किया जा सकता है) (iii) बेहतर modulation क्षमताएँ (जिनको GHz तक विस्तरित किया जा सकता है), (iv) Relative temporal coherence (जिससे coherent detection प्राप्त किया जा सकता है), (v) बेहतर spatial coherence (जिससे कि output को lens के माध्यम से spot के रूप में focus करके optical fiber से बेहतर coupling की जा सकती है)।

§ 3.10. फेब्री-पेरोट लेजर (Fabry-Perot Laser) :

Fabry-Perot laser, LED के समान होते हैं लेकिन इसके दोनों ends पर mirrors होते हैं। यह mirrors lasing के लिए उपयुक्त स्थितियाँ उत्पन्न करने में सहायक होते हैं। Fabry-Parot laser की cavity Fabry-Parot resonator की तरह कार्य करती है। (चित्र 3.16)



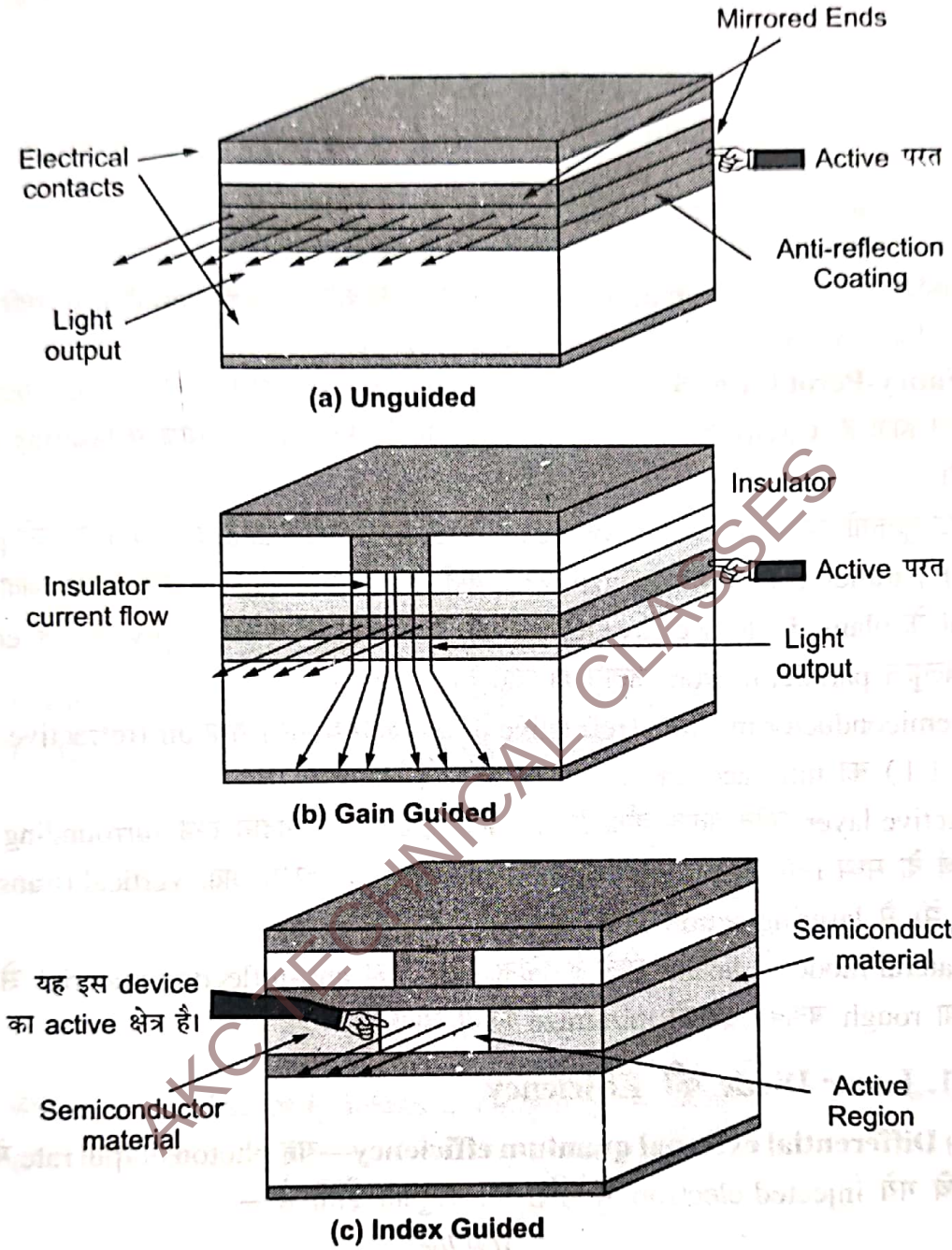
चित्र 3.16—Fabry Parot filter

Light एक partially silvered mirror (आंशिक चांदीकृत मिरर) के द्वारा cavity में enter करती है तथा right से एक partially silvered mirror द्वारा बाहर जाती है। केवल वही wavelength pass करने में सक्षम होती हैं जो उसमें resonance करती है तथा शेष wavelength क्षीणित (strongly attenuated) हो जाती है।

Fabry-Perot filter के सिद्धान्त को चित्र 3.17 में प्रदर्शित किया गया है। जब दो mirrors opposite में रखे जाते हैं तो वह एक resonant cavity का रूप ले लेते हैं। Light इन दोनों mirrors से bounce (टकरा कर वापस आना) करती है। यदि mirrors के बीच की दूरी half wavelength का integral multiple होती है तो light अपने आपको reinforce (add करना, जोड़ना) करती है। जो wavelength resonant नहीं होती उनका destructive interference हो जाता है और वह attenuate हो जाती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र 3.17—Directing the light in a Fabry-Perot laser

Fabry Perot laser में प्रकाश बाहर से आने के बजाय cavity के अन्दर ही उत्सर्जित होती है। इस प्रकार प्रत्येक laser cavity किसी न किसी रूप में एक Fabry-Perot cavity होती है किन्तु मुख्य बात यह है कि यदि cavity का size operating wavelength से बहुत अधिक होगा तो अत्यन्त निकट value वाली resonant wavelengths मिलने लगेगी जिससे Fabry-Perot cavity के महत्वपूर्ण filtering अभिलक्षणों का कोई महत्व नहीं रहेगा। अत: यह आवश्यक है operating wavelength or cavity का size compatable (मेल खाता हुआ) होना चाहिए।

Scanned with CamScanner

उत्पन्न wavelength तथा mirror के बीच की दूरी निम्न सूत्र द्वारा दी जा सकती है—

$$C_l = \frac{\lambda q}{2\mu} \qquad ...(3.27)$$

where, λ = Wavelength
C_l = Length of the cavity
q = An arbitrary integer
μ = Refractive index of active medium

समीकरण (3.27) एक simple equation है तथा इसे केवल एक ही variable है (refractive index of active medium μ)

Fabry-Perot Laser की संरचना—Fabry-Perot laser की संरचना edge emitter laser के समान होती है। Cavity के दोनों ओर mirrors होते हैं। Mirrors के बीच में lasering action होता है।

यह युक्तियाँ एक single semi-conductor crystal की बनी होती है। Crystal के दोनों planes (सतह) parallel होते हैं। जब device बनाई जाती है तो इसको cut-up नहीं किया जाता बल्कि crystai के plans के along cleave (crack कर दिया जाता है) इससे cavity के दोनों ends के बीच बिल्कुल parallel mirrors उत्पन्न हो जाते हैं।

Semiconductor medium (refractive index लगभग 3·6) तथा air (refractive index लगभग 1·1) का interface एक mirror का रूप ले लेता है।

Active layer बहुत पतला होता है और active layer के पदार्थ तथा surrounding layer के पदार्थ के मध्य refractive index difference अच्छा नहीं होता। अत: vertical (transverse mode में) में lasering action प्राप्त नहीं होता।

Lateral mode में lasing होती है किन्तु sides को anti-reflecting material से coat करके या rough बनाकर इसको minimize किया जाता है।

§ 3.11. Laser Diode की Efficiency

(i) Differential external quantum efficiency—यह photon output rate में वृद्धि तथा दिये गये injected electron में वृद्धि का अनुपात होती है—

$$\eta_D = \frac{d P_e / hf}{di/e}$$

$$\eta_D = \frac{d P_e}{dI\,(E_g)} \qquad ...(3.28)$$

where, P_e = Optical power emitted from device
I = Current
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ Coulombs
hf = Photon energy
E_g = Energy bandgap in eV

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

η_D current के साथ optical power output में change की दर को दर्शाती है और इस प्रकार output characteristics के slope को दर्शाती है। इसको slope quantum efficiency भी कहा जाता है और इसका मान लगभग 50–60% तक होता है।

(ii) Internal quantum efficiency—

$$\eta_i = \frac{\text{number of photons produced in the laser cavity}}{\text{number of injected electrons}}$$

इसकी value लगभग 60–100% होती है और differential external quantum efficiency को इससे निम्न सूत्र के अनुसार सम्बन्धित किया जा सकता है—

$$\eta_D = \eta_i \left[\frac{1}{1 + \left\{ \frac{2\bar{\alpha}L}{\ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right)} \right\}} \right] \quad ...(3.29)$$

where, $\bar{\alpha}$ = Loss coefficient of the laser cavity

L = Length of laser cavity

r_1 and r_2 = Cleaved mirror reflectivities

Total efficiency (η_T) को define कर सकते हैं—

$$\eta_T = \frac{\text{Total number of output photons}}{\text{Total number of injected electrons}}$$

$$= \frac{P_e / hf}{I / e}$$

$$\eta_T \simeq \frac{P_e}{I E_g} \quad ...(3.30)$$

जब injection current I, threshold current I_{th} से अधिक होता है तो P_e linearly change होती है—

$$\eta_T = \eta_D \left(1 - \frac{I_{th}}{I}\right) \quad ...(3.31)$$

Device की electrical input को optical output में convert करने की दक्षता को external power efficiency कहते हैं

$$\eta_{ep} = \frac{P_e}{P} \times 100$$

$$\eta_{ep} = \frac{P}{VI} \times 100\% \quad ...(3.32)$$

where $P = VI$ = dc electrical input power

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

समीकरण (3.32) का उपयोग करके total efficiency प्राप्त की जा सकती है—

$$\eta_{ep} = \eta_T \left(\frac{E_g}{V} \right) \times 100\% \qquad \ldots(3.33)$$

Important Definitions

Optical Sources: *Optical sources commonly used in OFC are LEDs, Fabry-Perot lasers, distributed feedback (DFB) lasers and vertical cavity surface-emitting lasers (VCSELs). All convert electrical signals into optical signals, but are otherwise quite different devices. LEDs and VCSELs are fabricated on semiconductor wafers such that they emit light from the surface of the chip, while Fabry-perot lasers emit from the side of the chip from a laser cavity created in the middle of the chip. LEDs have much lower power outputs than lasers and their larger, diverging light output pattern makes them harder to couple into fibers, limiting them to use with multimode fibers. Laser have smaller tighter light outputs and are easily coupled to singlemode fibers, making them ideal for long distance high speed links. LEDs have much less bandwidth than lasers (about 250 MHz or around 200 Mb/s). Lasers have very high bandwidth capability (10 GHz or 10 Gb/s).*

Radiance: *An optical source's radiance, or brightness, is a measure of its optical power launching capability. Radiance is the amount of optical power emitted in a specific direction per unit time by a unit area of emitting surface. For most types of optical sources, only a fraction of the power emitted by the source is launched into the optical fiber.*

Direct and indirect band gap semiconductors: *In a* ***direct band gap semiconductor****, the top of the valence band and the bottom of the conduction band occur at the same value of momentum. In an* ***indirect band gap semiconductor****, the maximum energy of the valence band occurs at a different value of momentum to the minimum in the conduction band energy: A photon, can produce an electron-hole pair in a direct band gap semiconductor quite easily, because the electron does not need to be given very much momentum. However, an electron must also undergo a significant change in its momentum for a photon of energy E_g to produce an electron-hole pair in an indirect band gap semiconductor. The indirect process proceeds at a much slower rate, as it requires three entities to intersect in order to proceed. An electron, a photon and a phonon.*

LED: *A* ***light-emitting diode*** *is a semiconductor device that emits visible light when an electric current passes through it.*

Principle of LED: *When the diode is forward biased, electrons from the semiconductors conduction band recombine with holes from the valence band releasing sufficient energy to produce photons which emit a monochromatic of*

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

light. Because of this thin layer, photons can leave the junction and radiate away producing a coloured light output. When operated in a forward biased direction Light Emitting Diodes are semiconductor devices that convert electrical energy into light energy.

Semiconductor Lasers: *Semiconductor lasers are lasers based on semiconductor gain media, where optical gain is usually achieved by stimulated emission at an interband transition under conditions of a high carrier density in the conduction band.*

PN junction laser: *Laser diode is an electrically pumped semiconductor laser in which the active laser medium is formed by a p-n junction of a semiconductor diode similar to that found in a light-emitting diode.*

Febry- Perot resonators: *A Fabry–Perot resonator or interferometer is a linear optical resonator or cavity which consists of two highly reflecting mirrors and is used as a high-resolution optical spectrometer. The transmission through such a resonator exhibits sharp resonances and is very small between those resonating wavelengths.*

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रश्नावली–3

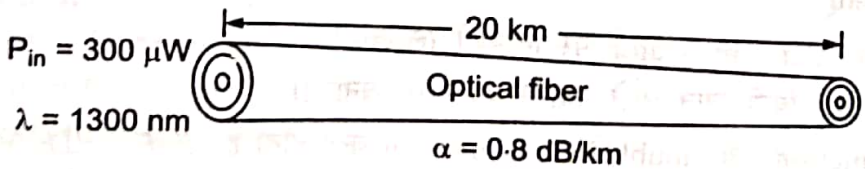
1. (a) Optical sources क्या होते हैं। Optical communication में इनका क्या महत्व है?
   (b) Direct तथा indirect band gap semiconductors को समझाइए।
   (c) परिभाषा तथा संख्यात्मक उदाहरणों की सहायता से LED की internal तथा external quatum efficiency में अन्तर स्पष्ट कीजिए?
   (d) Optical fiber commuication में use होने वाले विभिन्न प्रकार के LEDs के सिद्धान्त, अभिलक्षण तथा संरचना को स्पष्ट कीजिए।
   (e) Semiconductor lasers क्या होते हैं? P-N junction laser की working को स्पष्ट कीजिए?
   (f) Fabry Perot resonator पर टिप्पणी लिखिए?
2. LED में use किये जाने वाले पदार्थों की सूची बनाइए।
3. Heterojunction तथा double hetero-junction क्या होता है। इनका LEDs में क्या महत्व है?
4. Planar तथा dome shaped LED में अन्तर बताइए।
5. Surface emitting तथा edge emittig में अन्तर बताइए? इनमें से किसका radiation अधिक directional होता है?
6. SLD पर टिप्पणी लिखिए?
7. LED के सम्बन्ध में निम्न को परिभाषित कीजिए—
   Output spectrum, modulation response, life time, rise time, fall time.

Scanned with CamScanner

8. Spontaneous emission तथा stimulated emission में अन्तर बताइए। Population inversion तथा pumping क्या होती है?
9. Laser तथा LED में क्या अन्तर है?
10. Laser हेतु प्रयुक्त किये जाने वाले विभिन्न पदार्थों की सूची बनाइए।
11. Laser की internal तथा external quantum efficiency में अन्तर बताइए।
12. निम्न तालिका को पूर्ण कीजिये—

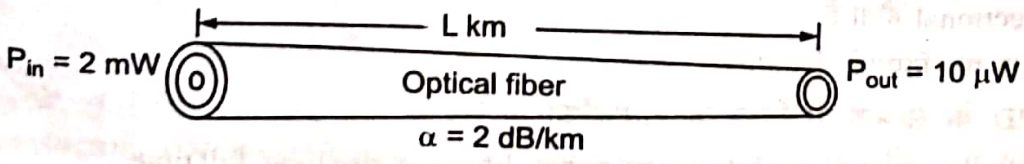
Colour Emitted	Material of LED
Ultraviolet	
Violet	
Blue	
Green	
Yellow	
Orange	
Red	
Infrared	

13. एक Laser पर 2·6 V apply की गई है तथा GaAs active region के साथ इसकी total efficiency 18% है। यदि GaAs की bandgap energy का मान 1·43 eV है तो इस laser की external power efficiency की गणना कीजिये।
14. 1·43 eV energy gap के GaAs एक्टिव क्षेत्र वाले Laser के प्रकाश उत्सर्जन का तरंग दैर्ध्य ज्ञात कीजिये।
15. यदि 1310 mm पर आपरेट करने वाले एक DH InGaAsP LED के radiative तथा non-radiative recombination समय क्रमश: 30 व 100 ns है तो Bulk recombination समय की गणना कीजिये।
16. एक LED की quantum efficiency 5% तथा weak wavelength 670 nm है। इसके द्वारा radiate की गई पॉवर की गणना कीजिये (Take $i = 50$ mA)
17. निम्न चित्र 3.18 में P_{out} के मान की गणना कीजिये।



चित्र 3.18

18. चित्र 3.19 में L के मान की गणना कीजिये।

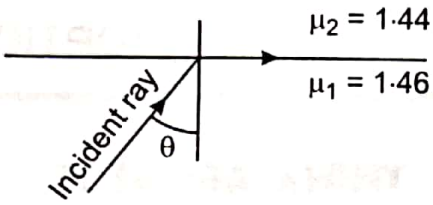


चित्र 3.19

AKC TECHNICAL CLASSES

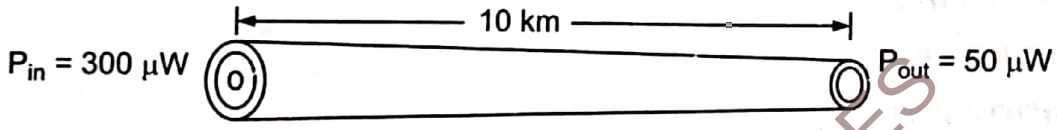
Scanned with CamScanner

19. निम्न चित्र 3.20 में θ के मान की गणना कीजिये।



चित्र 3.20

20. चित्र 3.21 में प्रति किलोमीटर attenuation के मान की गणना कीजिये।



चित्र 3.21

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

4 ऑप्टिकल डिटैक्टर्स
(OPTICAL DETECTORS)

THINK ABOUT IT

One day
at a time -
this is enough.
Do not look back
and grieve over
the past,
for it is gone;
and do not be troubled
about the future,
for it has not yet come.
Live in the present
and make it so beautiful
that it will be worth
remembering.

— Ida Scott Taylor

You have to choose your path..
You have to decide what you wish to do.
You are the only person that can determine your destiny."

— Lailah Gifty Akita

"When you look closely to the path you have travel on, you will realise that God was always with you, directing every step you took."

— Lailah Gifty Akita

When you are truly comfortable with who you are, not everybody will like you. But you won't care about it one bit.

Be thankful for what you have. You have no idea how many people would love to have what you've got.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

§ 4.1. परिचय (Introduction) :

Transducer एक ऐसा device होता है जो energy को एक form से दूसरी form में convert करता है। अत: optical detector भी एक transducer होता है जो optical signal को electrical signal में बदलता है। Optical detector पर पड़ने वाली optical radiations के समानुपाती electrical current उत्पन्न किया जाता है। Input electrical radiation तथा output electrical current के बीच सम्बन्ध को detector की responsivity कहा जाता है।

Photodetectors वह semiconductor युक्तियाँ होती है जो optical signal को electrical signal में change करती है। सामान्यत: photoconductor का कार्य तीन processes के ऊपर आधारित होता है—

(i) Incident light द्वारा carrier का generation

(ii) Carrier का transport तथा multiplication

(iii) Current का बाहरी circuit के साथ interaction करके output प्रदान करना।

An optical detector is a transducer that converts an optical signal into an electrical signal. This is done by generating an electrical current proportional to the intensity of incident optical radiation. The relationship between the input optical radiation and the output electrical current is given by the ***detector responsivity.***

Optical detectors की आवश्यकताएँ (Requirements for optical detectors)—

(1) Optical detector का size छोटा होना चाहिये ताकि उनकी fibre से coupling आसानी से की जा सके (small size)

(2) इनकी sensitivity उच्च होनी चाहिये (High sensitivity)

(3) इनका response time छोटा होना चाहिये (should have small response time in GHz).

(4) इसमें noise कम होनी चाहिए (low noise) इसका operation स्थिर होना चाहिये था वातावरण तथा ताप का प्रभाव नहीं पड़ना चाहिये (stable operation)

(5) Cost कम होना चाहिये (low cost)

(6) कम bias voltage की आवश्यकता होनी चाहिये।

(7) विश्वसनीयता उच्च होनी चाहिये।

(8) Fidelity उच्च होनी चाहिये।

(9) प्राप्त output signal के लिये electrical response अधिक होनी चाहिये (high quantum efficiency)

(10) Dark current, leakage current तथा shunt conductance कम होना चाहिये।

Semiconductor photodiodes ऊपर दी गयी अधिकतर शर्तों को पूरा करते हैं इसलिए optical detectors के रूप में use किये जाते हैं। इसके अतिरिक्त PIN photodiodes phototransistors, photodarlingtons तथा APDs (Avalanche photodiodes) को भी optical detectors के रूप में किया जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Absorption Coefficient (अवशोषण गुणांक)—Photodiode में photons का अवशोषण होता है जिससे electron-hole pair उत्पन्न होते हैं और photo धारा प्रवाहित होती है। यह फोटोधारा photodiode बनाने में प्रयुक्त किये गये पदार्थ के अवशोषण गुणांक α_0 पर निर्भर करती है किसी विशेष wavelength पर optical power P_0 के incident होने पर उत्पन्न photo धारा I_p का मान —

$$I_p = \frac{P_0 e(1-r)}{hf}[1-\exp(-\alpha_0 d)]$$

e = charge on an electron ($1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ Coulomb)

r = Fresnel reflection coefficient at semiconductor – air interface

d = width of absorption region

प्रत्यक्ष एवं अप्रत्यक्ष अवशोषण (Direct and Indirect Absorption)—Silicon तथा Germanium प्रकाश को direct तथा indirect दोनों प्रकार के transition से अवशोषित करते हैं।

Indirect absorption में एक photon की सहायता की आवश्यकता होती है ताकि momentum तथा energy दोनों संरक्षित (conserved) रहें। अत: indirect absorption की probability, direct absorption से कम होती है। Optical fiber communication में प्रयुक्त की जाने वाली wavelengths पर silicon की अवशोषण क्षमता indirect absorption के कारण बहुत कमजोर होती है। Silicon में direct absorption 4·1 eV band gap पर होता है जोकि 0·3 μm ultraviolet प्रकाश को correspond करता है और यह wavelength भी optical fiber communication हेतु उपयुक्त नहीं है।

Germanium में direct absorption 1·53 μm तथा indirect absorption 1·85 μm पर होता है। एक photodiode पदार्थ ऐसा होना चाहिये जिसकी band gap energy, system की सबसे लम्बी कार्यकारी wavelength के संगत photon ऊर्जा से थोड़ी सी कम होनी चाहिए इससे dark current कम रहेगा और अवशोषण गुणांक भी उच्च होगा।

III-V Alloys—Germanium के photodiode के रूप में बहुत अच्छी performance न होने के कारण लम्बे wavelength वाले क्षेत्रों के लिए III-V alloys का प्रयोग किया जाता है। यह alloys germenium से बेहतर सिद्ध होते हैं क्योंकि इनमें constituents (घटक) की सापेक्ष मात्रा (relative concentration) को change करके band gap को control किया जा सकता है इसके dark current भी कम होता है इनको heterojunctions के रूप में निर्मित (fabricate) किया जा सकता है जिससे इनकी speed भी उच्च होती है। इस प्रकार के alloys के उदाहरण है— InGaAs, InP, GaAlAsSb ।

Quantum दक्षता (Quantum Efficiency)—Photodiode पर incident photons का वह अंश जिसको photodiode अवशोषित करता है और electron-hole pair उत्पन्न करता है जोकि detector के terminal पर collect किये जाते हैं, Quantum efficiency कहलाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

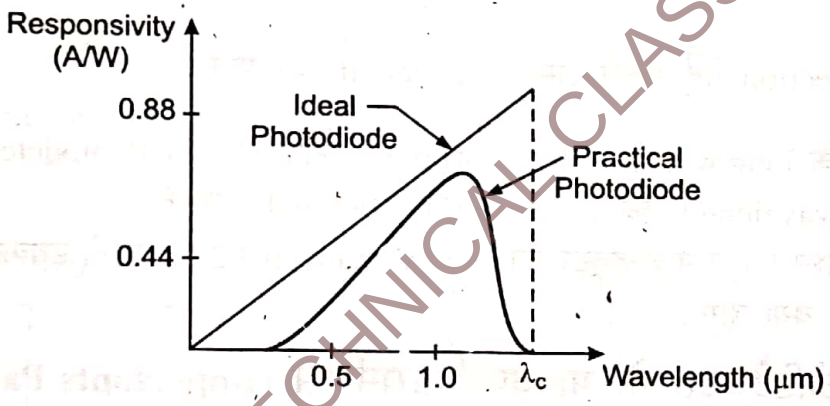
Scanned with CamScanner

$$\eta = \frac{\text{number of electrons collected}}{\text{number of incident photons}}$$

or
$$\eta = \frac{\text{Electron rate (electrons/second) } (r_e)}{\text{Incident photon rate (photons/second) } (r_p)}$$

किसी अर्द्धचालक पदार्थ का अवशोषण गुणांक बहुत महत्वपूर्ण होता है क्योंकि इसी से quantum दक्षता का निर्धारण होता है। सामान्यत: quantum दक्षता का मान 1 से कम होता है क्योंकि photodetector पर पड़ने वाले सभी photons electron-hole pair उत्पन्न करने में सक्षम नहीं होते हैं। चूँकि quantum efficiency wavelength का फलन होती है अत: इसको किसी विशेष wavelength पर ही quote (व्यक्त) किया जा सकता है।

Responsivity— चूँकि quantum दक्षता के समीकरण में photon energy को consider नहीं किया जाता, अत: photodiode की responsivity से photodiode की performance बेहतर तरीके से व्यक्त की जा सकती है।



चित्र 4.1—Responsivity तथा wavelength के मध्य सम्बन्ध

$$R = \frac{I_p}{P_0} \text{ (Ampere per watt)}$$

जहाँ I_p = Output photocurrent

P_0 = Incident optical power

Responsivity का समीकरण ज्ञात करना—

Photon की energy $E = hf$

$$\text{Incident photon rate } r_p = \frac{P_0}{hf}$$

$$\text{Electron rate } r_e = \eta r_p = \eta \cdot \frac{P_0}{hf}$$

अत: $$\text{output फोटोधारा } I_p = \eta \frac{P_0 e}{hf}$$

जहाँ $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ coulomb

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Responsivity— $$R = \frac{\eta e}{hf}$$

चूँकि $f = \frac{c}{\lambda}$ अत: $R = \frac{\eta e \lambda}{hc}$

इस समीकरण से पता चलता है कि किसी wavelength पर responsivity का quantum efficiency से सीधा सम्बन्ध होता है (चित्र 4.1)

Long Wavelength Cut-off—Intrinsic absorption के लिए incident photons की ऊर्जा photodetector पदार्थ की band gap energy के बराबर या उससे अधिक होनी चाहिये।

$$\frac{hc}{\lambda} \geq E_g$$

$$\lambda \leq \frac{hc}{E_g}$$

अत: detection हेतु सबसे लम्बी wavelength का मान $\lambda_c = \frac{hc}{E_g}$

जिसको कि long wavelength cut-off point कहा जाता है। Photodetector के लिए λ_c से लम्बी wavelength को detect करना सम्भव नहीं होता है।

अभ्यास प्रश्न एक सेमीकन्डक्टर की energy bandgap 3·2 eV है तो इसका long wave cut-off point क्या होगा?

§ 4.2. फोटोडिटेक्टर्स के महत्वपूर्ण पैरामीटर्स (Importants Parameters of Photodetectors) :

(i) Detector Responsivity—Optical detector की output photo current तथा incident optical power के अनुपात responsivity कहा जाता है। Responsivity is the ratio of optical detector output photocurrent in amperes to the incident power in watts.

किसी detector की responsivity उस पर पड़ने वाले प्रकाश की wavelength और device की efficiency का फलन (function) होती है। किसी पदार्थ के लिए किसी विशेष wavelength के photon ही photocurrent उत्पन्न करते हैं। इसी प्रकार, detector पदार्थ कुछ wavelengths को ज्यादा अच्छी तरह से अवशोषित करते हैं। इसलिए detectors की responsivity wavelength पर depend करती है। Responsivity एक महत्वपूर्ण parameter है क्योंकि यह उत्पन्न photocurrent और incident optical power के बीच सम्बन्ध को दर्शाता है।

Responsivity is the ratio of the optical detectors's output photocurrent in amperes to the incident optical power in watts.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

The responsivity of a detector is a function of the wavelength of the incident light and the efficiency of the device.

(ii) Spectral Response Range—यह wavelength की वह range होती है जिस पर device operate करता है।

This is the range of wavelengths over which the device will operate.

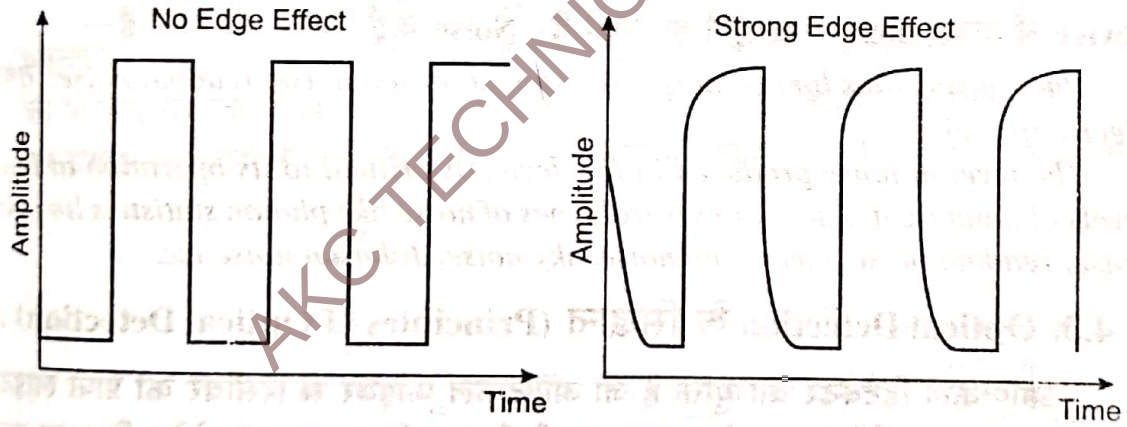
(iii) Response Time—Response time का अर्थ यह है कि किसी optical detector की input पर light intensity में variation होने के बाद detector कितनी तेजी से response करता है। Response time dark current, noise, linearity back reflection तथा edge effect से प्रभावित होती है।

Edge effect इसलिए होता है क्योंकि detector अपनी centre region में ज्यादा तेजी से response देते हैं। (चित्र 4.2)

Detector के बाहरी region की responsivity centre region से अधिक होती है जिससे fiber को align करने में दिक्कत आती है।

This is a measure of how quickly the detector can respond to variations in the input light intensity.

(4) Quantum Efficiency—Incident photons द्वारा उत्पन्न electron hole pairs तथा detector पदार्थ पर incident photons के अनुपात को quantum efficiency कहा जाता है।



चित्र 4.2—Edge effect

Detective quantum efficiency निम्न सूत्रों द्वारा व्यक्त की जाती है।

$$DQE = \left[\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{out}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{in}}\right]^2 \quad \ldots(4.1)$$

So

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out} = \left(\frac{S}{N}\right)_{in} * DQE^{1/2} \quad \ldots(4.2)$$

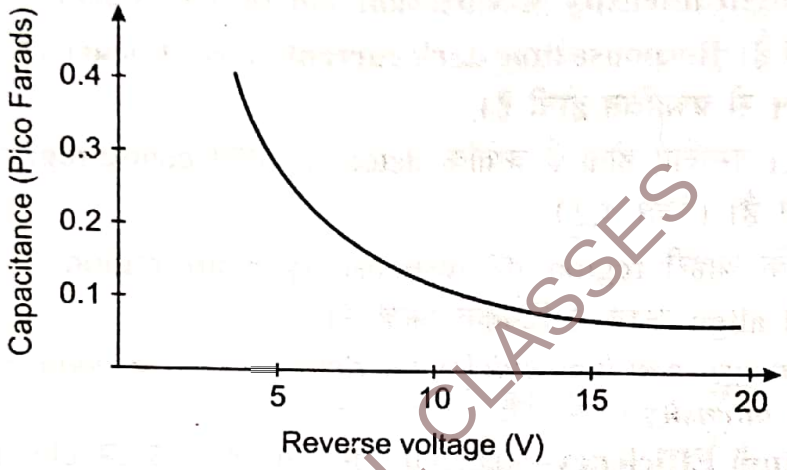
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

It is defined by the ratio of primary electron hole pairs created by incident photons to the photons incident on the detector material.

Capacitance—यह device के active area तथा device पर लगी reverse voltage पर निर्भर करता है (चित्र 4.3)।

It depends upon the active area of the device and reverse voltage across the device.



चित्र 4.3

Noise Characteristics—Input light के निम्न स्तरों पर operation की स्थिति में device में उत्पन्न noise महत्वपूर्ण हो जाती है। Noise कई प्रकार की होती है—

Photon statistics limited noise, sky noise Johnson noise, readout noise, तथा electronic noise.

The level of noise produced in the device is critical to its operation at low levels of input light. There are several types of noise like photon statistics limited noise, readout noise, electronic noise, sky noise, Johnson noise etc.

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 4.3. Optical Detection के सिद्धान्त (Principles of Optical Detection) :

"ऑप्टिकल डिटैक्टर वह युक्ति है जो ऑप्टिकल फाइबर से रिसीवर को प्राप्त लाइट मॉडुलेटेड सिगनल से सूचना को अलग करती है (अर्थात् लाइट मॉडुलेटेड सिगनल का डिमॉडुलेशन करती है।"

"ऑप्टिकल डिटैक्टर या फोटो डिटैक्टर ऑप्टिकल संचार सिस्टम के रिसीवर का मुख्य भाग है। यह अपने ऊपर आपतित luminescent power को sense करता है तथा उसको इलैक्ट्रॉनिक धारा में कनवर्ट करता है।"

ऑप्टिकल डिटैक्टर में निम्न गुण होने चाहिये—

(i) इसका आकार (size) ऑप्टिकल फाइबर के तुलनात्मक होना चाहिये। (compatable dimensions)।

(ii) ऑप्टिकल स्रोतों की वेवलैंथ के लिये इसकी सैन्सिटिविटी उच्च होनी चाहिये (high sensitivity)।

Scanned with CamScanner

(iii) उच्च डाटा रेट्स हेतु इसकी रिस्पाँस fast होनी चाहिये (fast response and sufficient bandwidth to handle the desired data rates)।

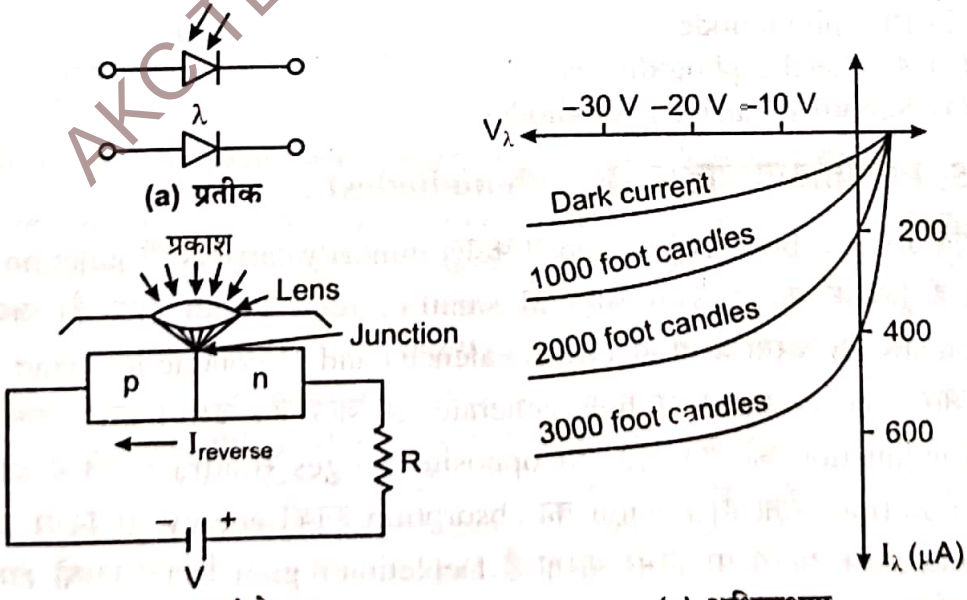
ऑप्टिकल सचार में डिटैक्टर के रूप में फोटो डायोड, फोटो ट्रांज़िस्टर, PIN फोटोडायोड, फोटो डारलिंगटन आदि का प्रयोग किया जाता है। फोटो डिटैक्टर की कार्यप्रणाली का सिद्धान्त इस बात पर आधारित होता है कि यदि उचित आवृत्ति का फोटॉन सेमीकन्डक्टर डिटैक्टर पर आपतित होता है तो इलैक्ट्रॉन संयोजी बैंड से चालन बैंड में चला जाता है। यदि फोटॉन की उर्जा hv सेमीकन्डक्टर के बैंड गैप E_g से अधिक है ($i.e., hv > E_g$) तो फोटॉन इलैक्ट्रान को संयोजी बैंड से चालन बैंड में excite कर देगा जिससे संयोजी बैंड में होल उत्पन्न हो जायेगा। इस प्रकार इलैक्ट्रॉन-होल युग्म (electron hole pair) उत्पन्न होंगे। इन आवेश वाहकों को प्रकाश जनित आवेश वाहक (photogenerated charge carriers) कहा जाता है। इससे फोटोडिटैक्टर की चालकता बढ़ती है। प्रकाश द्वारा उत्पन्न आवेश वाहकों प्रकाश की तीव्रता (या फोटॉन की संख्या) पर निर्भर करती है।

फोटो डायोड (Photo Diodes) :

"फोटो डायोड एक ऐसा p-n सन्धि डायोड है जिसकी रिवर्स बायस धारा का मान उसमें पड़ने वाले प्रकाश की तीव्रता (intensity of light) पर आश्रित होता है।"

फोटो डायोड एक ऐसी युक्ति है जो कि रिवर्स बायस में कार्य करती है। इसकी संयोजन प्रतीक (connection symbol) व अभिलक्षण चित्र 4.4 में प्रदर्शित हैं।

आपको याद होगा कि रिवर्स सैचुरेशन धारा का मान माइक्रोएम्पीयर में होता है तथा यह माइनोरिटी वाहकों के कारण होती है। सन्धि पर प्रकाश पड़ने पर प्रकाश तरंगों की ऊर्जा डायोड की परमाणु संरचना (atomic structure) को प्राप्त हो जाती है जिससे माइनौरिटी आवेश वाहकों की संख्या बढ़ जाती है व रिवर्स धारा भी बढ़ जाती है। प्रकाश को जंक्शन पर (concentrate)



(a) प्रतीक (b) संयोजन (c) अभिलक्षण

चित्र 4.4—फोटो डायोड

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

करने के लिये लैंस (lens) का प्रयोग किया जाता है। प्रकाश की तीव्रता फुट कैन्डिल्स (foot candles) में मापी जाती है। अतः, फुट कैन्डिल्स के विभिन्न मानों पर फोटो डायोड में रिवर्स धारा का ग्राफ चित्र 4.4 (c) में प्रदर्शित है।

जब प्रकाश न पड़ रहा हो, उस समय डायोड में प्रवाहित धारा को अंधकार धारा (dark current) कहते हैं। प्रकाश की तीव्रता (luminous intensity) बढ़ाने पर रिवर्स धारा लगभग रेखीय (linearly) रूप से बढ़ती है। प्रकाश की तीव्रता व रिवर्स धारा के मध्य ग्राफ चित्र 4.4(d) में प्रदर्शित हैं। फोटो डायोड बनाने के लिये जरमेनियम का प्रयोग किया जाता है।

Semiconductor photodiodes photons (प्रकाश) absorb करते हैं उसके संगत धारा उत्पन्न करते हैं। Photodiodes द्वारा उत्पन्न धारा निम्नलिखित factors पर depend करती है—

(i) Incident light की wavelength पर
(ii) उस wavelength पर photodiode की responsivity पर
(iii) Fiber के core का size तथा उसके सापेक्ष photodiode के active area पर
(iv) Fiber तथा photodiode के alignment पर

Fiber के output पर photodiodes ठीक उसी प्रकार couple किये जाते हैं जैसे कि fiber की input पर optical sources को couple किया जाता है। Fiber की photodiode से coupling करते समय fiber के face के centre को photodiode active area से couple किया जाता है। यदि photodiode का active area fiber core से बड़ा है तो fiber से detector coupling में losses बहुत कम होते हैं कुछ स्थितियों में lens का प्रयोग भी किया जा सकता है।

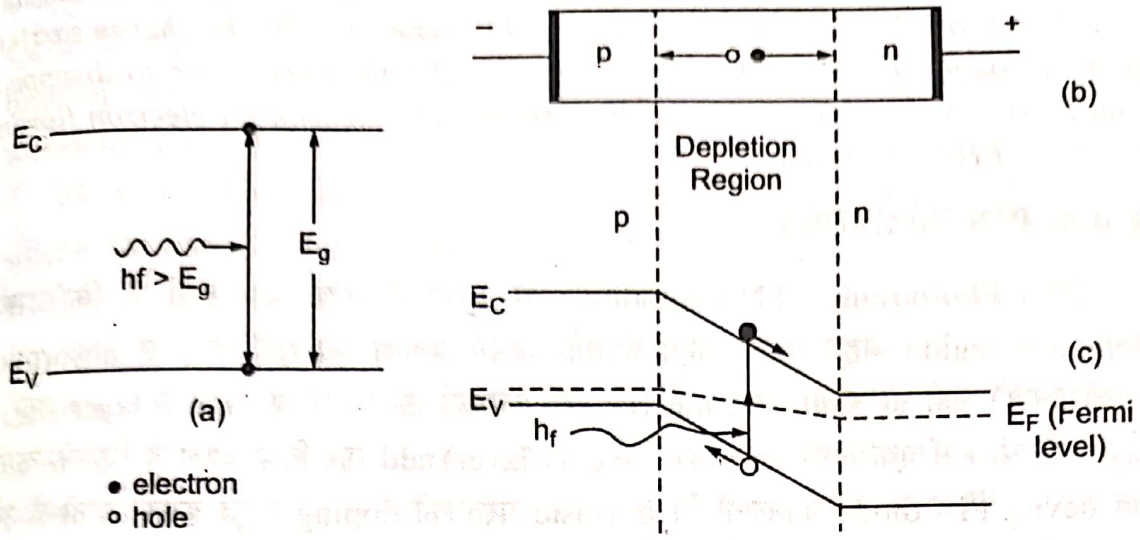
Photodiodes कई प्रकार के होते हैं—
(1) PN photodiodes
(2) PIN photodiodes
(3) Avalanche photodiodes
(4) Schottky barrier photodiodes

§ 4.5. PN फोटोडायोड्स (PN Photodiodes) :

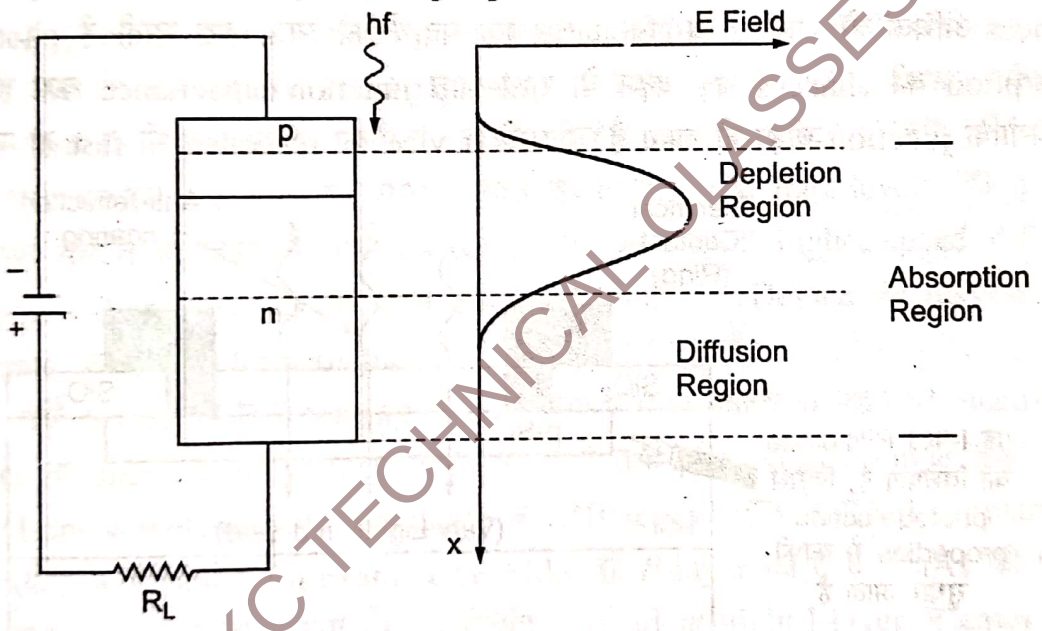
एक reverse bias PN junction में केवल minority carriers ही junction को पार कर सकते हैं जिसके कारण उसमें बहुत ही small current प्रवाहित होता है। जब junction photon absorb करता है तो electrons valence band से conduction band में चले जाते हैं। (और valence band में hole generate हो जाते हैं) इस प्रकार उत्पन्न hole और electron junction की दोनों side पर opposite charges से attract होते हैं और junction में current flow होता हैं। Photon का absorption इनकी energy पर निर्भर करता है तथा photodiode के पदार्थ पर निर्भर करता है Depletion region जितनी लम्बी होगी photons उतने अधिक absorb होंगे और इसके लिए *n*-type पदार्थ की doping कम रखी जाती है। pn photodiode की depletion region की चौड़ाई लगभग 1 से 3 μm रखी जाती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 4.5(a)—*p-n* photodiode का सिद्धान्त



चित्र 4.5(b)—*p-n* photodiode showing depletion and diffusion regions

AKC TECHNICAL CLASSES

A reverse biased p-n junction passes no current unless something happens to promote electrons from the valence band to the conduction band within the depletion zone. At ordinary room temperatures there is a small amount due to the action of heat and thus there is a very small current. Photons of sufficient energy can be absorbed and cause the promotion of an electron from the valence band to the conduction band and of course the simultaneous generation of a hole in the valence band. The free electron and hole created by the photon absorption now are attracted to their opposite charges at either side of the junction and current flows. The big problem here is that the depletion zone in a p-n junction is extremely thin.

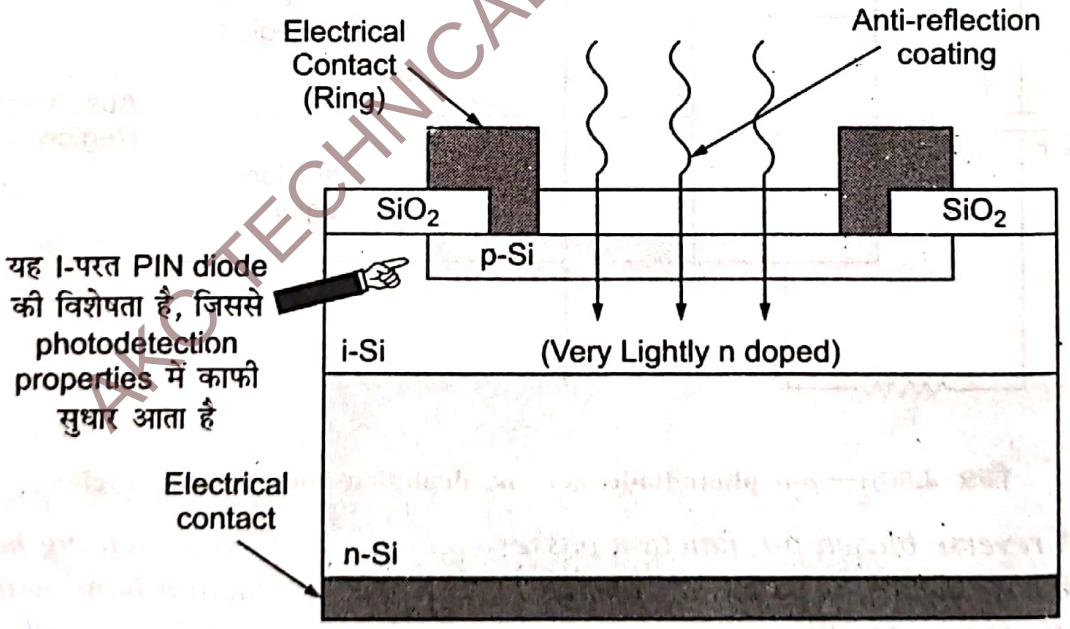
The photodiodes are designed so that these carriers are generated in the depletion region where most of the light is absorbed. The high electric field developed across the depletion region causes are carrier to separate and to be

Scanned with CamScanner

collected by the reverse biased voltage. This causes a current flow in the external circuit with an electron flowing for every EHP generated. As the charge carriers move through the material some electrons and holes recombine to disappear and produces the photocurrent in the external circuit with an electron flowing for every EHP generated.

§ 4.6. PIN फोटोडायोड :

PIN Photodiode—PN photodiode में मुख्य समस्या यह होती है कि उसकी depletion region बहुत पतली होती है और उसमें प्रकाश का पूरी तरह से absorption (अवशोषण) नहीं हो पाता। अत: junction की लम्बाई को बढ़ाने के लिए *P* layer और *N* layer के बीच में एक लम्बा intrinsic layer (I-layer) add कर दिया जाता है जिसके कारण यह device PIN diode कहलाती है। Intrinsic परत की doping बहुत हल्की होती है और यह लम्बे depletion region की तरह काम करता है। इससे photons के absorption की chances अधिक हो जाती हैं क्योंकि अवशोषक पदार्थ की मात्रा बढ़ जाती है photon के absorption की chances बढ़ बढ़ने के साथ-साथ junction capacitance कम हो जाता है (क्योंकि junction चौड़ा हो जाता है) जिससे device का response भी fast हो जाता है।



चित्र 4.6

PIN diode में absorb किये गये photon की energy electron को valence band से conduction band में जाने के लिए पर्याप्त होनी चाहिये और इसलिए PIN diode की एक cutoff wavelength होती है तथा PIN diode इस cutoff wavelength से छोटी wavelength पर ही कार्य कर सकते हैं।

अत: PIN diodes के लिए low band energy gap वाले पदार्थ ही ज्यादा उपयुक्त रहते हैं। लेकिन कम band energy gap वाले पदार्थों में dark current अधिक होता है और इसलिए

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

thermal energy अधिक होती है। अधिकतर Germenium का use किया जाता है जिसमें दो useful band gaps होते हैं (0·67 eV का indirect band gap तथा 0·81 eV का indirect bandgap होता है)। PIN diodes में use होने वाले पदार्थों को तीन communication wavelength windows में divide किया जा सकता है।

(1) 500 से 1000 nm band जिसमें कि silicon PIN diodes operate करते हैं लेकिन silicon एक indirect bandgap material होने के कारण inefficient होता है जिसके कारण इसको कम use किया जाता है।

(2) 1250 से 1400 nm का band (centered around 1300 nm) जिसमें Indium Gallium Arsenide Phosphide (InGAsP) तथा Germanium का use किया जाता है। Germanium की band gap energy कम होती है (0·67 eV) जबकि InGAsP की 0·89 eV इसलिए Germanium को ज्यादा लम्बी wavelength पर use किया जा सकता है। InGAsP महंगी होती है किन्तु efficient भी अधिक होती है।

(3) 1500 से 1600 nm band (centered around 1550 nm) जिसमें InGaAs को use किया जाता है। InGaAs की band gap energy 0·77 eV होती है। इस semiconductor में noise problem कुछ अधिक होती है जिसके कारण low light level (प्रकाश की मात्रा कम होने पर) पर इसे use करने पर समस्या आती है। हालांकि कुछ light levels पर noise की समस्या समाप्त हो जाती है तथा इस device को use करके higher speed तथा linear response characteristics का लाभ उठाया जा सकता है। (Device को reverse bias में operate करने को photoconductive mode कहा जाता है)

यदि device को बिना biasing के use किया जाये तो प्रकाश के पड़ने पर electrons तथा holes का movements voltage उत्पन्न करता है तथा photovoltaic mode कहा जाता है।

Long wavelength पर PIN diode की efficiency बढ़ाने के लिए heterostructures का प्रयोग किया जाता है for example GaAlAs को *P*-layer की तरह, GaAs को N-layer की तरह use किया जा सकता है। इस स्थिति में incident lilght I-layer में enter करने से पहले *P*-layer को pass करती है। यदि *P*-layer इसे absorb कर लेगा तो energy lost हो जायेगी और current उत्पन्न नहीं कर पायेगी। अत: *P*-layer हेतु एक उच्च band gap वाला पदार्थ use किया जाता है (जिसकी energy incident photon से ज्यादा होती है) और इस प्रकार incident होने वाली long wavelength को *P*-layer में absorb होने से बचाया जा सकता है और इसलिए वो *I*-layer में जाकर absorb होती है।

Response Time—Photodiode के response time को कई कारक प्रभावित करते हैं जिनमें मुख्य कारक है—Detector active area की thickness तथा detector की RC time constant। उत्पन्न होने वाले electrons को detector के active area से बाहर निकलने वाला समय detector की thickness पर निर्भर करता है। इसको electron transit time भी कहा जाता है। जितना ज्यादा thick detector का active area होगा उतना ही अधिक detector का transit time भी होगा।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Photodiode का capacitance C तथा load resistance R मिलकर RC time constant बनाते हैं। RC time constant को कम करने के लिए तथा photodiode की response को speed up करने के लिए photodiode का capacitance कम रखा जाना चाहिये। Photodiode का capacitance junction capacitance तथा packaging capacitance पर निर्भर करता है।

PIN diode has a large intrinsic region in between the p and n layers.

The wide intrinsic (i) layer has only a very small amount of dopant and acts as a very wide depletion layer.

It increases the chances of an entering photon being absorbed because the volume of absorbent material is increased.

Because it makes the junction wider, it reduces the capacitance across the junction. The lower the capacitance of the junction the faster the device response.

Increasing the width of the depletion layer favours current carriage by the drift process which is faster than the diffusion process.

The result is that the addition of the "i" layer increases the responsivity and decreases the response time of the detector to around a few tens of picoseconds. The key to operation of a PIN diode is that the energy of the absorbed photon must be sufficient to promote an electron across the band gap. However, the material will absorb photons of any energy higher than its band gap energy. Typically PIN diodes will operate at any wavelength shorter than the cutoff wavelength.

PIN diode की efficiency—PIN diode की efficiency दो प्रकार से व्यक्त की जा सकती है—

(i) Quantum Efficiency—यह junction में collect किये गये electrons तथा incident photons का अनुपात होता है। एक perfect situation में quantum efficiency 100% होनी चाहिये किन्तु वास्तविक स्थिति में यह 100% से कम होती है।

(ii) Responsivity—Quantum efficiency में incident photons के energy level को consider नहीं किया जाता। responsivity device की output photo current तथा input optical power का अनुपात होती है इसको Amps/Watt में व्यक्त किया जाता है।

For example एक silicon photodiode की responsivity 900 nm wavelength पर लगभग 0·45 amp/watt होती है।

(iii) Speed of Response—Photodiode की response की speed को कई कारक प्रभावित करते हैं—

(a) Depletion region में carriers का drift time—Photodiode में carriers के उत्पन्न होने के बाद उन्हें depletion region में drift होने में कुछ समय लगता है यदि carriers की drift velocity v_d है और depletion region की चौड़ाई w है तो transit time या drift time

$$t_{drift} = \frac{w}{v_d} \qquad ...(4.3a)$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(b) Depletion region के बाहर generate हुए carriers का diffusion time—Carrier diffusion एक slow process होता है। इसमें लगने वाले time को निम्न सूत्र द्वारा व्यक्त किया जाता है—

$$t_{\text{drift}} = \frac{d^2}{2D_c}$$

where D_c = Minority carrier diffusion coefficient

उदाहरणत: एक 10 μm silicon width में hole का diffusion time लगभग 40 nsec और electron diffusion time 9 nsec होता है अर्थात electrons का diffusion time holes से कम होता है।

(c) Photodiode capacitance तथा load का time constant—एक reverse bias photodiode में reverse capacitance प्रभावी होता है। जिसका मान voltage पर depend करता है। इसकी value

$$C = \frac{\varepsilon_s A}{w} \qquad ...(4.3b)$$

जहाँ ε_s = Semiconductor पदार्थ की permittivity

A = junction का area

उक्त सभी factors photodiode की speed पर प्रभाव डालते हैं लेकिन सबसे महत्वपूर्ण प्रभाव drift का होता है यदि depletion region के बाहर उत्पन्न carriers को तथा junction capacitance को नगण्य मान लिया जाय तो t_{drift} ही photodiode की bandwidth का निर्धारण करता है। Photodiode की 3° bandwidth को निम्न सूत्रों द्वारा व्यक्त किया जा सकता है—

$$B_m = \frac{1}{2\pi t_{\text{drift}}} \qquad ...(4.3c)$$

$$B_m = \frac{v_d}{2\pi w}$$

विचार प्रश्न

(i) एक फोटोडायोड की 0·9 μm वेवलैंथ पर क्वांटम दक्षता 50% है, Responsivity कितनी होगी।

(ii) यदि किसी semiconductor का bandgap 0·75 eV है, quantum efficiency 60% है, तो इसके फोटोडायोड की responsivity कितनी होगी।

(iii) Shot noise and Thermal Noise में अंतर बताइये।

Noise—Noise photodiode की sensitivity को प्रभावित करती है। Optical signal के incident होने या ना होने दोनों ही स्थितियों में current तथा voltage fluctuation noise

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उत्पन्न करते हैं। जब optical signal नहीं होता तो उसमें dark current flow होती है। हालांकि optical signal की absence में भी background radiations device में enter कर सकते हैं और photo current generate कर सकते हैं। उच्च quality के पदार्थ का use करके और defect free material का use करके dark current को कम किया जा सकता है। Surface current को reduce करने के लिए careful fabrication (सावधानीपूर्वक निर्माण) और surface passivation (सतह निष्क्रियकरण) की आवश्यकता होती है। Quantum detection process के random होने के कारण (statistical nature of quantum detection process) detector का average current mean value से fluctuation करता रहता है। जिसको shot noise कहा जाता है। इस shot noise की rms value $i_s = \sqrt{2eBI}$ होती है। Optical detector की noise performance को व्यक्त करने के लिए कई parameters का use किया जाता है जैसे कि noise equivalent power (NEP), detectivity D तथा specific detectivity (D^*).

Noise Equivalent Power—किसी photodiode की NEP unit bandwidth में rms noise current के बराबर photocurrent उत्पन्न करने हेतु आवश्यक incident optical power को कहा जाता है (किसी wavelength पर) यदि

$$P_0 = \frac{I_p hf}{\eta e} \qquad ...(4.4a)$$

$$P_0 = \frac{I_p hC}{\eta e \lambda} \qquad ...(4.4b)$$

where I_P = rms shot noise current

$$I_P = (2e\bar{I}\,B)^{1/2} \qquad ...(4.4c)$$

Photodiode average current—

$$\bar{I} = I_P + I_d$$

where I_d = dark current of the photodiode

$$I_P = [2\,e(I_P + I_d)\,B]^{1/2} \qquad ...(4.4d)$$

When $I_P >> I_d$,

$$I_P \simeq 2\,eB \qquad ...(4.4e)$$

समीकरण 4.4 (e) का मान 4.4 (b) में रखने पर

$$NEP = P_0 = \frac{2hc}{\eta\lambda} \qquad ...(4.4f)$$

यह समीकरण केवल ideal photodetector के लिए ही valid होती है (यदि $\eta = 1$)

यदि $I_P << I_d$, तो photocurrent का मान

$$I_P = \sqrt{2e\,I_d B} \qquad ...(4.4g)$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

अत: यदि photocurrent में dark current noise अधिक है तो

$$NEP = P_0 = hc\frac{(2eI_d)^{1/2}}{\eta e\lambda} \qquad ...(4.4h)$$

Detectivity D NEP के विलोम को कहते हैं।

$$D = \frac{1}{NEP} = \frac{\eta e\lambda}{hc\sqrt{2eI_d}} \qquad ...(4.4i)$$

Specific Detectivity--इस parameter में photodetector के area को भी consider किया जाता है। यह तब आवश्यक हो जाता है जब background vibration तथा thermal generation dark current के मुख्य कारण होते हैं—

$$D^* = D\sqrt{A}$$

$$D^* = \frac{\eta e\lambda}{hc\sqrt{\frac{2eI_a}{A}}} \qquad ...(4.4j)$$

उक्त परिभाषा में D की bandwidth को 1 माना गया है यदि bandwidth B है तो—

$$D^* = D\sqrt{AB}$$

विचार प्रश्न

एक फोटोडायोड की depletion पर 2 μm तथा दूसरे की 4 μm है। कौन सा अधिक fast होगा?

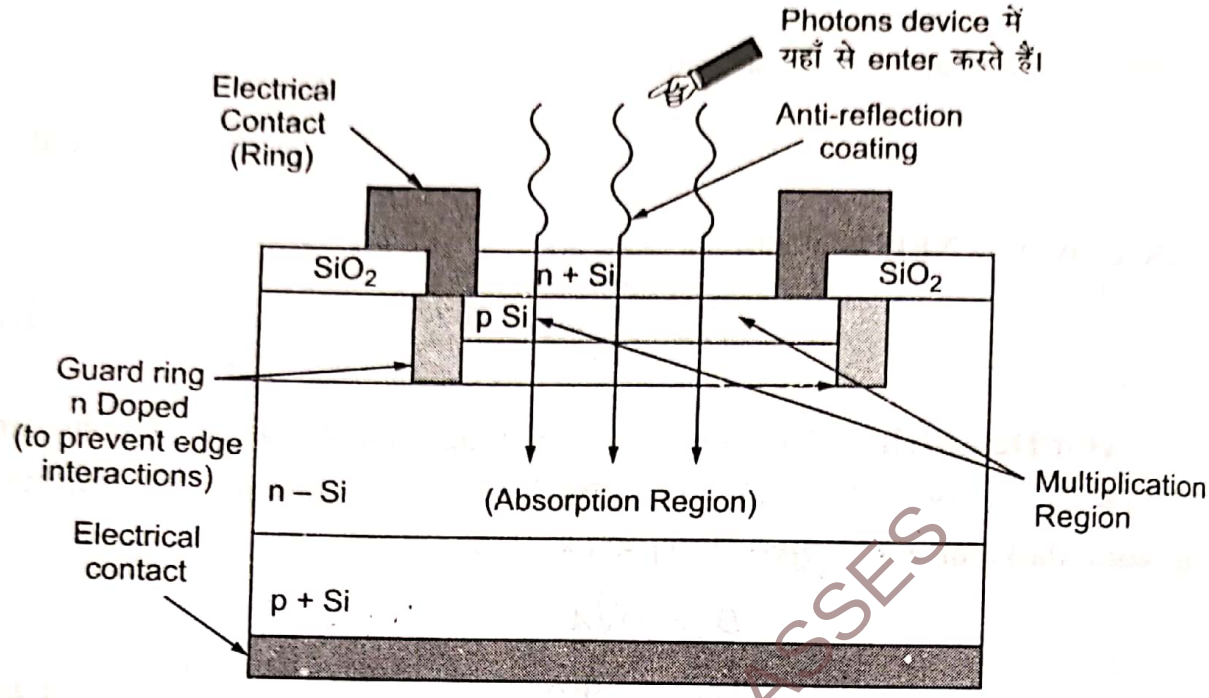
§ 4.7. एवलान्च फोटोडायोड्स (Avalanche Photodiodes APDs) :

Avalanche photodiode या APDs signal की detection के साथ-साथ amplification भी करते है और इस प्रकार इनका principle nuclear radiation detection में use किये जाने वाली photomultiplier tube से मिलता-जुलता होता है लेकिन photomultiplier vaccum tube को use करते हैं जबकि APDs में multiplication semiconductor पदार्थ के अन्दर ही हो जाता है (10 से 100 गुना)।

APDs की संरचना PIN diodes की तरह ही होती है लेकिन इसमें लगभग 50 volt की reverse bias आवश्यक होती है जबकि PIN diodes में लगभग 3 volt से ही काम चल जाता है। APD तथा PIN diode की संरचना में मुख्य अन्तर यह होता है कि APD में I-layer हल्का p-doping वाला होता है (जबकि PIN diode में हल्का n-doping वाला होता है)। Device को इस प्रकार design किया जाता है जिससे पूरी layer में uniform electric field बनी रहे। Multiplication region की edges (छोर या corners) में unwanted (अवांछनीय) interaction से बचाव के लिए guard ring का प्रयोग किया जाता है।

A-ONE TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 4.7—Avalanche photodiode (APD)

Working—आने वाले photons $n+P$-junction को पार कर जाते हैं (क्योंकि वो बहुत पतला होता है) और n-layer में जाकर absorb हो जाते है। इस absorption से conduction band में एक electron और valence band में एक hole उत्पन्न हो जाता है।

n-layer के across electric potential एक सिरे की ओर electron तथा दूसरे सिरे की ओर hole को आकर्षित करने के लिए पर्याप्त होता है (चित्र 3.5(b))। Electrons $n+$ layer की ओर आकर्षित होते हैं क्योंकि reverse bias होने के कारण इसमें +ve charge होता है। $n-$ layer के across potential gradient इतना नहीं होता है जिससे कि आवेश वाहक पर्याप्त ऊर्जा प्राप्त कर सके और multiplication सम्भव हो सके।

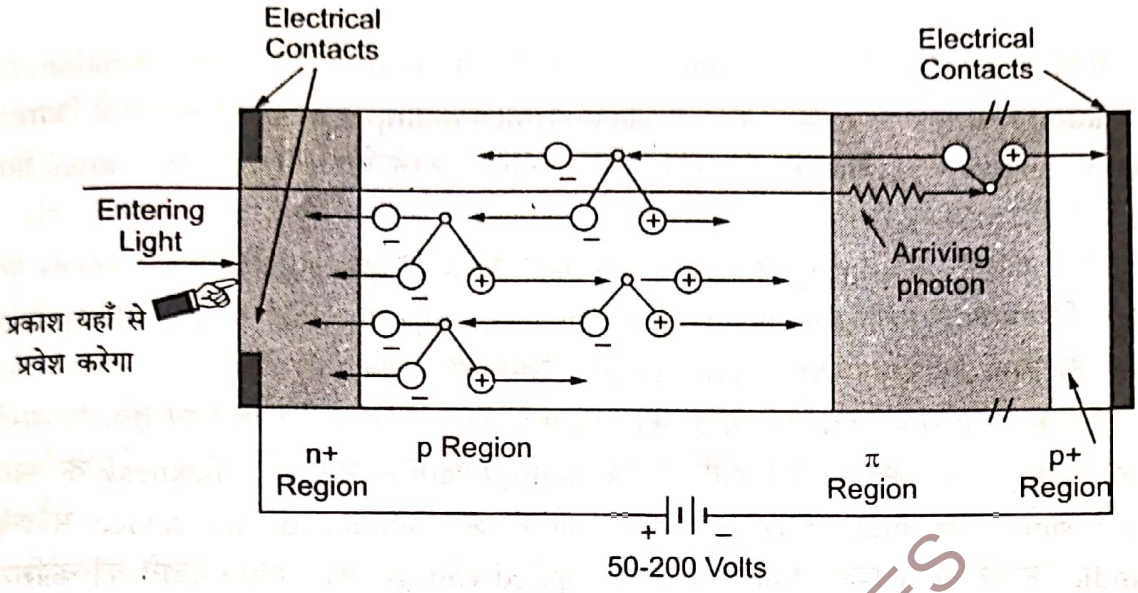
n^+ तथा P layer के junction के बीच में वैद्युत क्षेत्र इतना अधिक होता है कि आवेश वाहक (इस स्थिति में इलेक्ट्रॉन) बहुत अधिक त्वरित हो जाते हैं (strongly accelerating) और ऊर्जा ग्रहण करने लगते हैं। जब ये high energy electrons lattice में दूसरे atom से टकराते हैं तो यह नये electrons-hole pairs उत्पन्न करते हैं यह process impact ionisation कहलाता है।

ये नये charge carriers भी accelerate होकर अन्य atoms से टकराकर अन्य electrons-hole pairs को उत्पन्न करते हैं।

इस multiplication process में electrons holes दोनों अपना योगदान देते हैं। चित्र 4.8 के अनुसार यदि कोई electron atom को ionise करता है तो वह electron और hole को उत्पन्न करता है। Electron left की ओर move करता है, hole right की ओर move करता है। इसी प्रकार hole भी atom को ionise करने पर electron hole pair उत्पन्न करता है। इस स्थिति में यह समस्या उत्पन्न हो जाती है कि यदि दोनों आवेश वाहकों (electrons तथा holes)

AKC TECHNICAL CLASSES

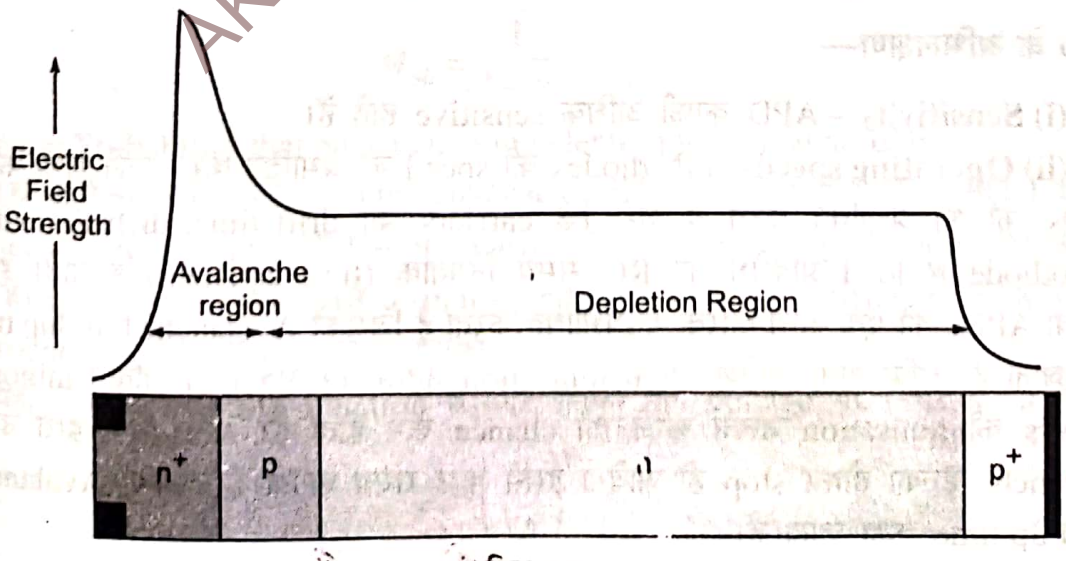
Scanned with CamScanner



चित्र 4.8

को ionisation के लिए बराबर का मौका मिला तो एक अनियन्त्रित (uncontrolled) Avalanche की स्थिति उत्पन्न हो जायेगी जो कभी खत्म नहीं होगी। अत: इन device को इस प्रकार से बनाया जाता है कि एक charge carrier के लिए ionisation की संभावना दूसरे charge carrier से अधिक होती है। Silicon में electron dominant carrier (मुख्य आवेश वाहक) होते हैं जबकि III-V alloy में holes का use होता है। इस process में एक photon 10–100 तक electron-hole pair उत्पन्न कर सकता है। इस device की एक मुख्य बात यह है कि multiplication क्षेत्र बहुत छोटा होता है और absorption junction के बजाय *n*-layer में होता है (चित्र 4.9) अर्थात् अवशोषण तथा गुणन क्षेत्र (Absorption and multiplication regions) अलग-अलग होते हैं। इस सम्बन्ध में महत्वपूर्ण बात यह है कि—

(i) Electric field बहुत अधिक होती है (लगभग 10^6 volt/m)। इतनी अधिक electric field की स्थिति में यदि multiplication region में कोई विसंगति (imperfection) उत्पन्न



चित्र 4.9

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

हो जाये (जैसे कि lattice mismatch, अशुद्धि, या dopant की concentration में variation) तो कुछ छोटे-छोटे क्षेत्रों में uncontrolled multiplication हो सकता है जिसको microplazma कहा जाता है इस प्रभाव को control करने के लिए multiplication क्षेत्र छोटा रखना चाहिये।

इसी कारण guard ring का use किया जाता है। Multiplication क्षेत्र की edges पर कई अनियमितताएँ या विसंगतियाँ (irregularities and imperfectios) होती हैं अत: guard ring के बिना इन स्थानों पर micro-plazma उत्पन्न हो सकते हैं।

इसके साथ-साथ आवश्यक शक्ति की electric field उत्पन्न करने के लिए हमें एक ऐसी bias voltage की आवश्यकता होती है जो multiplication क्षेत्र की thickness के साथ बढ़ती जाये। चूँकि high voltages महंगी होती है और semiconductor device में इन्हें handle करना भी मुश्किल होता है इसलिए applied voltage को न्यूनतम रखने की कोशिश की जाती है। इसलिए junction को बहुत पतला रखा जाता है और वह बहुत ज्यादा photons को absorb नहीं कर सकता। अत: absorption mainly *n*-layer में होता है।

APDs में use किये जाने वाले पदार्थ—APDs में mainly तीन wavelength band होते हैं—

(i) 800 nm–1 μm band—इस band में silicon का use किया जाता है हालांकि Germanium भी कार्य कर सकता है। Germanium devices, silicon devices से अधिक noisy होती है। Silicon की band gap energy अपेक्षाकृत उच्च होने के कारण इसे 1 μm से छोटी wavelength के लिए ही use किया जाता है।

(ii) 1310 m band—इसको long distance communication systems में use किया जाता है इस band में Germanium तथा III-V semiconductor alloys का use किया जाता है।

(iii) 1550 nm band इसमें III-V APDs का use किया जाता है जैसा (InGaAs/InP) इन पदार्थों में holes मुख्य carriers होते हैं।

APD के अभिलक्षण—

(i) Sensitivity—APD काफी अधिक sensitive होते हैं।

(ii) Operating speed—PIN diodes की speed को प्रभावित करने वाले सभी कारक APDs को भी प्रभावित करते हैं जैसे कि carriers का drift time, diffusion time, photodiode व load प्रतिरोध का RC समय नियतांक (time constant) इत्यादि। इसके अलावा APDs को एक अन्य कारक भी प्रभावित करता है जिसको Avalanche buildup time कहा जाता है। चूँकि दोनों आवेश वाहक ionisation उत्पन्न कर सकते हैं। लेकिन minority carriers की ionisation उत्पन्न करने की chance कम होती है। अत: इनके द्वारा उत्पन्न Avalanche हल्का होकर stop हो जायेगा इसमें कुछ समय लगता है जिसको Avalanche build up time कहा जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(iii) Gain bandwidth product—इसको dB-GHz में व्यक्त किया जाता है। इसको calculate करने के लिए gain को bandwidth से multiply कर देते हैं। एक अच्छे APD के लिए gain bandwidth product 200 GHz तक होना चाहिये।

(iv) Noise—APDs में heat तथा multiplication effect के कारण noise उत्पन्न होती है। Low band gap energy devices में wavelenth लम्बी होने के कारण noise अधिक समस्या उत्पन्न करती है। अत: device को design करते समय उसका ध्यान रखा जाता है कि multiplication के लिए voltage gradient पर्याप्त होना चाहिये। अत: लम्बी दूरी के wide area applications के लिए (जहाँ sensivity मुख्य आवश्यकता है) APDs का use किया जाता है जबकि अधिक speed तथा amplication के लिए PIN diodes का use किया जाता है।

(v) Multiplication Factor—यह APD द्वारा प्रदान की गयी internal gain का माप होता है। इसको total output current तथा primary current के अनुपात के रूप में व्यक्त किया जाता है—

$$M = \frac{I}{I_P}$$

where, I = Total output current at operating voltage (at carrier multiplication)

I_P = Primary photocurrent (before carrier multiplication)

(vi) Photo Multiplication Factor—यह low voltage पर multiplied photo current होता है जब कोई carrier multiplication नहीं होता

$$M_{ph} = \frac{I_{ph}}{I_{pho}}$$

$$M_{ph} = 1 + p + p^2 + \ldots + p^{\infty}$$

$$M_{ph} = \frac{1}{1-p}$$

where p = Probability that an accelerating electron will creat an EHP.

उक्त समीकरण में पहली term injected carrier को व्यक्त करती है (उसका मान 1 है), दूसरी term injected carrier के एक अन्य carrier के उत्पन्न करने की probability को व्यक्त करती है। (इसका मान p है), तीसरे term injected carrier के दूसरे carrier को उत्पन्न करने की probability को व्यक्त करती है इसका मान p^2 है।

यहाँ p बहुत sensitive function है और इसका मान voltage पर निर्भर करता है

$$p = \left(\frac{v}{v_B}\right)^n$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

अत: Photo multiplication factor

$$M_{ph} = \left[\frac{1}{1-\left(\frac{v}{v_B}\right)^n}\right]$$

जहाँ v_B = Breakdown voltage

v = Applied voltage

n = constant whose value is determined experimentally

Photodiode Applications—

(i) Optical detectors
(ii) Film processing
(iii) Film monitoring
(iv) Spectral analysis
(v) Space applications
(vi) Laser guided missiles
(vii) Laser alignment and control systems
(viii) Monitoring of Hg lamps for sterilization
(ix) Flame monitoring
(x) Scintillator read out

ADP is different from a PIN diode in the sense that a large i layer (which is lightly n-doped in a p-i-n structure) is lightly p-doped. It is thicker than an i-zone and the device is carefully designed to ensure a uniform electric field across the whole layer. The guard ring serves to prevent unwanted interactions around the edges of the multiplication region.

Arriving photons generally pass straight through the n^+ and p junction and are absorbed in the n layer. This absorption produces a free electron in the conduction band and a hole in the valence band.

The electric potential across the n layer is sufficient to attract the electrons towards one contact and the holes towards the other. In the figure electrons are attracted towards the n^+ layer at the top of the device because being reverse biased it carries the positive charge. The potential gradient across the n layer is not sufficient for the charge carriers to gain enough energy for multiplication to take place.

Around the junction between the n+ and p layers the electric field is so intense that the charge carriers are strongly accelerated and pick up energy. When these electrons collide with other atoms in the lattice they produce new electron-hole pairs. This process is known as ***ionization.***

The newly released charge carriers (both electrons and holes) are themselves accelerated (in opposite directions) and may collide again.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Photodiodes तथा photomultipliers की तुलना—Photodiodes की main advantage यह होती है कि (i) इनकी linearity बहुत अच्छी होती है, (ii) 190 nm से 1100 nm तक अच्छी spectral response देते हैं (iii) noise कम होती है (iv) मजबूत होते हैं (v) हल्के होते हैं (vi) life time अधिक होता है (vii) लगभग 80% की quantum efficiency प्रदान करते हैं और (viii) कम voltage की आवश्यकता होती है इनके मुख्य दोष यह है कि (i) इनमें internal gain नहीं होती sensitivity कम होती है (ii) Response time कम होता है तथा (iii) photon counting हेतु special circuits लगाने की आवश्यकता होती है।

उदाहरण : एक (InGAs photodiode की quantum efficiency 65% यदि InGAs का energy gap 0·75 eV है तो इस photodiode की responsivity की गणना कीजिए।

हल :

$$E = 0{\cdot}75 \text{ eV} = 0{\cdot}75 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \text{ V}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\eta = 65\% = 0{\cdot}65$$

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6{\cdot}62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0{\cdot}75 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = \frac{19{\cdot}66 \times 10^{-26}}{1{\cdot}2 \times 10^{-19}}$$

$$\lambda = 1664 \times 10^{-9} \text{ m} = 1664 \text{ nm}$$

$$\text{Responsivity, } R = \left(\frac{\eta}{1248}\right)\lambda \text{ (nm)}$$

$$= \frac{0{\cdot}65 \times 1664}{1248}$$

अत: $\boxed{R = 0{\cdot}87 \text{ A/W}}$

उदाहरण : यदि किसी फोटोडिटैक्टर में 8×10^6 photons पड़ने पर 6×10^6 इलैक्ट्रॉन-होल युग्म उत्पन्न होते हैं, तो फोटोडिटैक्टर की क्वान्टम दक्षता की गणना कीजिये।

हल : प्रश्न के अनुसार $\gamma_p = 8 \times 10^6$, $\gamma_e = 6 \times 10^6$

$$\text{क्वांटम दक्षता} = \frac{\text{कलैक्ट किये गये इलेक्ट्रान की संख्या } (\gamma_e)}{\text{आपतित फोटॉन की संख्या, } (\gamma_p)}$$

$$= \frac{6 \times 10^6}{8 \times 10^6}$$

$$= 0{\cdot}75$$

अत: $\boxed{\text{क्वांटम दक्षता} = 75\%}$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उदाहरण : किसी फोटोडायोड की रिस्पाँसिविटी 0·86 A/W है, तथा इनपुट पॉवर सैचुरेशन 2 mW है। 1·5 mw आपतित प्रकाश शक्ति पर फोटोधारा की गणना कीजिये।

हल : प्रश्न के अनुसार—

$$R = 0{\cdot}86 \text{ A/w}$$

$$P_{\text{optical}} = 1{\cdot}5 \text{ mW}$$

चूँकि फोटोडायोड की रिस्पॉसिविटी

$$R = \frac{I_{\text{photo}}}{P_{\text{optical}}}$$

अत: फोटोधारा का मान

$$I_{\text{photo}} = R \times P_{\text{optical}}$$

$$= 0{\cdot}86 \text{ Amp/watt} \times 1{\cdot}5 \text{ mW}$$

$$\boxed{I_{\text{photo}} = 1{\cdot}290 \text{ mA}}$$

अत: फोटोधारा का मान 1·29 mA होगा।

उदाहरण : सामान्य ताप पर, GaAs की बैंड गैप ऊर्जा 1·43 eV होती है। इस पदार्थ से निर्मित इंट्रिन्ज़िक फोटोडिटैक्टर किस वेवलैंथ से ऊपर कार्य करना बंद कर देगा?

हल : प्रश्न के अनुसार

$$E_g = 1{\cdot}43 \text{ eV} = 1{\cdot}43 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \text{ वोल्ट}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

लॉग कट-ऑफ वेवलैंथ

$$\lambda_c = \frac{hc}{E_g}$$

$$= \frac{6{\cdot}62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1{\cdot}43 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= 0{\cdot}87 \times 10^{-6} \text{ m}$$

अत:,

$$\boxed{\lambda_c = 0{\cdot}87 \ \mu\text{m}}$$

अत:, 0·87 μm से अधिक की वेवलैंथ पर GaAs फोटोडिटैक्टर ऑपरेट करना बंद कर देगा।

उदाहरण : एक सिलिकॉन एवलान्च फोटोडायोड की क्वांटम दक्षता 850 nm वेवलैंथ पर 68% है। माना कि 0·6 μW ऑपटिकल शक्ति 12 μA की फोटोधारा उत्पन्न करती है। रिस्पांसिविटी तथा मल्टीप्लीकेशन फैक्टर की गणना कीजिये।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

हल : प्रश्न के अनुसार

$$\eta = 0{\cdot}68$$
$$\lambda = 850 \text{ nm} = 850 \times 10^{-9} \text{ m}$$
$$I_{photo} = 12\ \mu A = 12 \times 10^{-6} \text{ Amp.}$$
$$P_{optical} = 0{\cdot}6\ \mu W = 0{\cdot}6 \times 10^{-6} \text{ Watt}$$

अत: रिस्पांसिविटी $R = \dfrac{\eta e \lambda}{hc}$

$$= \frac{0{\cdot}68 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 850 \times 10^{-9}}{6{\cdot}62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}$$

अत: $\boxed{R = 0{\cdot}466}$

मल्टीप्लीकेशन फैक्टर

$$M = \frac{I}{I_P}$$

तथा $I_P = R P_{optical}$

अत: $M = \dfrac{I}{R P_{optical}}$

$$= \frac{12 \times 10^{-6}}{0{\cdot}466 \times 0{\cdot}6 \times 10^{-6}}$$

अत: $\boxed{M = 42{\cdot}92}$

Photo Darlington Transistor—यह transistor Darlington संरचना के समान होती है जिसमें overall gain दोनों transistors के individual gain का गुणनफल होता है—

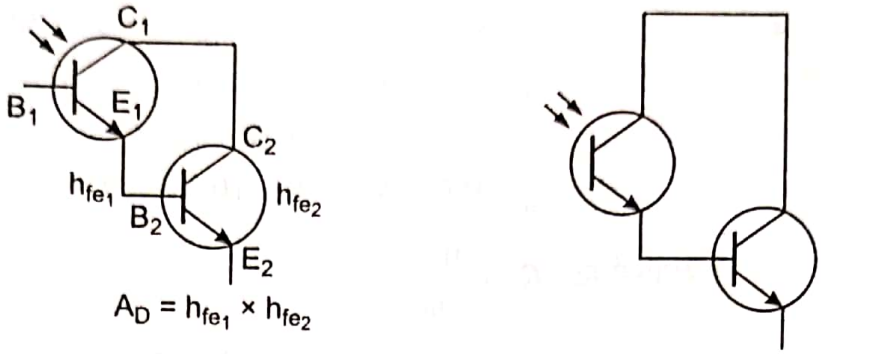
$$\text{Current gain} = h_{fe1} \times h_{fe2}$$

इस संरचना में input transistor का emitter second transistor के base से connect किया जाता है और दोनों transistor के collector को आपस में जोड़ दिया जाता है जिससे यह high current gain transistor super gain transistor की तरह व्यवहार करता है। पहला transistor photodetector का कार्य करता है चूँकि इसका emitter अगले transistor के base से coupled होता है इसलिए बहुत उच्च gain प्राप्त होती है किन्तु यह सामान्य photo transistor से slow होता है और अधिकतम आवृत्ति लगभग 20 kHz होती है इसका symbol चित्र में दिखाया गया है।

PIN FET—यदि PIN photodiode तथा उच्च gain वाले field effect transistor को एक chip पर integrated कर दिया जाये तो यह संरचना PIN FET कहलाती है। इस प्रकार की संरचना

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



(a) Darlington Pair (b) Photodarlington Symbol

चित्र 4.10

से बेहतर coupling, उच्च sensitivity तथा wide dynamic range प्राप्त की जा सकती है। इसका telecommunications, repeaters तथा optical sensors में प्रयोग किया जाता है।

Photo Transistor—Photo transistor एक ऐसी युक्ति होती है जो प्रकाश ऊर्जा को वैद्युत ऊर्जा में बदलती है। Photo-transistor भी photoresistor के समान होते हैं किन्तु यह voltage तथा current दोनों उत्पन्न करते हैं (photoresistor केवल current उत्पन्न करते हैं) ऐसा इसलिए क्योंकि phototransistor अर्द्धचालकों के बने होते हैं। Phototransistor को photons द्वारा activate किया जाता है तथा यह सभी प्रकार की प्रकाश चालित electronic युक्तियों में प्रयोग किये जा सकते हैं।



चित्र 4.11—Symbol of phototransistor

Phototransistor को बनाने के लिए silicon या किसी अन्य अर्द्धचालक युक्ति का use किया जाता है। इनको किसी opaque container (अपारदर्शी बर्तन) में pack किया जाता है इसकी base पर प्रकाश पड़ता है तथा इसमें धारा प्रवाहित होता है। जब यह current base से emitter तक पहुँचता है तो यह धारा voltage में convert हो जाती है।

Photodetectors को smoke detectors, infra red receivers, CD players, Astronomy, night vision, lazer range finding इत्यादि में use किया जाता है।

इनकी धारा photo diode से अधिक होती है यह बहुत fast होते हैं इनको integrated chip के रूप में भी fabricate किया जा सकता है।

विचार प्रश्न

- **Long wavelength cut-off point क्या होता है?**
- **Photodiode तथा phototransistor में अन्तर बताइए इनमें से किसकी speed ज्यादा होती है?**

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

- किसी photodetector का response time उसकी performance को किस प्रकार प्रभावित करता है?
- एक अच्छे photo-detector की responsivity अधिक होनी चाहिये या कम?
- RC time constant क्या होता है?
- SNR क्या होती है।

IMPORTANT DEFINITIONS

Detectors: *Receivers use semiconductor detectors (photodiodes, phototransistors, PIN FETs, photodarlingtons etc.) to convert optical signals to electrical signals. Silicon photodiodes are used for short wavelength links. Long wavelength systems usually use InGaAs detectors as they have lower noise than germanium which allows for more sensitive receivers.*

Photodiode: *A photodiode is a semiconductor device that converts light into current. The current is generated when photons are absorbed in the photodiode. A small amount of current called dark current is also produced when no light is present.*

APD: *An avalanche photodiode is a semiconductor-based photodiode which is operated with a relatively high reverse voltage just below breakdown. The APD is a high sensitivity photodiode that operates at high speeds and high gain by applying a reverse bias. Delivers a higher SNR than PIN photodiodes and is used in optical range finders, spatial light transmission, scintillation detectors, etc.*

PIN photodiode: *A PIN photodiode is a photodiode with an intrinsic (i) region in between the n- and p-doped regions. PIN photodiode is a kind of photo detector which can convert optical signals into electrical signals.*

Photo transistor: *A phototransistor is a device that converts light energy into electric energy. It has an exposed base that amplifies the light that it comes in contact with. This causes a relatively high current to pass through the phototransistor. As the current spreads from the base to the emitter, the current is concentrated and converted into voltage*

PIN-FET: *PINFET is the integration of a PIN photodiode and a discrete, high-performance transimpedance amplifier stage. Light is coupled into the detector stage through a multimode optical fiber pigtail, which allows excellent coupling with either singlemode or multimode fiber systems. PINFET provides an excellent high sensitivity and wide dynamic range. Applications include telecommunication line-terminating equipment or repeaters and optical sensor systems*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Photo darlington: *The photodarlington transistor is uses the standard transistor Darlington configuration. The gain of the Darlington transistor pair is the gain of the two individual transistors multiplied together. The basic Darlington transistor circuit is formed by taking the emitter of the input transistor and connecting it to the base of the second and then connecting both collectors together.*

Responsivity: *The Spectral responsivity is a ratio of the generated photocurrent to incident light power, expressed in A/W when used in photoconductive mode.*

Quantum efficiency: *It is the ratio of the number of photogenerated carriers to incident photons.*

Dark current: *The current through the photodiode in the absence of light, when it is operated in photoconductive mode. The dark current includes photocurrent generated by background radiation and the saturation current of the semiconductor junction. It is also a source of noise when a photodiode is used in an optical communication system.*

Response time: *A photon absorbed by the semiconducting material will generate an electron-hole pair which will in turn start moving in the material under the effect of the electric field and thus generate a current. The finite duration of this current is known as the transit-time spread. The resistance and capacitance of the photodiode and the external circuitry give rise to another response time known as RC time constant $\tau = RC$. This lengthens the impulse response of the photodiode. When used in an optical communication system, the response time determines the bandwidth available for signal modulation and thus data transmission.*

NEP: *Noise-equivalent power is the minimum input optical power to generate photocurrent, equal to the rms noise current in a 1 hertz bandwidth. NEP is essentially the minimum detectable power. The related characteristic detectivity (D) is the inverse of NEP. Specific detectivity (D*) is the detectivity multiplied by the square root of the area (A) of the photodetector, ($D^* = D\sqrt{A}$) for a 1 Hz bandwidth.*

Optical loss: *The loss in optical power through a connection is defined as:*

$$loss = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_o}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

प्रश्नावली–4

1. (a) Optical detectors क्या होते हैं? OFC में इनका क्या महत्व है?
   (b) Photodiode क्या होते हैं? OFC में use किये जाने वाले विभिन्न photodiodes का सिद्धान्त, संरचना व पदार्थ बताइए।
   (c) निम्न पर टिप्पणी लिखिए।
      (i) Avalanche photodiode (AVD)
      (ii) PIN diode
      (iii) Phototransistor
      (iv) PIN FET
      (v) Photo Darlington
   (d) APD की Avalanche gain पर temperature का क्या प्रभाव पड़ता है? Noise किस प्रकार APD को प्रभावित करती है?
   (e) Photo detector के सम्बन्ध में निम्न को परिभाषित कीजिए।
   Response time, BW, Noise equivalent power, responsivity, spectral response, dark current and quantum efficiency, absorption coefficient.
2. एक अच्छे optical detector को क्या-क्या शर्तें पूरी करनी चाहिये?
3. Photo detectors के महत्वपूर्ण parameters कौन-कौन से हैं?
4. OFC में photo detection के सिद्धान्त की व्याख्या कीजिए?
5. Direct व indirect अवशोषण क्या होता है?
6. III-V alloys क्या होते हैं? OFC में इनका क्या महत्व है?
7. एक photodector पर 4×10^6 photon fall होने पर 3×10^6 EHP उत्पन्न होते हैं। Photodetector की quantum efficiency की गणना कीजिये।
8. एक photodiode का input power saturation 2 mW तथा responsivity 0·8 A/w है। यदि incident light power 2 mW है तो फोटोधारा के मान की गणना कीजिये।
9. 0·9 μm पर एक photodiode की क्वांटम दक्षता 55 प्रतिशत है। यदि mean photocurrent 2 μA है, तो responsivity तथा प्राप्त optical power की गणना कीजिये।
10. एक PN silicon फोटोडायोड की 1300 nm पर responsivity 0·4 A/w है तो इसकी दक्षता की गणना कीजिये।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

5 कनैक्टर्स, स्पलाइसर्स, स्पलिटर्स, कप्लर्स, केबिल्स

(CONNECTORS, SPLICERS, SPLITTERS, COUPLERS, CABLES)

THINK ABOUT IT

Much is said to young men today about success in life, - success generally though, as the world calls success. It is well, however, always to bear in mind the fact that there is a success which is a miserable, a deplorable failure; while on the other hand, there is a failure which is a grand, a noble, a God-like success. And one crying need of the age is that young men be taught the true dignity, nobility, and power of such a failure,- such a failure in the eyes of the world today, but such a success in the eyes of God and the coming ages. When this is done, there will be among us more prophets, more saviors, more men of grand and noble stature, who with a firm and steady hand will hold the lighted torch of true advancement high up among the people; and they will be those who will speak and move with authority, true sons of God, true brothers of men. A man may make his millions and his life be a failure still.

— Ralph Waldo Trine

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 5.1. परिचय (Introduction) :

किसी भी communication system में transmission medium के jointing तथा termination की आवश्यकता होती है। Optical fiber communication में भी fibers को एक स्थान से दूसरे स्थान तक ले जाने के लिए बीच-बीच में joints या connection बनाने पड़ते हैं। हालांकि आधुनिक तकनीकों से 200 km तक के लम्बे fibers बनाना सम्भव हो गया है किन्तु इतने लम्बे fibers install करने में मुश्किल आती है। अत: इस बात की आवश्यकता होती है कि fiber को कम से कम loss तथा distortion के साथ बीच-बीच में connect कर लिया जाये। Fiber के joints दो प्रकार के होते हैं—

(1) Fiber splices जो कि permanent joints होते हैं तथा optical fiber communication में काफी use किये जाते हैं।

(2) Connectors जो कि temporary या removable joints होते हैं तथा जिनके द्वारा fiber की coupling व decoupling तेजी से व आसानी से की जा सकती है।

Scanned with CamScanner

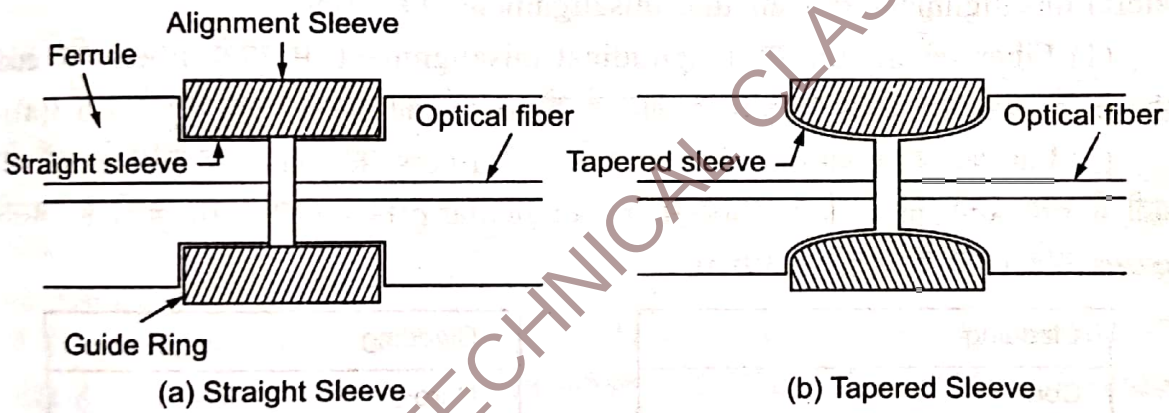
§ 5.2. कनैक्टर्स (Connectors) :

एक अच्छे connector में निम्न गुण होने चाहिये—

(i) Low coupling losses
(ii) Compatibility
(iii) Simple design
(iv) Low environment sensitivity
(v) Low cost

Butt-joint alignment (विधि)—एक fiber से दूसरे fiber में light energy की coupling butt joint alignment mechanism या expanded beam mechanism पर आधारित होती है।

Butt-joint alignment connectors multimode या single mode fiber दोनों में use होते हैं। यह straight sleeve (चित्र 5.1(a)) या tapered sleeve हो सकते हैं।



चित्र 5.1—Connectors using butt-joint alignment designs

Straight sleeve connector में कोई धातु या सेरेमिक होता है जोकि sleeve में fit हो जाता है।

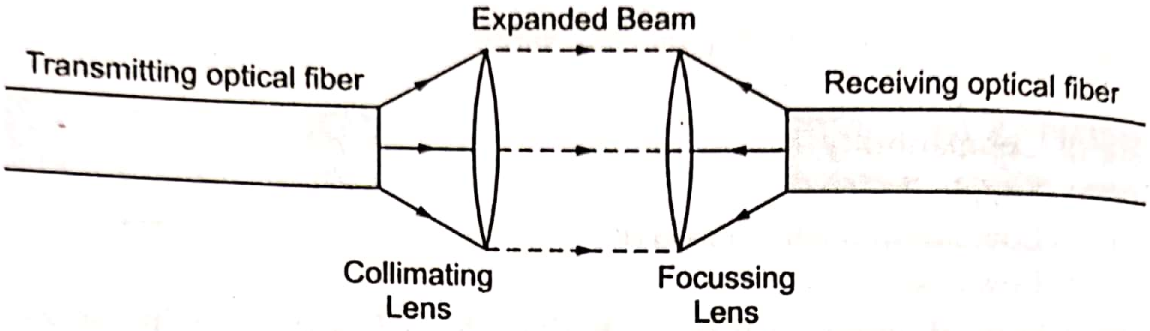
Tapered sleeve connector में sleeve की लम्बाई तथा ferrule पर guard ring fiber की दूरी (end separation) को निर्धारित करता है। इसमें Ferrules तथा sleeve tapered होते हैं। (एक सिरे पर पतले तथा दूसरे सिरे पर मोटे)।

चित्र 5.2 में expandded beam connector दिखाया गया है। जिसमें एक collimating lens का प्रयोग किया गया है (transmitting end पर) तथा एक focussing lens का प्रयोग किया गया है (receiving end पर)। Collimating lens fiber की light को parallel beam में convert कर देता है और focussing lens parallel beam को focussing beam में convert कर देता है। Fiber तथा lens के बीच की दूरी lens के focal length के समान होती है। Expanded beam connector lateral alignments पर निर्भर नहीं करता है। Fresnel reflection के द्वारा होने वाले losses को कम करने के लिए joint किये गये fibers के बीच gap में index matching fluid का use किया जाता है। यदि index matching fluid

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

तथा fiber के core का refractive index same होता है तो Fresnel refraction पूरी तरह समाप्त हो जाते हैं। किन्तु इसके लिए fibers का align होना जरूरी है।

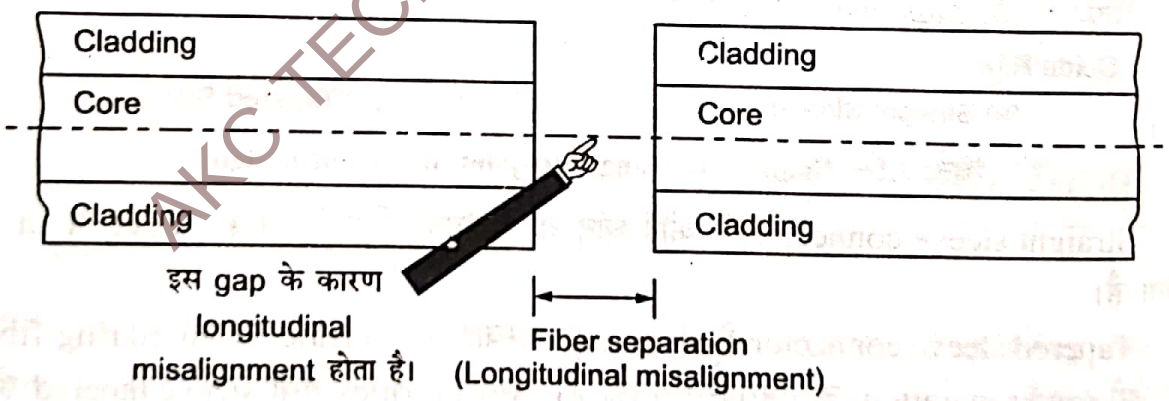


चित्र 5.2—Expanded beam connector

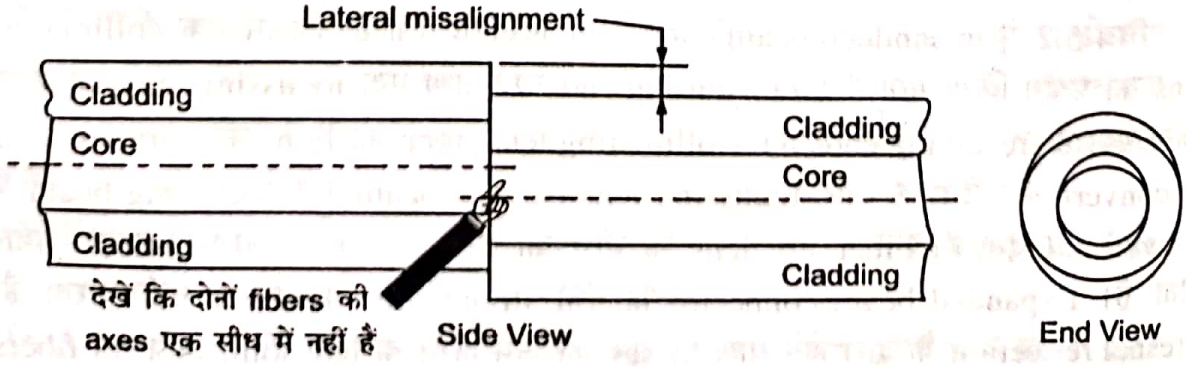
Fiber to Fiber Joints—यदि joints के समय दोनों fibers के बीच में proper alignment नहीं होगा तो joints पर extrinsic coupling losses होने लगते हैं। Fiber के alignment के समय तीन प्रकार के coupling errors होते हैं जिनको कि fiber separation, lateral misalignment तथा angular misalignment कहा जाता है।

(1) Fiber separation या longitudinal misalignment में दोनों fibers के end phases के मध्य एक छोटा सा gap रह जाता है जो losses का कारण बनता है (चित्र 5.3(a))।

(2) Lateral या axial misalignment में दोनों fibers की axis एक सीध में नहीं आ पाती है तथा दोनों की axis की बीच में perpendicular offset (दूरी) रह जाती है जिससे losses होने लगते हैं (चित्र 5.3(b))।



चित्र 5.3(a)—Fiber separation

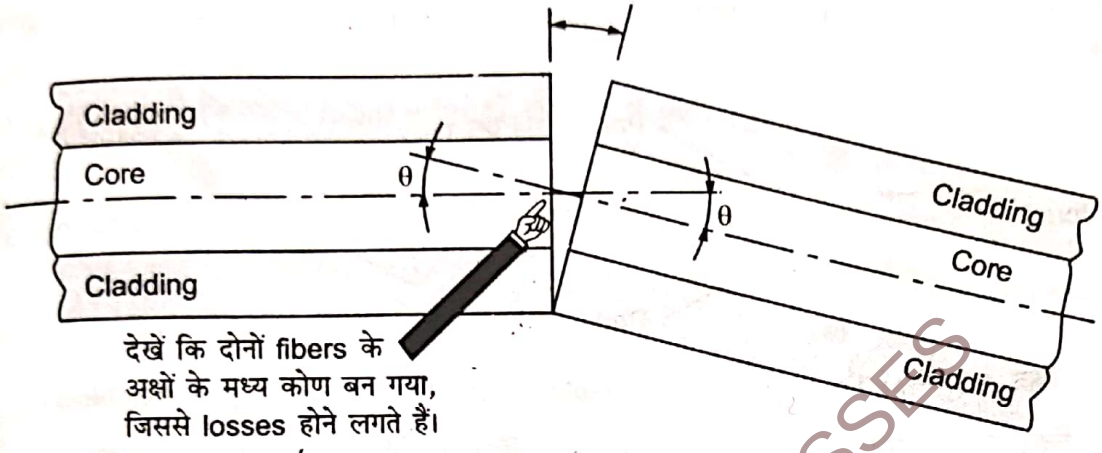


चित्र 5.3(b)—Lateral misalignment

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Angular misalignment में दोनों fibers की axis parallel नहीं रह जाती बल्कि इनके बीच में एक angle बन जाता है। इस angle के कारण gap उत्पन्न हो जाता है जिससे fiber में losses होते हैं (चित्र 5.3(c))



चित्र 5.3(c)—Angular misalignment

Lateral तथा angular misalignment के कारण coupling loss fiber separation loss से अधिक होता है। Angular misalignment में coupling loss को कम करने के लिए angle θ का मान 1° से कम होना चाहिए। Fiber alignment के कारण होने वाले coupling loss fiber के type पर, core के diameter पर तथा विभिन्न propagating modes के मध्य optical power के वितरण पर निर्भर करते हैं। यदि fiber का numerical aperture ज्यादा है तो angular misalighment loss कम होते हैं। Single modes fiber का core size छोटा होता है। अत: alignment errors के प्रति अधिक संवेदनशील होते हैं। हालांकि multi mode fibers के alignment errors विभिन्न propagation modes के मध्य optical power के distribution को distract करके coupling loss को बढ़ा देते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 5.3. फाइबर कपलर्स (Fiber Couplers) :

Coupler एक ऐसी युक्ति होती है जो light को main fiber से branch fibers में distribute (वितरित) करती है।

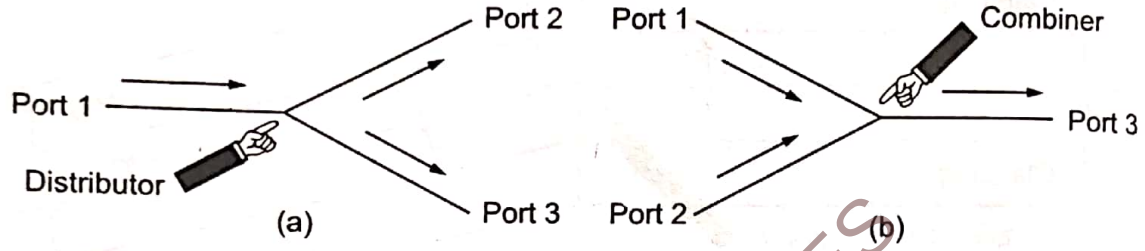
A coupler is a device which distribute light from main fiber to branch fibers. Couplers core interaction या surface interaction types हो सकते हैं।

Core interaction type couplers में light energy का transfer या तो fibers को join करने वाले butts के द्वारा होता है या fibers के मध्य lens system का use किया जाता है। Surface interaction type couplers में light energy का transfer fiber की surface पर तथा fiber की axis के normal होता है। इसके लिए guided core modes को cladding या refracted core modes में convert कर दिया जाता है।

Scanned with CamScanner

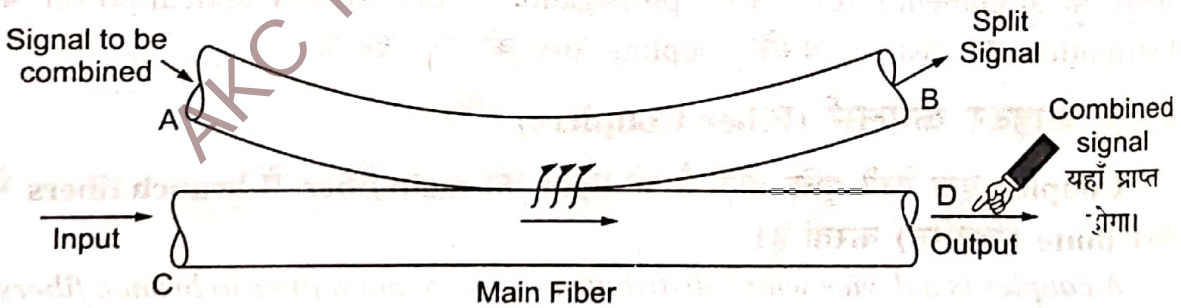
Fiber couplers कई प्रकार के होते हैं—

(1) तीन या चार port वाले couplers signal के splitter (विभाजक) या combiner (संयुक्त करना) का कार्य करते हैं (चित्र 5.4 (a) & (b))। splitting के लिए एक single input fiber core दो output fibers के बीच होती है जिसको lateral offset method कहा जाता है। इस विधि से input power आवश्यक अनुपातों में output fibers के बीच वितरित की जा सकती है।



चित्र 5.4—(a) Three port coupler (splitter) (b) Three port coupler (combiner)

चित्र 5.5 में एक directional coupler प्रदर्शित है जोकि एक चार port वाला coupler है जोकि एक चार port वाला coupler है। इस coupler में fibers को twist (मरोड़ना) कर दिया जाता है और spot fusing इस प्रकार की जाती है जिससे एक bi-conical taper structure बन जाता है। यह एक three port coupler या T-port coupler का कार्य करता है तथा प्रत्येक port का अलग-अलग function होता है। Input *C* main signal को main fiber में pass करती है। यदि अन्य signal को signal *C* से combine करना है तो उसको port A में दिया जाता है। Output *D* combined signal को transfer करती है। इस प्रकार के couplers में fibers के बीच surface interaction से energy का transfer होता है तथा coupling fused section की लम्बाई तथा fused fibers से core की दूरी पर निर्भर करती है।



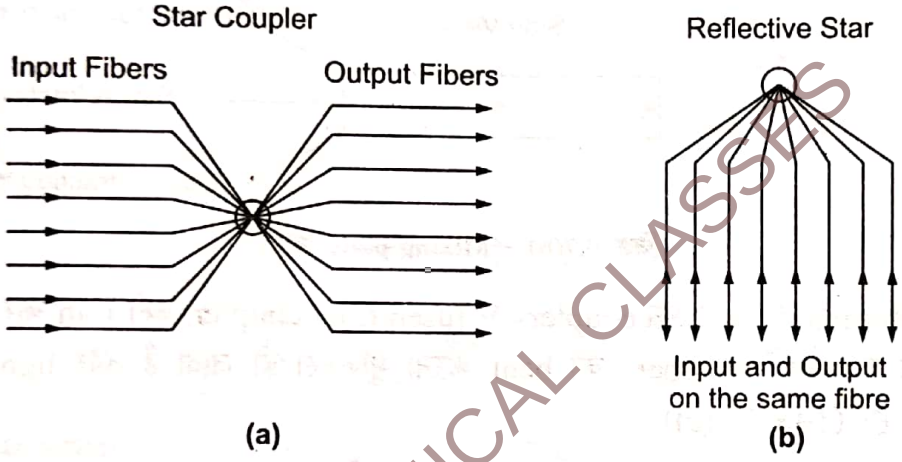
चित्र 5.5—Four port coupler

यदि एक output end को बन्द कर दिया जाये तो यह wavelength division multiplexing का कार्य भी कर सकते हैं। यदि *D* को close कर दिया जाये तथा wavelength λ_1 का signal A से तथा λ_2 का signal *C* से pass किया जाये तो coupler की output *B* से $\lambda_1 + \lambda_2$ का multiplexed signal प्राप्त होगा। इसी प्रकार यदि कोई multiplexed wavelength $\lambda_1 + \lambda_2$ *B* से pass की जाये तो λ_1 wavelength *A* पर तथा λ_2 wavelegth *C* प्राप्त होगी अत: ये demultiplexing का कार्य भी कर सकते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

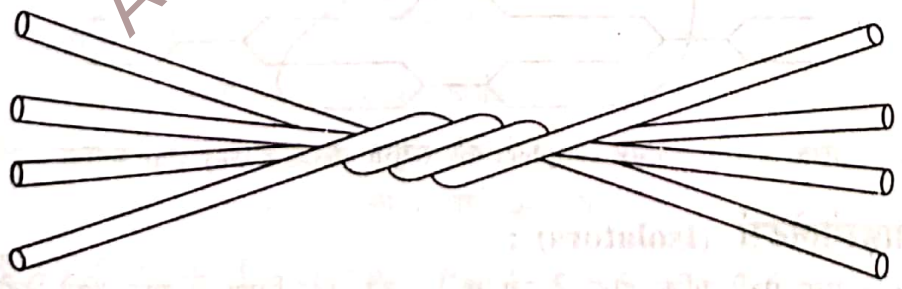
Star Coupler या Multiport Coupler—एक star coupler की सहायता से optical signal को single input fiber से कई outputs को distribute किया जा सकता है। इसमें कई fibers को bundle, twist तथा heat करके fused biconical taper star coupler का आकार दिया जा सकता है। अत: star coupler एक multiway coupler होता है जिसमें प्रत्येक input प्रत्येक output को उपलब्ध होता है। यह दो प्रकार के होते हैं— (चित्र 5.6) Star coupler के द्वारा LAN तथा MAN networks स्थापित किये जाते हैं चित्र 5.6 (a) एक 8-way device है जिसमें 8 input mix की जा रही है और 8 outputs को उपलब्ध करायी जा रही है चित्र 5.6 (b) एक reflective star है जिसमें input किसी भी fiber को दी जा सकती है तथा यह बाकी fibers को बराबर-बराबर बाँट दी जाती है।



चित्र 5.6(a)—Star couplers

Star coupler बनाने की कई विधियाँ होती हैं—

(1) Fused Fiber Star Coupling तकनीक जिसमें कई fibers को एक साथ twist कर दिया जाता है और उन पर तनाव डालकर उन्हें गर्म किया जाता है इससे fiber एक साथ melt हो जाते हैं और खींचे जाने पर पतले भी हो जाते हैं (चित्र 5.7 (a)) light इसी fused section में mixed होती है। यह multi mode operation के लिए use किये जाते हैं।



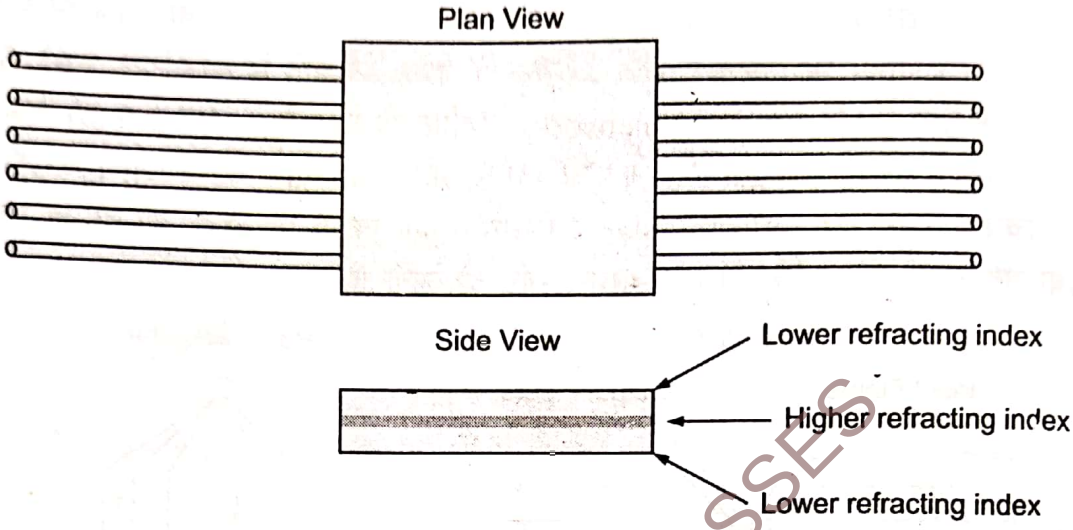
चित्र 5.7(a)—Fused fiber star coupler

(2) Mixing plate तकनीक में एक fused silica plate को sandwich के आकार में बनाया जाता है और इसके बीच में उच्च अपवर्तनांक वाले की एक पर्त होती है Fibers को edge से इस प्रकार attach किया जात है जिससे cores sandwich के बीच के भाग से lineup हो जाते हैं। (चित्र 5.7 (b))

AKC TECHNICAL CLASSES

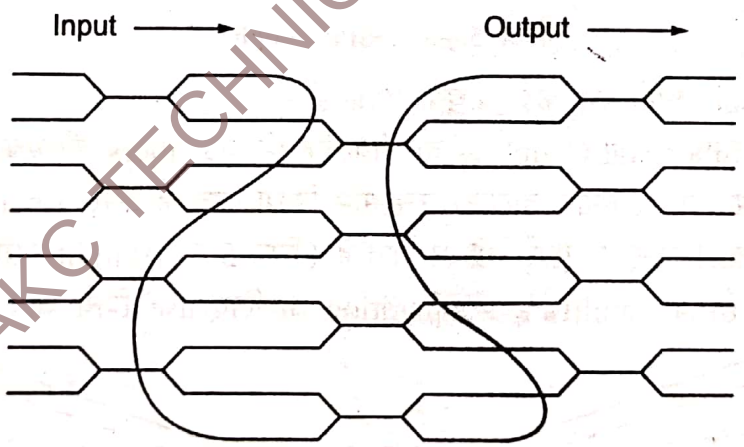
Scanned with CamScanner

इसमें प्रवेश करने वाला प्रकाश कई modes में travel करते हुए किसी एक exit fiber से बाहर निकल जाता है। यह multimode तथा single mode fibers हेतु उपयुक्त होता है।



चित्र 5.7(b)—Mixing plate कप्लर

(3) Multiple fiber 3 dB couplers में fused fiber couplers को join कर दिया जाता है। हालांकि इस स्थिति में fibers को bent करना मुश्किल हो जाता है और light का loss होने लगता है। (चित्र 5.7(c))



चित्र 5.7(c)—3 dB couplers को संयुक्त करके 8-way star बनाना

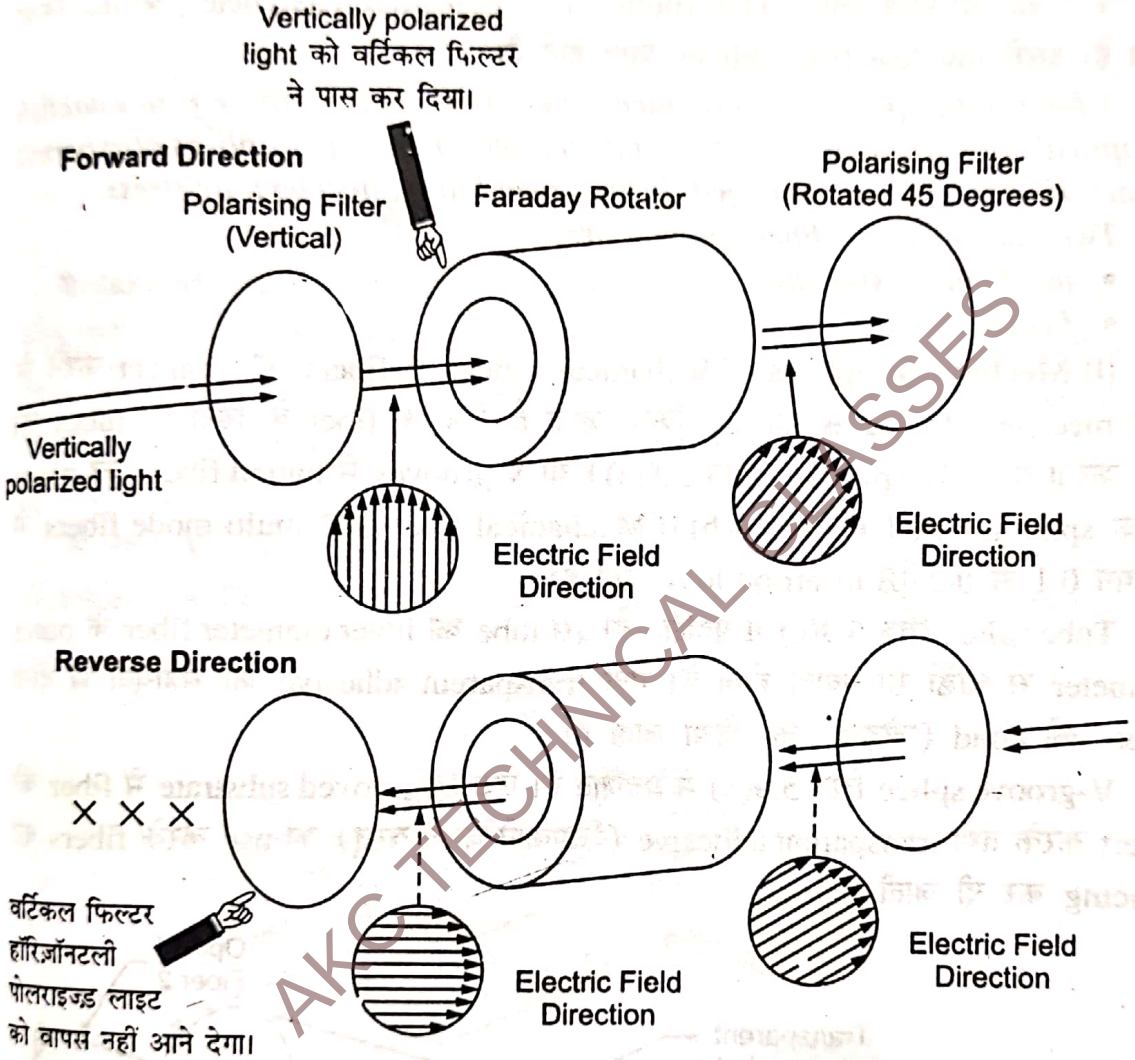
§ 5.3. आइसोलेटर्स (Isolators) :

Isolator एक ऐसी युक्ति होती है जो light को एक दिशा में पास होने देती है जबकि दूसरी दिशा में रोक देती है। Isolators fibers के back reflection को बचाने के लिए use किये जाते हैं ताकि reflection फिर से fiber में enter करके laser operation में बाधा उत्पन्न न करे। इसके लिए lithium nibate ($LiNbO_3$) का use किया जा सकता है जिसकी refrective index variable होती है तथा वैद्युत क्षेत्र पर निर्भर करती है। Ferrite पदार्थ जैसे YIG (Yttrium-Iron Garnet) का भी use किया जाता है। एक simple isolator की

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

कार्यप्रणाली चित्र 5.8 में प्रदर्शित है। Forward direction में पहला polarising filter केवल vertical polarised light को pass करता है। इसके बाद एक Faraday rotator इसके 45° rotate कर देता है चूँकि next polarising filter इसी polarising direction में oriented होता है। अत: ये light pass हो जाती है।



चित्र 5.8—Isolator कार्यप्रणाली

Reverse direction में 45° और rotate हो जाती है और horizontally polarised हो जाती है जिससे यह vertical polarizor से बाहर नहीं आ पाती है।

§ 5.4. फाइबर स्पलाइसिंग (Fiber Splicing) :

Fiber splice एक permanent joint होता है जो दो optical fibers के बीच optical connection स्थापित करता है। installation, accident तथा stress के कारण damage fibers को भी splicing द्वारा repair किया जा सकता है splice mechanical या fusion type हो सकता है। Mechanical splice में mechanical fixture या पदार्थों की सहायता से fiber का alignment तथा connection किया जाता है। Fusion splice में fiber के सिरो को heat द्वारा melt करके या fuse करके जोड़ा जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Fiber splice alignment passive या active हो सकता है। Passive alignment में precision reference surfaces (grooves या cylindrical holes) का use करके alignment किया जाता है जबकि active alignment में light का use करके alignment किया जाता है। Active alignment में splice के loss की monitoring की जाती है या microscope का use किया जाता है। इसके लिए OTDR (optical time domain reflectometer) का use किया जाता है। इससे low loss fiber splices प्राप्त होते है।

A fiber optic splice is a permanent fiber joint whose purpose is to establish an optical connection between two optical fibers. Fiber optic splices also permit repair of optical fibers damaged during installation, accident, or stress.

Two categories for fiber splicing are:

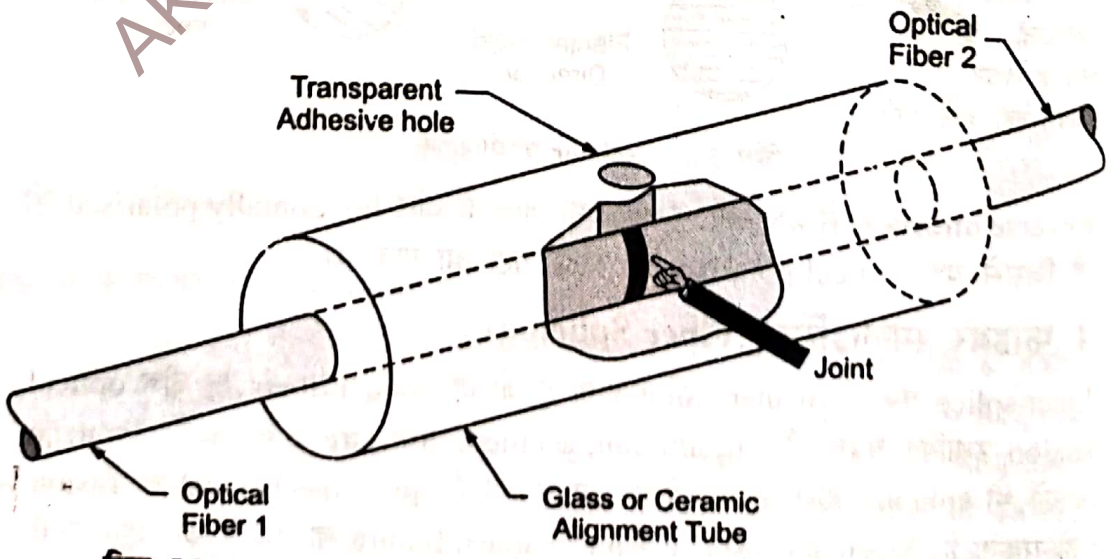
- *mechanical splicing*
- *fusion splicing*

(i) Mechanical Splices—Mechanical splices में fibers को connect करने के लिए mechanical fixtures का use किया जाता है जैसे कि fiber के सिरों पर tubes का use करना या (tube splices) (चित्र 5.8(a)) या V grooves में butted fibers को place करके splicing करना (चित्र 5.9(b))। Mechanical fiber द्वारा multi mode fibers में लगभग 0·1 से 0·2 dB insertion loss होता है।

Tube splice चित्र 5.9(a) में प्रदर्शित है। इस tube का inner diameter fiber के outer diameter से थोड़ा सा ज्यादा होता है। एक transparent adhesive की सहायता से दोनों fibers को bond (जोड़ना) कर दिया जाता है।

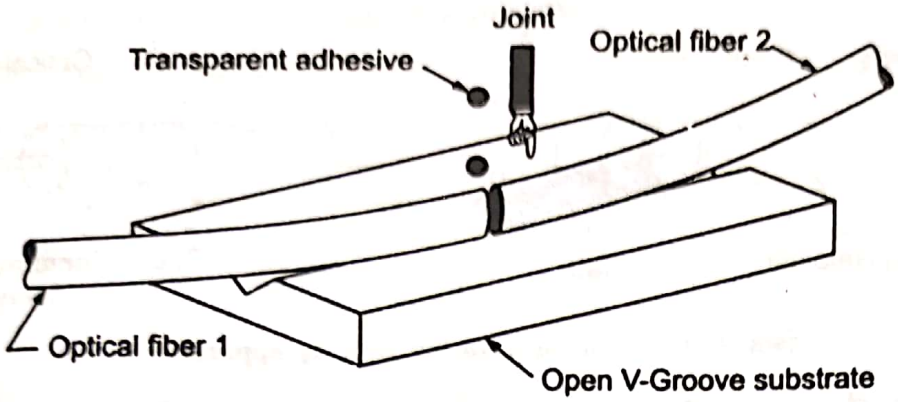
V-groove splice चित्र 5.9(b) में प्रदर्शित है। एक V-grooved substrate में fiber को insert करके तथा transparent adhesive (चिपकाने वाली वस्तु) का use करके fibers की splicing कर दी जाती है।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र 5.9(a)—Mechanical splicing using glass or ceramic alignment tube

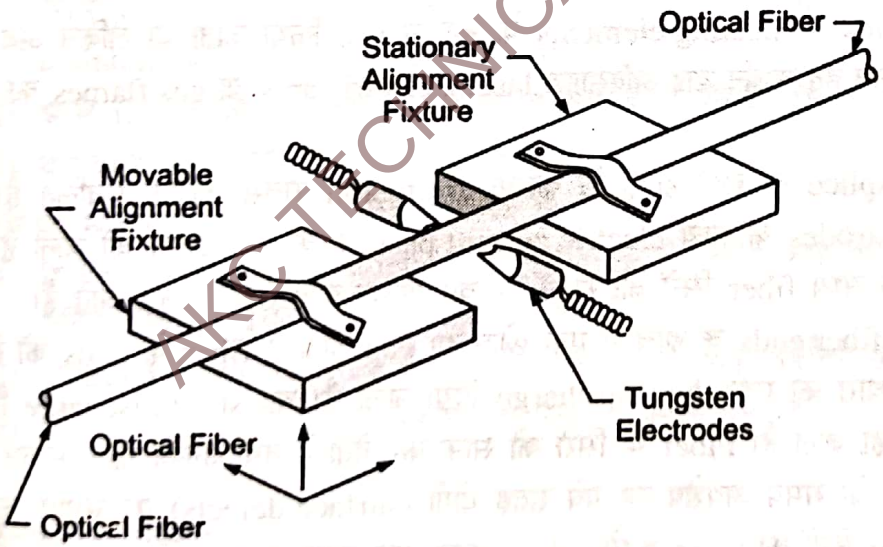
Scanned with CamScanner



चित्र 5.9(b)—V-grooved splice

Rotary Mechanical Splicing—Rotary splicing में fibers को glass ferrules (काँच सामी) में रखा जाता है और adhesive (संसजक) की सहायता से चिपकाया जाता है glass ferrule को दो हिस्सों में बाँटकर दोनों हिस्सों में fiber का एक-एक सिरा insert किया जाता है और फिर एक ultraviolet epoxy की सहायता से इनको जोड़ दिया जाता है फिर इनको polish तथा align किया जाता है।

इस प्रकार की splicing navy में ship board applications के लिए use होती है क्योंकि इसमें losses कम होते हैं और यह navy के वातावरण के लिए अधिक स्थिर व उपयुक्त होती है।



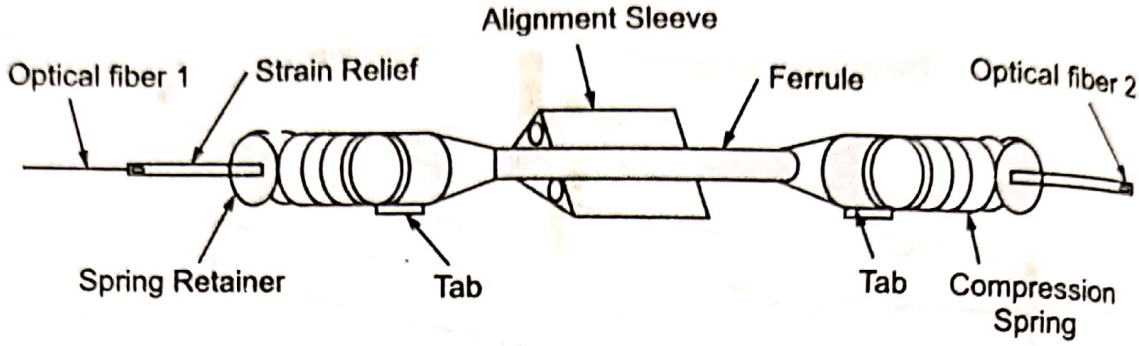
चित्र 5.9(c)

Fusion splicing—इस process में heat का use करके fibers को splice किया जाता है। Fusion splicing apparatus चित्र 5.10 में प्रदर्शित है। Melting के लिए electrical arc fusion का use किया जाता है।

सर्वप्रथम fibers के बीच small gap रखके short electric current pass किया जाता है। यह short discharge जिसको कि profusion कहा जाता है, Fiber के सिरों को clean कर देता है। इसके बाद एक (long तथा strong) electric discharge से fiber की splicing कर दी जाती है। Fusion splicing में mechanical splicing से अधिक समय लगता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 5.10(a)—A basic fusion splicing apparatus

इस प्रकार की splicing में fibers के दोनों सिरों को heat प्रदान करके उन्हें melt किया जाता है और जोड़ा जाता है।

इस process में सबसे पहले fiber के दोनों सिरों को fusion के लिए तैयार किया जाता है इसके लिए दोनों सिरों के पास की सुरक्षात्मक कोटिंग को हटा दिया जाता है इसके बाद score and break विधि द्वारा fiber को cleave किया जाता है दोनों सिरों की quality का microscope द्वारा प्रेक्षण किया जाता है। Fusion splicing में यह बहुत महत्वपूर्ण है क्योंकि splice loss दोनों fiber के सिरों के faces के बीच के angle तथा उनकी quality का सीधा फलन होते हैं।

Fiber के सिरों के सही placement हेतु microscope की सहायता ली जाती है। Fibers को apparatus में रखकर align करके fuse कर दिया जाता है। पहले fiber को melt करने के लिए nichrome wires को heating elements के रूप में use किया जाता था लेकिन अब fiber के सिरों को गर्म करने हेतु कार्बन डाइ ऑक्साइड lasers, electric arcs या gas flames का use किया जाता है।

Fusion splice के छोटे size के कारण arc fusion सबसे अधिक प्रचलित है। इसमें दो tungsten electrodes के मध्य electric current pass करके arc उत्पन्न की जाती है। इन दोनों electrodes के मध्य fiber सिरों को रखने पर वह पिघल जाते हैं तथा जुड़ जाते हैं।

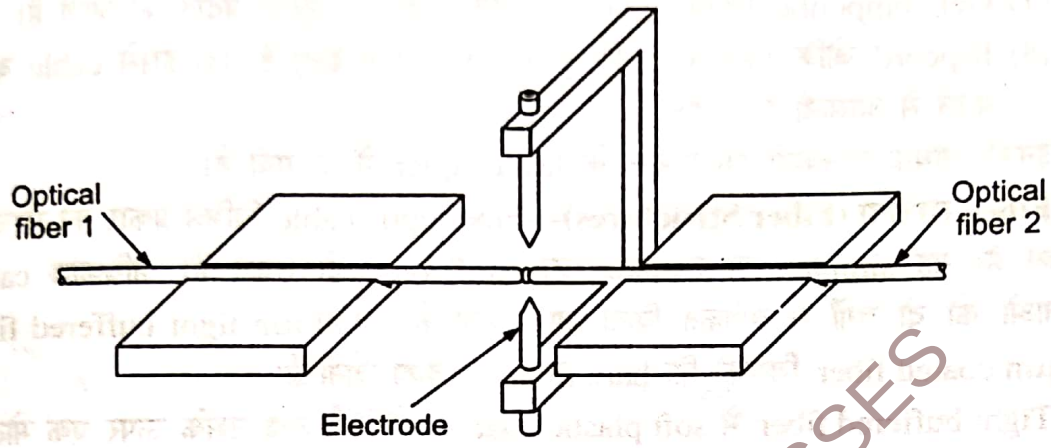
प्रारम्भ में fiber ends के बीच में एक छोटा सा gap होता है fiber के ends को तैयार करने के लिए वैद्युत धारा का एक short discharge दिया जाता है। यह short discharge जिसको कि profusion कहा जाता है। Fiber के सिरों को साफ कर देता है तथा उनको गोल आकार दे देता है तथा cleaving के समय अवशेष रह गये सतह दोषों (surface defects) को समाप्त कर देता है। इसके बाद fiber सिरों को press करके, align करके एक लम्बा तथा strong electric discharge दिया जाता है और उनको fuse कर दिया जाता है। Fusion के fuse दौरान पिघले शीशे (molten glass) का पृष्ठ तनाव (surface tension) उनके बाहरी diameters को realign कर देता है। Fusion process पूरा होने के बाद उसमें कुछ core distortion रह जाता है। यह distortion multimode fibers में loss उत्पन्न नहीं करता लेकिन single mode fiber में समस्या उत्पन्न कर सकता है। इसको कम करने के लिए arc discharge को, तथा electrodes के बीच की दूरी को कम किया जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Fusion splicing mechanical splicing से अधिक समय लेती है तथा इस splicing के लिए अधिक expertise (कुशलता) की आवश्यकता होती है।

Fusion splicing की एक अन्य व्यवस्था चित्र 5.10(b) में प्रदर्शित है।



चित्र 5.10(b)—Fusion splicing using electric arc

Fiber Optic Cable—Optical fiber की बेहतर handling के (एक जगह से दूसरी जगह ले जाना) लिए तथा उसको सुरक्षा प्रदान करने के लिए उसकी packaging करना cabling कहलाता है। Fiber optic की cabling करने के मुख्य लाभ निम्नवत् हैं—

(i) इससे fiber की handling आसान हो जाती है तथा उनको install करना और maintain करना भी आसान हो जाता है।

(ii) इससे fibers को damaging forces से बचाया जा सकता है।

(iii) वातावरण के प्रभावों से बचाया जा सकता है।

Fiber optic cables के मुख्य कारक निम्नवत् हैं—

(i) Indoor cables में fire safety एक मुख्य कारक है अर्थात आग लगने पर भी केबिल क्षतिग्रस्त न हो, इसका consideration आवश्यक है।

(ii) Outdoor cables नमी तथा ultraviolet किरणों के प्रति अवरोधी होने चाहिये।

(iii) Aerial cables को सूर्य के प्रकाश तथा हवा के दबाव को झेलने के लिए सक्षम होना चाहिए।

Cable Jacket Material—

(1) Polyethylene जोकि नमी तथा वातावरण के प्रभावों के प्रतिरोधी होता है तथा इसके परावैद्युत गुण भी स्थायी होते हैं। अत: यह outdoor fiber cables के लिए उपयुक्त होता है।

(2) Polyvinyl chloride ताप प्रतिरोधी होने के कारण इनको indoor तथा outdoor दोनों cables के लिए प्रयुक्त किया जाता है।

(3) PVDF अर्थात् (Polyvinyl dichloride) जिसकी अग्नि प्रतिरोधी क्षमता अच्छी होती है indoors के लिये उपयुक्त रहता है।

(4) Aramid yarn या kevlar जो कि पीले रंग का पदार्थ होता है, यह एक मजबूत पदार्थ है जो कि fibers को bundle करने हेतु use किया जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(5) LSZH अर्थात् (Low smoke zero halogen plastics)

(6) Central strength member जो कि cable के बीच में steel fiber glass या Aramid yarn के रूप में होता है और fiber को मजबूती प्रदान करता है।

(7) Gel compound जिनको cable में भरकर पानी से सुरक्षा प्रदान की जाती है।

(8) Ripcord जोकि बहुत पतली किन्तु धागे के रूप में होती है तथा इससे cable को split करने में आसानी रहती है।

इनकी अधिक जानकारी इस पुस्तक के last chapter में दी गयी है।

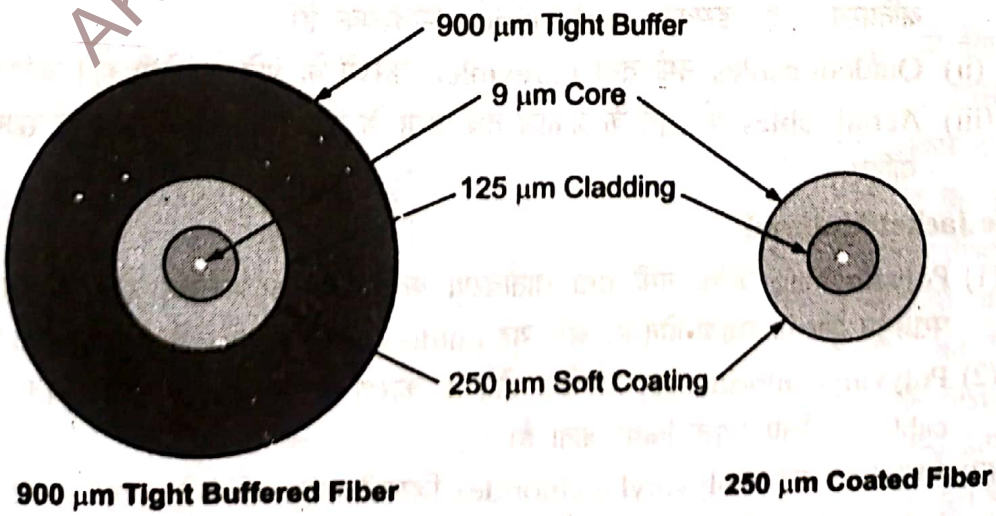
Fiber संरचना (Fiber Structures)—Fiber optic cable विभिन्न प्रकार की संरचनाओं में उपलब्ध है। यह simplex या Duplex (Zipcard) type हो सकते हैं। अधिकांश cable की संरचनाओं को दो वर्गों में वर्गीकृत किया जा सकता है—900 μm tight buffered fiber या 250 μm coated fiber जिसको कि bare fiber भी कहा जाता है।

Tight buffered fiber में soft plastic coating होती है तथा उसके ऊपर एक मोटी hard plastic पर्त होती है जिससे इसकी handling आसान हो जाती है और मजबूती बढ़ जाती है (चित्र 5.11)

900 μm type buffered fiber की core single mode fiber के लिए 9 μm तथा multimode fiber के लिए 50 μm या 62.5 μm होती है। इसकी cladding 125 μm होती है।

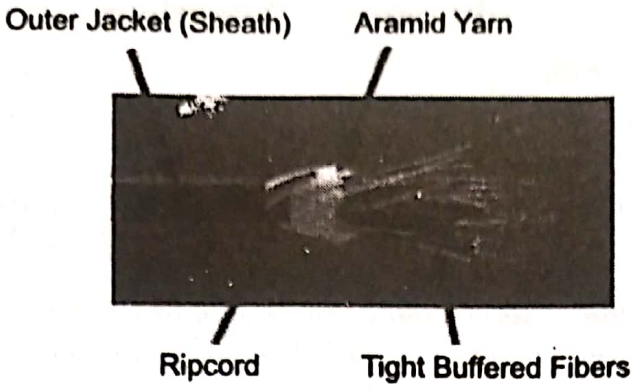
Soft plastic coating 250 μm और hard plastic coating लगभग 900 μm diameter की होती है। अत: इन fibers को मजबूत cable structure के रूप में tag किया जा सकता है Indoors में use किया जा सकता है Network के device को link किया जा सकता है तथा ऊँची buildings के लिए use किया जाता है। इसके मुख्य elements होते हैं— Multiple 900 μm tight buffered fiber, central strength member, Aramid yarn (kevlar), Ripcord तथा outer jacket (sheath or PVC)।

AKC TECHNICAL CLASSES

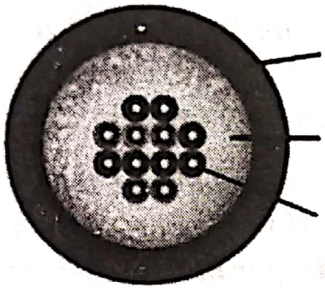


चित्र 5.11 (a)—Tight buffered fiber and coated fiber

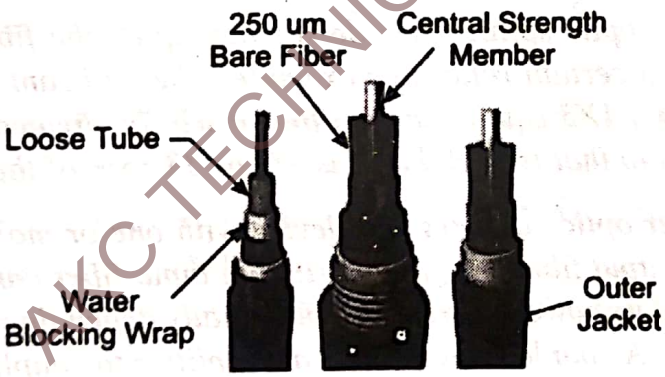
Scanned with CamScanner



चित्र 5.11 (b)—Tight buffered fiber



चित्र 5.11 (c)—Tight buffered fiber



चित्र 5.11 (d)—Fiber optic loose tube cable samples

250 µm coated fiber जिसको कि bare fiber भी कहा जाता है। इसकी core, cladding तथा soft plastic coating tight buffered fiber की तरह होती है लेकिन इसमें hard plastic coating नहीं होती है। इन cables को एक flexible plastic tube में डाला जाता है तथा खोखली tube को नमी से बचाने के लिए gel का use किया जाता है।

Aramid yarn को central तथा strength member के रूप में use किया जाता है। इसके बाहर एक polyethylene की jacket use की जाती है। इनको outdoors applications के लिए use किया जाता है। अत: इसके मुख्य elements होते हैं— Multiple 250 µm coated bare fibers, loose tubes, moisture blocking gel, central strength member, Aramid yarn, Ripcord, outer jacket ।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Important Definitions

Fiber optic joints: *Fiber optic joints or terminations are made two ways: splices which create a permanent joint between the two fibers or connectors that mate two fibers to create a temporary joint or connect the fiber to a piece of network. Either joining method must have three primary characteristics for good optical performance: low loss, minimal reflectance and high mechanical strength.*

Connector: *An optical fiber connector terminates the end of an optical fiber, and enables quicker connection and disconnection than splicing. Most fiber optic connectors are plugs or male connectors with a protruding ferrule that holds the fibers and aligns two fibers for mating. Connectors are used for terminations, i.e., the ends of the fibers where they connect to equipment or to patch panels where fiber routing can be changed by patching different fibers together. Multimode fibers are relatively easy to terminate, so field termination is done by installing connectors directly on tight buffered fibers.*

Splices: *Splices are permanent joints and are used for joining most outside plant cables. There are two types of splices i.e., fusion and mechanical. Fusion splicing is widely used as it provides for the lowest loss and least reflectance, as well as providing the strongest and most reliable joint. Hence, all single mode splices are fusion.*

Splitters: *A fiber optic splitter is a device that splits the fiber optic light into several parts by a certain ratio. For example, when a beam of fiber optic light transmitted from a 1X3 equal ratio splitter, it will be divided into 3-fiber optic light by equal ratio that is each beam is 1/3 or 33.33% of the original source.*

Couplers: *A fiber optic couplers is a device with one or more input fibers and one or several output fibers. Light entering an input fiber can appear at one or more outputs and its power distribution potentially depending on the wavelength and polarization. A coupler can be used as a splitter to couple out some portion of the light circulating in the resonator of fiber laser. The same kind of devices is useful in fiber interferometers, also for combining two inputs. Dichroic couplers can be used to combine a pump and a signal input for a fiber amplifier, or to remove residual pump light after the amplifier.*

Intrinsic and Extrinsic coupling losses: *Intrinsic coupling losses are caused by inherent fiber characteristics. Extrinsic coupling losses are caused by jointing techniques. Intrinsic coupling losses are limited by reducing fiber mismatches between the connected fibers. This is done by procuring only fibers that meet stringent geometrical and optical specifications. Extrinsic coupling losses are limited by following proper connection procedures.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Fiber cables: *Fiber optic cable refers to the complete assembly of fibers, other internal parts like buffer tubes, ripcords, stiffeners, strength members all included inside an outer protective covering called the jacket. Fiber optic cables come in different types, depending on the number of fibers and how and where it will be installed. Cable's job is to protect the fibers from the environment encountered in an installation. Inside buildings, cables don't have to be so strong, but they have to meet all fire code provisions. Outside the building, it depends on whether the cable is buried directly, pulled in conduit, strung aerially.*

Cleaving: *A much faster technique for preparing fiber ends is cleaving. Here, one pulls the fiber while scratching it from a side, e.g. with a vibrating diamond blade. This makes the fiber break with normally fairly smooth end faces – at least around the core region. By twisting the fiber during this process, angle cleaves can be fabricated, but the results are less reproducible than for polishing techniques.*

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रश्नावली–5

1. (a) OFC में connectors, splices, splitters, couplers, cables व isolators क्या होते हैं। इनकी आवश्यकता व महत्व क्या है? इनके विभिन्न प्रकार भी लिखिए?
   (b) Single व multimode fiber connectors में क्या अन्तर है?
   (c) Splicing की क्या आवश्यकता है? विभिन्न प्रकार की splicing तकनीकों के बारे में बताइए?
   (d) Couplers क्या होते हैं? Source to fiber couplers, fiber to fiber couplers तथा fiber to detector couplers में क्या अन्तर है?
   (e) Intrinsic व extrinsic coupling loss क्या होते हैं? Underground, under sea व overhead losses में क्या अन्तर है?
   (f) Coupling की क्या आवश्यकता है? Cable संरचना के विभिन्न तत्व तथा अभिलक्षण बताइए।
   (g) Cable के installation तथा design पर टिप्पणी लिखिए।
   (h) Cable की jacketig, transport तथा handling पर टिप्पणी लिखिए।
2. Fusion splicing व mechanical splicing में अन्तर समझाइये।
3. किसी फाइबर ज्वाइंट में misalignment से होने वाली समस्याओं की व्याख्या कीजिये।
4. Spitters व couplers के मध्य अंतर स्पष्ट कीजिये।
5. Straight sleeve व tapered sleeve connector में अंतर बताइये।

Scanned with CamScanner

6 ऑप्टिकल मापन (OPTICAL MEASUREMENT)

THINK ABOUT IT

A disciple and his teacher were walking through the forest. The disciple was disturbed by the fact that his mind was in constant unrest.

He asked his teacher: "Why most people's minds are restless, and only a few possess a calm mind? What can one do to still the mind?" The teacher looked at the disciple, smiled and said:

"I will tell you a story. An elephant was standing and picking leaves from a tree. A small fly came, flying and buzzing near his ear. The elephant waved it away with his long ears. Then the fly came again, and the elephant waved it away once more." This was repeated several times. Then the elephant asked the fly:

"Why are you so restless and noisy? Why can't you stay for a while in one place?" The fly answered: "I am attracted to whatever I see, hear or smell. My five senses, and everything that happens around me, pull me constantly in all directions, and I cannot resist them. What is your secret? How can you stay so calm and still?"

The elephant stopped eating and said: "My five senses do not rule my attention. I am in control of my attention, and I can direct it wherever I want. This helps me to get immersed in whatever I do, and therefore, keep my mind focused and calm. Now that I am eating, I am completely immersed in eating. In this way, I can enjoy my food and chew it better. I control my attention, and not the other way around, and this helps me stay peaceful."

Upon hearing these words, the disciple's eyes opened wide, and a smile appeared on his face. He looked at his teacher and said: "I understand! My mind will be in constant unrest, if my five senses, and whatever is happening in the world around me are in control of it. On the other hand, if I am in command of my five senses, able to disregard sense impressions, my mind would become calm, and I will be able to disregard its restlessness."

"Yes, that's right," answered the teacher. "The mind is restless and goes wherever the attention is. Control your attention, and you control your mind."

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

§ 6.1. परिचय (Introduction) :

विज्ञान तथा टेक्नोलोजी के किसी भी क्षेत्र में advances तभी संभव हैं, यदि उस तकनीक से संबंधित objects का निरीक्षण तथा accurate मापन किया जा सके। फाइबर ऑपटिक्स तकनीक में भी यही नियम लागू होता है। फाइबर आपटिक्स तकनीक में हुये विकास का श्रेय इस बात को भी जाता है कि फाइबर के सभी parameters के मापन हेतु नयी तकनीकों का विकास किया जा सका।

मापन का महत्व फाइबर फैब्रीकेशन में तो है ही, इसके साथ-साथ मापन से प्राप्त पैरामीटर फाइबर को use करते समय guide का कार्य करते हैं। अत:, user जो fiber use कर रहा है, उसकी specifications की पूरी जानकारी user को ही जाती है तथा इसे fiber सिस्टम के दूसरे components का design करने तथा overall optical fiber communication design में भी सहायता मिलती है।

व्यवसायिक फाइबर निर्माता मापन के द्वारा अपने प्रोडक्ट्स का विशिष्टीकरण (specifications) प्रदान कर सकते हैं तथा फाइबर users भी इसको verify कर सकते हैं कि जिन specifications की उन्हें आवश्यकता है, वह उन्हें प्राप्त हो रहे हैं अथवा नहीं।

आपटीकल फाइबर का चयन तीन मुख्य बातों पर आधारित होता है—क्षीणन (attenuation losses), प्रकाश युग्मन की सहजता (ease of light coupling) तथा बैंडचौड़ाई (bandwidth)। यह सभी पैरामीटर्स फाइबर डिजाइन व प्रोडक्शन में स्थापित अभिलक्षणों पर आधारित होते हैं। Signal losses fiber के अंदर attenuation पर निर्भर करते हैं। युग्मन में आसानी फाइबर कोर के व्यास (diameter) तथा numerical aperture पर निर्भर करती है। एक महत्वपूर्ण कारक जो फाइबर की बैंडविड्थ को कन्ट्रोल करता है, वह है RIP या Refractive Index Profile अत: फाइबर को किसी अनुप्रयोग में use करने हेतु इन तीनों कारकों की जानकारी व मापन किया जाना आवश्यक है।

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 6.2. फाइबर का टर्मिनेशन तथा अंत निरीक्षण (Termination and End Inspection of Fiber) :

फाइबर को splice (या connect) करने से पूर्व fiber के सिरों (end faces) को भलीभाँति तैयार करना आवश्यक है। Light scattering से बचाव हेतु हेतु ends flat (समतल) व smooth होने चाहिये। End preparation हेतु sawing, grinding व polishing तकनीकों का इस्तेमाल किया जाता है।

प्रयोगशालाओं में end preparation हेतु cleavage तकनीक का use किया जाता है। इसमें stripper द्वारा fiber की primary coating को 2-3 cm remove किया जाता है (4-5 मिनट के लिये fiber को acetone में रखकर भी यह किया जा सकता है)। इसके बाद fiber को curve form में bent किया जाता है तथा साथ में tension apply की जाती है। इससे फाइबर में stress distribution उत्पन्न हो जाती है। Scratch point पर अधिकतम stress उत्पन्न होती है जिससे फाइबर में crack propagate होता है तथा smooth व perpendicular edge faces प्राप्त होते हैं।

Scanned with CamScanner

§ 6.3. क्षीणन मापन तकनीकें (Attenuation Measurement Techniques):

Optical fiber में travel करते समय light की power का कम हो जाना attenuation या क्षीणन कहलाता है। Fiber में होने वाले अवशोषण scattering banding तथा अन्य losses के कारण attenuation होता है। Attenuation को किसी विशेष wavelength पर measure किया जाात है। इन्हीं दो बिन्दुओं X तथा Y के बीच में total attenuation निम्न सूत्र द्वारा दिया जाता है—

$$A = 10 \log \frac{P_x}{P_y} \text{ dB}$$

where P_x = The power output at point x

P_y = The power output at light y

(Point x को यहाँ optical source से निकट माना गया है)

Attenuation coefficient का सूत्र निम्नवत् है।

$$\alpha = \frac{A}{L} \text{ dB/km}$$

L = The distance between points x and y

α = A positive number because P_x is always larger than P_y

कटबैक विधि (Cutback Method) :

Laboratory में optical fiber के attenuation का measure करने के लिए cutback method का use किया जाता है। Cutback method में test fiber में transmit हुई power तथा fiber के starting में power की तुलना की जाती है। Multimode fiber attenuation का measure करने के लिए EIA/TIA-455-46 method का use किया जाता है जबकि single mode का use किया जाता है। इन दोनों methods में मापन का सिद्धान्त एक ही होता है। इस test method यह आवश्यकता होती है कि L लम्बाई वाली fiber को 2 मीटर लम्बाई पर cut किया जा सके।

इस विधि को चित्र 6.1 में दर्शाया गया है। पहले लम्बाई L में output power P_1 को optical power metre द्वारा measure किया जाता है बिना input light condition को disturb किये fiber को 2 मीटर लम्बाई पर काटकर output power P_2 को measure किया जाता है। इसके बाद attenuation को निम्नवत् calculate कर लिया जाता है—

$$A = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

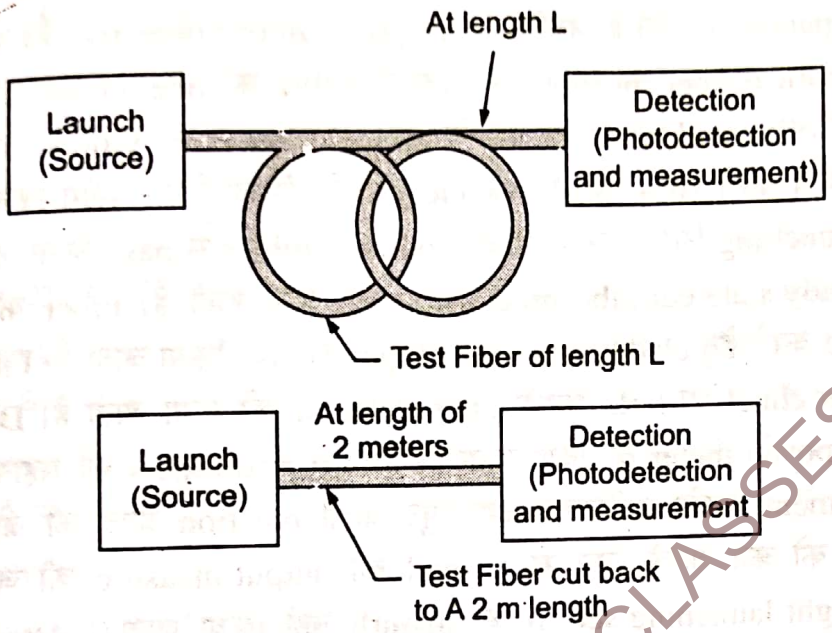
Launch Conditions :

इस measurement में optical fiber में light power को launch करने हेतु सावधानी बरतनी पड़ती है। Single mode fiber में केवल fundamental mode को launch किया जाता

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

है जबकि multimode fiber में विभिन्न modes के बीच power वितरण को control करना पड़ता है।



चित्र 6.1—Cutback method for measuring fiber attenuation
(a) Test measurement; (b) Cut-back measurement

इसके लिए spot size और angular distribution को control करना पड़ता है। Launch spot-size fiber face का वह area होता है जो optical source की light beam द्वारा illuminate (प्रकाशित) किया जाता है। इसका diameter optical source के size और lens की properties पर निर्भर करता है।

Angular distribution optical source तथा light beam के मध्य angle से सम्बन्ध रखता है। Mode filter वह device होता है जो fiber में कुछ modes को pass करता है और कुछ modes को attenuate करता है। Mode filters में सामान्यत: fibers को mandrel के चारों ओर लपेट दिया जाता है इसको mandrel wrap mode filter भी कहते हैं।

Multimodes fiber में यह high order propagating modes को remove करता है जबकि single modes fiber में second order propagating mode को remove करता है।

In laboratory situations, end users perform the cutback method for measuring the total attenuation of an optical fiber. The cutback method involves comparing the optical power transmitted through a long piece of test fiber to the power present at the beginning of the fiber (about 2 meters).

The cutback method for measuring multimode fiber attenuation is EIA TIA-455-46. The cutback method for measuring single mode fiber attenuation is EIA/TIA-455-78.

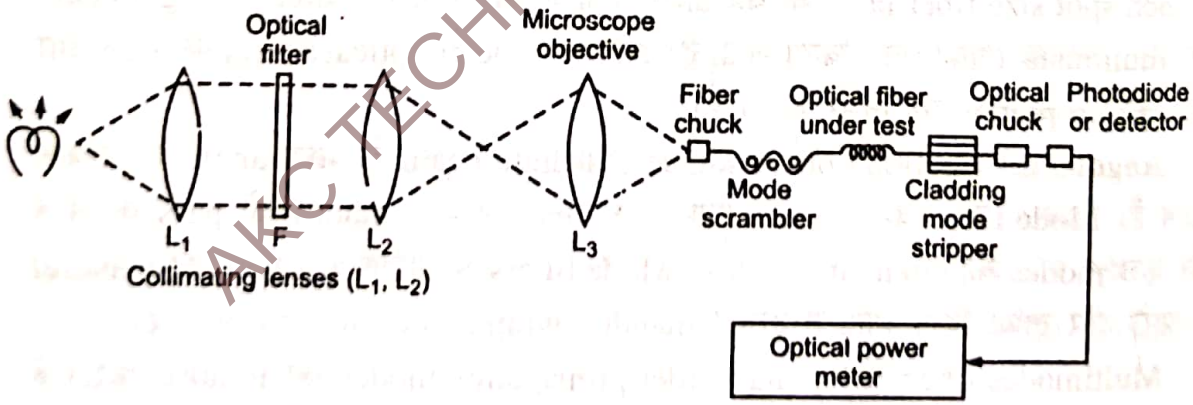
The basic measurement process is same for both of these procedures. The test method requires that the test fiber of known length (L) be cut back an approximate 2-m length. This method requires access to both fiber ends. Each fiber end could be properly prepared to make measurements.

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

कट-बैक विधि का experimental set-up चित्र 6.2 में प्रदर्शित है। एक 100 W के quartz halogen lamp को source के रूप में use किया जाता है। L_1 तथा L_2 lens इस light को collimate (parallel) करते हैं जबकि lens L_3 microscope objective है। यह light को collect करके optical fiber की input को देता है। Fiber को fiber chuck (FC) में hold किया जाता है। Collimated beam के पथ में optical filter F को mount किया जाता है। प्रयोगशाला में प्रयोग करते समय विभिन्न wavelength के फिल्टर्स का प्रयोग किया जा सकता है। Fiber को launching सिरे के निकट एक mode scrambler से pass किया जाता है। इससे modes की steady state equilibrium distribution प्राप्त होती है। Fiber की cladding modes को strip करने हेतु cladding mode stripper का use किया जाता है। Fiber के दूसरे सिरे को भी fiber chuck में hold करके photodetector को दिया जाता है। Detector का output optical power meter को दिया जाता है। Micro-positioners की सहायता से fiber core का alignment करके अधिकतम आउटपुट वाली position प्राप्त की जाती है।

अब fiber को कट-करके फिर से far end की output measure की जाती है (इस reading हेतु light launching set-up को disturb नहीं किया जाता)। Attenuation के सूत्र का प्रयोग करके fiber loss की गणना की जाती है तथा attenuation coefficient व wavelength के मध्य ग्राफ plot करके fiber की spectral attenuation curve प्राप्त की जाती है।



चित्र 6.2—Attenuation मापन हेतु experimental set-up

Total transmission loss के मापन हेतु cut-back तकनीक का use किया जाता है जो अत्यंत accurate, विश्वसनीय तथा simple है। किन्तु यह destructive तकनीक है, तथा इस विधि में कुछ फाइबर नष्ट हो जाता है।

§ 6.4. डिस्पर्ज़न मापन तकनीकें (Dispersion Measurement Techniques) :

Dispersion bandwidth को कम कर देता है जिससे optical fiber की सूचना को carry करने की क्षमता (information carrying capacity) कम हो जाती है। Dispersion के कारण light pulse चौड़ी होने लगती है। Dispersion intramodal या intermodal हो

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

सकता है। Multimode fiber की bandwidth, उसके intermodal dispersion का माप होती है। Multimode fiber की सभी mode exite होने की स्थिति में intermodal dispersion अधिकतम होता है। Intermodal dispersion के मापन के हेतु प्रयुक्त source को fiber को overfill कर देना चाहिये। Optical source की spectral width पतली होनी चाहिये ताकि मापन में achromatic dispersion का प्रभाव न पड़े। Modal bandwidth माप करने की दो तकनीकें होती हैं। पहली तकनीक में time domain में fiber की impulse का मापन किया जाता है। दूसरी technique frequency domain में fiber की basement frequency response का मापन किया जाता है। Frequency domain में bandwidth measure करने हेतु EIA/TIA-455-30 test method use किया जाता है। परिवर्ती आवृत्तियों के signal fiber में launch किये जाते हैं तथा बाहर निकलने वाली power ($P_{out}(f)$) का मापन किया जाता है (fundamental frequency पर) उसके बाद fiber को cutback कर दिया जाता है तथा इस छोटी fiber में उन्हीं स्थितियों को repeat किया जाता है। इस condition में power को $P_{in}(f)$ से denote कर देते हैं।

अत: optical fiber frequency response

$$H(f) = \log_{10} \frac{P_{out}(f)}{P_{in}(f)}$$

Fiber bandwidth वह न्यूनतम frcquency होती हैं जस पर fiber frequency response zero frequency response का आधा हो जाता है। इसको –3 dB optical power frequency कहा जाता है। इसको fiber की bandwidth भी कहा जाता है और यह MHz-km के unit में व्यक्त की जाती है।

Time Domain Dispersion Measurements—Multimode fiber में optical pulse dispersion की time domain measurement तकनीक का experimental setup चित्र 6.3 में प्रदर्शित किया गया है। एक optical source (जैसे कि AlGaAs DH laser) से पतली optical pulse को fiber में launch किया जाता है। Fiber में लगभग 1 km चलने के बाद dispersion के कारण pulse broaden (चौड़ा होना) होने लगती है। Fiber से बाहर आने वाली pulse को photodetector द्वारा detect किया जाता है और एक fast sampling oscilloscope की screen पर display किया जाता है। Pulse की चौड़ाई का मापन करके fiber dispersion ज्ञात किया जा सकता है। यदि $P_i(t)$ तथा $P_o(t)$ input तथा output power को व्यक्त करती है तथा pulse Gaussian shape की है तो

$$\Gamma_0^2 (3\text{ dB}) = \Gamma^2(3\text{ dB}) + \Gamma_i^2 (3\text{ dB})$$

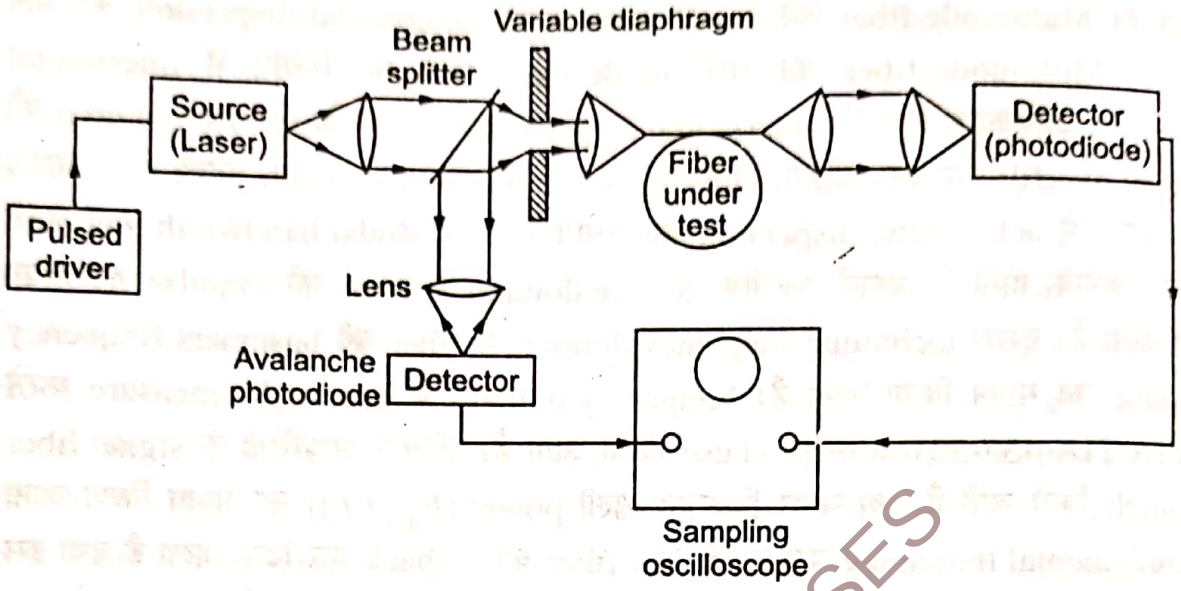
जहाँ $\Gamma_i (3\text{ dB})$ = Width of input pulse at half power

$\Gamma_o (3\text{ dB})$ = Width of output pulse at half power

$\Gamma (3\text{ dB})$ = Width of fiber impulse response again measured in the half power maximum amplitude

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 6.3—A typical experimental arrangement for making measurement of dispersion in a multimode fiber in time domain

अत: pulse dispersion को निम्न सूत्रों द्वारा व्यक्त किया जा सकता है—

$$G(3\,dB) = \frac{[\Gamma_o^2(3\,dB) - \Gamma_i^2(3\,dB)]^{1/2}}{L} \text{ ns.km}^{-1}$$

Frequency Domain Dispersion Measurement—Frequency domain dispersion measurement द्वारा fiber में apply किये गये signal के output amplitude तथा frequency के मध्य सम्बन्ध ज्ञात किया जा सकता है। Baseband frequency response को निम्न सूत्र द्वारा calculate किया जा सकता है—

$$H(f) = \frac{P_o(f)}{P_i(f)}$$

जहाँ $P_o(f)$ तथा $P_i(f)$ frequency f पर output तथा input power को व्यक्त करती है। Frequency domain dispersion measurement की कई तकनीकें होती है—Pulse source method तथा frequency, phase response method तथा स्वीप आवृत्ति तकनीक।

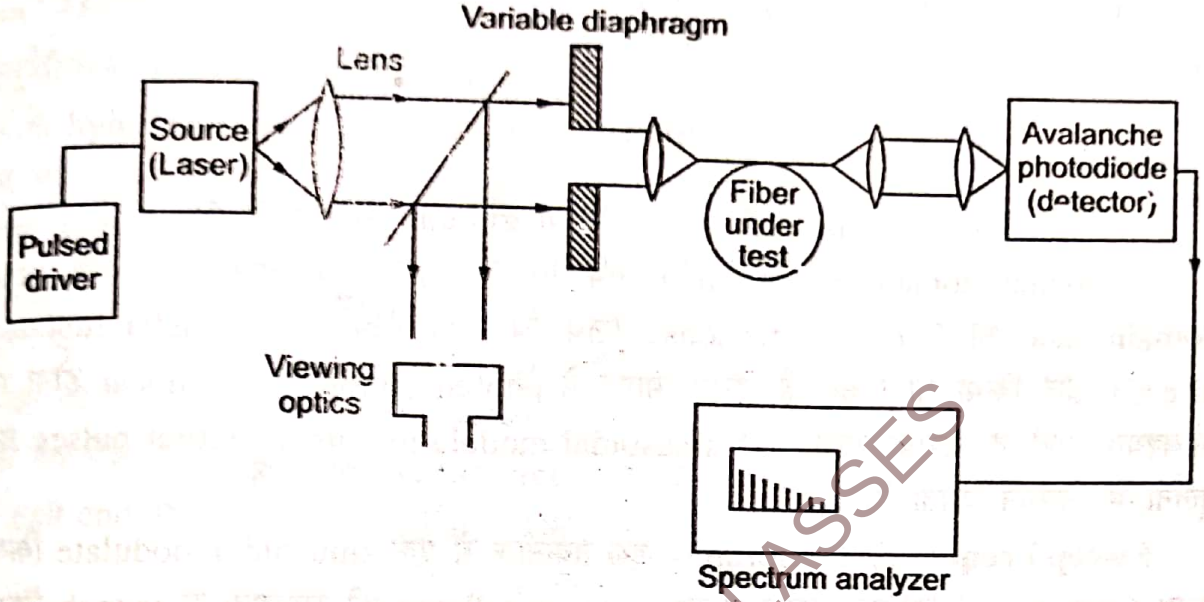
Pulse Source Method—इस व्यवस्था को चित्र 6.4(a) में प्रदर्शित किया गया है। एक optical source द्वारा optical pulses को fiber में launch किया जाता है और लगभग 1 km चलने के बाद dispersion के कारण pulse broad हो जाती है। इस pulse को एक detector द्वारा detect कर लिया जाता है तथा fourier transformation करके उसकी frequency components को display किया जाता है।

Frequency and Phase Response Technique—इस तकनीक द्वारा amplitude versus frequency तथा amplitude versus phase दोनों सूचनाऐं प्राप्त होती हैं। System designers के लिए यह विधि अधिक लाभप्रद होती है। इस measurement को करने के लिए एक continuous wave को sinusoidal (sine wave द्वारा) किया जाता है और fiber के शुरू

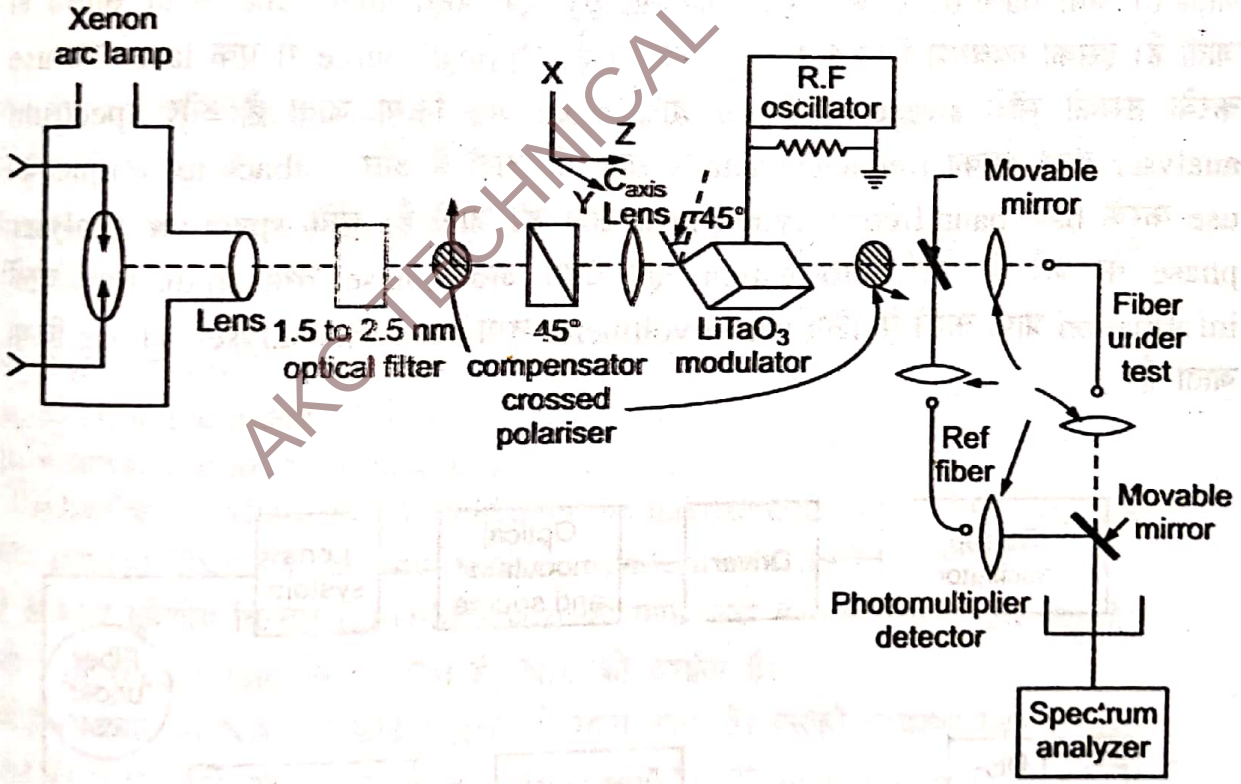
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

तथा last में sine wave के amplitude का अनुपात base band frequency response को दर्शाता है। इसका experimental setup 6.4(b) में show किया गया है।



चित्र 6.4 (a)—Pulse source method for frequency domian dispersion measurement



चित्र 6.4 (b)—Frequency and phase response technique for frequency domain dispersion measurement

एक light source से light को प्राप्त करके एक electrooptic crystal ($LiTaO_3$) पर focus किया जाता है। इस light की intensity को एक frequencytunable sine voltage द्वारा modulate किया जाता है। इस modulated signal को एक-एक करके test fiber तथा short length fiber (लगभग 2 m लम्बा) में focus किया जाता है। एक photomultiplier

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

tube इनको detect करती है और spectrum analyser के द्वारा इनके frequency components की जानकारी प्राप्त की जा सकती है। यदि reference fiber के component का मान $P_{in}(f)$ है तथा test fiber के modulating frequency पर frequency component का मान $P_{out}(f)$ है तो—

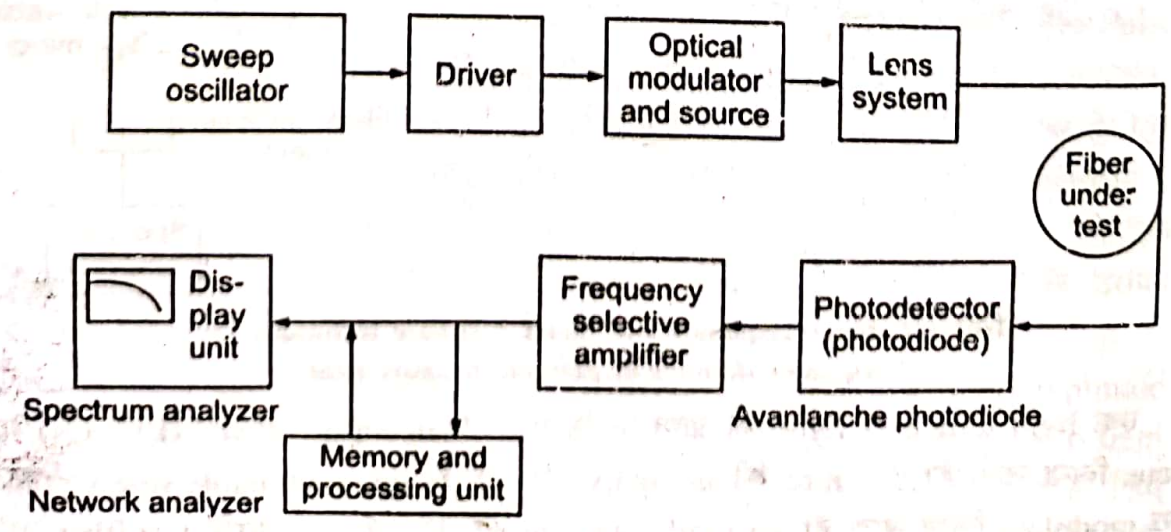
$$H(f) = \frac{P_{out}(f)}{P_{in}(f)}$$

जहाँ $H(f)$ power transfer function के magnitude को दर्शाता है।

Frequency domain measurement तकनीक का मुख्य advantage यह कि time domain data का frequency response लिये बिना ही fiber का transfer function directly ज्ञात किया जा सकता है। इसके मापन में photodetector के लिए linear होना भी आवश्यक नहीं है। इसके साथ-साथ sinusoidal modulatio narrow output pulses की तुलना में आसान पड़ता है।

Sweep Frequency Technique—इस तकनीक में एक sinusoidal modulate किया गया। Optic signal विभिन्न आवृत्तियों पर sweep oscillator की सहायता से launch किया जाता है। अत: base band क्षेत्र में signal energy एक बहुत पतले band में ही सीमित हो जाती है। इसकी व्यवस्था चित्र 6.4(c) में प्रदर्शित है। Optical source में एक laser का use करके उसको सीधे sweep oscillator द्वारा modulate किया जाता है और spectrum analyser द्वारा उसकी frequency details ज्ञात की जाती है और cutback technique का use करके base band frequency response ज्ञात की जाती है। चूँकि spectrum analyser phase के बारे में कोई information नहीं देता। अत: phase तथा frequency दोनों information प्राप्त करने के लिए vector voltmeter तथा network analyser का use किया जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र 6.4(c)—Sweep frequency technique for frequency domain dispersion measurement

Scanned with CamScanner

§ 6.5. न्यूमैरिकल एपरचर का मापन (Measurement of Numerical Aperture) :

न्यूमैरिकल एपरचर या रैडियेशन कोण (Numerical aperture or radiation angle) फाइबर के light cone के angular spread (कोणीय विस्तार) का माप है जिसे कि फाइबर स्वीकार तथा pass कर सकता है। यह फाइबर से couple किये जा सकने वाले प्रकाश की अधिकतम मात्रा का निर्धारण करती है। अत: fiber joints (coupler, connector, splices, fiber coupling from source to fiber and fiber to detector) पर loss को ज्ञात करने हेतु NA की गणना अत्यंत आवश्यक है। NA के मापन हेतु far field scanning तकनीक का प्रयोग किया जाता है।

इस तकनीक के अनुसार far-field region से फाइबर से बाहर आने वाला radiation, फाइबर exit end से Z दूरी पर irradiation के कोणीय निर्भरता को व्यक्त करता है—

$$Z = \frac{10d^2}{\lambda}$$

λ = wavelength of light

d = diameter of fibre core

यह दूरी प्रकाश भौतिकी (optics) में अध्ययन की जाने वाले Fraunhofer diffraction क्षेत्र से मिलती जुलती है।

Irradiants की कोणीय निर्भरता के आधार पर NA (Numerical Aperture) को निम्नवत् परिभाषित किया जा सकता है—

$$NA = \sin\theta = \sqrt{\mu_1^2 - \mu_2^2}$$

μ_1 = refractive index of core

μ_2 = refractive index of cladding

θ = half angle where the far-field intensity has decreased to 5% of maximum.

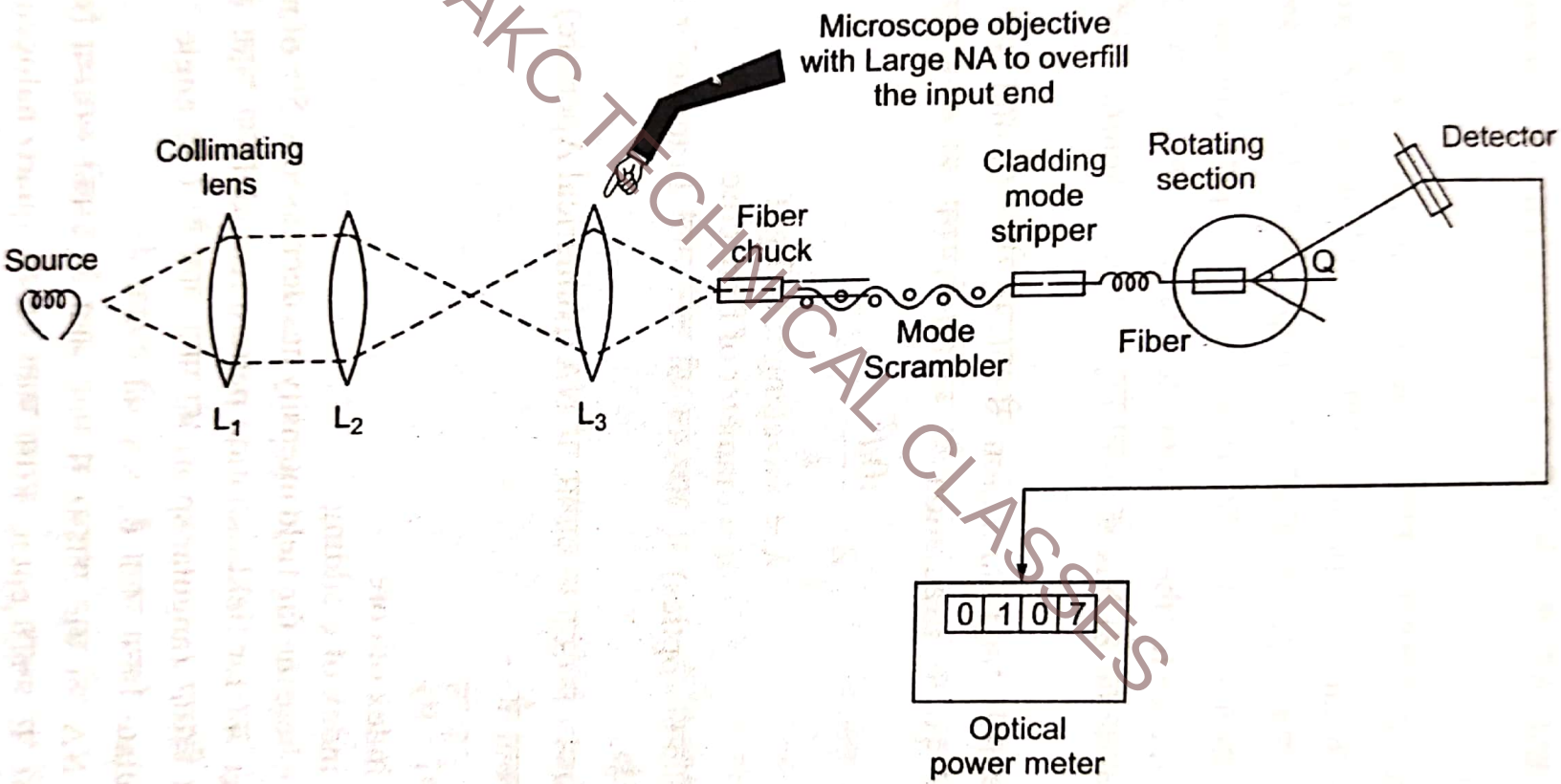
अत: optical fiber का far field radiation pattern record किया जाता है तथा 5% बिन्दुओं के मध्य कोणीय विस्तार (angular span) को मापा जाता है। (यह angle 2θ होता है) अत:, $\sin\theta$ calculate किया जाता है, NA को दर्शाता है।

विधि—फाइबर के NA को छोटे फाइबर से मापा जाता है। इसकी व्यवस्था चित्र 6.5(b) में प्रदर्शित है। इनपुट सिरे पर प्रकाश enter कराया जाता है। एक quartz halogen lamp (s) से प्रकाश को collimate (parallel में) करके L_1, L_2, L_3 lens system के माध्यम से फाइबर में डाला जाता है। Light से fiber को overfill करने हेतु उच्च NA के objective वाला microscope use किया जाता है।

इनपुट सिरे पर mode scrambling हेतु mode scrambler का use किया जाता है। Cladding modes को strip करने हेतु cladding mode scrambler का use किया जाता है। Fiber का output end fiber holder में होल्ड किया जाता है ताकि manual rotating stage

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

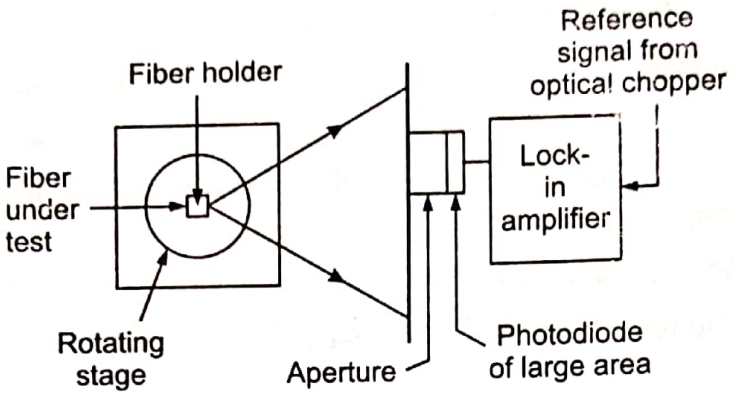


चित्र 6.5(a)—फार-फील्ड स्कैनिंग विधि द्वारा NA के मापन हेतु सैट-अप

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

के center में इसे position किया जा सके। एक Silicon PIN diode को far field region में इस प्रकार mount किया जाता है ताकि fiber तथा detector axis align हो जायें। Alignment हेतु detector signal को maximise किया जाता है। इस stage को manually घुमाया (rotated) जाता है तथा विभिन्न कोणों पर far field intensity values को record किया जाता है (fiber-अक्ष की दोनों sides पर)। इनके मध्य एक plot खींचा जाता है (far field intensity values vs angles) तथा 5% maximum intensity के 5% बिन्दुओं के मध्य कोण को 2θ मानते हुये $\sin\theta$ की गणना की जाती है ($\because NA = \sin\theta$)।



चित्र 6.5(b)—NA measurement arrangement

§ 6.6. RIP अर्थात् Refractive Index Profile का मापन :

अच्छे क्वालिटी की मल्टीमोड फाइबर्स की निर्माण तकनीकों को कन्ट्रोल करने हेतु RIP का accurate मापन अत्यंत आवश्यक है। RIP के मापन के बाद fiber निर्माण के fiber drawing stage से पहले आवश्यक corrections करके fiber की क्वालिटी में सुधार किया जा सकता है।

आँकड़े बताते हैं कि graded index fibers में यदि refractive index के मान में ideal मान से 0·005 से अधिक का विचलन आता है तो बैंडविड्थ बहुत तेजी से गिरती है। प्रोफाइल पैरामीटर में 0·05 का error bandwidth को लगभग दसवें भाग ($\frac{1}{10}$) तक कम कर देता है अत: RIP का मापन अत्यंत महत्वपूर्ण है तथा इसके लिये कई तकनीकों का प्रयोग किया जाता है—

- Transmitted near field scanning
- End reflection technique
- Focussing method
- Refracted near field scanning
- Transverse interferometer method
- Interferometric slab method

सिद्धान्त—RIP मापन हेतु transferred near field scanning सबसे simple method है। इसमें refractive index distribution ज्ञात करने हेतु एक short fiber के far end (दूर वाले छोर) पर light power density का मापन किया जाता है। स्रोत से निकलने वाले radiation को near field radiation तब कहा जाता है जब उसे source के करीब से observe किया जाता है। जब उसको source से काफी दूर पर observe किया जाये, जहाँ पर radiation एक plane wave की भाँति लगे तथा उसकी intensity source से दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती हो जाये। Near field को photodiode द्वारा scan किया जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

सिद्धान्त के अनुसार यदि प्रकाश की तीव्रता uniform है, सभी propagation modes uniformly excited है, Fiber की लम्बाई कम है (differential mode attenuation का प्रभाव नहीं है) तथा mode coupling नहीं है तो guided modes द्वारा contributed light intensity distribution core तथा cladding indices $\mu_1(r)$ तथा μ_2 के अंतर के समानुपाती होता है। इस विधि में एक समस्या leaky modes की होती है, जिसके लिये correction factor का use किया जाता है। Correction factor apply करने के पश्चात् center से r दूरी पर intensity $P(r)$ को निम्नवत् व्यक्त किया जा सकता है—

$$\frac{P(r)}{P(0)} = \frac{\mu_1^2(r) - \mu_2^2}{\mu_1(0)} \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{r}{a}\right)^2}}$$

जहाँ $P(0)$ फाइबर के केंद्र पर तीव्रता

$\mu_1(r)$: radius r पर refractive index

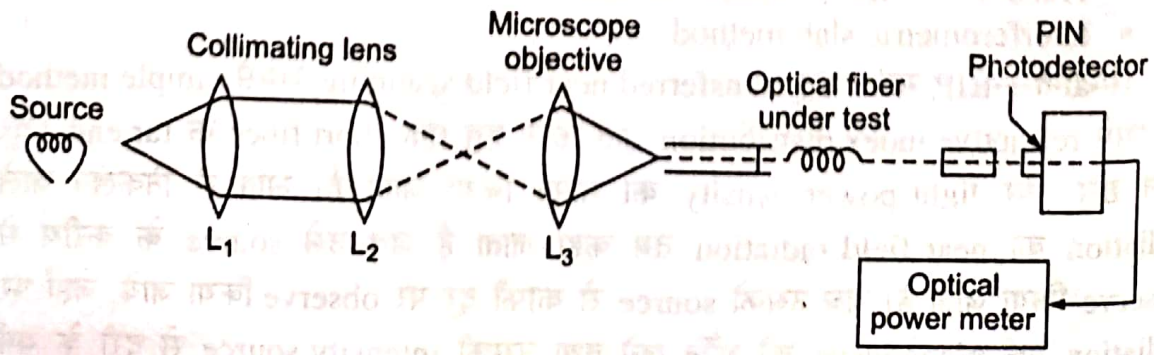
$\mu_1(0)$: fiber केंद्र पर refractive index

μ_2 : Cladding की refractive index

a = Core का radius

तथा $\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{r}{a}\right)^2}}$ = leaky ray correction factor

विधि—RIP की transmitted near field विधि का experimental setup चित्र 6.6 में प्रदर्शित है। एक 100 W quartz halogen lamp (source) से light को multimode fiber में launch किया जाता है (L_1, L_2 collimating lenses व microscope objective L_3 के माध्यम से)। यहाँ source को Lambertian incoherent source assume किया गया है जो यह सुनिश्चित करता है कि फाइबर की सभी modes equally excite होती हैं। फाइबर के आउटपुट सिरे पर Si PIN diode detector का use किया गया है। Detector output को optical power meter द्वारा measure किया जाता है। तीव्रता व दूरी के मध्य plot से RIP के मान प्राप्त किया जाता है।



चित्र 6.6—Near field विधि द्वारा RIP का मापन

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Important Definitions

Optical power loss measurement: *The power losses for light propagating in an optical fiber can be extremely small, particularly for single-mode silica fibers as used in telecommunications. The resulting attenuation is dominated by Rayleigh scattering for short wavelengths and by multiphonon absorption at long wavelengths. Rayleigh scattering results from refractive index fluctuations, which are unavoidable in a glass, but can be strongly increased by concentration fluctuations in fibers with high NA. Other loss contributions come from inelastic scattering (SBS and SRS), from absorbing impurities, and from fluctuations of the core diameter.*

Most optical fibers are fabricated by pulling from a preform, which is a glass rod with a diameter of a few centimeters and around 1m length. Along its axis, the preform contains a region with increased refractive index, which will form the core. When the preform is heated close to the melting point in a furnace or oven, a thin fiber with a diameter of around 125 ˜m and a length of many kms can be pulled from the bottom of the preform. Before the fiber is wound up, it usually obtains a polymer buffer coating for mechanical and chemical protection.

Fiber Attenuation measurement: *An accurate way of measuring the fiber attenuation coefficient requires transmitting light of a known wavelength through the fiber and measuring the changes over distance. The conventional cutback method, involves coupling fiber to the source and measuring the power out of the far end. The fiber is then cut near the source and power measured again.*

The OTDR method uses an indirect method of measuring loss that involves the backscatter from the fiber. Cables can be attached to the OTDR with a launch cable with a mechanical splice to connect to the optical fiber under test.

Mode Conditioners: *These are gadgets to condition the modal distribution in multimode fibers: mode strippers which remove unwanted cladding mode light, mode scramblers which mix modes to equalize power in all the modes, and mode filters which remove the higher order modes to simulate equilibrium modal distribution (EMD) or steady state conditions.*

Mode Scramblers: *Mode scrambling is an attempt to equalize the power in all modes, simulating a fully filled launch.*

Mode Filters: *Mode filters are used to selectively remove higher order modes to simulate equilibrium modal distribution (EMD) conditions, assuming that one starts with fully filled modes. Higher order modes are easily removed by stressing the fiber in a controlled manner, since the higher order modes are more susceptible to bending losses than their lower counterparts.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

प्रश्नावली–6

1. OFC में मापन की क्या आवश्यकता है। निम्न के मापन हेतु विधियाँ लिखिए?
   (a) Fiber attenuation
   (b) Fiber obsorption loss
   (c) Fiber scattering loss
   (d) Fiber dispersion (time domain and frequency domain)
   (e) Fiber cut-off wavelength
   (f) Fiber numerical aperture
2. Cut-back मापन विधि के गुण व दोष लिखिये।
3. OFC में विभिन्न पैरामीटर्स मापन का महत्व समझाइये।
4. Near field व far field में क्या अंतर है?
5. Optical fiber के कौन–कौन से पैरामीटर्स measure किये जा सकते हैं? किसी एक मापन का संक्षिप्त विवरण दीजिये।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

7 ऑप्टिकल कम्यूनिकेशन
(OPTICAL COMMUNICATION)

THINK ABOUT IT

Lord, make me an instrument of thy peace.
Where there is hatred, let me sow love,
Where there is injury, pardon;
Where there is doubt, faith;
Where there is despair, hope;
Where there is darkness, light;
And where there is sadness, joy.

O Divine Master, grant that I may not so much seek
to be consoled as to console,
to be understood as to understand,
to be loved, as to love.

For it is in giving that we receive,
It is in pardoning that we are pardoned,
and it is in dying that we are born to eternal life.

— Francis of Assisi

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 7.1. परिचय (Introduction) :

कम्यूनिकेशन प्रणाली का तात्पर्य उन पद्धतियों से है जिनकी सहायता से सूचना (information) को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है।

आधुनिक विज्ञान व इंजीनियरिंग की सहायता से संचार पद्धतियों में नित नये विकास हो रहे हैं। इस विकास के कारण संचार के नये-नये उपकरण हमें उपलब्ध हो रहे हैं। टेलीफोनी, टेलीग्राफी, फैक्स द्वारा सूचनाओं को एक स्थान से दूसरे स्थान पर आसानी से पहुँचाया जा सकता है। रेडियो, टी०वी० द्वारा विश्व भर के समाचार घर बैठे प्राप्त किये जा सकते हैं।

सूचना प्रौद्योगिकी (information technology) में नित नये विकास हो रहे हैं। इंटरनेट (internet) के माध्यम से कम्प्यूटर के सामने बैठते ही हम विश्व भर से जुड़ जाते हैं। ई-मेल (electronic mail) की सहायता से हम अपना संदेश तुरंत विश्व के किसी कोने में पहुँचा सकते हैं। ऑप्टिकल फाइबर (optical fiber) की सहायता से संचार प्रणाली को और बेहतर बनाया जा रहा है। सेलुलर मोबाइल फोन (cellular mobile phone) की आजकल धूम मची हुई है।

Scanned with CamScanner

कुछ वर्षों पहले एक शहर से दूसरे शहर फोन करना अत्यंत असुविधापूर्ण था किन्तु आज एक आम व्यक्ति भी मोबाइल फोन लेकर घूम रहा है।

वीडियो कॉनफ्रेंसिंग (Video Conferencing), पेजिंग (paging), कम्प्यूटराइज्ड रेलवे रिज़रवेशन (Computerized Railway Reservation), फैसिमाइल मशीन (Fascimile Machine), टेलीफोन ऑटो डायलर (Telephone Auto dialer) आदि जैसी कई सुविधायें हमें प्राप्त हो रही है।

इंटरनेट (Internet) की सहायता से कम्प्यूटर पर बैठकर अपनी रुचि के अनुसार हम हर प्रकार की जानकारी प्राप्त कर सकते हैं। इंटरनेट पर विश्व के किसी कोने में बैठे व्यक्ति से चैटिंग (Chatting) कर सकते हैं। खेलों की, फिल्मों की, विज्ञान, शेयर मार्केट की, रोज़गार सम्बन्धी इत्यादि हज़ारों प्रकार की जानकारी इंटरनेट पर उपलब्ध रहती है। अतः, आप अपनी इच्छानुसार वेबसाइट (website) खोलकर किसी भी प्रकार की जानकारी प्राप्त कर सकते हैं।

संचार इंजीनियरिंग का क्षेत्र केवल रेडियो, टी०वी० तक सीमित नहीं है। संचार की सहायता से ही हम समुद्र के जहाज़ों, हवाईजहाज़ों, रॉकेट, अन्तरिक्ष के उपग्रहों (satellites) इत्यादि से सम्पर्क बनाये रख सकते हैं। मौसम की जानकारी प्राप्त कर सकते हैं।

अतः हम देखते हैं कि संचार पद्धतियों के विकास के कारण ही हम न केवल विश्व की सभी जानकारी प्राप्त कर पाते हैं, बल्कि मनोरंजन के क्षेत्र में भी इनकी मुख्य भूमिका है।

§ 7.2. बेसबैंड (Baseband) :

बेसबैंड का तात्पर्य उन आवृत्तियों से है जो सूचना के मूल स्रोत (original source of information) में उपस्थित होती है।

उदाहरणतः, एक ऑडियो सिगनल की आवृत्ति अधिकतम 20 kHz हो सकती है। अतः, बेसबैंड का तात्पर्य इस सिगनल में उपस्थित आवृत्तियों से (अर्थात् 20 Hz से 20 kHz) है।

अतः, जो मूल सिगनल (original signal) एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है, उसे बेसबैंड सिगनल, सूचना सिगनल, मैसेज सिगनल (base band signal, information signal, message signal) इत्यादि नामों से जाना जाता है। अगले खण्ड में आप देखेंगे कि इसे मॉडुलेटिंग सिगनल (modulating signal) भी कहा जाता है। आमतौर पर, मॉडुलेटिंग सिगनल एक निम्न आवृत्ति का सिगनल होता है। यह एक बैंड सीमित (band limited) सिगनल होता है अर्थात् इसमें सीमित आवृत्तियों (limited frequencies) के घटक ही उपस्थित होते हैं।

किसी कम्यूनिकेशन चैनल का उचित उपयोग (efficient utilization) तभी सम्भव है जब इन बेसबैंड आवृत्तियों को उच्च आवृत्ति रेन्ज में शिफ्ट (shift) कर दिया जाये क्योंकि उच्च आवृत्तियों पर ही सूचना का प्रेषण (transmission) ठीक प्रकार से हो जाता है। निम्न आवृत्ति रेन्ज के सिगनल को उच्च आवृत्ति रेन्ज में जिस क्रिया द्वारा शिफ्ट किया जाता है, उसे मॉडुलेशन कहते हैं। अतः, किसी सिगनल को ट्रांसमिट करने से पूर्व उसकी उच्च आवृत्ति रेंज पर शिफ्टिंग (अर्थात् मॉडुलेशन) आवश्यक है। मॉडुलेशन के पश्चात् ही सिगनल को एक स्थान से दूसरे स्थान पर ट्रांसमिट किया जाता है।

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

जब ट्रांसमिट किया गया सिगनल रिसीवर पर पहुँचता है तो रिसीवर (अभिग्राहक) उस सिगनल को रिसीव करता है। सिगनल को रिसीव करने के पश्चात् उसे फिर से मूल आवृत्ति रेंज (original frequency range) में वापस शिफ्ट (shift back) किया जाता है। यह प्रक्रिया मॉडुलेशन प्रक्रिया की विपरीत (opposite) होती है तथा इसे डिमॉडुलेशन कहा जाता है।

उदाहरणत:, एक रेडियो सिस्टम 30 kHz या उससे अधिक की आवृत्तियों पर ऑपरेट (operate) करता है जबकि बेसबैंड सिगनल (अर्थात् ध्वनि सिगनल) में ऑडियो आवृत्ति रेंज की आवृत्तियाँ (अर्थात् 20 Hz-20 kHz) होती हैं। अत: यह आवश्यक है कि बेसबैंड सिगनल (अर्थात् मैसेज सिगनल) को ट्राँसमिट करने से पूर्व उच्च आवृत्ति रेंज में शिफ्ट कर दिया जाये (मॉडुलेशन तथा रिसीवर पर रिसीव करने के पश्चात् मूल आवृत्ति रेंज में वापस शिफ्ट कर दिया जाये (डिमॉडुलेशन)।

इस बात का विशेष ध्यान रखें कि आगे के अध्यायों में बेसबैंड सिगनल, मैसेज सिगनल मॉडुलेटिंग सिगनल, सूचना सिगनल आदि शब्दों को एक ही अर्थ में प्रयुक्त किया गया है अर्थात् इन सभी शब्दों का अर्थ एक ही है। अत: इनमें confuse न हों।

बेसबैंड—सूचना के मूल स्रोत (अर्थात् जिस सूचना को ट्रांसमिट करना है) में उपस्थित आवृत्ति रेंज को बेसबैंड कहा जाता है।

§ 7.3. कैरियर सिगनल (Carrier Signal) :

कैरियर का शाब्दिक अर्थ है वाहक का वाहन। संचार पद्धति में कैरियर सिगनल का तात्पर्य उस उच्च आवृत्ति तरंग से है, जिस पर निम्न आवृत्ति के बेसबैंड सिगनल को अध्यारोपित (superimpose) करके भेजा जाता है।

एक उदाहरण लीजिये—मान लीजिये कि आप अपने घर की छत पर खड़े हैं तथा आपका मित्र सड़क पार सामने वाली छत पर खड़ा है। आपके पास एक पत्र है जिसे आप उस मित्र तक पहुँचाना चाहते हैं। यदि आप पत्र को ज़ोर से भी फेकेंगे तो भी वह आपके मित्र तक नहीं पहुँच पायेगा, क्योंकि कागज बहुत हल्का होता है। तो फिर यह आप कैसे पहुँचायेंगे? स्पष्ट है कि आप एक पत्थर (या कोई भारी वस्तु) पर उस पत्र को लपेट देंगे। अब यदि आप पत्थर पर लिपटे इस पत्र को फेकेंगे तो यह काफी दूर तक जा सकता है, अत:, यह आसानी से सामने की छत पर खड़े मित्र तक जा पहुँचेगा। आपका मित्र पत्थर पर लिपटे कागज को पत्थर से अलग करेगा तथा आपका पत्र पढ़ लेगा।

अब उक्त उदाहरण की तुलना संचार पद्धति से कीजिये। एक बेसबैंड सिगनल में निम्न आवृत्तियाँ (low frequencies) होती हैं तथा इन्हें दूर तक ट्रांसमिट कर पाना सम्भव नहीं होता क्योंकि इनकी ऊर्जा (energy) कम होती है (जैसे कि उक्त उदाहरण में कागज को दूर तक नहीं फेंका जा सकता है)। किन्तु उच्च आवृत्ति सिगनल में अधिक ऊर्जा होती है तथा इसे अधिक दूरी तक ट्रांसमिट किया जा सकता है (जैसे उक्त उदाहरण में पत्थर को दूर तक फेंका जा सकता है)।

अत: एक उच्च आवृत्ति के सिगनल पर (जिसे कैरियर सिगनल कहा जाता है) निम्न आवृत्ति के बेसबैंड सिगनल को अध्यारोपित (superimpose) किया जाता है (जैसे उक्त उदाहरण में

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

कागज को पत्थर पर लपेटा गया)। अध्यारोपित करने से यह तात्पर्य है कि कैरियर सिगनल का कोई अभिलक्षण (जैसे—आयाम, आवृत्ति या फेज़) को बेसबैंड सिगनल के मान के अनुसार परिवर्तित किया जाता है। इस क्रिया को मॉडुलेशन कहते हैं। मॉडुलेशन के पश्चात् प्राप्त मॉडुलेटेड कैरियर तरंग को एक स्थान से दूसरे स्थान पर आसानी से भेजा जा सकता है।

चूँकि कैरियर में स्वयं कोई सूचना नहीं होती (जैसे कि उक्त उदाहरण में पत्थर में कोई सूचना नहीं थी), उसका कार्य सिर्फ सूचना सिगनल (message signal or baseband सिगनल) को एक स्थान से दूसरे स्थान तक ले जाना जाता है, अतः इसे कैरियर सिगनल कहा जाता है।

कैरियर सिगनल एक वाहन (या वाहक) है, जिस पर चढ़कर सूचना एक स्थान से दूसरे स्थान पर पहुँचती है।

ध्यान रखें कि चूँकि बेसबैंड सिगनल (अर्थात् मैसेज सिगनल) कैरियर को मॉडुलेट करता है (अर्थात् कैरियर सिगनल का कोई अभिलक्षण मैसेज तरंग के मान के अनुरूप परिवर्तित होता है), अतः मैसेज सिगनल को मॉडुलेटिंग सिगनल भी कहा जाता है।

कैरियर सिगनल एक उच्च आवृत्ति f_c की ज्यावक्रीय तरंग (sine wave) होती है, जिसके ऊपर निम्न आवृत्ति के बेसबैंड सिगनल (मॉडुलेटिंग सिगनल) को अध्यारोपित किया जाता है तथा उसके पश्चात् प्राप्त मॉडुलेटेड कैरियर सिगनल को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है।

§ 7.4. मॉडुलेशन (Modulation) :

मॉडुलेट करने का शाब्दिक अर्थ है एडजस्ट करना (to adjust), रेगुलेट करना (to regulate) या ठीक करना (to set right)।

संचार में मॉडुलेशन से यह तात्पर्य है कि किसी उच्च आवृत्ति तरंग (high frequency wave) (जिसको कैरियर तरंग कहा जाता है) के किसी अभिलक्षण (parameter) (जैसे आयाम amplitude), आवृत्ति (frequency) अथवा कला (phase) को निम्न आवृत्ति के सूचना सिगनल (low frequency information signal) (जिसको मॉडुलेटिंग सिगनल भी कहा जाता है) के अनुसार रेगुलेट या परिवर्तित किया जाता है।

उक्त आधार पर मॉडुलेशन को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जाता है—

"मॉडुलेशन वह प्रक्रिया है जिसके द्वारा एक उच्च आवृत्ति कैरियर तरंग का कोई अभिलक्षण निम्न आवृत्ति की मॉडुलेटिंग तरंग के तात्क्षणिक मान के अनुसार परिवर्तित किया जाता है।"

"उच्च आवृत्ति कैरियर तरंग पर, ऑडियो आवृत्ति के अध्यारोपण *(Superposition)* होने की क्रिया मॉडुलेशन कहलाती है।"

"Modulation is defined as a process by which some characteristics of a carrier wave is varied in accordance with the modulating wave."

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

"In order to make speech or music (called audio frequency signal) to be heard over long distance, the audio frequency signal is superimposed over a very high radio frequency signal (R.F. signal). The process of superimposing audio frequency signals on radio signals is called modulation. The modulated R.F. signal is transmitted from the radio station."

जब कभी भी हमें ऑडियो तरंग को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजना होता है तो पहले इस ऑडियो तरंग द्वारा उच्च आवृत्ति की कैरियर तरंग का मॉडुलेशन कराया जाता है। **कैरियर तरंग का ऑडियो सिगनल (मॉडुलेटिंग सिगनल) द्वारा मॉडुलेशन होने पर (अर्थात् मॉडुलेशन के पश्चात्) जो तरंग प्राप्त होती है, उसे मॉडुलेटेड तरंग** (Modulated wave) **कहते हैं। इस मॉडुलेटेड तरंग को ही एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है।**

दूसरे शब्दों में, मॉडुलेशन क्रिया की सहायता से बेस बैंड आवृत्तियों को उच्च आवृत्ति रेंज में शिफ्ट कर दिया जाता है, जिससे उनका ट्रांसमिशन आसानी से हो जाता है।

एक बार पुन: स्मरण कर लें कि बेसबैंड सिगनल, मैसेज सिगनल तथा मॉडुलेटिंग सिगनल, इत्यादि का अभिप्राय एक ही है, अर्थात् वह मूल सिगनल जिसको एक स्थान दूसरे स्थान पर भेजा जाना है। यह सिगनल उच्च आवृत्ति की कैरियर तरंग को मॉडुलेट करता है तथा प्राप्त मॉडुलेटेड सिगनल का ट्रांसमिशन होता है।

मॉडुलेशन (Modulation)—मॉडुलेशन वह क्रिया है जिसके द्वारा एक उच्च आवृत्ति की कैरियर तरंग का कोई अभिलक्षण (जैसे आयाम, आवृत्ति या कला) निम्न आवृत्ति की मॉडुलेटिंग तरंग के मान के अनुसार परिवर्तित किया जाता है। मॉडुलेशन की क्रिया द्वारा बेसबैंड आवृत्तियों को उच्च आवृत्ति रेंज में शिफ्ट कर दिया जाता है, जिससे सिगनल का ट्रांसमिशन ठीक प्रकार से सम्भव हो जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 7.5. डिमॉडुलेशन (Demodulation) :

पिछले खण्ड में आपने मॉडुलेशन के विषय में पढ़ा। मॉडुलेशन द्वारा बेसबैंड आवृत्तियों को उच्च आवृत्ति रेंज में शिफ्ट कर दिया जाता है। मॉडुलेटिंग तरंग द्वारा कैरियर को मॉडुलेट करने पर प्राप्त मॉडुलेटेड तरंग को ट्रांसमिट किया जाता है।

रिसीवर इस मॉडुलेटेड तरंग को रिसीव करता है। इस मॉडुलेटेड तरंग में से मूल मॉडुलेटिंग सिगनल (अर्थात् बेसबैंड सिगनल) को पुन: प्राप्त (restore or recover) करने की आवश्यकता होती है। इस हेतु मॉडुलेटेड तरंग (जो कि रिसीवर पर प्राप्त हुई है) का डिमॉडुलेशन (Demodulation) किया जाता है। डिमॉडुलेशन मॉडुलेशन की विपरीत क्रिया है।

उक्त आधार पर डिमॉडुलेशन क्रिया को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जाता है—

"मॉडुलेशन की विपरीत क्रिया को डिमॉडुलेशन कहते हैं।"

"डिमॉडुलेशन वह क्रिया है जिसके द्वारा मॉडुलेटेड तरंग से मूल मॉडुलेटिंग तरंग पुन: प्राप्त की जाती है।"

Scanned with CamScanner

"Demodulation is defined as reverse process of modulation."

"The process of recovering the audio signal from the modulated wave is known as demodulation or detection."

उक्त विश्लेषण से स्पष्ट है कि मॉडुलेशन तथा डिमॉडुलेशन क्रियायें कम्यूनिकेशन इंजीनियरिंग में अत्यंत महत्त्वपूर्ण है। सूचना को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजने से पूर्व मॉडुलेशन क्रिया तथा उसको रिसीव करने के पश्चात् डिमॉडुलेशन क्रिया होती है।

डिमॉडुलेशन—रिसीवर पर मॉडुलेटेंड सिगनल रिसीव करने के पश्चात् उसमें से मूल मॉडुलेटिंग तरंग पुनः प्राप्त करने हेतु की जाने वाली क्रिया (अर्थात् मॉडुलेशन की विपरीत क्रिया) को डिमॉडुलेशन कहते हैं।

§ 7.6. मॉडुलेशन व डिमॉडुलेशन की आवश्यकता (Need of Modulation and Demodulation) :

हमने देखा कि किसी सूचना सिगनल को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजे जाने से पहले मॉडुलेशन क्रिया होती है। सूचना सिगनल एक उच्च आवृत्ति कैरियर सिगनल का मॉडुलेशन करता है, तथा मॉडुलेटेड तरंग को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है। रिसीवर पर मॉडुलेटेड सिगनल का डिमॉडुलेशन करके मूल सिगनल पुनः प्राप्त किया जाता है। मॉडुलेशन की आवश्यकता निम्न कारणवश होती है—

(i) उच्च आवृत्तियों पर सिगनल का ट्रांसमिशन सस्ता तथा विश्वसनीय (Cheap and reliable) **होता है।** निम्न आवृत्ति सिगनल अधिक दूरी तय नहीं कर सकते तथा इनके ट्रांसमिशन में उच्च आवृत्ति सिगनलों की तुलना में अधिक पॉवर की आवश्यकता होती है। अतः, बेसबैंड सिगनल को ट्रांसमिटर करने से पहले उसे उच्च आवृत्ति रेंज पर शिफ्ट किया जाता है, इस प्रक्रिया को ही मॉडुलेशन कहते हैं।

(ii) यदि सूचना सिगनल को बिना मॉडुलेशन के, प्रसारित कर दिया जाये, तो रिसीव करने वाले एन्टीना की अत्यधिक लम्बाई की आवश्यकता होती है। यदि किसी एन्टीना की ऊँचाई, प्रयुक्त आवृत्ति की तरंग दैर्ध्य (Wavelength) के एक चौथाई से अधिक होती है, तभी उस सिगनल को एन्टीना अच्छी प्रकार से रिसीव कर पाता है। यदि एन्टीना की ऊँचाई, प्रयुक्त सिगनल की Wavelength की एक चौथाई से कम होगी, तो एन्टीना उस सिगनल को ठीक प्रकार से रिसीव नहीं कर पायेगा। कहने का तात्पर्य यह है कि बढ़िया रिसेप्शन (Reception) हेतु एन्टीना की ऊँचाई, सिगनल की Wavelength की कम से कम एक चौथाई तो होनी ही चाहिये।

उदाहरणतः, यदि सिगनल की आवृत्ति 10 kHz है, तो सूत्र $\lambda = \frac{c}{\nu}$ (जहाँ λ = wavelength, ν = frequency तथा $c = 3 \times 10^8$ m/s) के अनुसार सिगनल की Wavelength $\lambda = \frac{3 \times 10^8}{10 \times 10^3}$ $= 3 \times 10^4$ m होगी। अतः, एन्टीना की ऊँचाई इस wavelength की एक चौथाई अर्थात

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$\frac{1}{4} \times 3 \times 10^4 = 7500$ m होनी चाहिये। स्पष्ट है कि इतना ऊँचा एन्टीना व्यवहारिक रूप से सम्भव नहीं है।

यदि ट्रांसमिशन आवृत्ति 10 MHz है, तो इस सिगनल की Wavelength $\lambda = \frac{0{\cdot}3 \times 10^8}{10^7}$ = 30 m होगी। इसका एक चौथाई $\frac{30}{4}$ m अर्थात् 7·5 m होगा। अत:, इस ऊँचाई का एन्टीना व्यवहारिक रूप से सम्भव है। अत:, सिगनल को उच्च आवृत्ति पर ट्रांसमिट किया जाता है।

(iii) मॉडुलेशन के कारण ही Frequency Division Multiplexing **सम्भव हो पाती है।** चूँकि श्रव्य आवृत्तियों (audio frequencies) की एक निश्चित रेन्ज होती है, अत: यदि सभी स्टेशन इसी आवृत्ति रेन्ज पर प्रसारण करेंगे तो सभी स्टेशनों के सिगनल मिक्स (mix up) हो जायेंगे, तथा उन्हें **रिसीवर** पर अलग करना अत्यंत कठिन हो जायेगा। मॉडुलेशन द्वारा सूचना सिगनल की **आवृत्तियों की** उच्च आवृत्ति रेन्ज में शिफ्टिंग हो जाती है। अत:, प्रत्येक स्टेशन की कैरियर आवृत्ति **अलग-अलग रखकर** प्रत्येक स्टेशन के सिगनल को अलग-अलग आवृत्ति रेंज में शिफ्ट किया जाता है। इस तकनीक को Frequency division multiplexing कहते हैं। अत:, प्रत्येक स्टेशन को एक आवृत्ति बैंड निर्धारित किया जाता है, तथा उस स्टेशन का रिसीवर उसी आवृत्ति बैंड को रिसीव करता है। अत:, कई स्टेशनों के सिगनलों के Mix-up होने की सम्भावना समाप्त हो जाती है।

मॉडुलेशन इसलिये आवश्यक है क्योंकि—

(i) मॉडुलेशन द्वारा बेसबैंड सिगनल की आवृत्तियों को उच्च आवृत्ति रेंज में शिफ्ट कर दिया जाता है, तथा उच्च आवृत्ति रेंज में ट्रांसमिशन सस्ता, तथा विश्वसनीय होता है और इसमें कम पॉवर खर्च होती है।

(ii) मॉडुलेटेड सिगनल को रिसीव करने हेतु एन्टीना की ऊँचाई कम तथा व्यवहारिक होती है। बिना मॉडुलेटेड सिगनल को रिसीव करने हेतु आवश्यक एन्टीना की ऊँचाई अत्यधिक व अव्यवहारिक होती है।

(iii) मॉडुलेशन द्वारा विभिन्न स्टेशनों के सिगनलों की Frequency division Multiplexing करके उन्हें Mix-up होने से बचाया जा सकता है।

§ 7.7. संचार पद्धति का ब्लॉक डायग्राम (Block Diagram of Communication System) :

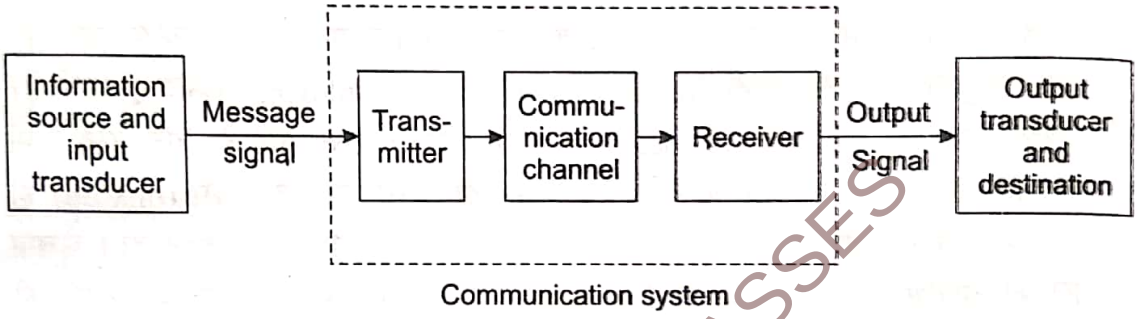
किसी संचार पद्धति का मुख्य उद्देश्य सूचना सिगनलों (अर्थात् वह सिगनल जिनमें सूचना होती है) को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजना होता है। इन सिगनलों को information signal, message signal या intelligence signal भी कहा जाता है। जिस स्थान से सूचना भेजी जाती है, वह स्त्रोत (source) कहलाता है। जिस स्थान पर सूचना भेजी जाती है, वह लक्ष्य (destination) कहलाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

सर्वप्रथम, सूचना को विद्युतीय सिगनल (electrical) सिगनल में बदला जाता है। स्रोत द्वारा उत्पन्न सूचना (जो कि सामान्यत: विद्युतीय नहीं होती) को विद्युतीय सिगनल में बदलने वाली युक्ति ट्रांसड्यूसर (Transducer) कहलाती है। उदाहरणत: यदि सूचना सिगनल ध्वनि है तो इसे माइक्रोफोन की सहायता से विद्युतीय तरंगों में बदला जाता है।

चित्र 7.1 में संचार पद्धति का ब्लॉक डॉयग्राम प्रदर्शित है, जिसके मुख्य अंग हैं—ट्रांसमिटर, संचार चैनल तथा रिसीवर।



चित्र 7.1—कम्यूनिकेशन प्रणाली का ब्लॉक डायग्राम

ट्रांसमिटर (Transmitter)—किसी सूचना को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजने से पूर्व मॉडुलेशन क्रिया होती है, जिसमें सूचना सिगनल एक उच्च आवृत्ति कैरियर तरंग को मॉडुलेट करती है। मॉडुलेशन क्रिया ट्रांसमिटर में सम्पन्न होती हैं।

कम्यूनिकेशन चैनल (Communication Channel)—कम्यूनिकेशन चैनल के माध्यम से मॉडुलेटेड तरंग एक स्थान से दूसरे स्थान पर पहुँचती हैं। कम्यूनिकेशन चैनल किसी भी रूप में हो सकता है। टेलीफोनी में ट्रांसमिशन लाइन के रूप में, टी० वी०, रेडियो प्रसारण में मुक्त स्पेस (free space) के रूप में, ऑपटिकल संचार पद्धतियों में ऑपटिकल फाइबर (optical fibres) के रूप में, इत्यादि। चैनल में ट्रांसमिट होते समय शोर तथा व्यतिकरण (Noise and Interference) के कारण सिगनल का विरूपण (Distortion) होने की सम्भावना होती है। अत:, ट्रांसमिटर तथा रिसीवर का अभिकल्पन (Design) इस प्रकार किया जाना चाहिये, जिससे चैनल में कम से कम (minimum) विरूपण हो।

रिसीवर (Receiver)—रिसीवर सिगनल को रिसीव करता है। तत्पश्चात्, डिमॉडुलेशन द्वारा मॉडुलेटिंग सिगनल को पुन: प्राप्त किया जाता है। डिमॉडुलेशन के पश्चात् प्राप्त विद्युतीय सिगनल को लाउडस्पीकर द्वारा ध्वनि सिगनल में बदला जाता है।

एक ध्वनि सिगनल को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजने हेतु सर्वप्रथम ध्वनि सिगनल को माइक्रोफोन द्वारा विद्युतीय सिगनल में बदला जाता है। फिर इस विद्युतीय सिगनल द्वारा एक उच्च आवृत्ति कैरियर सिगनल को मॉडुलेट किया जाता है तथा प्राप्त मॉडुलेटेड तरंग को कम्यूनिकेशन चैनल पर ट्रांसमिट कर दिया जाता है। रिसीवर पर मॉडुलेटेड तरंग को रिसीव किया जाता है तथा उसका डिमॉडुलेशन किया जाता है। डिमॉडुलेशन के पश्चात् सिगनल को लाउडस्पीकर द्वारा पुन: ध्वनि तरंग में परिवर्तित कर दिया जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

§ 7.8. मॉडुलेशन के प्रकार (Types of Modulation) :

आपने पढ़ा कि मॉडुलेशन वह क्रिया है जिसके द्वारा एक उच्च आवृत्ति कैरियर तरंग का कोई अभिलक्षण निम्न आवृत्ति की मॉडुलेटिंग तरंग के मान के अनुसार परिवर्तित किया जाता है। अब प्रश्न यह उठता है कि कैरियर तरंग के वह कौन-कौन से अभिलक्षण हैं जिन्हें मॉडुलेटिंग तरंग के मान के अनुरूप परिवर्तित किया जा सकता है। एक कैरियर तरंग, जो सामान्यत: उच्च आवृत्ति की ज्यावक्रीय तरंग (Sinusoidal wave) (जिसे संक्षिप्त में ज्या तरंग या sine wave भी कहा जाता है) होती है तथा इसे निम्न प्रकार से वर्णित (describe) किया जा सकता है—

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi_c)$$

इस समीकरण से स्पष्ट है कि कैरियर तरंग के निम्न पैरामीटर मॉडुलेट किये जा सकते हैं—

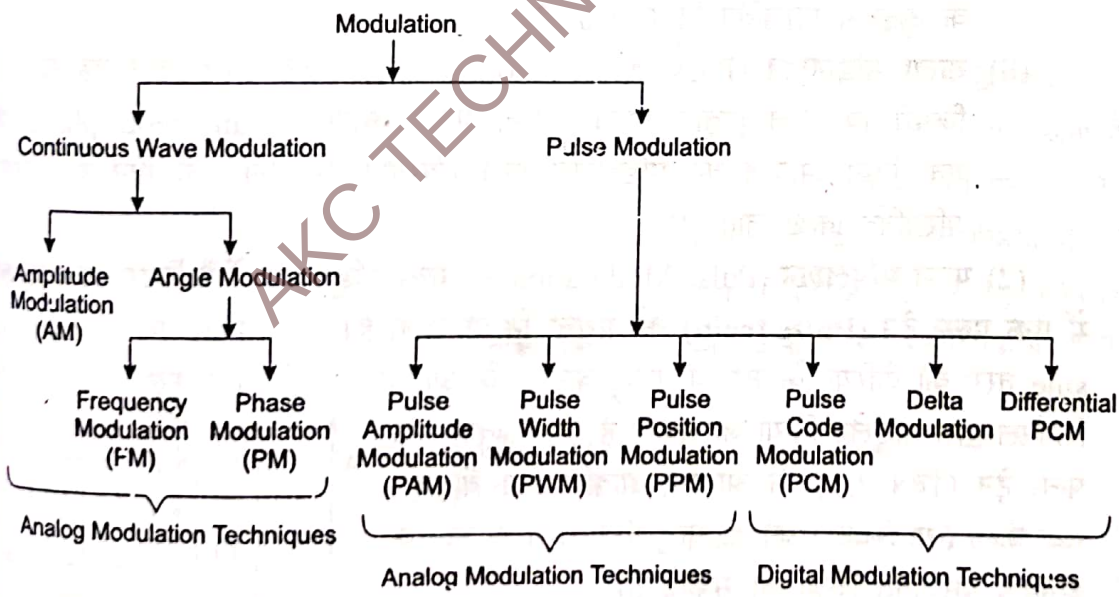
(i) A_c अर्थात् कैरियर का आयाम (Amplitude)

(ii) f_c अर्थात् कैरियर की आवृत्ति (frequency)

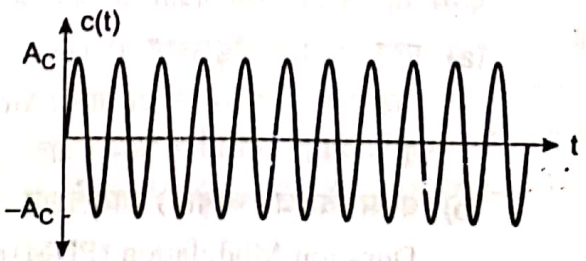
(iii) ϕ_c अर्थात् कैरियर की कला (phase)

विभिन्न प्रकार की मॉडुलेशन तकनीकों को तालिका 7.1 के अनुसार अगले पृष्ठ पर वर्गीकृत (Classify) किया गया है—

तालिका 7.1



(1) कन्टीन्युअस वेव मॉडुलेशन (Continuous wave modulation)—**इस प्रकार की मॉडुलेशन तकनीक में कैरियर तरंग एक उच्च आवृत्ति की ज्या तरंग** (Sine Wave) (चित्र 7.2) **होती है।** मॉडुलेटिंग सिगनल द्वारा इस कैरियर तरंग के किसी पैरामीटर को मॉडुलेट किया जाता है। चूँकि इस प्रकार के मॉडुलेशन में मॉडुलेटेड सिगनल Continuous



चित्र 7.2—उच्च आवृत्ति की ज्या तरंग

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

होता है, अत: इसे Continous Wave Modulation कहतें हैं। CW मॉडुलेशन के मुख्य प्रकार निम्न हैं—

(a) **आयाम मॉडुलेशन** (Amplitude Modulation or AM)—आयाम मॉडुलेशन वह क्रिया है जिसमें एक उच्च आवृत्ति f_c की कैरियर तरंग $c(t)$ का **आयाम** एक निम्न आवृत्ति की मॉडुलेटिंग तरंग (बेसबैंड सिगनल) के मान के अनुरूप परिवर्तित किया जाता है।

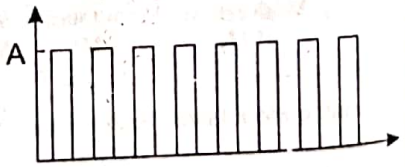
(b) **कोण मॉडुलेशन** (Angle Modulation)—कोण मॉडुलेशन वह क्रिया है जिसमें एक उच्च आवृत्ति f_c की कैरियर तरंग $c(t)$ का **कोण** (angle) एक निम्न आवृत्ति की मॉडुलेटिंग तरंग (बेस बैंड) सिगनल के मान के अनुरूप परिवर्तित किया जाता है। कोण मॉडुलेशन की मुख्य विशेषता यह है कि यह मॉडुलेटेड तरंग को शोर तथा व्यतिकरण (Noise and interference) के प्रति बेहतर सुरक्षा (better discrimination) प्रदान करता है।

कोण मॉडुलेशन दो प्रकार के होते हैं—

(i) **आवृत्ति मॉडुलेशन** (Frequency Modulation or FM)—आवृत्ति मॉडुलेशन वह क्रिया है जिसमें एक उच्च आवृत्ति कैरियर तरंग की तात्क्षणिक **आवृत्ति** (Instantaneous frequency) को एक निम्न आवृत्ति की मॉडुलेटिंग तरंग (बेसबैंड सिगनल) के मान के अनुरूप परिवर्तित किया जाता है।

(ii) **कला मॉडुलेशन** (Phase Modulation or PM)—कला मॉडुलेशन वह क्रिया है जिसमें एक उच्च आवृत्ति कैरियर की तात्क्षणिक **कला** (Instantaneous phase) को एक निम्न आवृत्ति की मॉडुलेटिंग तरंग (बेसबैंड सिगनल) के मान के अनुरूप परिवर्तित किया जाता है।

(2) **पल्स मॉडुलेशन** (Pulse Modulation)—**पल्स मॉडुलेशन में कैरियर तरंग के रूप में एक पल्स ट्रेन (Pulse train) को प्रयुक्त किया जाता है।** जिस प्रकार एक Continuous sine तरंग को कैरियर के रूप में प्रयुक्त कर उसके आयाम, आवृत्ति तथा कला को मॉडुलेटिंग सिगनल द्वारा मॉडुलेट किया जा सकता है, उसी प्रकार एक पल्स ट्रेन (चित्र 7.3) के आयाम, आवृत्ति (या चौड़ाई) तथा कला (या स्थिति) को भी मॉडुलेटिंग तरंग के मान के अनुरूप परिवर्तित किया जा सकता है।



चित्र 7.3—पल्स ट्रेन

पल्स मॉडुलेशन निम्न प्रकार के होते हैं—

(a) **पल्स आयाम मॉडुलेशन** (Pulse Amplitude Modulation or PAM)—पल्स आयाम मॉडुलेशन में पल्सों के **आयाम** (Amplitude of Pulses) को मॉडुलेटिंग तरंग के मान के अनुसार परिवर्तित किया जाता है।

(b) **पल्स विड्थ (चौड़ाई) माडुलेशन** (Pulse Width Modulation (PWM) or Pulse Duration Modulation (PDM))—पल्स विड्थ मॉडुलेशन में पल्सों की **चौड़ाई**

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(या अवधि) (Width or duration of pulses) को मॉडुलेटिंग सिगनल के मान के अनुसार परिवर्तित किया जाता है।

(c) **पल्स पोजीशन (स्थिति) मॉडुलेशन** (Pulse Position Modulation or PPM)—पल्स पोज़ीशन मॉडुलेशन में पल्सों की **स्थिति** (स्पेसिंग) (अर्थात् प्रत्येक पल्स की अपनी वास्तविक पोजीशन से शिफ्टिंग) को मॉडुलेटिंग सिगनल के मान के अनुसार परिवर्तित किया जाता है।

(d) **पल्स कोड मॉडुलेशन** (Pulse Code Modulation or PCM)—पल्स कोड मॉडुलेशन एक डिजिटल मॉडुलेशन तकनीक है। इसमें मॉडुलेटिंग सिगनल की सैम्पलिंग (Sampling) करने सैम्पल्स (Samples) को क्वांटाइज़ किया जाता है तथा फिर इन्हें बाइनरी संख्याओं (Binary numbers) में कनवर्ट (Convert) किया जाता है।

पल्स मॉडुलेशन एक विस्तृत विषय है तथा इसकी विस्तृत जानकारी अध्याय 5 में दी गई है। पल्स कोड मॉडुलेशन (PCM) दूरसंचार में सर्वाधिक प्रयुक्त होने वाली पल्स मॉडुलेशन तकनीक है। इसके अत्यधिक महत्त्वपूर्ण होने के कारण इसे विस्तृत रूप में 'पल्स मॉडुलेशन' (अध्याय 5) में वर्णित किया गया है।

विभिन्न प्रकार की मॉडुलेशन तकनीकें हैं—आयाम मॉडुलेशन (AM), आवृत्ति मॉडुलेशन (FM), फेज़ मॉडुलेशन (PM) तथा पल्स मॉडुलेशन (PAM, PWM, PPM तथा PCM)

§ 7.9. ऑन-ऑफ मॉडुलेशन (ON-OFF Modulation):

डिजिटल संचार में मॉडुलेटिंग सिगनल डिजिटल (अर्थात् 1 तथा 0 के रूप में) होते हैं। यह डाटा डिजिटल कम्प्यूटर द्वारा उत्पन्न सिगनल, PCM सिगनल इत्यादि हो सकता है। इनको चैनल (microwave radio link, satellite channel etc.) के माध्यम से एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजने से पूर्व इनका मॉडुलेशन आवश्यक होता है। मॉडुलेशन प्रक्रिया में कैरियर के आयाम, आवृत्ति या कला की डाटा सिगनल के अनुसार स्विचिंग (switching or keying) की जाती है। डिजिटल सिगनलों के मॉडुलेशन हेतु निम्न तकनीकों का प्रयोग किया जाता है—

(i) Amplitude shift keying (ASK)
(ii) Frequency shift keying (FSK)
(iii) Phase shift keying (PSK)

इन तीनों तकनीकों (अर्थात् ASK, FSK तथा PSK) को चित्र 7.4 में प्रदर्शित किया गया है।

आयाम शिफ्ट कीइंग (Amplitude shift keying or ASK)—ASK तकनीक में कैरियर का आयाम दो स्तरों के मध्य स्विच किया जाता है अर्थात् यदि 1 ट्रांसमिट करना हो तो नियत आयाम का मूल कैरियर ट्रांसमिट किया जाता है तथा 0 ट्रांसमिट करने हेतु कैरियर को स्विच ऑफ कर दिया जाता है। साधारण शब्दों में, 1 के लिये कैरियर स्विच ऑन कर दिया जाता है, 0 के लिये कैरियर स्विच ऑफ कर दिया जाता है (चित्र 7.4 (b) देखें) अत: इस विधि को On-Off Keying (OOK) कहा जाता है। अत: ASK सिगनल का समीकरण—

$$S_{ASK}(t) = u(t) A_c \cos w_c t$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(1 ट्रांसमिशन हेतु $u(t) = 1$ तथा 0 ट्रांसमिशन हेतु $u(t) = 0$

"In Amplitude shift keying, the two binary values of PCM signals are represented by two different amplitudes of the carrier. The binary value 1 is represent by the presence of original carrier of constant amplitude and binary value 0 is represented by carier of zero amplitude, i.e., the absence of carrier.

आवृत्ति शिफ्ट कीइंग (Frequency shift keying or FSK)—FSK तकनीक आवृत्ति मॉडुलेशन की भाँति ही होती है जिसमें मॉडुलेटेड कैरियर का मान नियत रहता है। चूँकि डिजिटल डाटा ट्रांसमिशन में मॉडुलेटिंग तरंग बाइनरी होती है, अत:, 1 ट्रांसमिट करने हेतु कैरियर की आवृत्ति अपने अनमॉडुलेटेड मान से कुछ बढ़ा दी जाती है, जबकि 0 ट्रांसमिट करने हेतु कैरियर आवृत्ति अप्रभावित रहती है (चित्र 7.4 (c) देखें)। कुछ FSK सिस्टम में 1 ट्रांसमिट करने के लिये कैरियर आवृत्ति को अनमॉडुलेटेड मान से कुछ बढ़ा दिया जाता है, जबकि 0 ट्रांसमिट करने के लिये कैरियर आवृत्ति को अपने अनमॉडुलेटेड मान से कुछ कम कर दिया जाता है। FSK सिगनल का समीकरण

$$S_{FSK}(t) = A_c \cos (w_c \pm \Omega) t$$

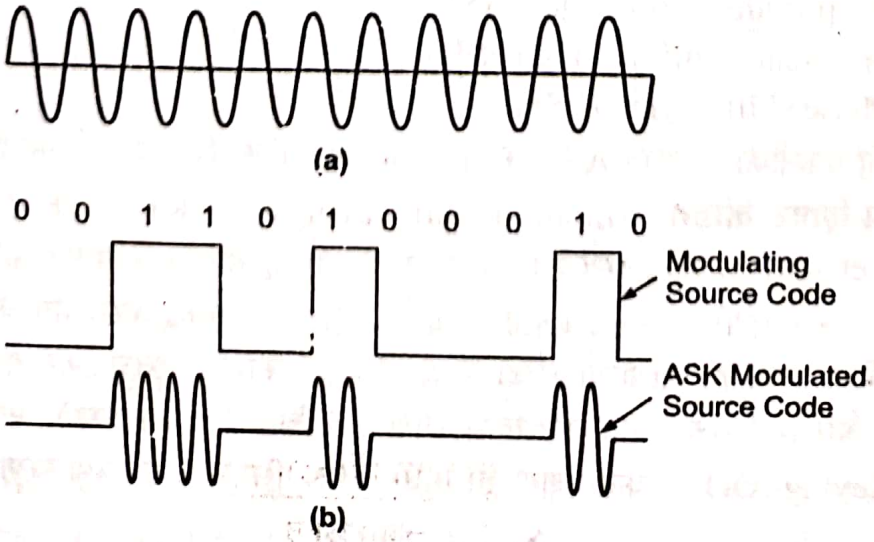
अर्थात् 1 ट्रांसमिट करने हेतु आवृत्ति को $w_c + \Omega$, तथा 0 ट्रांसमिट करने हेतु आवृत्ति को $w_c - \Omega$ कर दिया जाता है।

"In frequency shift keying (FSK), the two binary values are represented by two frequencies. The frequency of the carrier increases for the binary value 1, while it remains uneffected (or decreases in some FSK systems) for the binary value 0."

फेज शिफ्ट कीइंग (Phase shift keying)—PSK तकनीक में बाइनरी 0 ट्रांसमिट करने हेतु शून्य फेज शिफ्ट तथा 1 ट्रांसमिट करने हेतु π फेज शिफ्ट की जाती है (चित्र 7.4 (d) देखें) स्पष्ट है कि 0 ट्रांसमिट करने हेतु सिगनल में कोई फेज शिफ्ट नहीं होती, जबकि 1 ट्रांसमिट करने हेतु सिगनल में 180° फेज शिफ्ट होती है। PSK सिगनल का समीकरण—

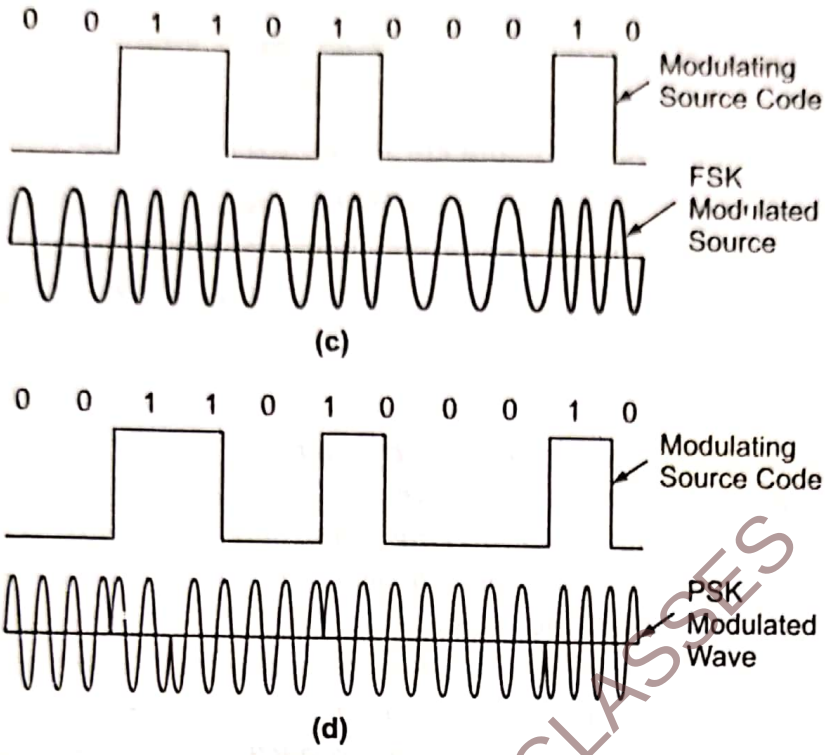
$$S_{PSK}(t) = A_c \cos (w_c t + \phi(t))$$

(जहाँ 0 ट्रांसमिट करने हेतु $\phi(t) = 0$ तथा 1 ट्रांसमिट करने हेतु $\phi(t) = \pi$)



AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 7.4—(a) कैरियर तरंग (b) ASK (c) FSK (d) PSK

"In phase shift keying (PSK), the binary value 0 corresponds to zero phase shift and binary value 1 coresponds to phase shift of π. Hence, the carrier is without any phase change for binary value 0 of the signal and its phase changes by π when binary value of the signal is 1.

ASK

$1 \rightarrow A_c$ आयाम का कैरियर

$0 \rightarrow$ शून्य कैरियर

FSK

$1 \rightarrow w_c + \Omega$ आवृत्ति का कैरियर

$0 \rightarrow w_c$ या $w_c - \Omega$ आवृत्ति कैरियर

PSK

$1 \rightarrow$ कैरियर में 180° का फेज शिफ्ट

$0 \rightarrow$ कैरियर में कोई फेज शिफ्ट नहीं

§ 7.3. एनालॉग और डिजिटल प्रसारण (Analog and Digital Transmission):

Analog तथा digital दोनों को data transmission के लिए use किया जाता है इन दोनों तकनीकों में सूचना को वैद्युत signal के रूप में परिवर्तित किया जाता है। Analog व digital तकनीक में मुख्य अन्तर यह है कि analog technology में सूचना परिवर्तित मान वाली विद्युत pulses के रूप में translate की जाती है जबकि digital तकनीक में सूचना को binary प्रारूप (0 या 1) में convert किया जाता है। Analog तकनीक की band bit सीमित होती है और

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

इसलिए वह उच्च speed के data को support नहीं कर सकती। इसके साथ-साथ इसमें यह दोष भी होता है कि signal का attenuation होता है और signal में noise भी add होने लगती है। Analog signal में noise के add होने के बाद उसको separate (अलग) करना सम्भव नहीं होता और signal का amplification करने पर noise भी amplify हो जाती है।

Digital signal high bit band support कर सकते हैं। उनकी network capacity अधिक होती है। Power requirement कम होती है। Signal security भी अच्छी होता है और इसमें noise के प्रभाव को भी समाप्त किया जा सकता है।

Analog and digital signals are used to transmit information, usual as any audio or video, is transformed into electric signals. The difference between analog and digital technologies is that in analog technology, information is translated into electric pulses of varying amplitude. In digital technology, translation of information is into binary format (zero or one) where each bit is representative of two distinct amplitudes.

Analog transmission is a transmission method of conveying voice, data, image, signal or video information using a continuous signal which varies in amplitude, phase, or some other property in proportion to that of a variable, it could be the transfer of an analog source signal, using an analog modulation method such as frequency modulation (FM) or amplitude modulation (AM), or no modulation at all.

Analog facilities have limited bandwidth, which means they cannot support high-speed data. Another characteristic of analog is that noise is accumulated as the signal traverses the network. As the signal moves across the distance, it loses power and becomes impaired by factors such as moisture in the cable, dirt on a contact, and critters chewing on the cable somewhere in the network. By the time the signal arrives at the amplifier, it is not only attenuated, it is also impaired and noisy. One of the problems with a basic amplifier is that it is a dumb device. All it knows how to do is to add power, so it takes a weak and impaired signal, adds power to it, and brings it back up to its original power level. But along with an increased signal, the amplifier passes along an increased noise level. So in an analog network, each time a signal goes through an amplifier, it accumulates noise.

Digital transmission is quite different from analog transmission. For one thing, the signal is much simpler. Rather than being a continuously variable wave form, it is a series of discrete pulses, representing one bits and zero bits. Each computer uses a coding scheme that defines what combinations of ones and zeros constitute all the characters in a character

How the ones and zeros are physically carried through the network depends on whether the network is electrical or optical. In electrical networks, one bits are represented as high voltage, and zero bits are represented as null, or low voltage. In optical networks, one bits are represented by the presence of light,

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

and zero bits are represented by the absence of light. The ones and zeros-the on/off conditions-are carried through the network, and the receiving device repackages the ones and zeros to determine what character is being represented. Because a digital signal is easier to reproduce than an analog signal, we can treat it with a little less care in the network. Rather than use dumb amplifiers, digital networks use regenerative repeaters, also referred to as signal regenerators. As a strong, clean, digital pulse travels over a distance, it loses power, similar to an analog signal. The digital pulse, like an analog signal, is eroded by impairments in the network. But the weakened and impaired signal enters the regenerative repeater, where the repeater examines the signal to determine what was supposed to be a one and what was supposed to be a zero. The repeater regenerates a new signal to pass on to the next point in the network, in essence eliminating noise and thus vastly improving the error rate.

Advantages of Digital Transmission

- ***Technology Sees:*** *A drop in cost due to LSI and VLSI*
- ***Data integrity:*** *Repeaters allow longer distances over lines of lesser quality.*
- ***Capacity utilization:*** *Digital techniques can more easily and cheaply utilize, through multiplexing, available transmission links of high bandwidth.*
- ***Security and privacy:*** *Encryption techniques are more readily applied to digital data.*
- ***Integration:*** *Simplified if digitized data is used everywhere.*

Analog व डिजिटल प्रसारण की तुलना

	Analog transmission	*Digital transmission*
Signal	Analog signal is a continuous signal which represents physical measurements.	Digital signals are discrete time signals generated by digital mo.
Carrier	Sine waves (ज्यावक्रीय)	Denoted by square waves or pulses.
Examples	Human voice in air, analog electronic devices.	Computers, CDs, DVDs, and other digital electronic devices.
Representation	Uses continuous range of values to represent information. (सतत् मान)	Uses discrete discontinuous values to represent information (1's and 0's).
Quantization	No quantization	Quantization required
Flexibility	Hardware not flexible.	Flexible hardware

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

	Analog transmission	*Digital transmission*
Response to Noise	More effected.	Less affected.
Uses	Audio and video transmission.	Computing and digital electronics.
Bandwidth	Less bandwidth.	More bandwidth.
Power drawn by instruments	Draws more power.	Draws only less power.
Impedance	Low	High
Instruments	Cramped scale giving observational errors.	Free from observational errors

§ 7.4. ऑडियो-वीडियो और डेटा प्रसारण (Audio-Video and Data Transmission):

Optical fiber पर video-audio तथा data के कई channels transmit किये जा सकते हैं (चित्र 7.5)। 8-bit तथा 10-bit वाले 64 channels तक WDM द्वारा, audio channels तथा data channels को उच्च band width के कारण यह transmit कर सकता है। इसमें एक digital signal का प्रयोग किया जाता है जोकि network में signals को expand, insert, route तथा switch कर सकता है जिससे कि video तथा audio की performance खराब नहीं होती। सभी video-audio तथा data systems optical system के basic blocks जैसे कि transmitter receivers, signal regenerator, repeters, coders, decoders switches, modulators, amplifiers ADC तथा DAC, splitters, combiners तथा signal fan-outs को share कर सकते है जिससे signal को distribute करने हेतु आवश्यकता अनुसार उन्हें networks में add या drop किया जा सकता है।

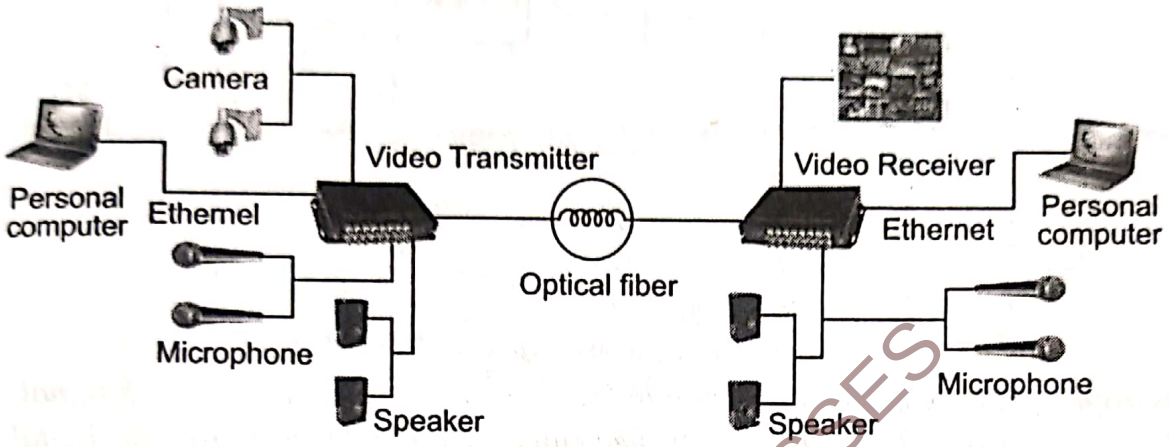
Transmit end पर digital coder analog data को PCM digital data में convert करता है। Coder में time division multiplexer भी होता है। यह TDM system एक digital data stream और एक synchronising clock pulse output करता है, उसके बाद signal एक optical transmitter में प्रवेश करता है जहाँ पर digital line coding, light source modulator करके optical fiber से interfacing की जाती है। यह high level mux low level mux से input प्रदान करता है जो कि दूसरे input signals जैसे कि digitized audio तथा digital data signal से प्राप्त होते हैं।

Receiving end पर optical receivers signal को optical से electrical में convert करता है तथा line decoding तथा clock recovering करता है। यह PCM data or clock एक digital video decoder को भेजी जाती है जोकि इसे analog signal में convert करता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Video decoder में high level demux भी होती है जो sub channel को separate करता है और इसको low level demux को भेजता है। Low level demux signal को demultiplex करता है और वापस data bus पर डाल देता है, जहाँ पर वो decode होकर system output पर पहुँचते हैं।



चित्र 7.5

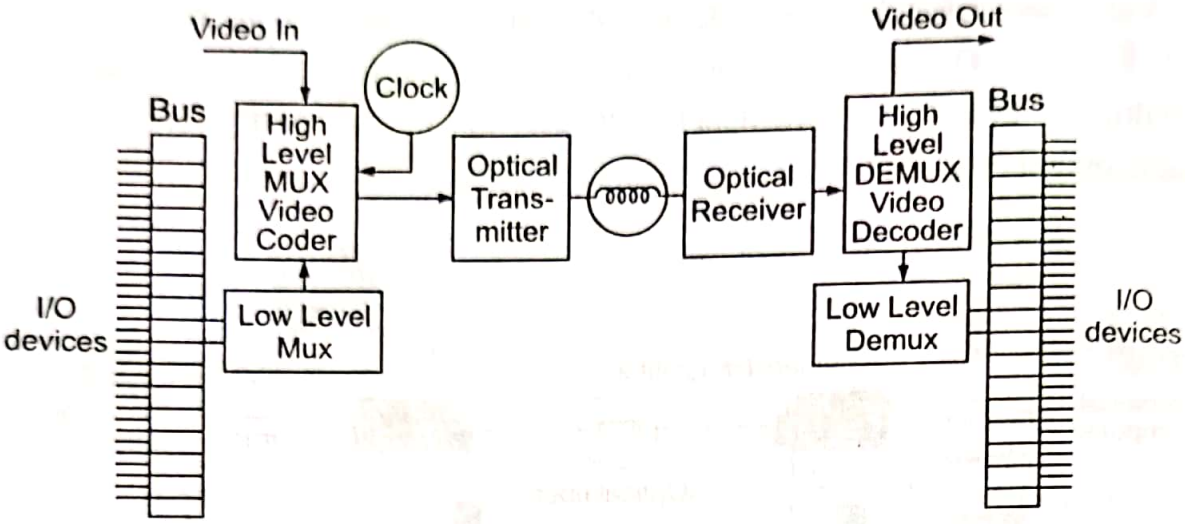
Fiber optics is now the dominant medium for terrestrial transmission of digital signals, and digital fiber optic systems are well established for transporting high quality video, audio, and data signals. Systems must make efficient use of optical fiber by transporting multiple channels of video and audio on a single fiber. A digital system working within a digital domain should be capable of expanding, inserting, routing, and switching signals within a network in such a way that video and audio performance is not affected. Of growing importance is the ability of these networks to accept a variety of signal formats and to interface with public television communication networks, Signal formats for transmission of video might include video encoding at various levels of digitizing accuracy, compressed video, advanced or high definition video, as well as digital high speed data. Understanding aspects of multiplexing, modulation schemes, and digital systems are important to implementing a multichannel transmission system. All video/audio/data transport systems share a number of elements in common that form the basic system building blocks for any v/a/d system.

These include: transmitters, receivers, signal regenerators, repeaters, coders, decoders, switches, modulators, amplifiers, analog to digital convertors and digital to analog convertors, splitters, combiners, signal fanouts, which allow signals to be added and dropped from a network or utilize smaller system components for the signal distribution

At the transmit end, a digital coder converts the incoming analog video signal to PCM digital data. (See Digital Modulation for details.) The coder also contains a time-division multiplexer, called a high level mux, which creates a digital subchannel that is time-division multiplexed with the PCM video data.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 7.6—Digital system having two-level TDM hierarchy

This high level mux/video coder outputs a digital data stream and a clock signal, used for synchronicity. These signals then enter the optical transmitter for digital line coding, light source modulation, and an interface to the optical transmission fiber. This high level mux receives its input from a second TDM, called the low level mux, which controls a data bus that can interface with a variety of input signals such as digitized audio and digital data signals. At the receive end, an optical receiver converts the signal from optical to electrical and provides line decoding plus clock recovery. The PCM data and recovered clock are then sent to a digital video decoder that converts the digital video back to an analog signal. The video decoder also contains a high level demux, which separates the subchannel and sends it to a low level demux. At the low level demux, the signals are demultiplexed and put back on the data bus where they are decoded to system output.

AKC TECHNICAL CLASSES

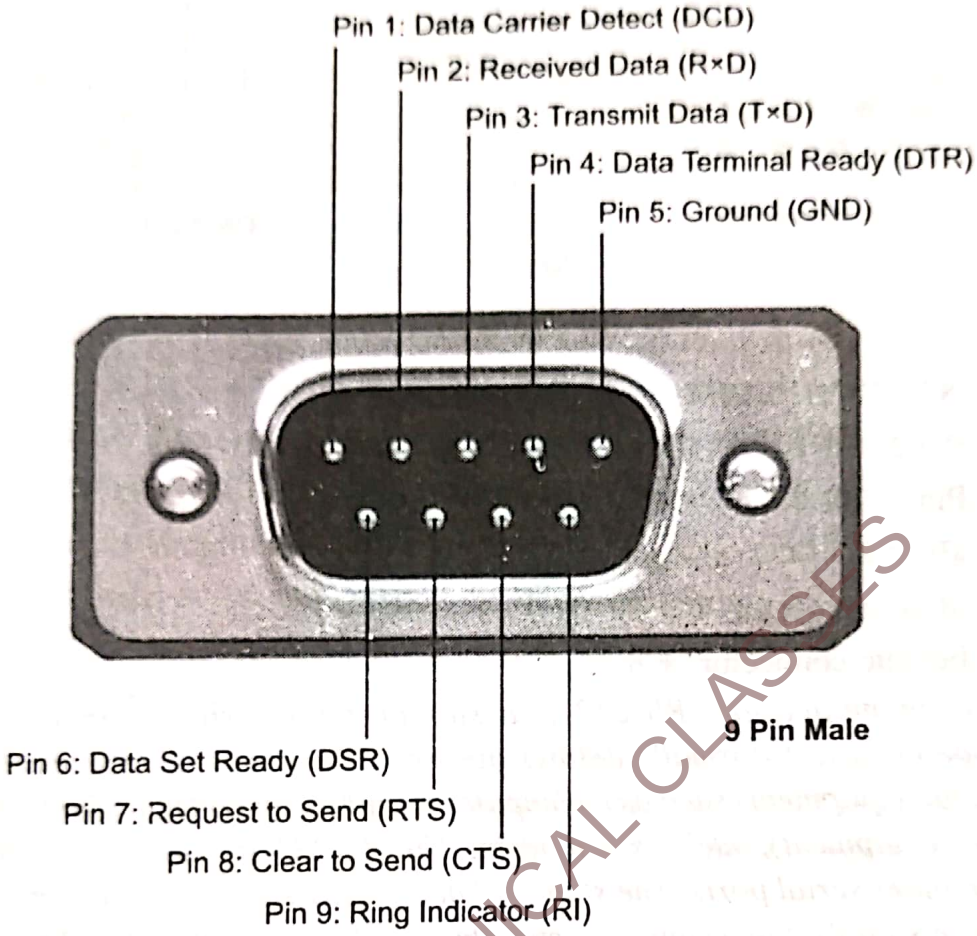
§ 7.5. RS-232 की सहायता से कम्प्यूटर संचार (Computer Communication using RS-232 Port):

RS 232 serial data transmission हेतु एक standard है जोकि DTE (Data terminal equipment) तथा DCE (Data circuit terminating equipment को connect करने वाले signals को define करता है। यह computer के serial port में use किया जाता है। यह standard signal के वैद्युत अभिलक्षणों तथा timing को परिभाषित करता है। Signal का अर्थ स्पष्ट करता है तथा connector के pinout तथा size को भी define करता है। इसमें 9 male pins होती है जिसको चित्र 7.7 में दिखाया गया है।

अनेक devices senser से data collect करते हैं और उसको computer को processing हेतु भेजते हैं। Data का transfer या communication दो प्रकार से किया जाता है—

(i) Parallel
(ii) Serial

Scanned with CamScanner



चित्र 7.7—RS 232 पिन-आउट डायग्राम

Parallel mode fast होती है क्योंकि इसमें लाइन की संख्या अधिक होती है। यह mode short range data हेतु उपयुक्त होती है।

Serial mode में एक या दो data lines का use किया जाता है। इसमें एक बार में केवल 1-bit data भेजा जाता है। यह long distance communication हेतु use किया जाता है। Serial communication हेतु किसी device की computer से interfacing हेतु RS 232 serial port का use किया जाता है।

Serial communication के मुख्य अनुप्रयोग है—

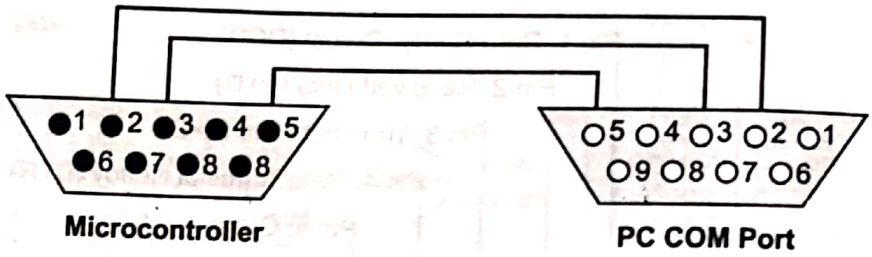
(i) Industrial automatic system
(ii) Scientific system
(iii) Consumer product

RS 232 interface को कई कार्य हेतु use किया जाता है जैसे कि PC से microcontroller पर command भेजना, microcontroller से terminal को debug information भेजना, microcontroller द्वारा को नया frameware download करना इत्यादि।

एक standard PC से RS 232 interface एक PIC microcontroller को interface करने हेतु block diagram चित्र 7.8 में प्रदर्शित है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 7.8

विचार प्रश्न

चित्र 7.8 के अनुसार उत्तर दें।

(i) Pin 2 क्या है?

(ii) Pin 3 क्या है?

(iii) इस चित्र में क्या connect हो रहे हैं?

(iv) Male connector कौन सा है?

(v) Female connector कौन सा है?

In telecommunication, RS-232 is a standard for serial communication transmission of data. It formally defines the signals connecting between a DTE (data terminal equipment) such as a computer terminal, and a DCE (data circuit-terminating equipment), such as a modem. The RS-232 standard is commonly used in computer serial ports. The standard defines the electrical characteristics and timing of signals, the meaning of signals, and the physical size and pinout of connectors. Data transfer/communication is generally done in two ways: parallel and serial. In the parallel mode, data transfer is fast and uses more number of lines. This mode is good for short range data transfer. Serial communication uses only one or two data lines to transfer data and is generally used for long distance communication. In serial communication the data is sent as one bit at a time. Serial communication is commonly used in applications such as industrial automation systems, scientific analysis and certain consumer products. RS-232 is a standard for a serial communication interface which allows to send and receive data via at least three wires. With the RS-232 interface it is possible to setup a connection between a microcontroller and a PC (via PC's COM port) or between two microcontrollers. The RS-232 interface can be used for many purposes like sending commands from a PC to a microcontroller, send debug information from a microcontroller to a terminal, download new firmware to the microcontroller and many other things.

ARC TECHNICAL CLASSES

§ 7.6. कोहरैंट और इनकोहरैंट ऑप्टिकल प्रणाली (Coherent and Incoherent Optical System) :

Incoherent optical system ASK की तरह होता है, light के amplitude को turn on या turn off करके information को code किया जाता है। Receiver पर एक

Scanned with CamScanner

photodiode का use किया जाता है जोकि receive की गई light की intensity को measure करके signal को measure करके signal को decode करता है।

Coherent optical system FM की तरह होता है तथा यह अधिक जटिल होता है तथा इसमें signal को electric field की properties (phase या phase और amplitude का combination) के रूप में encode किया जाता है। इसके कई formats होते हैं जैसे कि—

(1) Differential phase modulation जिसमें information को encode करने हेतु light के phase को change किया जाता है (1 भेजने हेतु) या नहीं किया जाता है (0 भेजने हेतु)। इस प्रकार के system में local oscillator की आवश्यकता नहीं होती।

(2) कुछ modulation format जैसे कि binary phase modulation, modulation तथा quadrature amplitude phase modulation में local oscillator की आवश्यकता होती है। यदि receive की जाने वाली light की center frequency local oscillator के समान होती है तो photo detector के output से सीधे quadrature (Q तथा intensity (I) को पता लगाया जा सकता है।

Incoherent optical communication is similar to AM. The information is encoded by changing the amplitude of the light (off or on). The receiver has to measure the intensity of the light to receive the transmitted signal and consists of a photodiode.

Coherent optical communication is more similar to FM. The signal is encoded in properties of the electric field (the phase, or combinations of phase and amplitude). The receiver is therefore more complicated and comes in two types:

(i) *Receivers that don't require a local oscillator (laser): This is used for differential phase modulation and differential quadrature phase modulation. For these formats, the information is encoded by either changing the phase of the light (for 1) or not changing the phase (for 0). In this receiver, the light is split in multiple paths and combined with time delayed versions of itself to measure the change in phase over that time period.*

(ii) ***Receivers that require a local oscillator (laser). These are used for** modulation formats such as binary phase modulation, quadrature phase modulation, and QAM formats. The first additional component necessary for these receivers is a local laser. In the current generation of coherent receiver systems, the frequency of local laser must be kept close to that of the received signal, but doesn't have to match exactly. The second component necessary is called a 90° hybrid. This is a device with two inputs and four outputs. If two laser signals enter the two inputs of a 90 degree hybrid the intensity at the four outputs can be used to determine the quadrature (degree of phase difference) and intensity of one signal relative to the other. This is generally done using photo-detectors. The third set of components necessary are high speed digitizers, and signal processing electronics.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

If the central frequency of the incoming light is the same frequency as the local oscillator, you can determine the quadrature (Q) and intensity (I) directly from the output of the photo-detectors. However, tuning a laser and tracking this frequency is quite difficult, so modern receivers don't exactly match the frequency, they just park the local oscillator really close to the frequency of the incoming signal. However, if the signal from the photodiodes are then digitized at a very high sampling rate (more than twice the buad rate of the signal), digital processing algorithms can be used to recover the signal despite the frequency offset.

प्रश्नावली–7

1. (a) Light wave क्या होती है?
   (b) Modulation क्या होता है? On-off modulation क्या होता है?
   (c) Analog तथा digital transmission में क्या अन्तर है।
   (d) OFC में audio, video तथा data एक साथ कैसे transmit किया जा सकता है?
   (e) RS 232 port क्या होता है? Computer communication में इसका क्या महत्व है?
   (f) Coherent system से आप क्या समझते हैं? Coherent और incoherent system में क्या अन्तर होता है?
2. ASK, FSK व PSK में अंतर समझाइये।
3. Analog व digital transmission के गुण-दोष लिखिये।
4. WDM से आप क्या समझते हैं। सोदाहरण समझाइये।
5. कम्प्यूटर कम्यूनिकेशन में विभिन्न पोर्टस की भूमिका पर प्रकाश डालिये।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

7A

ऑप्टिकल एम्प्लीफायर्स
(OPTICAL AMPLIFIERS)

THINK ABOUT IT

"Where there is a will, there is a way. If there is a chance in a million that you can do something, anything, to keep what you want from ending, do it. Pry the door open or, if need be, wedge your foot in that door and keep it open."

—Pauline Kael

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 7A.1. ऑप्टिकल फाइबर एम्प्लीफायर्स (Optical Fiber Amplifiers) :

Optical fiber amplifiers (ऑप्टिकल फाइबर प्रवर्धक) फाइबर ऑप्टिक युक्तियाँ होती हैं जिनके द्वारा किसी ऑप्टिकल सिगनल को directly amplify किया जा सकता है (अर्थात् प्रवर्धन हेतु इसको वैद्युत सिगनल में कनवर्ट करने की आवश्यकता नहीं होती है।) अत: optical fiber amplifiers को fiber optic communication systems (फाइबर ऑप्टिक संचार पद्धतियों) में data transmission हेतु use किया जाता है तथा जहाँ सिगनल weak (क्षीण) होते हैं वहाँ पर optical fiber amplifiers को insert कर दिया जाता है।

Types of Optical Amplifiers—Optical Fiber Amplifiers कई प्रकार के होते हैं जैसे—

- Doped Fiber Amplifier (DFA)
- Semiconductor Optical Amplifiers (SOA)
- Raman Amplifiers
- Optical Parametric Amplifiers

An optical fiber amplifier is a fiber optic device used to amplify optical signals directly without conversion into electrical signals. Optical fiber

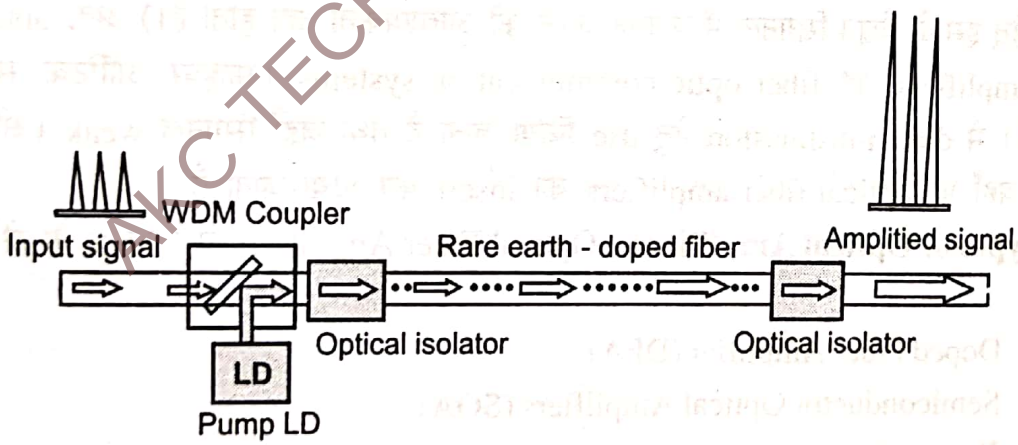


Optical Fiber Amplifier

transmission has revolutionized networking and communication systems. Multiple communication devices, like optical transmitters and receivers, are used in optical fiber transmission systems.

- *An optical fiber amplifier is a fiber optic device used to amplify optical signals directly without conversion into electrical signals.*
- *Optical fiber transmission has revolutionized networking and communication systems. Multiple communication devices, like optical transmitters and receivers, are used in optical fiber transmission systems.*
- *An optical fiber amplifier is used in transmitting data in fiber optic communication systems.*
- *Amplifiers are inserted at specific places to boost optical signals in a system where the signals are weak.*
- *This boost allows the signals to be successfully transmitted through the remaining cable length.*
- *Multiple communication devices, like optical transmitters and receivers, are used in optical fiber transmission systems.*
- *In large networks, a long series of optical fiber amplifiers are placed in a sequence along the entire network link.*

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र 7A.2—Optical Amplifier Block Diagram

Optical fiber amplifiers are categorized, based upon different physical mechanisms, as follows:

- ***Doped fiber amplifiers (DFA):** Use a doped optical fiber medium for boosting signals in a similar manner to fiber lasers. The signal requiring amplification, along with a pump laser, is multiplexed in a doped fiber medium and intersects with doping ions. Amplified spontaneous emission is the major reason behind the DFA noise. An ideal noise level for DFA is around 3 decibels. Practically, the noise figure is calculated at around 6 to 8 decibels.*

Scanned with CamScanner

- ***Semiconductor optical amplifiers:*** *Use semiconductors to produce the gain medium in the laser. The analogous structure is made of laser diodes. The recent design of semiconductor optical amplifiers has added antireflective coatings and window regions to minimize the end face reflection.*
- ***Raman amplifiers:*** *Employ Raman amplification techniques to boost optical signals. The two types of Raman amplifiers are distributed, where the transmission fiber is used by multiplexing the pump wavelength along with the signal wavelength as the gain medium, and lumped, where short length and dedicated fibers are used for amplification. Nonlinear fiber is used to increase the intersection between the pump wavelength and the signal to reduce the fiber to the required length.*
- ***Optical parametric amplifiers:*** *Permit the amplification of weak signal impulses to a nonlinear optic medium. They use non-collinear interaction geometry for broader bandwidth amplifications.*

- *Types of Optical Amplifier*
- *The main types of amplifiers are EDFA (Earth Doped Fiber Amplifier), Semiconductor Optical Amplifiers (SOA) and Raman Amplifier. Rare Earth Doped Fiber Amplifiers are of two types EDFA (Erbium Doped) and PDFA (Praseodymium Doped). EDFA works in 1500-1600 nm band.*

Practice question: Fill in the blanks with the given words:

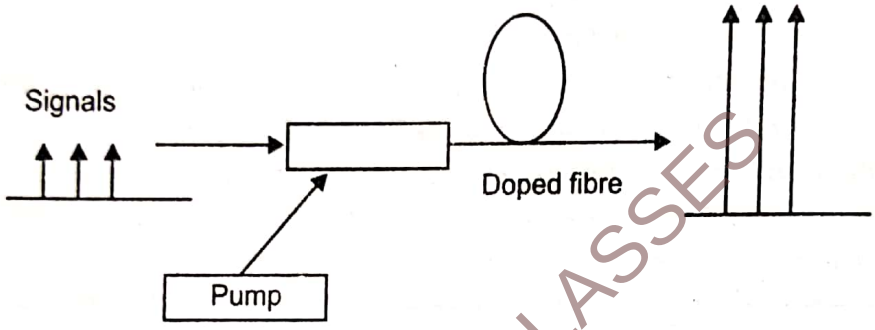
- *Optical, laser, optical repeaters, stimulated emission, Raman scattering, Parametric amplifiers*
- *An optical amplifier is a device that amplifies an ..... signal directly, without the need to first convert it to an electrical signal. An optical amplifier may be thought of as a ..... without an optical cavity, or one in which feedback from the cavity is suppressed. Optical amplifiers are important in optical communication and laser physics. They are used as ..... in the long distance fiberoptic cables which carry much of the world's telecommunication links.*
- *There are several different physical mechanisms that can be used to amplify a light signal, which correspond to the major types of optical amplifiers. In doped fiber amplifiers and bulk lasers, ... in the amplifier's gain medium causes amplification of incoming light. In semiconductor optical amplifiers (SOAs), electron-hole recombination occurs. In Raman amplifiers,..... of incoming light with phonons in the lattice of the gain medium produces photons coherent with the incoming photons..... use parametric amplification.*

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

§ 7A.2. डॉप्ड फाइबर एम्प्लीफायर्स (Doped Fiber Amplifiers) :

यह फाइबर lasers की तरह पदार्थ करते हैं तथा सिगनल को बूस्ट करने हेतु doped optical fiber medium का प्रयोग करते हैं। इसमें ऑप्टिकल सिगनल तथा pump laser को doped fiber medium में multiplex optical amplifiers किया जाता है तथा यह doping ions से intersect करता है। इसमें उत्पन्न DFA noise का मुख्य कारण Amplified spontaneous emission होता है।



चित्र 7A.3—A Simple Doped Fiber Amplifier

Doped Fiber Amplifiers—डॉप्ड फाइबर प्रवर्धक या DFA वह ऑप्टिकल प्रवर्धक होते हैं जो optical signal को amplify करने हेतु doped optical fiber को gain medium के रूप में use करते हैं। प्रवर्धित किया जाने वाले signal (signal to be amplified) तथा pump laser को doped fiber में multiplex किया जाता है तथा फिर doping ions से interaction करके signal को amplify किया जाता है। DFA का प्रमुख उदाहरण EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) है जिसमें Silica fiber की core को trivalent (त्रिसंयोजी) erbium ions से dope किया जाता है तथा फिर 980 nm या 1480 nm (या उसके आस-पास) की wavelength पर laser द्वारा दक्षतापूर्वक pump किया जाता है तथा 1550 nm पर gain प्राप्त की जा सकती है। EDFA का telecommunication calls हेतु C-band Amplifiers (लगभग 1528 nm से 1565 nm) या L-based amplifiers (लगभग 1365 nm से 1605 nm) में use किया जाता है।

अत: EDFA एक प्रकार का repeater device है जो कि Fiber Optic Communication में Optical Signal Intensity को Boost करता है।

EDFA का सिद्धान्त

एक Wavelength Selective Coupler (WSC) की सहायता से एक high power light beam को input सिगनल से mix किया जाता है। Input सिगनल तथा excitation light की wavelengths में काफी अंतर रखा जाता है। इस mixed light को fiber में guide किया जाता है तथा इस fiber की core erbium ions से doped होती है अत: यह high power light beam erbium ions को high energy state में excite कर देती है। जब

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

optical signal के photons (photons belonging to the signal at a different wavelength from the pump light) excited erbium ions से मिलते हैं तो erbium ions अपनी कुछ ऊर्जा सिगनल को प्रदान करके lower energy state में आ जाते हैं। Erbium द्वारा प्रदान की गई यह ऊर्जा अतिरिक्त photons के रूप में होती है जिनकी phase व direction प्रवर्धित किये जाने वाले सिगनल के समान होती है। अत: सिगनल amplify हो जाता है।

DFA's में noise को मुख्य स्रोत Amplified Spontaneous Emission (ASE) होता है, जिसका spectrum amplifier के gain spectrum के लगभग समान होता है। एक Ideal DFA का noise figure 3 dB होता है जबकि व्यवहारिक DFA's का noise figure 6 से 8 dB तक हो सकता है।

Laser Amplifiers

- *Almost any laser active gain medium can be pumped to produce gain for light at the wavelength of a laser made with the same material as its gain medium.*
- *Such amplifiers are commonly used to produce high power laser systems. Special types such as regenerative amplifiers and chirped-pulse amplifiers are used to amplify ultrashort pulses.*

Solid-state Amplifiers

- *Solid-state amplifiers are optical amplifiers that uses a wide range of doped solid-state materials (Nd:YAG, Yb:YAG, Ti:Sa) and different geometries (disk, slab, rod) to amplify optical signals.*
- *The variety of materials allows the amplification of different wavelength while the shape of the medium can distinguish between more suitable for energy of average power scaling.*

Doped Fiber Amplifiers

- *Doped fiber amplifiers (DFAs) are optical amplifiers that use a doped optical fiber as a gain medium to amplify an optical signal.*
- *Related to fiber lasers.*
- *Signal to be amplified and a pump laser are multiplexed into the doped fiber, and the signal is amplified through interaction with the doping ions.*
- *Most common example is the Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA), where the core of a silica fiber is doped with trivalent erbium ions and can be efficiently pumped with a laser at or near a wavelength of 980 nm or 1480 nm, and exhibits gain in the 1550 nm region.*
- *EDFA amplification region varies from application to application and can be anywhere between few nm up to ~80nm. Typical use of EDFA in*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

telecommunications calls for C-band amplifiers (from ~1528 nm to ~1565 nm) or L-band amplifiers (from ~1565 nm to ~1605 nm).

- *An erbium-doped waveguide amplifier (EDWA) is an optical amplifier that uses a waveguide to boost an optical signal.*
- *Amplification is achieved by stimulated emission of photons from dopant ions in the doped fiber.*
- *Pump laser excites ions into a higher energy from where they can decay via stimulated emission of a photon at the signal wavelength back to a lower energy level.*
- *Excited ions can also decay spontaneously (spontaneous emission) or even through nonradiative processes involving interactions with phonons of the glass matrix.*
- *These last two decay mechanisms compete with stimulated emission reducing the efficiency of light amplification.*
- *The amplification window of an optical amplifier is the range of optical wavelengths for which the amplifier yields a usable gain. The amplification window is determined by the spectroscopic properties of the dopant ions, the glass structure of the optical fiber, and the wavelength and power of the pump laser.*
- *Although the electronic transitions of an isolated ion are very well defined, broadening of the energy levels occurs when the ions are incorporated into the glass of the optical fiber and thus the amplification window is also broadened.*
- *broadening is both homogeneous i.e. all ions exhibit the same broadened spectrum and inhomogeneous i.e. different ions in different glass locations exhibit different spectra.*
- *Homogeneous broadening arises from the interactions with phonons of the glass, while inhomogeneous broadening is caused by differences in the glass sites where different ions are hosted.*
- *Different sites expose ions to different local electric fields, which shifts the energy levels via the Stark effect.*
- *In addition, the Stark effect also removes the degeneracy of energy states having the same total angular momentum specified by the quantum number J.*
- *Broad gain-bandwidth of fiber amplifiers make them particularly useful in wavelength-division multiplexed communications systems as a single amplifier can be utilized to amplify all signals being carried on a fiber and whose wavelengths fall within the gain window.*

Basic Principle of EDFA

- *A relatively high-powered beam of light is mixed with the input signal using a wavelength selective coupler (WSC).*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

- *The input signal and the excitation light must be at significantly different wavelengths.*
- *The mixed light is guided into a section of fiber with erbium ions included in the core.*
- *This high-powered light beam excites the erbium ions to their higher-energy state.*
- *When the photons belonging to the signal at a different wavelength from the pump light meet the excited erbium ions, the erbium ions give up some of their energy to the signal and return to their lower-energy state.*
- *A significant point is that the erbium gives up its energy in the form of additional photons which are exactly in the same phase and direction as the signal being amplified.*
- *So the signal is amplified along its direction of travel only. This is not unusual when an atom lases it always gives up its energy in the same direction and phase as the incoming light. Thus all of the additional signal power is guided in the same fiber mode as the incoming signal.*
- *There is usually an isolator placed at the output to prevent reflections returning from the attached fiber. Such reflections disrupt amplifier operation and in the extreme case can cause the amplifier to become a laser. The erbium doped amplifier is a high gain amplifier.*
- *The principal source of noise in DFAs is Amplified Spontaneous Emission (ASE), which has a spectrum approximately the same as the gain spectrum of the amplifier.*
- *Noise figure in an ideal DFA is 3 dB, while practical amplifiers can have noise figure as large as 6-8 dB.*
- *As well as decaying via stimulated emission, electrons in the upper energy level can also decay by spontaneous emission, which occurs at random, depending upon the glass structure and inversion level.*
- *Photons are emitted spontaneously in all directions, but a proportion of those will be emitted in a direction that falls within the numerical aperture of the fiber and are thus captured and guided by the fiber.*
- *Those photons captured may then interact with other dopant ions, and are thus amplified by stimulated emission. The initial spontaneous emission is therefore amplified in the same manner as the signals, hence the term Amplified Spontaneous Emission or ASE.*
- *ASE is emitted by the amplifier in both the forward and reverse directions, but only the forward.*
- *ASE is a direct concern to system performance since that noise will co-propagate with the signal to the receiver where it degrades system performance.*

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

- *Counter-propagating ASE can, however, lead to degradation of the amplifier's performance since the ASE can deplete the inversion level and thereby reduce the gain of the amplifier and increase the noise produced relative to the desired signal gain.*
- *Noise figure can be analyzed in both the optical domain and in the electrical domain.*
- *In the optical domain, measurement of the ASE, the optical signal gain, and signal wavelength using an optical spectrum analyzer permits calculation of the noise figure.*
- *For the electrical measurement method, the detected photocurrent noise is evaluated with a low-noise electrical spectrum analyzer, which along with measurement of the amplifier gain permits a noise figure measurement.*
- *Optical technique provides a more simple method, though it is not inclusive of excess noise effects captured by the electrical method such multi-path interference (MPI) noise generation. In both methods, attention to effects such as the spontaneous emission accompanying the input signal are critical to accurate measurement of noise figure.*
- *Gain is achieved in a DFA due to population inversion of the dopant ions. The inversion level of a DFA is set, primarily, by the power of the pump wavelength and the power at the amplified wavelengths. As the signal power increases, or the pump power decreases, the inversion level will reduce and thereby the gain of the amplifier will be reduced. This effect is known as gain saturation ,as the signal level increases, the amplifier saturates and cannot produce any more output power, and therefore the gain reduces. Saturation is also commonly known as gain compression.*
- *To achieve optimum noise performance DFAs are operated under a significant amount of gain compression typically 10 dB, since that reduces the rate of spontaneous emission, thereby reducing ASE.*
- *Another advantage of operating the DFA in the gain saturation region is that small fluctuations in the input signal power are reduced in the output amplified signal: smaller input signal powers experience larger and less saturated) gain, while larger input powers see less gain.*
- *The leading edge of the pulse is amplified, until the saturation energy of the gain medium is reached. In some condition, the width (FWHM) of the pulse is reduced.*
- *Due to the inhomogeneous portion of the linewidth broadening of the dopant ions, the gain spectrum has an inhomogeneous component and gain saturation occurs, to a small extent, in an inhomogeneous manner.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

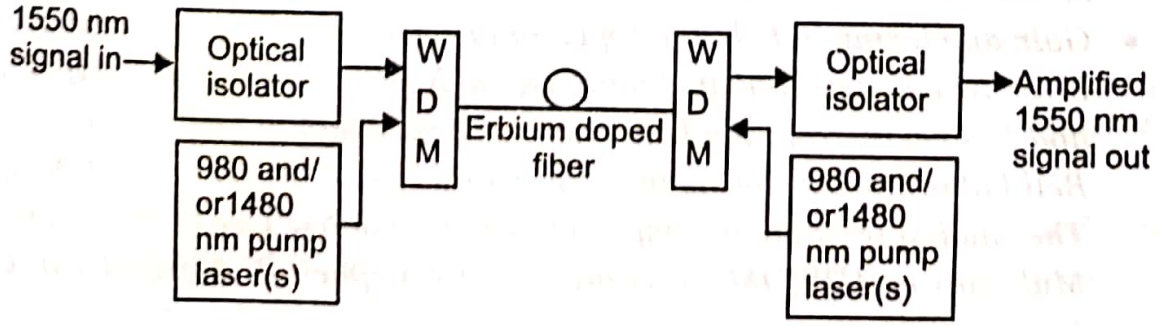
- *This effect is known as spectral hole burning because a high power signal at one wavelength can 'burn' a hole in the gain for wavelengths close to that signal by saturation of the in homogeneously broadened ions. Spectral holes vary in width depending on the characteristics of the optical fiber in question and the power of the burning signal, but are typically less than 1 nm at the short wavelength end of the C-band, and a few nm at the long wavelength end of the C-band. The depth of the holes are very small, though, making it difficult to observe in practice.*
- *Although the DFA is essentially a polarization independent amplifier, a small proportion of the dopant ions interact preferentially with certain polarizations and a small dependence on the polarization of the input signal may occur (typically < 0.5 dB). This is called Polarization Dependent Gain (PDG).*
- *The erbium-doped fiber amplifier (EDFA) is the most deployed fiber amplifier as its amplification window coincides with the third transmission window of silica-based optical fiber.*
- *Two bands have developed in the third transmission window - the Conventional, or C-band, from approximately 1525 nm ,1565 nm, and the Long, or L-band, from approximately 1570 nm to 1610 nm. Both of these bands can be amplified by EDFAs, but it is normal to use two different amplifiers, each optimized for one of the bands.*
- *The principal difference between C- and L-band amplifiers is that a longer length of doped fiber is used in L-band amplifiers. The longer length of fiber allows a lower inversion level to be used, thereby giving at longer wavelengths (due to the band-structure of Erbium in silica) while still providing a useful amount of gain.*
- *EDFAs have two commonly used pumping bands – 980 nm and 1480 nm. The 980 nm band has a higher absorption cross-section and is generally used where low-noise performance is required. The absorption band is relatively narrow and so wavelength stabilised laser sources are typically needed. The 1480 nm band has a lower, but broader, absorption cross-section and is generally used for higher power amplifiers. A combination of 980 nm and 1480 nm pumping is generally utilised in amplifiers.*
- *Gain and lasing in Erbium-doped fibers were first demonstrated in 1986-87 by two groups; one including David N. Payne, R. Mears, I.M Jauncey and L. Reekie, from the University of Southampton and one from AT&T Bell Laboratories, consisting of E. Desurvire, P. Becker, and J. Simpson. The dual-stage optical amplifier which enabled Dense Wave Division Multiplexing (DWDM,) was invented by Stephen B. Alexander at Ciena Corporation.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

- *Erbium-doped fiber amplifiers (EDFAs), are used extensively in FTTH systems. They accept the optical signal from the broadcast optical transmitter and amplify it. EDFAs used in HFC networks are characterized to operate from about 1535 to 1565 nm. However, due to other wavelengths used in FTTH systems, find limited to wavelengths from about 1550 to 1560 nm.*
- *Heart of the EDFA is a piece of fiber optic cable a few feet long, doped with erbium atoms.*
- *It is terminated on each end with a WDM, which separates the 1550 nm spectrum from the 980-nm and/or 1480-nm wavelengths, where the pump lasers operate.*
- *Number of pump lasers in an amplifier determines how much signal power you can get out.*
- *All of the pump lasers supply energy to the erbium-doped fiber, causing the valence band electrons in the erbium atoms to jump to a higher-energy state.*
- *1550 nm signal to be amplified is supplied through the optical isolator on the left, and the amplified signal is extracted from the optical isolator on the right.*
- *As a 1550 nm photon passes close to an excited electron in the higher-energy state, the electron drops back down to its lower-energy state, giving up energy in the process.*
- *Energy takes the form of an additional photon at 1550 nm moving in the same direction as the original photon which caused the electron to drop back to the lower-energy state.*
- *Couplers take a sample of the input and output power levels, and supply the level information to a microprocessor, which regulates the power supplied by the pump lasers.*
- *This circuit permits implementation of the various control modes not necessarily applicable to FTTH, and also permits interface with a management system.*

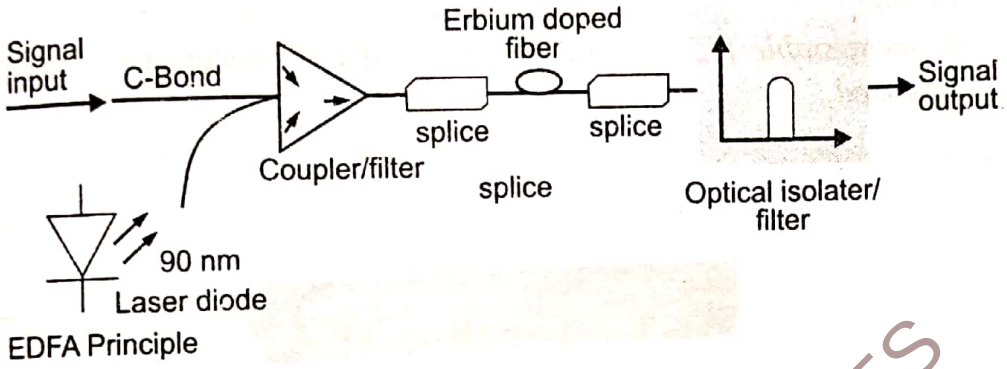
AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र 7A.4—Block Diagram of Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA)

Scanned with CamScanner

- ***EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) Principle:*** *EDFAs use a pump laser (980 nm or 1480 nm) to bring up electrons to a higher energy level. If signal amplification is achieved by emitted photons of the same signal wavelength with the help of stimulated emission.*

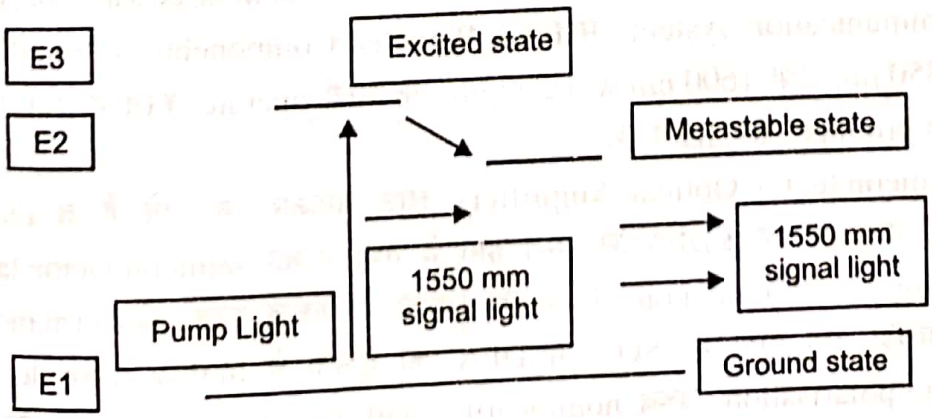


चित्र 7A.5

Wavelength	*C-Band and L-Band*
Amplification	*20–40 dB*
Output Power	*14–23 dBm*

- *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) EDFA avoids cross-gain saturation and provides amplification of individual channels in WDM systems.*
- *In silica fibers, spontaneous carrier lifetime is relatively long and this allows achieving high gain for a weak signal with low NF.*
- *Due to low NF the difference in signal-noise ratio at the input and output of the device under consideration:.*
- *This is the main reason why EDFAs are so popular in optical amplification field. EDFAs are also insensitive to polarization and have negligible noise for inter channel cross talk and has minimum coupling losses with requirement of lesser pump power.*

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र 7A.6—Energy Level Diagram of Er^{3+}

Scanned with CamScanner

- *EDFA allow high bit rate transmission over long distances. It has a broad peak with a lower centered at 1550nm and a narrow high gain peak at 1532 nm and owing to their versatility, high pumping efficiency, useful gain bandwidth and low intrinsic noise.*
- *Electrons from Ground state [E1] are excited to higher energy level [E3] by pump laser signal. Excited state [E3] is not stable and Er ions dropped to meta-stable [E2] via radiation less decay process i.e. no phonon is released.*



चित्र 7A.7—EDFA

§ 7A.3. सेमीकन्डक्टर ऑप्टिकल एम्प्लीफायर्स (Semiconductor Optical Amplifiers) :

इनमें प्रवर्धन हेतु semiconductors का use किया जाता है। इनकी संरचना Fabry-Perot Laser की भाँति होती है लेकिन इनमें end faces पर anti-reflection design होता है। आधुनिक डिजाइन संरचनाओं में antireflective coatings के साथ-साथ tilted waveguide तथा window regions होती हैं जिससे end face reflection की संभावना 0.01% से भी कम हो जाती है। चूँकि इसे cavity से power loss उत्पन्न होता है (जो कि gain से अधिक होता है), अत: amplifier laser की तरह कार्य नहीं करता। अन्य प्रकार के SOA's में दो क्षेत्र होते हैं, जिसमें पहला भाग में Fabry Perot Laser diode जैसी संरचना होती है तथा दूसरे में tapered geometry होती है जिससे output facet पर power density को कम किया जा सके।

SOA सामान्यत: Group III-V compound अर्द्धचालकों से बनाये जाते हैं जैसे कि GaAs/AlGaAs, InP/InGaAs, InP/InGaAsP तथा InP/InAlGaAs आदि। यह Amplifiers Telecommunication Systems में Fiber Pigtailed Components के रूप में प्रयुक्त होते हैं तथा 850 nm तथा 1600 nm wavelengths के मध्य operate करते हैं तथा 30 dB तक का gain produce कर सकते हैं।

Semiconductor Optical Amplifiers छोटे आकार के होते हैं व electrically pumped होते हैं। यह EDFA से सस्ते होते हैं तथा इनको semiconductor lasers तथा modulators के साथ integrate किया जा सकता है। किन्तु इनकी performance EDFA जितनी अच्छी नही होती है। SOA में DFA की तुलना में higher noise, lower gain, moderate polarisation, उच्च nonlinearity (with fast transient time) होते हैं। किन्तु SOA का मुख्य लाभ यह है कि इसमें सभी nonlinear operation (अर्थात् cross gain

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

modulation, cross phase modulation, wavelength conversion तथा four wave mixing) किये जा सकते हैं। इसके साथ-साथ SOA को low power laser से run किया जा सकता है।

Semiconductor Optical Amplifiers की उच्च optical nonlinearity के कारण सभी प्रकार की optical signal processing तथा wavelength conversions हेतु यह उपयुक्त होते हैं। इनको clock recovery, signal demultiplexing pattern recognition जैसे अनुप्रयोगों में भी use किया जाता है।

Parameters:

RA Wavelength range : 633 से 1430 nm
Input Power : 10 से 50 mW
Output Power : 3 W तक

Semiconductor Optical Amplifier

Semiconductor optical amplifiers (SOAs) are amplifiers which use a semiconductor to provide the gain medium. These amplifiers have a similar structure to Fabry-Pérot laser diodes but with anti-reflection design elements at the end faces. Recent designs include anti-reflective coatings and tilted wave guide and window regions which can reduce end face reflection to less than 0.001%. Since this creates a loss of power from the cavity which is greater than the gain, it prevents the amplifier from acting as a laser. Another type of SOA consists of two regions. One part has a structure of a Fabry-Pérot laser diode and the other has a tapered geometry in order to reduce the power density on the output facet.

- *Semiconductor optical amplifiers are typically made from group III-V compound semiconductors such as GaAs/AlGaAs, InP/InGaAs, InP/InGaAsP and InP/InAlGaAs, though any direct band gap semiconductors such as II-VI could conceivably be used.*
- *Such amplifiers are often used in telecommunication systems in the form of fiber-pigtailed components, operating at signal wavelengths between 850 nm and 1600 nm and generating gains of up to 30 dB.*
- *Semiconductor optical amplifier is of small size and electrically pumped.*
- *Can be potentially less expensive than the EDFA and can be integrated with semiconductor lasers, modulators, etc.*
- *However, the performance is still not comparable with the EDFA. The SOA has higher noise, lower gain, moderate polarization dependence and high nonlinearity with fast transient time.*
- *Main advantage of SOA is that all four types of nonlinear operations (cross gain modulation, cross phase modulation, wavelength conversion and four wave mixing) can be conducted.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

- *SOA can be run with a low power laser.*
- *Originates from the short nanosecond or less upper state lifetime, so that the gain reacts rapidly to changes of pump or signal power and the changes of gain also cause phase changes which can distort the signals.*
- *This nonlinearity presents the most severe problem for optical communication applications. However it provides the possibility for gain in different wavelength regions from the EDFA. Linear optical amplifiers using gain-clamping techniques have been developed.*
- *High optical nonlinearity makes semiconductor amplifiers attractive for all optical signal processing like all-optical switching and wavelength conversion.*
- *There has been much research on semiconductor optical amplifiers as elements for optical signal processing, wavelength conversion, clock recovery, signal demultiplexing, and pattern recognition.*
- *A recent addition to the SOA family is the vertical-cavity SOA (VCSOA). These devices are similar in structure to, and share many features with, vertical-cavity surface-emitting lasers (VCSELs).*
- *The major difference when comparing VCSOAs and VCSELs is the reduced mirror reflectivity used in the amplifier cavity.*
- *With VCSOAs, reduced feedback is necessary to prevent the device from reaching lasing threshold.*
- *Due to the extremely short cavity length, and correspondingly thin gain medium, these devices exhibit very low single-pass gain (typically on the order of a few percent) and also a very large free spectral range (FSR).*
- *The small single-pass gain requires relatively high mirror reflectivity to boost the total signal gain.*
- *In addition to boosting the total signal gain, the use of the resonant cavity structure results in a very narrow gain bandwidth; coupled with the large FSR of the optical cavity, this effectively limits operation of the VCSOA to single-channel amplification. Thus, VCSOAs can be seen as amplifying filters.*

Tapered Amplifiers

- *For high output power and broader wavelength range, tapered amplifiers are used.*
- *Consist of a lateral single-mode section and a section with a tapered structure, where the laser light is amplified.*
- *Tapered structure leads to a reduction of the power density at the output facet.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

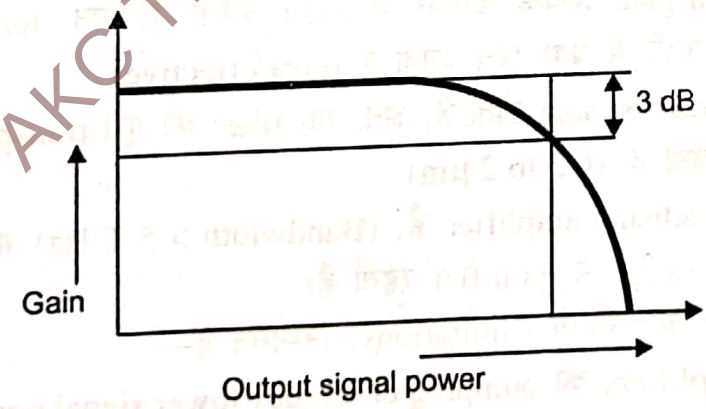
Typical Parameters

- *Wavelength range : 633 to 1480 nm*
- *Input power : 10 to 50 mW*
- *Output power : up to 3 W*

Semiconductor Optical Amplifiers (SOA): *A semiconductor optical amplifier is based on a semiconductor gain medium. SOAs are typically constructed in a small package and they work for 1310 nm and 1550 nm systems.*

- *Gain of an SOA is influenced by the input signal power and the internal noise generated by the amplification process so the output signal power increases the gain decreases.*
- *SOA accepts a wide range of input power and delivers constant output power because it has short carrier lifetime of about several tenths to several hundreds of picoseconds compared to several hundred microseconds to several milliseconds in EDFA's, means the SOA has fast gain dynamics.*
- *This saturation of gain can cause significant distortion in signal, which becomes more severe as the modulated signal bandwidth increases.*
- *These effects are even more in multichannel systems where the saturation gain leads to inter-channel crosstalk*
- *SOA is very important in novel optical system, so the gain and noise performances are relevant in all linear and nonlinear regimes.*

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र 7A.8—Typical SOA Gain versus Output Signal Power

§ 7A.4. रमन एम्प्लीफायर्स (Raman Amplifiers) :

Raman Amplifiers में सिगनल को Raman Amplification द्वारा प्रवर्धित किया जाता है। इसमें optical fiber के भीतर signal तथा pump laser के मध्य nonlinear interaction द्वारा प्रवर्धन किया जाता है। Raman Amplifiers दो प्रकार के होते हैं—distributed

Scanned with CamScanner

(वितरित) तथा lumped. Distributed Raman amplifier में pump wavelength तथा signal wavelength को multiplex करने हेतु transmission fiber को gain medium के रूप में प्रयुक्त किया जाता है जबकि lumped Raman Amplifier में gain उत्पन्न करने हेतु dedicated तथा shorter length का fiber use किया जाता है। Lumped Raman Amplifier में एक small core वाले उच्च nonlinear fiber को use करके signal तथा pump wavelength के मध्य Interaction को बढ़ाया जाता है और इस प्रकार कम लम्बाई के fiber की आवश्यकता पड़ती है।

Pump light को transmission fiber में सिगनल की समान दिशा में couple किया जा सकता है (co-directional pumping) या विपरीत दिशा में किया जा सकता है (contra-directional pumping)।

Contradirectional pumping में noise का प्रभाव होने के कारण इसका use अधिक होता है। रमन प्रवर्धन हेतु आवश्यक pump power EDFA की तुलना में अधिक होती है।

Raman amplification का मुख्य लाभ यह होता है कि इसमें transmission fiber के भीतर distributed amplification संभव होता है जिससे amplifier व regeneration sites के मध्य spans की लम्बाई अधिक रखी जा सकती है। Raman amplifiers की amplification bandwidth प्रयुक्त pump wavelengths द्वारा निर्धारित होती है जबकि अन्य optical amplifiers में amplification window dopants व device design द्वारा निर्धारित होती है। अत: इसमें wider तथा different regions में amplification किया जा सकता है।

रमन amplifiers के मुख्य लाभ हैं—

- चूँकि Raman gain प्रत्येक फाइबर में exist करती है, अत: terminal ends से upgrading करने में कम खर्च आता है (cost effective)
- चूँकि gain non resonant होती है, अत: यह fiber की पूरी transparency region में उपलब्ध रहती है, (0.3 to 2 μm)
- यह एक Broadband amplifier है, (Bandwidth > 5 T Hz) तथा काफी लम्बी wavelength range में gain flat रहती है।

रमन Amplifier की सीमायें (limitations) निम्नवत हैं—

- Raman Amplifiers की pumping efficiency lower signal power पर EDFA की तुलना में खराब होती है (हालांकि इससे Raman amplifiers में Gain clamping आसान हो जाती है)।
- Raman Amplifier में longer gain fiber की आवश्यकता होती है (इसके लिये single fiber में gain व dispersion combination को combine करके इसे दूर किया जा सकता है।
- Fast response time के कारण noise उत्पन्न होती है।
- WDM signals channels हेतु nonlinear penalty concerns भी रमन प्रवर्धन designers हेतु प्रमुख issue हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Raman Amplifier

In a Raman amplifier, the signal is intensified by Raman amplification. Unlike the EDFA and SOA the amplification effect is achieved by a nonlinear interaction between the signal and a pump laser within an optical fiber. There are two types of Raman amplifier distributed and lumped.

A distributed Raman amplifier is one in which the transmission fiber is utilised as the gain medium by multiplexing a pump wavelength with signal wavelength, while a lumped Raman amplifier utilises a dedicated, shorter length of fiber to provide amplification. In the case of a lumped Raman amplifier, a highly nonlinear fiber with a small core is utilised to increase the interaction between signal and pump wavelengths, and thereby reduce the length of fiber required.

The pump light may be coupled into the transmission fiber in the same direction as the signal (co-directional pumping), in the opposite direction (contra-directional pumping) or both. Contra-directional pumping is more common as the transfer of noise from the pump to the signal is reduced.

- *Pump power required for Raman amplification is higher than that required by the EDFA, with in excess of 500 mW being required to achieve useful levels of gain in a distributed amplifier.*
- *Lumped amplifiers, where the pump light can be safely contained to avoid safety implications of high optical powers, may use over 1 W of optical power.*
- *Principal advantage of Raman amplification is its ability to provide distributed amplification within the transmission fiber, thereby increasing the length of spans between amplifier and regeneration sites.*
- *Amplification bandwidth of Raman amplifiers is defined by the pump wavelengths utilised and so amplification can be provided over wider, and different, regions than may be possible with other amplifier types which rely on dopants and device design to define the amplification window.*
- *Raman amplifiers have some fundamental advantages:*
- *Raman gain exists in every fiber, which provides a cost-effective means of upgrading from the terminal ends.*
- *Gain is nonresonant, which means that gain is available over the entire transparency region of the fiber ranging from approximately 0.3 to 2 μm.*
- *Gain spectrum can be tailored by adjusting the pump wavelengths.*
- *However, there a number of limitations for Raman amplifiers*
- *Relatively poor pumping efficiency at lower signal powers. Although a disadvantage, this lack of pump efficiency also makes gain clamping easier in Raman amplifiers.*
- *Require a longer gain fiber. However, this disadvantage can be mitigated by combining gain and the dispersion compensation in a single fiber.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

- *Fast response time, which gives rise to new sources of noise*
- *Concerns of nonlinear penalty in the amplifier for the WDM signal channels.*

Raman Amplifier

- *In a Raman amplifier, the signal is amplified by a process called stimulated Raman scattering (SRS), in which light is scattered by atoms from a lower wavelength to a higher wavelength.*
- *When sufficient pump power is present at a lower wavelength, stimulated scattering can happen in which a signal with a higher wavelength is amplified by Raman scattering from the pump signal.*
- *SRS is a nonlinear interaction between the signal (higher wavelength) and the pump (lower wavelength) and can take place within any optical fiber.*
- *Efficiency of the SRS process is low in most fibers, meaning that high pump power (typically > 1 W) is required to obtain useful signal gain, so in most cases*
- *Raman amplifiers cannot compete effectively with EDFAs.*
- *Main advantage of Raman amplifier is that its gain spectrum is very wide (upto 10 nm), and its shape can be changed by varying the number of pumps and their pump wavelengths and it also has relatively low NF making it more efficient.*
- *These two aspects make Raman amplifiers the main component of optical systems, as they can be used to broadening and equalizing the gain spectrum of a particular amplifier, with addition of very little noise to the amplified signal.*
- *They can be combined with EDFAs to expand optical gain flattened bandwidth.*
- *Disadvantages of Raman amplifiers are the pumping efficiency at lower signal power is poor, and the use of costly high power lasers capable of delivering great powers into singlemode fibers.*
- *Raman amplifiers or RAs are also preferable due to negligible noise, negligible coupling loss and inter-channel cross talk makes more efficient for DWDM.*
- *Basically two types of Raman amplifiers as given below: Distributed Raman amplifier (DRA) is one in which the transmission fiber is utilized as the gain medium by multiplexing a pump wavelength with signal wavelength and generally length of fiber is longer (~ 100 km). Discrete Raman amplifier utilizes a dedicated, shorter length of fiber (~ 20 km) to provide amplification, reason for reduced length is highly non linear fiber with a small core is used to increase the interaction between signal and pump wavelengths.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Optical Parametric Amplifier

- *An optical parametric amplifier allows the amplification of a weak signal-impulse in a noncentrosymmetric nonlinear medium (e.g. Beta barium borate (BBO)).*
- *In contrast to the previously mentioned amplifiers, which are mostly used in telecommunication environments, this type finds its main application in expanding the frequency tunability of ultrafast solid-state lasers (e.g. Ti:sapphire).*
- *By using a noncollinear interaction geometry optical parametric amplifiers are capable of extremely broad amplification bandwidths.*

The adoption of high power fiber lasers as an industrial material processing tool has been ongoing for several years and is now expanding into other markets including the medical and scientific markets

§ 7A.1. Comparison of SOA, EDFA and Raman Amplifiers :

Characteristics	*Doped-Fiber Amplifier*	*Raman Amplifier*
Amplification Band	*Dopend on dopant*	*Depending on availability of pump wavelength*
Amplification Bandwidth	*20 nm, more for multiple dopants/fiber 48 nm, more for multiple pump waves*	*Fibers 48 nm, more for multiple pump waves*
Gain	*20 dB or more, depending on ion concentration, fiber length, and pump configuration*	*4-11 dB, proportional to pump intensity and effective fiber length*
Saturation Power	*Depends on doping, gain cross section, pump direction and exited-state lifetime*	*Equals about power of pump waves*
Pump Power	*Threshold depends on doping. Typically 10-20 mW minimum is required*	*Gain (dB) is proportional to pump intensity. Tens of mw are typically used a few dB gain.*
Pump Wavelength	*980 nm or 1480 nm for EDFAs*	*100 nm lower then signal wavelength at peak gain*
Noise Figure	*Between 3.5 dB and 6 dB, depending on input losses, amplification wavelength, and pump wavelength. 980 nm pumping is preferable over 1480 nm pumping for low-noise performance*	*From 3.6 dB upward, depending on the separation of signal and pump wavelengths. However, if the amplification occurs within the transmission fiber the effective noise figure can be negative.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Characteristics	Doped-Fiber Amplifier	Raman Amplifier
Other Noise Factors	Any losses at the amplifier input will add to the noise figure	Pump noise can be transferred to the signal for co-propagating pumps Rayleigh scattering can be also increase noise.
Crosstalk between WDM channels	Very low due to lifetime of upper state	Strong, due to ps lifetime of upper state, unless bits of channel 'walk-through' one another due to fiber dispersion.

Property	EDFA	Raman	SOA
Gain (dB)	> 40	> 25	> 30
Wavelength (nm)	1530-1560	1280-1650	1280-1650
Bandwidth (3 dB)	30-60	Pump dependent	60
Max. Saturation (dBm)	22	0.75 × pump	18
Polarization Sensitivity	No	No	Yes
Noise Figure (dB)	5	5	8
Pump Power	25 dBm	> 30 dBm	< 400 mA
Time Constant	10^{-2} s	10^{-15} s	2×10^{-9}
Size	Rack mounted	Bulk module	Compact
Switchable	No	No	Yes
Cost Factor	Medium	High	Low

AKC TECHNICAL CLASSES

Applications (EDFA)

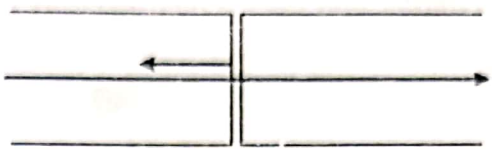
Semiconductor Optical Amplifier (SOA) vs. EDFA

SOA	EDFA
High gain (20 dB)	Even high gain available (30 dB-40 dB)
Polarization dependent-PMF required	Polarization independent
High coupling loss, semiconductor to fiber	Very low coupling loss, all-fiber device
High noise figure	Low noise figure
Crosstalk in WDM system	WDM compatible simultaneous amplification
Compact size, and easy integration	Bulky, long fibers up to few m or km ASE, amplified spontaneous emission
Broad operation wavelength (400 nm to 2000 nm)	C + L band only

Scanned with CamScanner

Reflectance

Reflectance or optical return loss (which has also been called "back reflection") of a connection is the amount of light that is reflected back up the fiber toward the source by light reflections off the interface of the polished end surface of the mated connectors and air. It is also called Fresnel reflection and is caused by the light going through the change in index of refraction at the interface between the fiber (n = ~1.5) and air (n = ~1). Reflectance is primarily a problem with connectors but may also affect mechanical splices which contain an index matching gel to prevent reflectance.



चित्र 7A.9

Connectors have different ferrule end finishes to reduce reflectance as well as loss. Mechanical splices have index matching gel to prevent reflections. Properly made fusion splices will have no reflectance; a reflectance peak indicates incomplete fusion or inclusion of an air bubble or other impurity in the splice.

Reflectance is one component of the connector's loss, representing about 0.4 dB loss for a non-contact or air-gap connector where the two fibers do not make contact. This is more a problem with singlemode systems. Several schemes have been used to reduce reflectance, mainly using a convex physical contact (PC) polish on the end of the connector ferrule, which reduces the Fresnel reflection and reduces reflectance.

Reflectance is defined by the amount of light reflected compared to the power of the light being transmitted down the fiber. Thus a 1% reflectance is –20 dB,

AKC TECHNICAL CLASSES

Measuring Reflectance

There are two ways to measure reflectance. One method uses a source and power meter with some accessories or an instrument called an OCWR or optical CW reflectometer, while the other method uses an optical time domain reflectometer or OTDR.

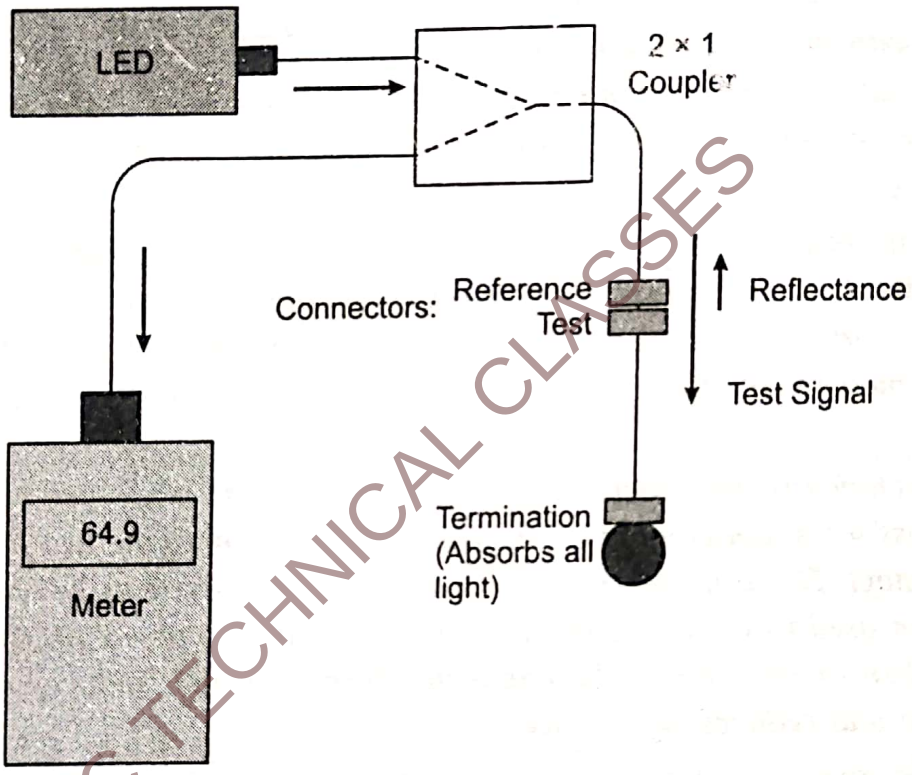
Typical reflectance measurements require a large dynamic range, since reflectance is small for most current types of connectors

Connector Type	Typical Reflectance
Flat with air gap	–20 dB
Physical Contact (PC)	–30 to –40 dB
Ultra PC	–40 to –60 dB
APC (angled)	–60 dB or more

Scanned with CamScanner

OCWR Testing

This test using a light source and power meter) is typically used for terminated patch cords when the loss and reflectance values are required specifications. The method sends light from a source through a coupler to the connection being tested. (Typically consist of a reference connector which is used to mate to the connector under test). The light reflected from that connection is split by the coupler and part is measured by the power meter.



चित्र 7A.10

AKC TECHNICAL CLASSES

Calculate the reflectance or return loss, using the magnitude of the test signal and the split ratio of the coupler, including the excess loss of the coupler. There are two ways often used to "terminate" or reduce the reflectance from the rest of the cable under test. One method is to use an "optical termination" at the end connector, typically done by inserting the end of the connector ferrule into an index matching gel or liquid. The index matching gel used for mechanical splices works well, but mineral oil or alcohol works too. After the test, of course, the connector ferrule needs careful cleaning with pure isopropyl alcohol.

The other method to use for singlemode fiber is to use a very tight mandrel wrap - about 10 turns on a 1/4" or 6 mm mandrel. This should attenuate the signal enough that the reflections from additional components will be minimized. (Remember the light will be attenuated in both directions, so if you introduce a 32 dB loss, the total loss will be 64 dB.) This method only works on singlemode fiber

Scanned with CamScanner

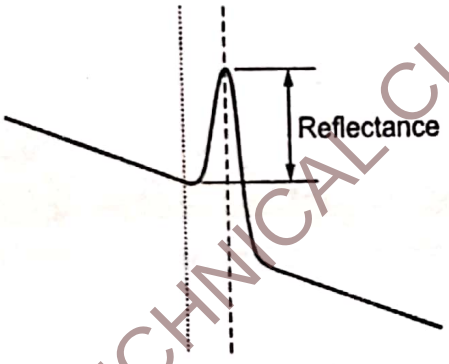
First determine the power level of the test source. It needs to be fairly powerful if you expect to measure low reflectance. Attach a power meter to the test connector and measure the power level.

Next terminate the test connector and determine the "noise floor" for the measurement which can include contributions from the coupler and any other devices in the test setup.

Now attach device to test to the reference connector. Terminate the far end using either index matching gel or the mandrel wrap method

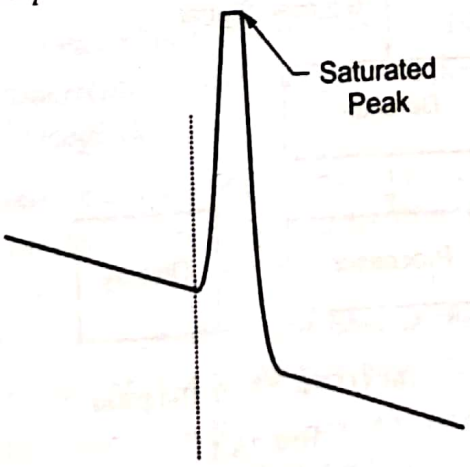
Reflectance Testing by OTDR

The OTDR measures the amount of light that's returned from both backscatter in the fiber and reflected from a connector or splice. The amount of light reflected is determined by the differences in the index of refraction of the two fibers joined, a function of the composition of the glass in the fiber, or any air in the gap between the fibers, common with terminations and mechanical splices.



चित्र 7A.11

In an OTDR, the peak that identifies a reflective event is measured and reflectance calculated. Higher peaks indicate higher reflectance. In order to measure reflectance, the peak must not saturate the OTDR receiver, indicated by a flat-topped reflectance peak.



चित्र 7A.12

AKC TECHNICAL CLASSES

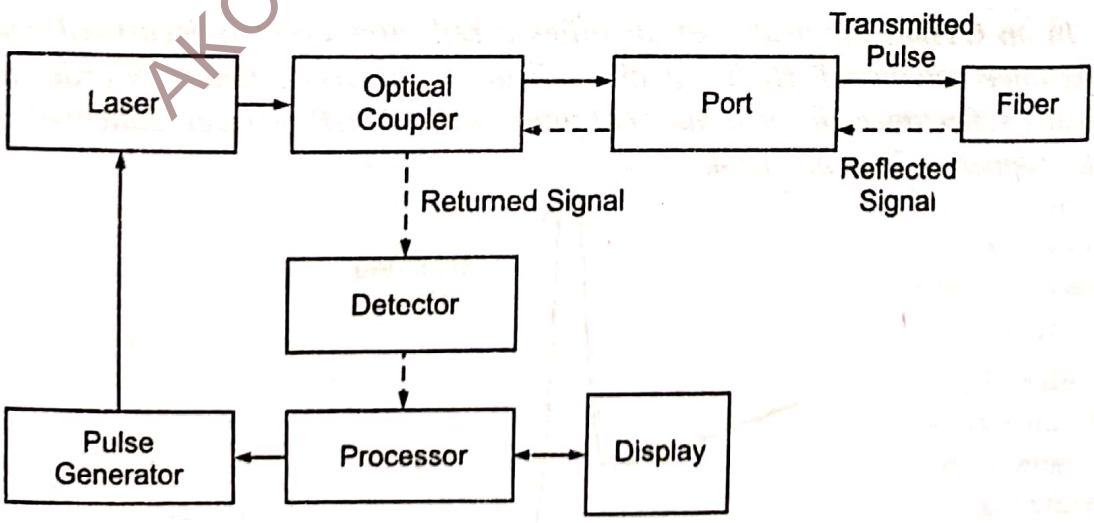
Scanned with CamScanner

What is OTDR

An Optical Time Domain Reflector (OTDR) is used in fiber optics to measure the time and intensity of the light reflected on an optical fiber. More to the point, it is used as a troubleshooting device to find faults, splices, and bends in fiber optic cables, with an eye toward identifying light loss. Light loss is especially important in fiber optic cables because it can interfere with transmission of data. An OTDR can detect such light loss and pinpoint trouble areas, making repairs easy. The more quickly trouble areas are identified and addressed, the less your fiber optic network will suffer from data transfer problems.



(a) OTDR



(b) OTDR Block Diagram

चित्र 7A.13

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

The physical description of an OTDR most closely resembles a sort of handheld price scanner with cables attached. The user connects the cables to an optical fiber, in the same way that two drivers will connect vehicle batteries with jumper cables, and then reset the OTDR settings for whatever parameters are being used in the specific test. A typical OTDR test can take anywhere from ten seconds to three minutes.

An OTDR takes advantage of the scattering of light in the optic fiber to make its measurements. The OTDR emits a high power pulse that hits the fiber and bounces back. What comes back is measured, factoring in time and distance, and the results is "trouble spots", which radiate and can be targeted for repair. In general, the data take the form of wave, with trouble spots clearly visible as aberrations in the wave.

When a low-loss and permanent fiber connection is needed, the preferred joining method is a splice. The goal of a splice is to accurately join two fiber ends while providing negligible interruption to the flow of optical energy. Splices have low loss, typically 0.05 to 0.2 dB, versus 0.2 to 0.7 dB for connectors.

AKG TECHNICAL CLASSES

Do You Know:

What is the Difference Between "Fibre" and "Fiber"?

- *"Fiber" and "fibre" are alternate spellings of the same word, referring to a thread of filament from which a textile is formed. The word is derived from the Latin word fibra, via the French word fibre, both of the same meaning. Both "fiber" and "fibre" have been used in the English language since the late 1300s, though at that time they were primarily used to describe entrails (literally "thread-like structures in animal bodies").*
- *There is no difference in meaning between **fiber** and **fibre**. Fiber is the preferred spelling in American English, and fibre is preferred in all the other main varieties of English.*
- *Fibre is the French spelling of the word from which the English word is derived, so it was promoted as the standard spelling despite its being unphonetic.*
- *Fibre is the British/Canadian spelling and fiber is the American (and generally rest of the world) spelling, like tyre and tire.*
- *Simply speaking the difference is in British and American English:Fiber is American English while Fibre is British english.*

Scanned with CamScanner

प्रश्नावली–7A

(i) What is an optical amplifiers? Explain the types of optical amplifiers?

(ii) What are semiconductor and optical fiber amplifiers?

(iii) What is SOA? Explain the operating principle and types of SOA.

(iv) Explain EDFA with the help of suitable diagram.

(v) What is Raman Amplifier? Explain in detail.

(vi) Give a detailed comparison of SOA, EDFA and Raman Amplifiers.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

8 ऑप्टिकल फाइबर के ट्रांसमिशन अभिलक्षण
(TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF OPTICAL FIBERS)

THINK ABOUT IT

Your worst enemy cannot harm you as much as your own unguarded thoughts
— Gautama Buddha

When things go wrong as they sometimes will,
When the road you're trudging seems all up hill,
When the funds are low and the debts are high
And you want to smile, but you have to sigh,
When care is pressing you down a bit,
Rest if you must, but don't you quit.
Life is queer with its twists and turns,
As every one of us sometimes learns,
And many a failure turns about
When he might have won had he stuck it out;
Don't give up though the pace seems slow-
You may succeed with another blow,
Success is failure turned inside out-
The silver tint of the clouds of doubt,
And you never can tell how close you are,
It may be near when it seems so far;
So stick to the fight when you're hardest hit-
It's when things seem worst that you must not quit — Edgar

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 8.1. परिचय (Introduction) :

"ऑप्टिकल फाइबर कम्यूनिकेशन वह विधि है जिसके द्वारा सूचना को ऑप्टिकल कैरियर तरंगों की सहायता से एक स्थान से दूसरे पर भेजा जाता है।"

"Optical fiber communication is a mode of communication by which we can transfer the information from one place to another through optical carrier waves."

Scanned with CamScanner

सिगलन क्षीणन (Signal attenuation) (जिसको कि fiber loss या Signal loss) भी कहा जाता है, ऑपटिकल फाइबर का एक मुख्य अभिलक्षण है तथा इसी से दो रिपीटरों के मध्य दूरी का निर्धारण होता हैा अर्थात यदि fiber में losses कम होंगे तो रिपीटर्स के मध्य ज्यादा दूरी रखी जा सकती है किन्तु यदि fiber losses ज्यादा होंगे तो repeaters को पास-पास स्थापित करना होगा यानि repeater distance कम हो जायेगी।

इसी प्रकार transmitter तथा receiver के मध्य repeater less transmission (बिना रिपीटर के ट्रांसमिशन) की अधिकतम दूरी भी fiber loss से ही निर्धारित होती है। चूँकि repeaters को fabricate (निर्माण) करना, install करना तथा maintain करना एक महंगा कार्य है, अत: fiber में होने वाले क्षीणन सिस्टम की cost (लागत) पर अच्छा-खासा प्रभाव डालते हैं।

सिगनल विरुपण भी उतना ही महत्व रखता है। Fiber में होने वाले distortion से fiber में यात्रा करते समय optical signal pulses चौड़ी (broaden) होने लगती हैा यदि pulses को अधिक दूरी तक यात्रा करनी हो तो pulses के broad (चौड़ा) हो जाने के कारण यह पड़ोसी pulses से overlap करने लगती हैं जिससे receiver की आउटपुट पर errors (त्रुटियाँ) उत्पन्न हो जाती हैं। अत: सिगनल में होने वाले distortions fiber की information carrying capacity (सूचना को ले जाने की क्षमता) को सीमित कर देते हैं।

Important properties that affect system performance are:

- Fiber attenuation (क्षीणन)
- Dispersion

In addition to fiber attenuation and dispersion, other optical properites are there which can affect the system performance such as

- Modal noise
- pulse broadening (ऑप्टिकल pulses का चौड़ा हो जाना)
- polarization (ध्रुवीकरण)

They can reduce the system performance.

क्षीणन (Attenuation)—ऑपटीकल फाइबर में सिगनल के क्षीणन को decibel में व्यक्त किया जाता है।

$$\text{Attenuation is decibels (dB)} = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_o}$$

- **Signal attenuation** is defined as the ratio of optical input power to the optical output power (P_o).
- **Optical input power** is the power injected into the fiber from optical source. (स्रोत द्वारा प्रदन्त optical power)
- **Optical output power** is the power received at the fiber end optical detector. (डिटैक्टर द्वारा प्राप्त की गई optical power)

अत: P_i = Input Power

P_o = Output Power

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

अत:, decibels द्वारा Input व output power (किसी विशेष wavelength पर) की तुलना की जा सकती है। logarithmic unit का यह फायदा होता है कि multiplication तथा division operation क्रमश: addition व subtraction में बदल जाते हैं जबकि powers तथा roots operations क्रमश: multiplication व division में बदल जाते हैं।

ऑपटीकल फाइबर संचार में attenuation को decibel per unit length में व्यक्त किया जाता है (dB/km)—

$$\alpha_{dB} L = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_o}$$

जहाँ α_{dB} = signal attenuation per unit length

L = Fiber length किलोमीटर्स में)

अवशोषण (Absorption)—ऑपटिकल फाइबर में अवशोषण कई कारणों से होता है—

(i) Atomic defects in glass composition (ग्लास की बनावट में विसंगतियाँ)

(ii) Extrinsic absorption by impurity atoms in the glass material (ग्लास में अशुद्धि परमाणुओं द्वारा अवशोषण)

(iii) Intrinsic absorption by the basic constituent atoms of the fibre material. (फाइबर के पदार्थ द्वारा किया गया अवशोषण)

Atomic defects का तात्पर्य फाइबर पदार्थ की परमाणु संरचना की imperfections (विसंगतियों) से है उदाहरणत: missing molecules, group atoms के high density clusters, glass structure के oxygen defects इत्यादि। सामान्यत:, इन defects से होने वाले अवशोषण losses intrinsic एवं impurity अवशोषण प्रभावों की तुलना में नगण्य होते हैं।

विचार प्रश्न

(i) Optical fibers में अवशोषण का मुख्य कारण क्या है।

(ii) Optical fiber में attenuation किस unit में व्यक्त किया जाता है?

(iii) Attenuation व absorption में क्या अन्तर है?

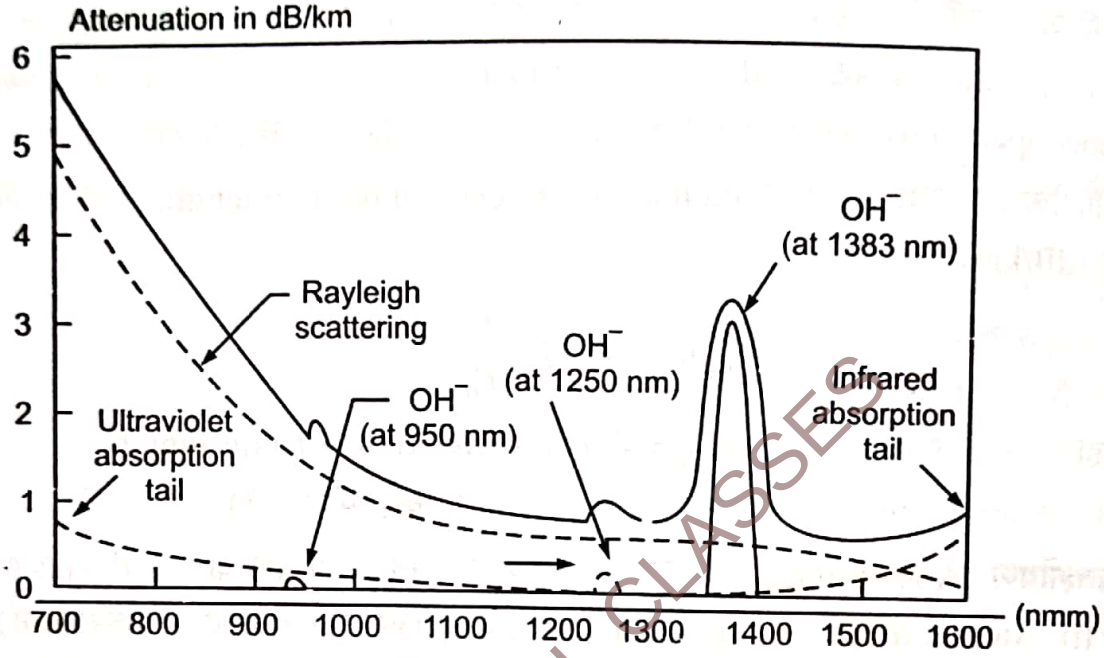
Attenuation—*Attenuation in an optical fiber is caused by absorpition, scattering, and bending losses. Attenuation is the loss of optical power as light travels along the fiber अर्थात् optical फाइबर में यात्रा करते समय optical power का क्षीण होना attenuation कहलाता है। Signal attenuation is defined as the ratio of optical input power (P_i) to the optical output power (P_o) (generally in dB/km). Optical input power is the power injected into the fiber from an optical source. Optical output power is the power received at the fiber end or optical detector.*

Intrinsic Absorption—Intrinsic अवशोषण फाइबर के पदार्थ के गुणों के कारण होता है तथा यह न्यूनतम अवशोषण होता है जो कि किसी फाइबर में होता है अर्थात् यदि फाइबर बिल्कुल Pure glass के fiber उपयोग किये जाते हैं तो इनमें Intrinsic absorption कम होता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Silica glass में प्रयुक्त wavelength 700 nm तथा 1600 nm के बीच में होती है। चित्र 8.1 में इन wavelength पर Absorption दिखाया गया है।



चित्र 8.1—फाइबर losses

अत: silica glass की operating wavelength दो intrinsic absorption क्षेत्रों (ultraviolet से कम अर्थात् 400 nm से कम, infrared अर्थात् 2000 nm से अधिक) के मध्य होती है।

फाइबर के operating wavelength इन दो operating regions के बीच होती है।

Ultraviolet region में Intrinsic Absorption electronic absorption bands (इलैक्ट्रोनिक अवशोषण बैण्ड) के कारण होता है।

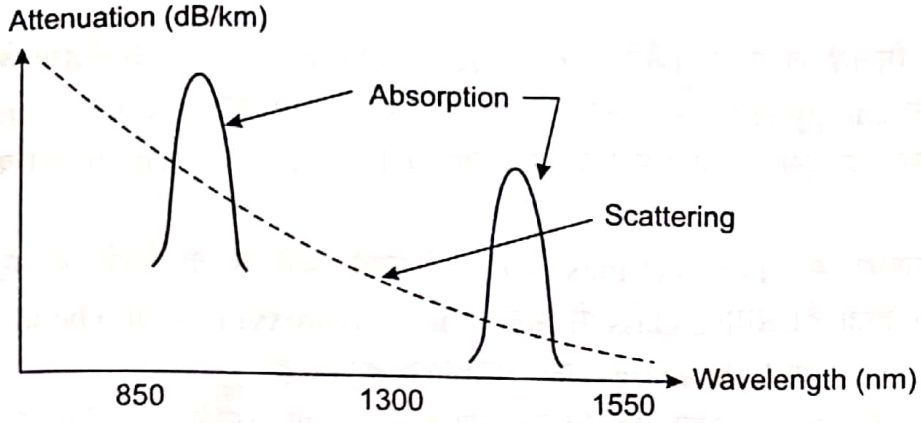
जब कोई Photon किसी electron से intrect करता है तो उसको higher energy level पर excite (उत्तेजित) कर देता है जिसको चित्र 18.5 में दिखाया गया है।

Infrared absorption में Intrinsic Absorption का मुख्य कारण atomic bonds की characteristic vibration frequency (atomic बन्धों की अभिलाक्षणिक कंपन आवृत्ति) होती है। Silica glass में Absorption (अवशोषण) Silicon-oxygen bonds के कारण होती है। Vibrating bond तथा optical signal के electromagnetic field के मध्य होने वाले Interaction (अंतर्संबंधों) के कारण Intrinsic Absorption होता है जिससे light energy electromagnetic field से bond को Transfer हो जाती है।

***Absorption** is a process of conversion of electromagnetic wave energy into other forms of energy (i.e., lattice vibration)* अर्थात् वैद्युत चुम्बकीय ऊर्जा (OFC में प्रकाश ऊर्जा) का ऊर्जा के दूसरे रूपों में convert हो जाना absorption कहलाता है)।

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 8.1(b)

Intrinsic silica glass absorption occurs in both ultraviolet and infrared bands. Infrared absorption tail causes attenation for the wavelengths longer than 1·6 μm.

Another problem is connected with impurity absorption losses extrinsic. Today, the most important impurity in optical fibers is water in the form of hydroxyl ions (OH^-). Prominent OH^- losses occur at 950, 1250 and 1380 nm.

For silica fiber, the lowest losses of about 0·18 dB/km can be obtained in the region of 1550 nm. They are very close to the fundamental scattering limit. For longer wavelengths, silica attenuation is increasing. In order to obtain fiber with lower losses than silica waveguides, it is necessary to implement different materials with low intrinsic absorption in a more far infrared region.

Intrinsic absorption in the ultraviolet region is caused by electronic absorption bands. Basically, absorption occurs when a photon interacts with an electron and excites it to a higher energy level.

The main cause of intrinsic absorption in the infrared region is the characteristic vibration frequency of atomic bonds. In SiO_2 glass, absorption caused by the vibrating bond and the electromagnetic field of the optical signal causes intrinsic absorption. Light energy is transferred from the electromagnetic field to the bond.

Intrinsic absorption is caused by basic fiber-material properties. If an optical fiber were absolutely pure, with no imperfections or impurities, then all absorption would be intrinsic. Intrinsic absorption sets the minimal level of absorption.

In fiber optics, fibers are used predominately. Silica fibers are used because of their low intrinsic material absorption at the operating wavelengths.

In silica glass, the wavelengths of operation range from 700 nm to 1600 nm. This wavelength of operation is between two intrinsic absorption regions. The first region is the ultraviolet region (below 400-nm wavelength). The second region is the infrared region (above 2000-nm wavelength).

Extrinsic Absorption—फाइबर में मौजूद अशुद्धियों के कारण Extrinsic Absorption होता है। फाइबर को बनाते समय (During fabrication) बहुत कम मात्रा में (In traces) metal

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

impurities मिलाई जाती है। (जैसे—Iron, nickel, chromium) इन अशुद्धियों के metal ions के एक energy level से दूसरे energy level पर होने वाले electronic transition (एक ऊर्जा स्तर से दूसरे ऊर्जा स्तर तक आना जाना) Extrinsic Absorption का कारण बन जाते हैं।

यदि फाइबर में Hydroxyl ions (OH^-) मिलाये जाते हैं तो इनसे भी Extrinsic Absorption होता है। Silica glass में पानी silicon-hydroxyl (Si–OH) bond बनाता है जो कि 2700 nm पर light energy का अवशोषण करता है।

इसके harmonics (मूल आवृत्ति के गुणक) पर भी अवशोषण होता है तथा इन harmonics के कारण 1383 nm, 1250 nm or 950 nm पर extrinsic absorption होता है। चित्र 8.14 में इन तीनों harmonics पर अवशोषण दिखाया गया है।

यह Absorption Peak (अवशोषण शिखर) operation के तीन क्षेत्र जिनको windows कहा जाता है, का निर्धारण करते हैं। पहली window 850 nm पर centered (केन्द्रीत) होती है। दूसरी window 1300 nm पर centered होती है, जबकि तीसरी window 1550 nm पर centered होती है। Fiber optics system का operation इन तीन में से किसी एक windows पर होता है। फाइबर में water impurities (OH^-) few parts per billion (10^{-9}) से कम होना चाहिए less than चूँकि अधिक impurities से Extrinsic Absorption अधिक हो जाता है।

Extrinsic absorption occurs when (OH^-) are introduced into the fiber. Water in silica glass forms a silicon-hydroxyl (Si-OH) bond. These bonds have a fundamental absorption at 2700 nm. However, the harmonics of the fundamental absorption occur in the region of operation. These harmonics increase extrinsic absorption at 1383 nm, 1250 nm, and 950 nm.

The amount of water (OH^-) impurities present in a fiber should be less than a few parts per billion ($1 : 10^9$). Fiber attenuation caused by extrinsic absorption is affected by the level of impurities (OH^-) present in the fiber. If the amount of impurities in a fiber is reduced, then fiber attenuation is obviously reduced.

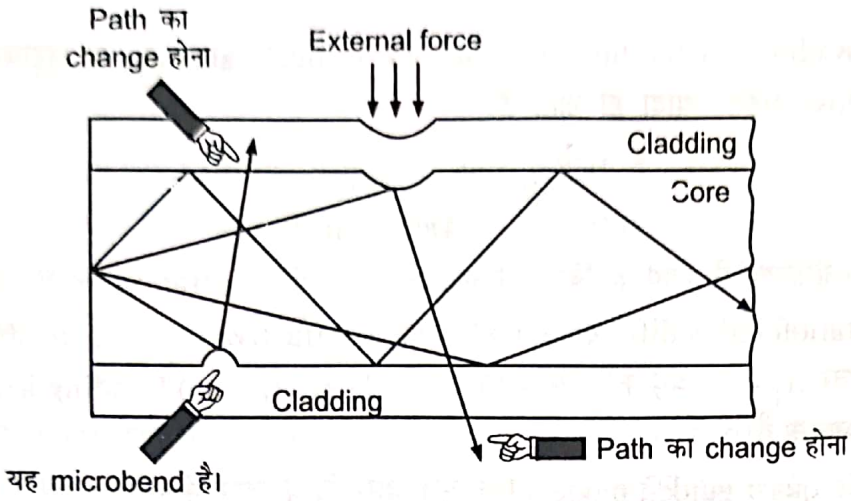
Bending Losses—Bending Losses तब होते हैं जब फाइबर में कोई bend (या मोड़) आता है या curve आता है। Bending से फाइबर में losses होते हैं और signal का attenuation (क्षीणन) होता है। Bend के radius के अनुसार (वक्रता के अनुसार) Bending losses दो प्रकार के होते हैं—

(1) Micro bend
(2) Macro bend

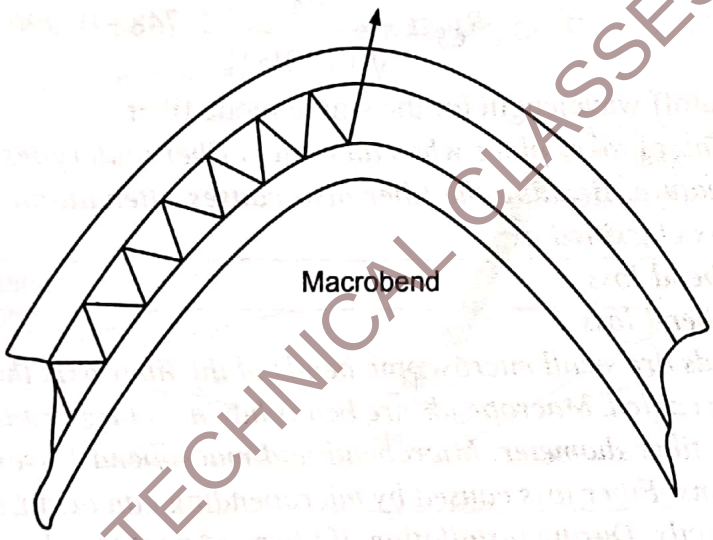
Microbend small microscopic band (अति सुक्ष्म बैण्ड) होते हैं (चित्र 8.1(a)) जोकि fiber axcess में तब होते हैं जब fiber को cable किया जाता है जबकि macrobands का radius of curvature fiber के Diameter से काफी अधिक होता है (चित्र 8.1(b))। Microbend तथा Macrobands से फाइबर में हानियाँ होती है जिनको ध्यान में रखा जाना अति आवश्यक है।

AKS TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 8.2(a)—माइक्रोबैंड्स



चित्र 8.2(b)—मैक्रोबैन्ड

AKC TECHNICAL CLASSES

(1) Microbend losses फाइबर में discontunity या Inperfection (अवरोध या विसंगति) के कारण होते हैं। यह fiber की cabling से समय उत्पन्न होते हैं। Uneven coating (ऊबड़ खाबड़ परतें) तथा Improper cabling (ठीक से न की गई cabling) से microband losses बढ़ते हैं। External forces (बाहरी बल) भी microbend को बढ़ाते हैं। Microbends से propagation का path change (रास्ता बदलना) हो जाता है जिससे lower order modes and higher order modes couple (युग्मित) हो जाती है जिससे signal का loss होता है।

(2) Macrobend तब होते हैं जब फाइबर के bend का radius fiber के diameter से काफी अधिक होता है। इस हानि को radiation attenuation coefficient द्वारा व्यक्त किया जाता है—

$$\alpha_r = C_1 \exp(-C_2 R)$$

जहाँ C_1, C_2 – नियतांक है जबकि

R – फाइबर bend के radius of curvature (वक्र की त्रिज्या) को व्यक्त करता है।

Scanned with CamScanner

यदि Radius of curvature के value एक critical value R_C के बराबर हो जाए तो bending loss बहुत ज्यादा हो जाते हैं।

$$R_C = \frac{3n_1^2\lambda}{4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2)^{1/2}}$$

इस समीकरण से स्पष्ट है कि कम wavelength पर operation करके (low λ) तथा उच्च referation index difference (अर्थात् दोनों refractive index (core तथा cladding के मध्य अंतर $\mu_1 - \mu_2$ बढ़ाकर) पर कार्य करके (large $\mu_1 - \mu_2$) Bending losses को कम किया जा सकता है।

Single quasi guided mode निम्न सूत्र द्वारा दिया जाता है—

$$R_{CS} \cong \frac{20\lambda}{\sqrt{(\mu_1 - \mu_2)}}\left[2.748 - 0.996\frac{\lambda}{\lambda_c}\right]^{-3}$$

where, λ_C = cutoff wavelength for the single mode fiber.

Bending losses takes place when an optical fiber undergoes a bend of finite radius of curvature. Bending the fiber also causes attenuation of light energy. Bending loss is classified as:

- *Microbend loss*
- *Macrobend loss.*

Microbends are small microscopic bends of the fiber axis that occur mainly when a fiber is cabled. Macrobends are bends having a large radius of curvature relative to the fiber diameter. Microbend and macrobend losses are important loss mechanisms. Fiber loss caused by microbending can occur even if the fiber is cabled correctly. During installation, if fiber are bent too sharply, macrobend losses will occur.

Microbend loss are small scale 'bends' in the fiber, often from pressure exerted on the fiber itself as when it is cabled and the other elements in the cable press on it. There is no like test for microbending. There have been attempts, like sandwiching fibers between sandpaper or wire mesh or kinking it over a small pin, but the results have macrobend loss refers to losses induced in bends around mandrels (or corners in installations), generally more at the cable level or for fibers, the bends necessary to fit fibers inside splice closures or patch panels.

Linear scattering Losses—Linear scattering mechanism वह होती है जब थोड़ी या सभी optical power एक propagating mode से दूसरे propagating mode पर transfer हो जाती है इस process में signal का attenuation हो जाता है (at same frequency)। Linear scattering दो प्रकार की होती है—

Linear scattering mechanism is transfer of some or all of the optical power contained within one propagating mode linearly into a different mode. This process results in attenuation but with all linear process there is no change in frequency of scattering.

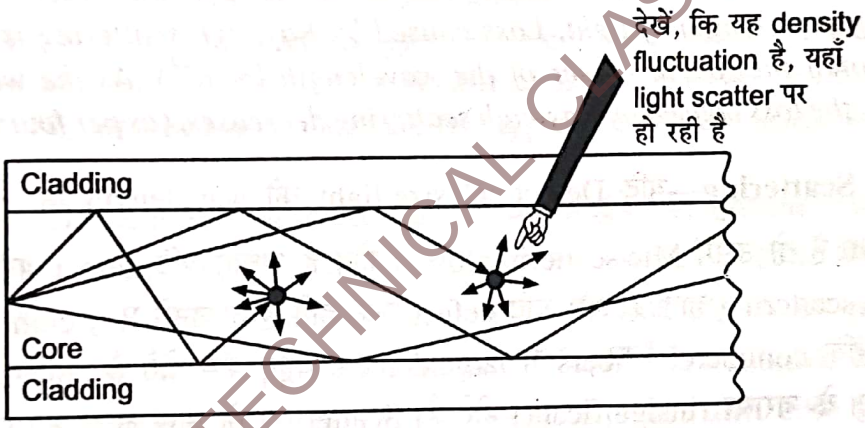
ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(1) Rayleigh Scattering
(2) Mie scattering

(1) Rayleigh scattering—फाइबर के अंदर फाइबर के निर्माण के समय Density fluctuations होते हैं (Density का असमान होना) इन Density fluctuations तथा light के मध्य interaction (आपस में संबंध) से scattering loss होते हैं जब light फाइबर में चलती है, तो असमान Density वाले Regions में Interaction करने के बाद scatter (इधर ऊधर फैलना) हो जाती है।

Commercial व्यवसायिक फाइबर जो 700 nm – 1600 nm के बीच में operate करते हैं, में Rayleigh scattering signal loss का एक मुख्य कारण होता है। Infrared तथा ultraviolet regions के बीच में Rayleigh scattering एक मुख्य loss mechanism है, यदि फाइबर Defect का size light के operating wavelength के 1/10 भाग से कम होता है तभी Rayleigh scattering होती है।



चित्र 8.3—Light scattering

Rayleigh scattering के कारण होने वाले loss wavelength के fourth power के inversaly proportional होते हैं $\left(\frac{1}{\lambda^4}\right)$ तथा जैसे-जैसे wavelength increase करती है वैसे-वैसे Rayleigh scattering decrease करती है। अर्थात् यदि आप wavelength of operation को दोगुना कर देंगे तो Rayleight loss 16 गुना कम हो जायेंगे।

Rayleigh scattering निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जाता है—

$$\gamma_R = \frac{8\pi^3}{3\pi^4} n^8 p^2 \beta_c K T_f$$

where, γ_R – Rayleigh scattering coefficient
λ – Optical wavelength
n – Refractive index of medium
p – Average photoelastic coefficient
β_c – Isothermal compressibility
T_f – Fictive temperature
K – Boltzmann's constant.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

विचार प्रश्न—यदि optical transmission maximum possible practical wavelength पर किया जाये तो Rayleigh scattering न्यूनतम होगी, क्यों?

Fictive Temperature (T_f) वह तापमान होता है जिस पर glass thermal equillibrim के state तक पहुँच जाता है।

Rayleigh scattering coefficient तथा fiber का Transmission loss factor निम्नलिखित सूत्र द्वारा Related होते हैं—

$$£ = \exp(-\gamma_R L)$$

जहाँ £ – Transmission factor or transmissivity of fiber

L – dength of fiber.

γ_R – Rayleigh scattering coefficient.

In fibers operating between 700-nm and 1600-nm wavelength, the main source of loss is called Rayleigh scattering. Rayleigh scattering is the main loss mechanism between the ultraviolet and infrared regions. Rayleigh scattering occurs when the size of the density fluctuation is less than one-tenth of the operating wavelength of light. Loss caused by Rayleigh scattering is inversely proportional the fourth power of the wavelength ($\propto \lambda^{-4}$). As the wavelength increase, the loss caused by Rayleigh scattering decreases. (as per fourth power).

Mie Scattering—यदि Defect का size light की wavelength के $\frac{1}{10}$ भाग से अधिक होता है तो उसमें Mie scattering losses होते है अर्थात यदि defect बड़े होते हैं तो उनमें Mie scattering होती है और यदि defect छोटे होते है तो उनमें Rayleigh scattering होती है। चूंकि commercial fibers में large defects बहुत कम होते हैं इसलिए इनमें Mie defects ना के बराबर (insignificant) होते हैं। Scattering के कुछ अन्य कारण भी होते हैं जैसे कि—core cladding interfaces के बीच अनियमितताये (inregularities), core cladding refractive index अंतर ($\mu_1 - \mu_2$) का फाइबर की लम्बाई के साथ change होते जाना, diameter में fluctuation होना, bubbles का होना इत्यादि।

Mie scattering को कम करने के लिए inhomogeneities (असमानताओं) को निम्नवत कम किया जाना चाहिए—

(1) glass के निर्माण के समय inperfection (कुसंगति) को कम करने पर

(2) fiber की coating द्वारा।

(3) fiber का retractive index difference ($\mu_1 - \mu_2$) बढ़ाने पर

If the size of the defect is greater than one-tenth of the wavelength of light the scattering mechanism is called mie scattering. Mie scattering, caused by these large defects in the fiber core, scatters light out of the fiber core. However, the effects of Mie scattering are negligible. Optical fibers are manufactured with very few large defects.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Linear scattering may also occur at inhomogeneties and they are comparable in size to the guided wavelength. This type of scattering is because of fiber imperfections such as :

- *irregularities in the core-cladding interface.*
- *core cladding refractive index differences* ($\mu_1 - \mu_2$) *along the fiber length.*
- *diameter fluctuation.*
- *strains and bubbles.*

Non-linear Scattering Losses—Non-scattering में optical power उसी mode को या दूसरी mode को (at different frequency) forward या Backward direction में transfer हो जाती है। यह दो प्रकार के होते हैं—

(1) *Stimulated Brillouin scattering (SBS)*

(2) *Stimulated Raman scattering (SRS)*

Optical waveguide do not always behave as linear channels where output optical power is directly proportional to the input optical power. Several nonlinear effect occur which causes scattering.

Nonlinear scattering is the transfer of optical power from one mode to be transferred in either the forward or backward direction to the same, or other modes at different frequency. There are two types of nonlinear scattering – SBS and SRS

(i) Stimulated Brillouin scattering—फाइबर में होने वाले molecular vibrations (कम्पनों) तथा modulation of light से इस प्रकार की scattering उत्पन्न होती है। यह scattered light upper तथा lower side band के रूप में प्रकट होती है। इस process में incident photon दो प्रकार के photons उत्पन्न करते हैं जिसमें से एक acoustic frequency का तथा दूसरा scattered photon होता है इससे optical frequency shift उत्पन्न होती है तथा यह shift scattering angle के साथ change होती है। अधिकांश systems में SBS से कोई बहुत अधिक समस्या उत्पन्न नहीं होती क्योंकि—

(1) Transmitter के laser का Induction current (प्रेरण धारा) Direct modulation (प्रत्यक्ष मॉडुलन) होने के कारण Signal को चौड़ा कर देता है।

(2) अधिक power वाले lasers उपलब्ध है और इनमें SBS की समस्या उत्पन्न नहीं होती।

हालांकि long distance system (अधिक दूरी वाले सिस्टम) जिसमें bit rate कम (Below 2.6 Gbps) होते हैं या WDMA systems में (upto 10 Gbps) SBS की समस्या उत्पन्न हो सकती है।

Power Density के एक निर्धारित मान P_B से ज्यादा होने पर Brillouin scattering अधिक हो जाती है—

$$P_B = 4{\cdot}4 \times 10^{-3}\, d^2 \lambda^2 \alpha_{dB}\, \nu \text{ walts}$$

where, d – Fiber core diameter in mm

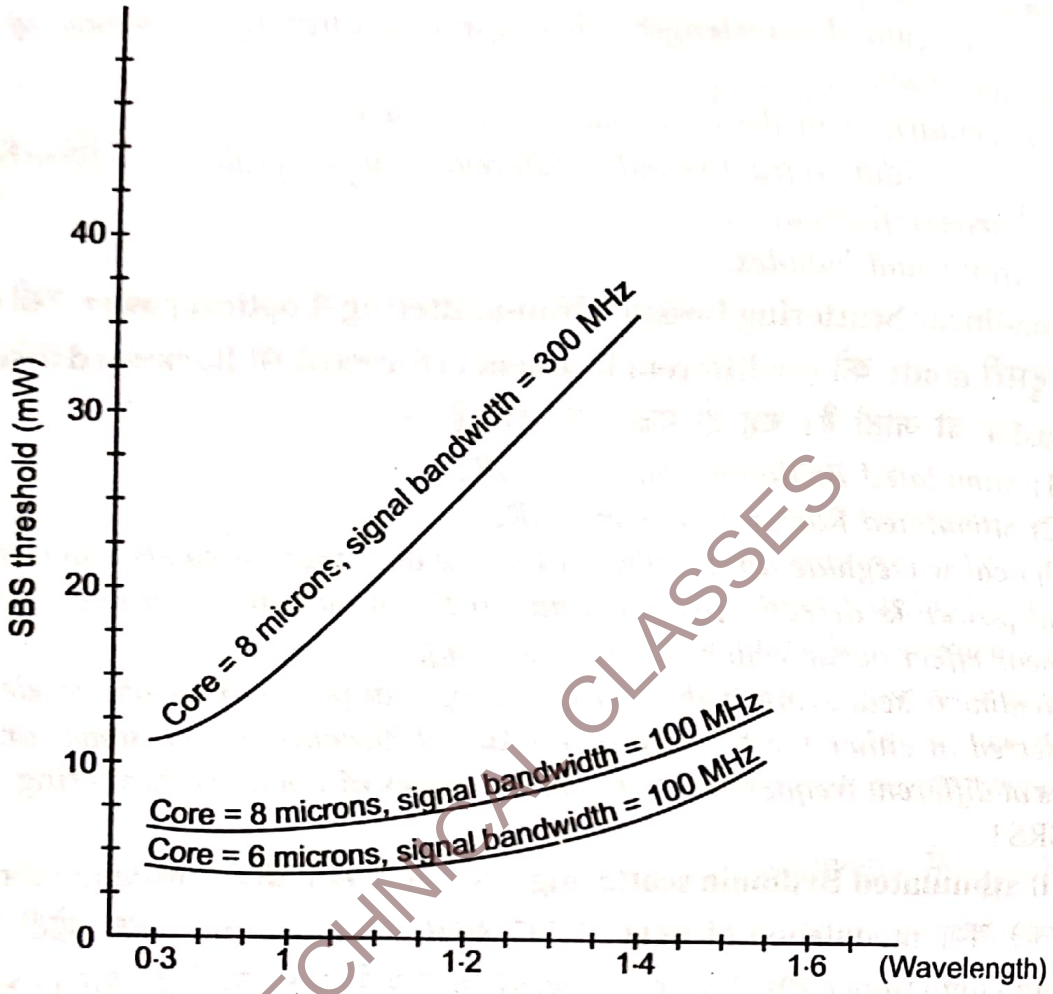
λ – operating wavelength in micrometers

α_{dB} – Fiber attenuation in dB

ν – source bandwidth in GHz

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 8.4—Wavelength के साथ SBS Threshold में परिवर्तन

AKC TECHNICAL CLASSES

Modulation of light through molecular vibrations within the fiber is called SBS. The scattered light appears as upper and lower frequency. In this process, the incident photon produces a photon of acoustic frequency and also a scattered photon. This produces an optical frequency shift which varies with the scattering angle because the frequency of the sound wave varies with acoustic wavelength.

SBS can be a problem

(i) in WDM systems (up to about 10 Gbps) where the spectral width of the signal is very narrow.

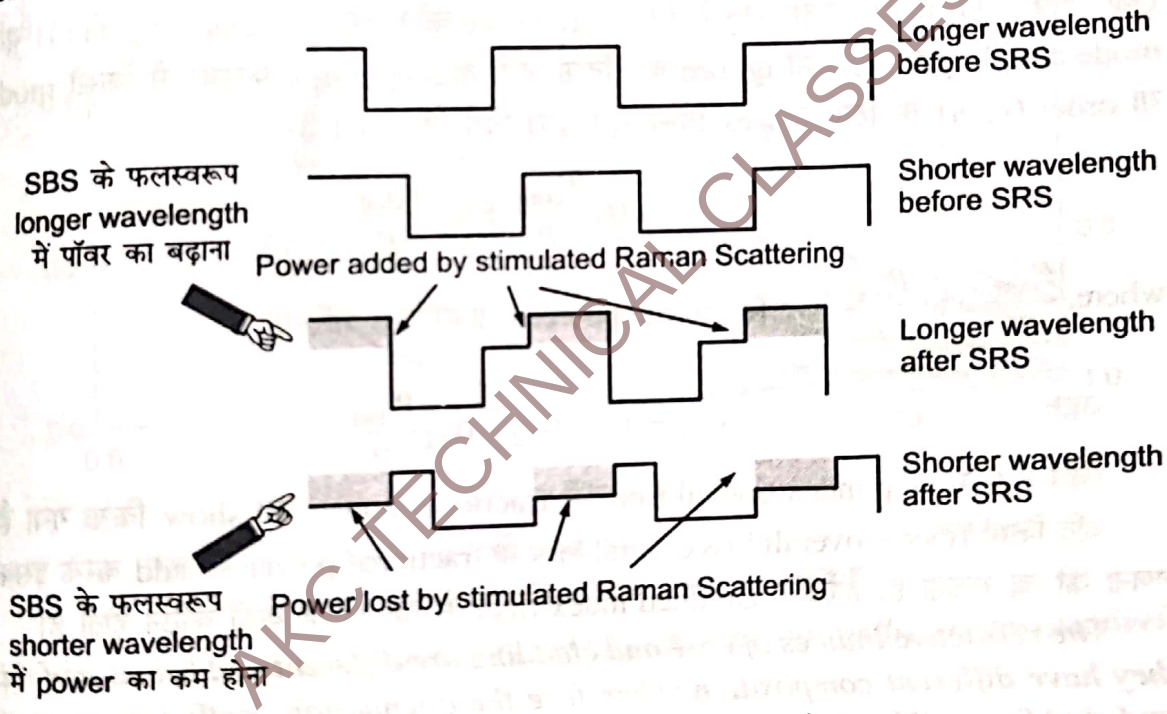
(ii) in remote pumping of an Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) through a separate fiber.

Stimulated Raman Scattering or SRS—Stimulated Raman Scattering भी SBS (Stimulated brillouin scattering) के समान ही होती है, लेकिन इसमें scattering process में उत्पन्न photon की आवृत्ति बहुत अधिक होती है। एक single channel system में Raman threshold power अर्थात् वह power जिस पर Raman scattering effect प्रभावी होना शुरू हो जाता है, बहुत अधिक होती है। Single channel system में SRS से अधिक समस्या नहीं होती किन्तु WDM systems में इससे समस्या उत्पन्न होती है यदि बहुत सारे chanels होते हैं (multiple channels) तो powers short wavelength से long wavelength

Scanned with CamScanner

पर transfer होती है। हालांकि SRS आधारित optical amplifiers useful हो सकते हैं लेकिन transmission systems में इससे noise उत्पन्न होती है।

इस principle को चित्र 8.5 द्वारा समझा जा सकता है जिसमें दो wavelengths को SRS से पहले तथा बाद में दिखाया गया है तथा power shorter wavelength से larger wavelength पर transfer हो रही है। Optical power का इस प्रकार से transfer होना stokes wave कहलाता है। ये power transfer इसलिए होता है क्योंकि light तथा vibrating molecules के बीच में interaction होते हैं, जैसे-जैसे signals आगे बढ़ते हैं SRS का प्रभाव बढ़ता जाता है। Power के बढ़ने के साथ भी SRS exponentially (चरघातांकीय) रूप से वढ़ती है। SRS forward तथा backward दोनों directions में हो सकती है तथा इसका power threshold SBS से लगभग 1000 गुना ज्यादा होता है।



AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र 8.5—Stimulated Raman Scattering

एक लम्बे सिंगल मोड फाइबर की SRS थैसोल्ड ऑप्टिकल पॉवर (P_R) का मान—

$$P_R = 5.9 \times 10^{-2}\, d^2\, \lambda\, \alpha_{dB}$$

where, λ – operating wavelength in micrometers

d – fiber core diameter in micrometers

α_{dB} – fiber attenuation in dB.

Note that in Fig. 8.4, two wavelengths are shown before and after SRS and we notice that power has been transferred from the shorter wavelength to the longer one resulting in additive noise at the longer wavelength and subtractive noise at the shorter one. This power transfer is because of the interactions of the light with vibrating molecules. Optical power so transferred is known as stokes wave. The effect of SRS becomes higher as the signals move further and further

Scanned with CamScanner

apart. This is a problem because we would like to separate the signals as much as we can SRS increases exponentially with increrased power. At very high power, it is possible that all of the signal power can be transferred to the Stokes Wave. Increased scattering losses can result from irregularities of the core/cladding interface. This problem is more severe for fibers with large refractive index contrast (high numerical aperture). A large index contract often means higher germania germania doping of the core, which makes it tentatively less homogeneous.

Core and Cladding Losses—Optical fiber के core-cladding के अपवर्तनांक (Refractive indices) अलग-अलग होते हैं (total internal reflection तभी होगा, जब cladding की refractive index μ_2 core की refractive index μ_1 से थोड़ी कम होगी) क्योंकि इनकी composition अलग-अलग होती है अत: इनके Attenuation coefficient (क्षीणनांक) भी अलग-अलग होते हैं (माना α_1 (core की) तथा α_2 (cladding की))। यदि mode coupling losses को ignore कर दिया जाये तो step index फाइबर में किसी mode या order (v, m) के लिए losses निम्न सूत्र द्वारा दिये जा सकते हैं—

$$\alpha_{vm} = \alpha_1 \frac{P_{\text{core}}}{P} + \alpha_2 \frac{P_{\text{clad}}}{P}$$

where, $\frac{P_{\text{core}}}{P}$ and $\frac{P_{\text{clad}}}{P}$ are fractional powers आनुपातिक शक्तियाँ

अत:
$$\alpha_{vm} = \alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1)\frac{P_{\text{clad}}}{P}$$

चित्र 8.6 में step index optical fiber में fractional power को show किया गया है।

यदि किसी fiber में overall loss or total loss तो fractional power को add करके इसकी गणना की जा सकती है। हालांकि Gradded index fiber में यह गणना थोड़ी कठिन होती है।

The refractive indices of core and cladding are different and because of this they have different composition. Therefore the attenuation coefficient for core and cladding will be different. The attenuation coefficients for core and cladding may be denoted by α_1 and α_2 respectively.

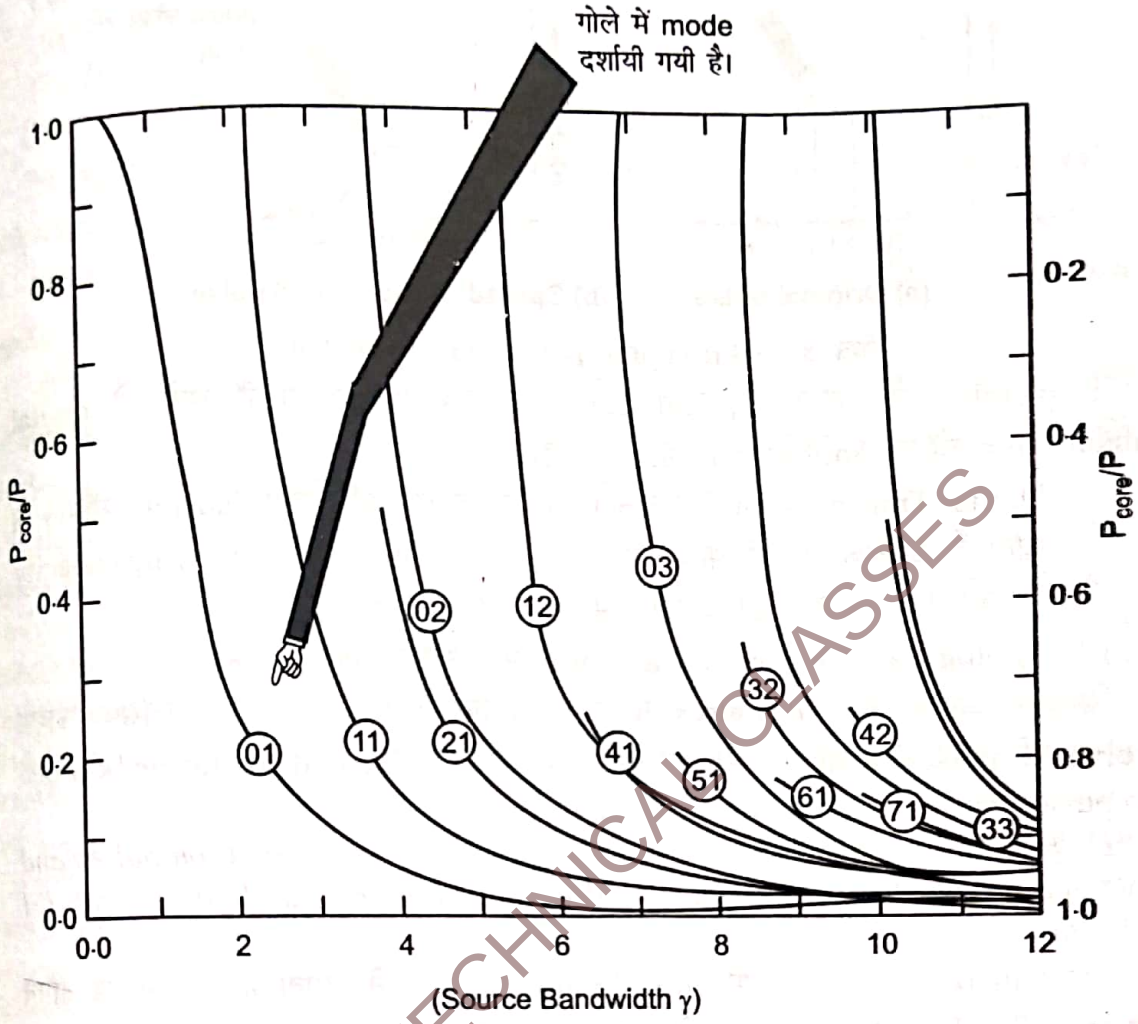
The overall loss in waveguide can be obtained by adding overall modes weighted by the fractional power in that mode. For graded index fiber this situation is complicated. In graded index fiber, both the attenuation sufficients and modal power is dependent on radial co-ordinate.

The loss in core at a distance of r from core axis is expressed as:

$$\alpha(r) = \alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1)\frac{n^2(0) - n^2(r)}{n^2(0) + n^2(r)}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 8.6—Variation of fractional power flow in core and cladding
(γ के सापेक्ष core व cladding में power प्रवाह)

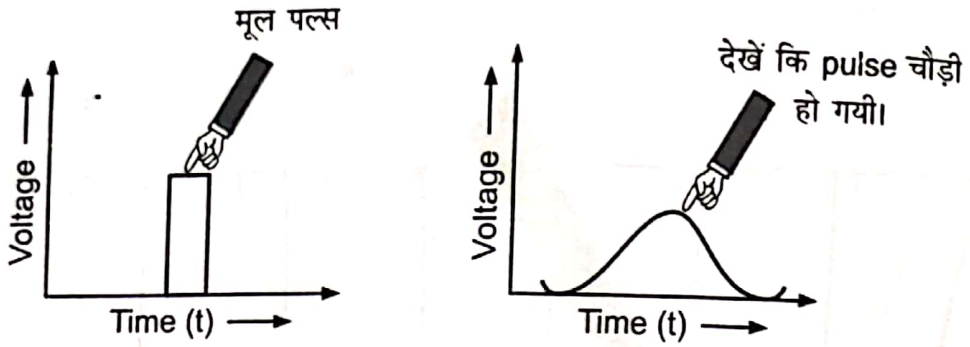
Where, α_1 and α_2 = Axial and cladding attenuation coefficients respectively.
n is expressed as:

$$n(r) = \begin{cases} n_1\left[1-2\Delta\left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha}\right]^{1/2} & \text{for } 0 \le r \le a \\ n_1(1-2\Delta)^{1/2} \cong n_s(1-\Delta) = n_2 & \text{for } 0 \le r \le a \end{cases}$$

Dispersion and pulse Broadening: जैसे-जैसे कोई optical pulse किसी fiber में travel करती है तो उसका dispersion होने लगता है जिससे optical pulse में broadening (Spreading, चौड़ा हाना) होने लगती है चित्र 8.7 इससे system की bandwidth कम हो जाती है तथा सूचना को धारण करने की क्षमता (Information carrying capacity) भी कम हो जाती है, system slow हो जाता है अत: dispersion से यह निर्धारित होता है कि कोई system कितनी तेज़ी से Data का transfer कर सकता है।

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



(a) Original pulse (b) Spread or broadened pulse

चित्र 8.7—Effect of dispersion on a Short Pulse

Dispersion के कारण optical signals में विरूपण आता है चाहे वो digital transmission हो या anolog transmission हो।

(1) Digital Transmission में Dispersion के कारण अधिकतम data rate सीमित हो जाती है, अधिकतम दूरी सीमित हो जाती है तथा information carrying capacity (सूचना को ले जाने की क्षमता) भी कम हो जाती है।

(2) Anolog transmission में waveform में विरूपण आ जाता है।

विरूपण अधिक होने पर pulses में इतना अधिक फैलाव हो जाता है जिसके कारण receiver दो pulses के बीच में भेद नहीं कर पाता है। (Unable to distingusing between two pulses cause by spreading of pulses)

Dispersion in optical fibers result in broadening of information pulses and they begin to interfere with adjacent pulses, called inter symbol interference ISI in digital signal.

अर्थात् dispersion के कारण optical pulses चौड़ी होने लगती है जिससे वह अपने आस-पास की pulses से interfere करने लगती है जिसको ISI या Inter Symbol Interference कहते हैं। जैसे-जैसे ISI का प्रभाव बढ़ने लगती है, errors की संख्या बढ़ने लगती है। Error की दर निम्नलिखित पर depend करती है—

(i) Link में होने वाला signal attenuation

(ii) Receiver पर SNR

अत: signal dispersion अधिकतर signal bandwidth को सीमित कर देता है, light pulses की overlapping को बचाने के लिए digital bit rate pulse duration (τ) के double के reciprocal (विलोम) के कम होना चाहिए।

$$BT \leq \frac{1}{2\tau}$$

यदि light pulse Gaussian shape में है (rms width, σ) तो अधिकतम bit rate

$$B_{\tau(max)} = \frac{0 \cdot 2}{\sigma} \text{ bit/sec}$$

AVG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Pulse broadening तीन प्रकार के optical फाइबर में होती है—

(i) Multimode step index fiber
(ii) Multimode graded index
(iii) Single mode step index fiber

Dispersion का सबसे ज्यादा प्रभाव multimode step index fiber में होता है जबकि multimode graded index fiber का use करने पर इसकी performance में सुधार आता है।

Single mode fiber में pulse broadening सबसे कम होती है और transmission bandwidth सर्वाधिक होते है।

चूँकि Pulse broadening इस बात पर निर्भर करती है कि pulse को fiber में कितनी दूरी तय करनी है और इसलिए किसी optical fiber communication system में दो रिपीटर्स के बीच की दूरी system की bandwidth को निर्धारित करती है।

Dispersion spreads the optical pulse as it travels along the fiber. This spreading of the signal pulse reduces the system bandwidth or the information carrying capacity of the fiber. Dispersion of the transmitted optical signal causes distortion for both digital and analog transmission along optical fibers. In digital transmission dispersion limits the maximum data rate, the maximum distance or the information carrying capacity of a single mode fiber link. In analog transmission, dispersion can cause a waveform to be distorted heavily and can result in unacceptable levels composite second order distortion. An error occurs when the receiver is not able to distinguish between input pulses caused by the spreading of each pulse. The dispersion increases as the pulse travels the length of the fiber. Hence, dispersion in optical fiber results in a broadening (in time domain) of the infomation pulses. When optical pulses injected into the fiber spread in time domain, they can interfere with the adjacent pulses resulting in Inter symbol Interference or ISI in digital communication.

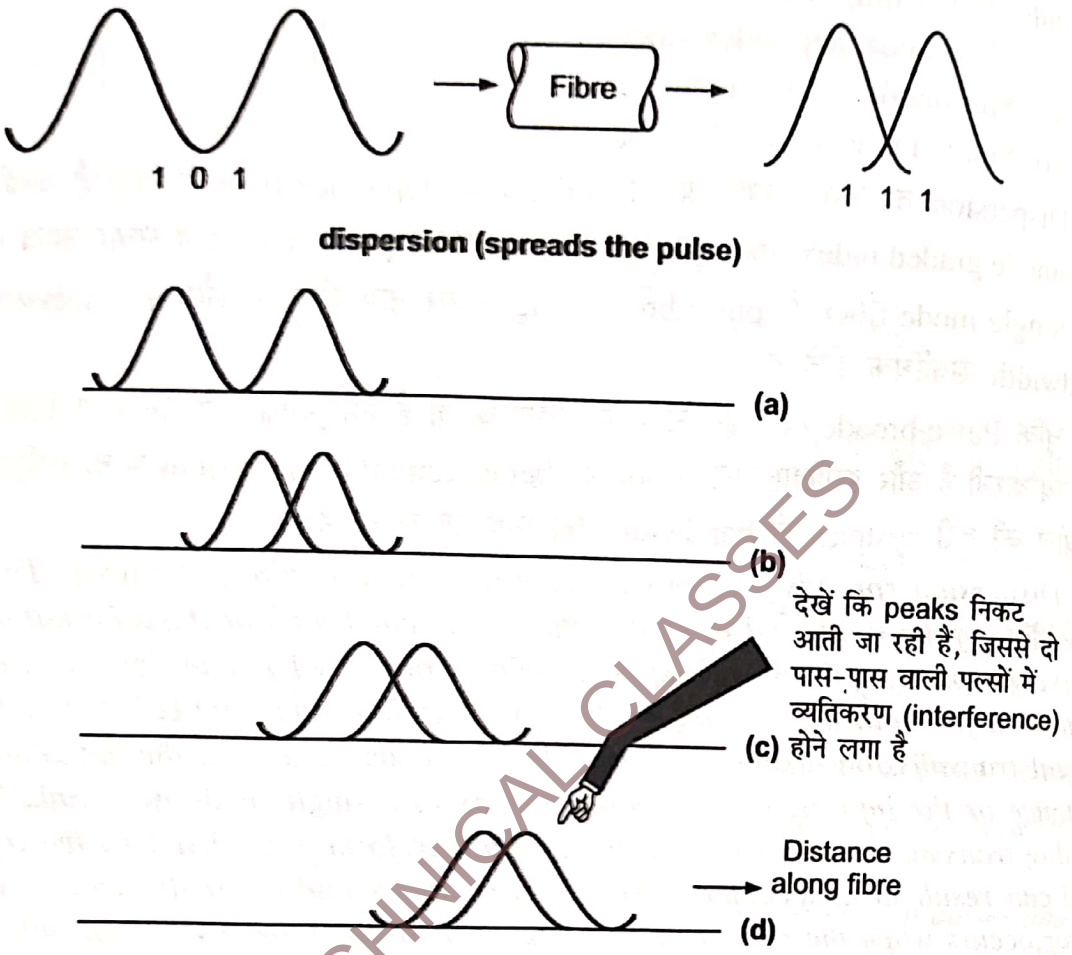
Intramodel Dispersion—Intra modal dispersion (इसे chromatic dispersion भी कहा जाता है) फाइबर के पदार्थ पर निर्भर करती है। चूँकि optical sources एक single आवृत्ति का उत्सर्जन (emission) न करके आवृत्तियों के band का उत्सर्जन (emission) करते है अत: इन अनेकों आवृत्तियों के मध्य propagation delay (प्रोपेगेशन देरी) के कारण pulses की Broadening तथा interamodal dispersion उत्पन्न होते है। Intramodal dispersion दो प्रकार के होते है—

(1) Material Dispersion
(2) Waveguide Dispersion

Intramodal, or chromatic, dispersion depends primarily on fiber materials and results from the finite spectral line width of the optical source. Since optical sources do not emit just a single frequency rather a band of frequencies, here may be propagation delay differences between the different spectral components

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 8.8—Dispersion तथा oversapping के कारण ISI प्रभाव उत्पन्न होना

(constituent frequencies) of the tranmitted mode and hence resulting in intramodal dispersion.

Intra modal dispersion इसलिए होते हैं क्योंकि विभिन्न colours की lights विभिन्न पदार्थों में तथा विभिन्न waveguide सनरचनाओं में (different waveguide structures) अलग-अलग speed से travel (यात्रा) करती है।

Material Dispersion—Material Dispersion इसलिए होता है क्योंकि light pulse की spreading fiber core के अपर्वतनांक से wavelength interaction पर निर्भर करती है। चूंकि fiber पदार्थ (अर्थात् broadening या चौड़ा होना) में अलग-अलग wavelength अलग-अलग speed पर travel करती है। अत: एक ही time में फाइबर में प्रवेश (enter) करने वाली अलग-अलग wavelengths fiber से अलग-अलग time पर exit (निकास) करती है। अत: material dispersion source की spectral चौड़ाई (spectral width) पर निर्भर करता है। अत: spectral width यह decide निर्धारित करती है कि कितनी range की wavelength fiber में propogate कर सकती है। लम्बी wavelength के लिये material dispersion कम होता है।

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Material dispersion parameter M—

$$M = \frac{1}{L} \cdot \frac{d\tau_m}{d\lambda}$$

where L – length of fiber
τ_m – pulse delay
λ – operating wavelength

M की unit होती है ps nm^{-1} km^{-1} (अर्थात् पीकोसैकेन्ड प्रति नैनोमीटर प्रति किलोमीटर)

Mateial dispersion occurs because the spreading of a light pulse is depenaent on the wavelengths interaction with the fiber core refractive index. Different wavelengths travel at different speeds in the fiber material. Different wavelengths of a light puise that enter a fiber at same time exit the fiber at different times. Material dispersion is a function of the source spectral width. The spectral width specifies the range of wavelengths that can propagate the fiber. Hence, Material dispersion is less at longer wavelengths.

Wave Guide Dispersion—Wave guide dispersion इसलिये होता है क्योंकि mode propagation constant (β) fiber के core के size तथा operating wavelength के अनुपात का फलन होता है।

$$\beta = f\left(\frac{\text{size of core}}{\text{operating wavelength}}\right)$$

Waveguide dispersion इसलिए भी होता है क्योंकि light core तथा cladding में अलग-अलग तरह से propagate करती है। यदि फाइबर को इस प्रकार से operate किया जाए जिससे intermodal dispersion तथा material dispersion समाप्त हो जाए (single mode fiber में 1.3 μm पर यह स्थिति उत्पन्न होती है) तो एक तीसरे प्रकार का dispersion शेष रह जाता है जिसको waveguide dispersion कहा जाता है। सभी light sources में विभिन्न wavelengths के light components होते हैं, एक उच्च wavelength पर एक मामूली spectral shift (slight spectral shift) होने पर दो successive refractive points (दो आसपास वाले अपवर्तन बिंदु) के बीच में एक small path length change हो जाता है। इससे प्रत्येक mode के लिए incident angle भी बढ़ जाता है और group velocity भी बढ़ जाती है। हालांकि एक truly monochromatic light होने पर waveguide dispersion समाप्त किया जा सकता है किन्तु इस प्रकार की लाइट संम्भव नहीं।

एक ideal single mode step fiber के लिए wavelight disperson के disperson के value लगभग 6.6 ps/nm km होती है। Multimode fibers के लिए ज्यादातर modes cut-off से ज्यादा दूर propagate करती है इसलिए इसमें waveguide dispersion नहीं होता तथा material dispersion ही अधिक होता है!

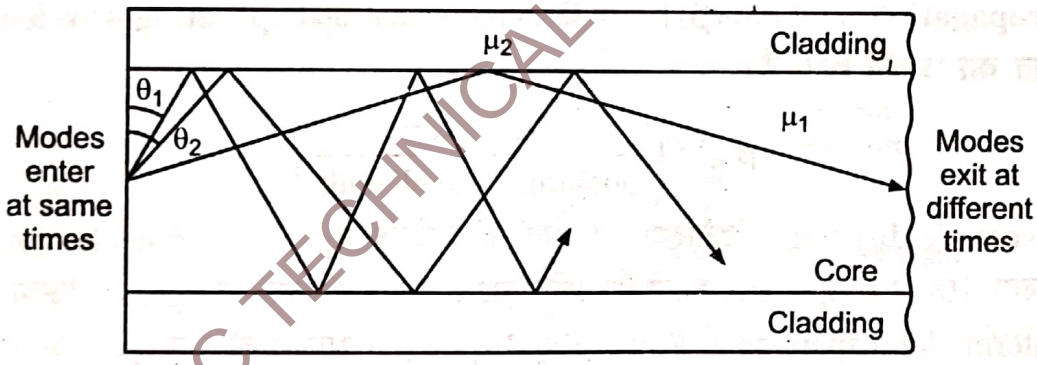
Waveguide dispersion occurs because the mode propagation constant (β) is a function of the size of the fiber's core relative to the wavelength of operation. Waveguide dispersion also occurs because light propagates differently in the

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

core than in the cladding. If a fiber can be operated so that intermodal dispersion and material dispersion both disappear, then a third dispersion medium will occur. This is known as waveguide dispersion and results from the guiding characteristics of the optical fiber.

Intermodal dispersion—इंटरमोडल डिस्पर्जन (Intermodal dispersion or modal dispersion) से भी पल्स की spreading हो जाती है। इनपुट लाइट पल्स modes के ग्रुप की बनी होती है। जैसे-जैसे modes फाइबर में propagate करती हैं, तो मोड्स के मध्य वितरित प्रकाश ऊर्जा (light energy distributed among the modes) में अलग-अलग propagation delay उत्पन्न होता है। इससे pulse में spreading उत्पन्न होने लगती है क्योंकि प्रत्येक mode fiber में अलग-अलग स्पीड से travel करती है। चूँकि मोड्स अलग-अलग दिशाओं में travel करती है, अत: कुछ मोड्स को अधिक दूरी travel करनी पड़ती है। Modal dispersion इसलिये उत्पन्न होता है क्योंकि एक time span में प्रत्येक mode अलग-अलग दूरी तय करती है। (चित्र 8.9 देखें)। अत:, fiber में एक ही समय में enter (प्रवेश) करने वाली विभिन्न modes फाइबर से अलग-अलग समय पर exit (निकास) करती है। इस स्थिति के कारण light pulses spread करती है। जैसे-जैसे फाइबर की लम्बाई बढ़ती है, modal dispersion भी बढ़ता है।



चित्र 8.9—Distance travelled by each mode over the same time

Modal dispersion मल्टीमोड फाइबर में dispersion का मुख्य स्रोत होता है। Single mode fibers में modal dispersion नहीं होता क्योंकि single mode fiber में केवल fundamental mode propagate करती है। अत: single mode fibers में न्यूनतम total dispersion तथा अधिकतम संभव बैंडविड्थ प्राप्त होती है।

माना कि फाइबर की लम्बाई L है। (चित्र 8.9 देखें) में फाइबर में प्रवेश करने वाली विभिन्न rays के zig-zag पथ प्रदर्शित हैं। प्रत्येक ray का total zig-zag path होगा—

$$L_t = \frac{L}{\sin \phi}$$

चूँकि lowest order mode (अर्थात् न्यूनतम ऑर्डर वाली मोड) का incidence angle maximum (अर्थात् 90°) होता है, अत: shortest path

$$L_{t\,(\text{minimum})} = \frac{L}{\sin 90°} = L$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Highest order mode के लिये incidence of angle critical (minimum) होता है—

$$\phi_c \text{ or } \phi_{\text{minimum}} = \sin^{-1}\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)$$

अत: longest path

$$L_{t\,(\text{maximum})} = \frac{L}{\sin \phi_c}$$

$$= L \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

अत: maximum time dispersion

$$\Delta L = L_{t\,(\text{maximum})} - L_{t\,(\text{minimum})}$$

अत:

$$\Delta L = L\left(\frac{\mu_1}{\mu_2} - 1\right)$$

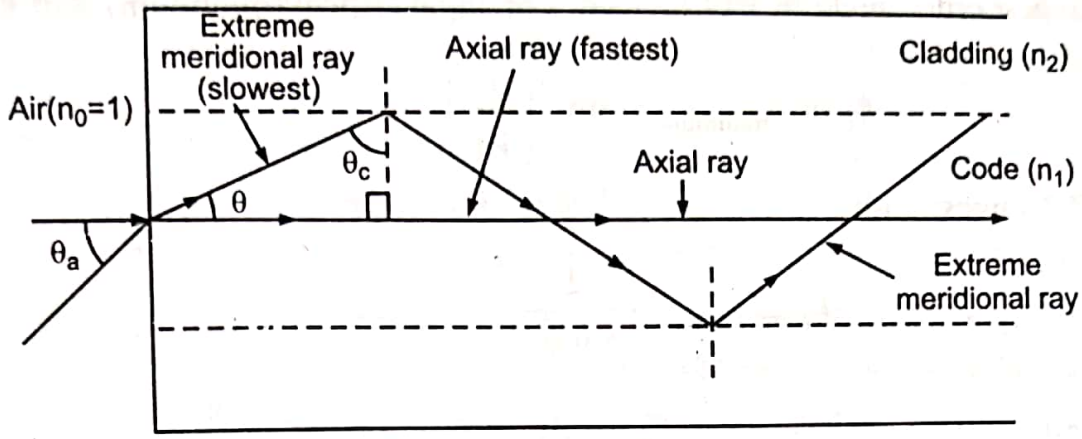
Intermodal or modal dispersion causes the input light pulse the spread. The input light pulse in made up of a group of modes. As the modes propagation along the fiber, light energy distributed among the modes is delayed by different amounts. The pulse spreads as each mode propagates along the fiber at different speed. As the modes travel in different directions, some modes travel longer distances than others. Modal dispersion occurs because each mode travels a different distance over the same time span. The modes of a light pulse that enter the fiber at one time exit the fiber different times. This causes the light pulse to spread. As the length of the fiber increases, modal dispersion increases.

Modal dispersion is the main source of dispersion in multimode fibers. Modal dispersion does not exist in single mode fibers as single mode fibers propagate only the fundamental mode. Therefore, single mode amplifiers exhibit the lowest amount of total dispersion. Single mode fibers also exhibit the highest possible bandwidth.

Multimode Step Index Fiber—Ray theory के अनुसार axial ray (अक्षीय किरण) सबसे fast mode को और सबसे कोने वाली या meridional ray सबसे slow ray को represent करती है। इन दोनों rays का path चित्र 8.10 में दिखाया गया है। Intermodal dispersion के कारण pulse broadening की गणना इन दोनों rays के delay difference द्वारा कि जा सकती है यदि दोनों rays एक ही velocity से travel करें or fiber core का refractive index भी constant है तो delay difference सीधी-सीधी path difference से सम्बन्धित होता है।

ACE TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 8.10—Path taken by axial (fastest) and meridional (slowest) ray

न्यूनतम delay समय (T_{min}) का मान (कोर में सीधी रेखा द्वारा लिया गया समय)

$$T_{min} = \frac{\text{Distance}}{\text{Velocity}} = \frac{L}{\left(\frac{C}{\mu_1}\right)} = \frac{L\mu_1}{C}$$

where, η_1 = Refraactive index of core

c = Velocity of right in vacuum

L = Length along the fiber

सबसे कोने वाली ray (extreme meridional ray) में delay time सबसे ज्यादा होगा।

अत: अधिकतम delay time—

$$T_{max} = \frac{L/\cos\theta}{c/\mu_1} = \frac{L\mu_1}{c\cos\theta}$$

Core cladding interface पर Snell's law के अनुसार

$$\sin\phi_c = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \cos\theta$$

where, μ_2 = refractive index of cladding

$\cos\theta$ की value रखने पर

$$T_{max} = \frac{L\cdot\mu_1^2}{c\cdot\mu_2}$$

Delay difference δT_s का मान (extreme meridional ray तथा axial ray के बीच

$$\delta T_s = T_{max} - T_{min}$$

$$= \frac{L\cdot\mu_1^2}{c\cdot\mu_2} - \frac{L\cdot\mu_1}{c}$$

$$= \frac{L\mu_1}{c}\left[\frac{\mu_1}{\mu_2} - 1\right]$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$= \frac{L \cdot \mu_1}{c}\left[\frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_2}\right]$$

$$\boxed{\delta T_s = \frac{L\mu_1}{c} \cdot \Delta}$$

where, Δ = Relative refractive index difference अर्थात् $\left(\frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_2}\right)$.

In terms of numerical aperture NA,

$$NA = \mu_1 (2\Delta)^{1/2}$$

Δ का मान रखने पर

$$\delta T_s \cong \frac{L(NA)^2}{2\mu_1 c}$$

Polarisation Mode Dispersion—फाइबर की ध्रुवीकरण properties के कारण होने वाली pulse spreading, polarization mode dispersion कहलाती है। यह भी communication के high transmission को सीमित कर देती है। इसके कई कारण होते हैं जैसे—

1. Intrinsic circular fiber की geometry (ज्यामिती) तथा glass material की residual stress (अवशेष stress) आदि इसके अलावा कुछ extrinsic factor के कारण भी polarisation mode dispersion होता है। इससे होने वाली pulse spreading ΔT_{PMD}

$$\Delta T_{PMD} = D_{PMD}\sqrt{\lambda}$$

where D_{PMD} = coefficient of polarisation mode dispersion measured in $ps/\sqrt{\text{km}}$

λ = length in km.

नोट करें कि D_{PMD} wavelength पर निर्भर नहीं करती। यह fiber के वर्गमूल (square) पर depend करती है।

Polarisation mode dispersion (PMD) is pulse spreading caused by a change of fiber polarisation properties. It can become a limiting factor for optical fiber communications at high transmission rates. It is a random effect because of intrinsic circular fiber core geometry and residual stresses in glass material near the core and due to extrinsic factors too which results in group velocity variation polarisation state.

Modal Birefringence—Single mode fibers जोकि circular होता है, में दो degenerated modes का propagation हो सकता है (orthogonal polarization के साथ) इस प्रकार ये bimodal होते हैं तथा HE_{11}^x और HE_{11}^y modes को support करते हैं। अत: refractive index में difference के कारण fiber birefringent medium की तरह

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

कार्य करता है। इन modes के propagation constant अलग-अलग होते हैं (β_x and β_y) यदि fiber cross-section z-direction में fiber length के independent होता है, तो modal birefringences B_F का मान—

$$B_F = \frac{\beta_x - \beta_y}{(2\pi/\lambda)}$$

जहाँ λ optical wavelength को प्रदर्शित करती है।

Phase velocities में अंतर के कारण fiber में linear retardation (रेखीय अवमंदन) $\phi(z)$ होता है यह मानने पर कि दोनों modes के बीच में phase coherence बना रहे। Linear retardation का मान—

$$\phi(z) = (\beta_x - \beta_y) L \quad \text{...(1)}$$

दोनों modes में phase coherence बनने की शर्त यह होती है कि दोनों के transit time के बीच का delay source के coherence time से कम हो।

The delay between the two transit times should be coherence time of the source.

Source का coherence time $= \frac{1}{\Delta f}$

where, Δf is uncorrected source frequency width.

अत: fiber की length L_{bc} में birefringence तब बनेगा जब—

$$L_{bc} \simeq \frac{c}{B_F \cdot \Delta F}$$

या $$L_{bc} = \frac{\lambda^2}{B_F \cdot \Delta\lambda}$$

जब phase coherence maintain होगा तब इससे elliptical polarization होगा लेकिन ये polarization length के साथ periodically change होता रहेगा।

चित्र 8.11 में incident linear polarization (x-axis के respect में 45° पर) है, फिर ये circular polarization बन जाता है, ($\phi = \pi/2$) पर उसके बाद ($\phi = \pi$) पर फिर से linear हो जाता है, $\phi = 3\pi/2$ पर फिर से circular हो जाता है, और $\phi = 2\pi$ पर फिर से linear हो जाता है यह process लगातार periodically चलता रहता है।

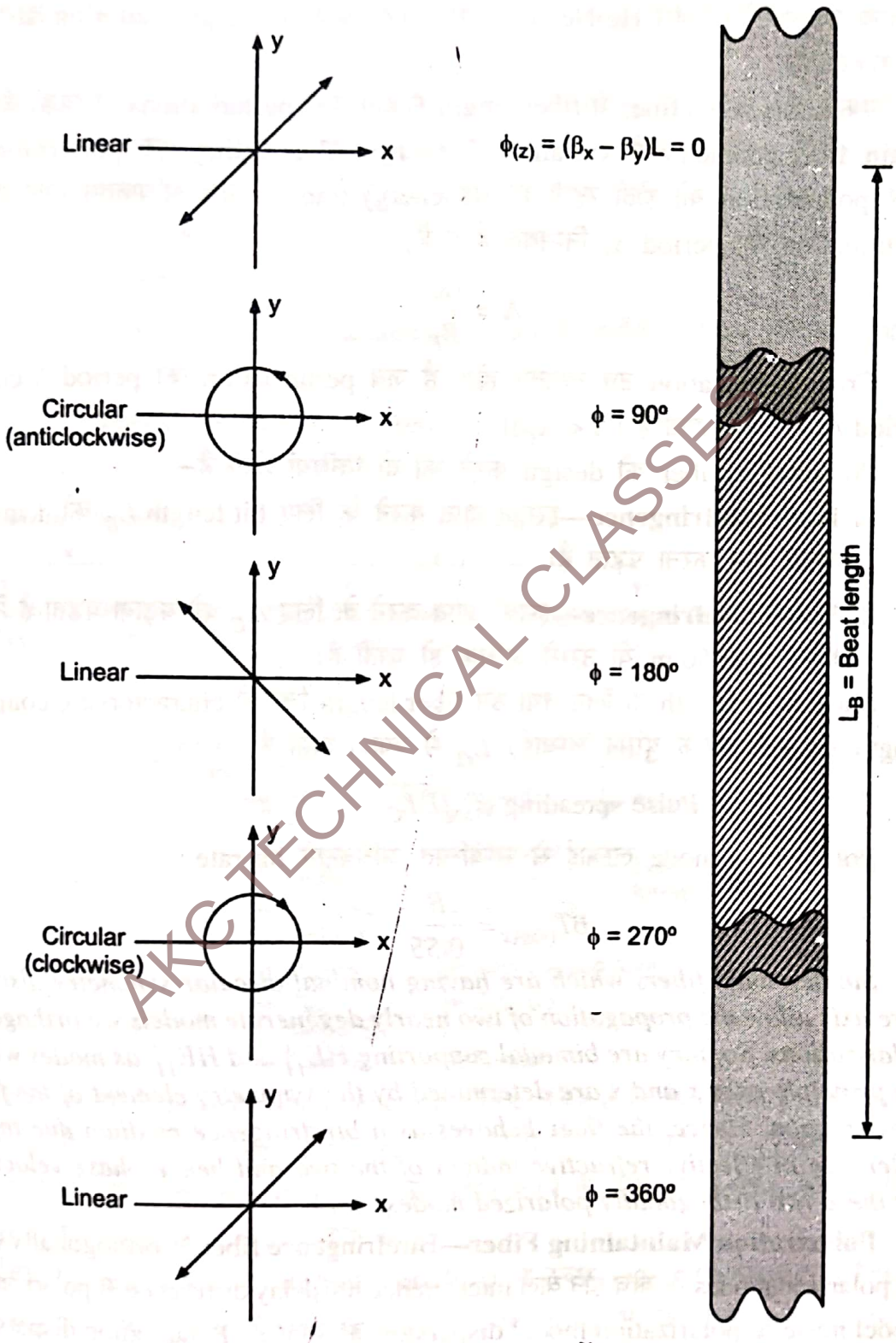
इस process के corresponding अभिलाक्षणिक लम्बाई (bit length) का मान

$L_B = \frac{\lambda}{B_F}$, B_F का मान रखने पर

$$L_B = \frac{2\pi}{\beta x - \beta y}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 8.11—Single mode optical fiber में beat length

इस equation को सीधी समीकरण (1) द्वारा भी निकाला जा सकता है—

$$\phi(L_B) = (\beta_x - \beta_y) L_B = 2\pi$$

$$L_B = \frac{2\pi}{(\beta x - \beta y)}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Bit length का मान single mode fiber के लिए कुछ cms होता है और इसका प्रभाव सामान्य प्रकाश श्रोत (जैसे He-Ne layer का प्रयोग करके Rayleigh scattering द्वारा देखा जा सकता है।

एक non-perfect fiber में fiber length में होने वाले perturbations (गड़बड़) जैसे की strain, fiber geometry में variation से energy की coupling एक polarization से दूसरे polarization को होती रहती है। यह energy transfer तब अधिकतम होता है जब perturbation का period Λ, निम्नवत होता है,

$$\Lambda = \frac{\lambda}{B_F}$$

Cross polarization तब न्यूनतम होता है जब perturbation का period Λ cut off period Λ_C से कम होता है ($\Lambda < \Lambda_C$)।

Polarization fiber को design करने की दो विधियाँ होती हैं—

1. **High birefringence**—इसको प्राप्त करने के लिए bit length L_B को 1 mm या उससे कम करना पड़ता है।
2. **Small birefringence**—इसको प्राप्त करने के लिए Λ_C को बढ़ाना पड़ता है जिससे bit length 50 m या उससे अधिक हो जाती है।

Short fiber length के लिए तथा उन fiber length जिनकी characteristic coupling length (अभिलाक्षणिक युग्मन लम्बाई) L_C से ज्यादा होता है,

$$\text{Pulse spreading} \propto \sqrt{L L_C}$$

Polarization mode लम्बाई से सम्बन्धित अधिकतम bit rate

$$BT_{(\max)} = \frac{B}{0{\cdot}55}$$

Single model fibers which are having nominal circular symmetry also the core axis allow the propagation of two nearly degénerate models we orthogonal polarizations. So, they are bimodal supporting HE_{11}^{x} and HE_{11}^{y} as modes where the principle axes x and y are determined by the symmetry element of the fiber cross-section. Hence, the fiber behaves as a birefringence medium due to the difference in effective refractive indices of the two and hence phase velocities for these two orthogonally polarized modes.

Polarization Maintaining Fiber—Birefringence fiber में orthogonally (90° पर) polarized modes के बीच होने वाले interference तथा delay difference से polarization model noise or polarization model dispersion हो जाता है। Polarization dispersion उस समय भी समस्या का विषय हो जाता है जब एक single mode fiber को किसी दूसरी waveguide से connect किया जाता है। ऐसी स्थितियों में fiber को use करते समय इस बात को consider करना जरूरी है कि light को pass करते समय उसका polarization ज्यूँ

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

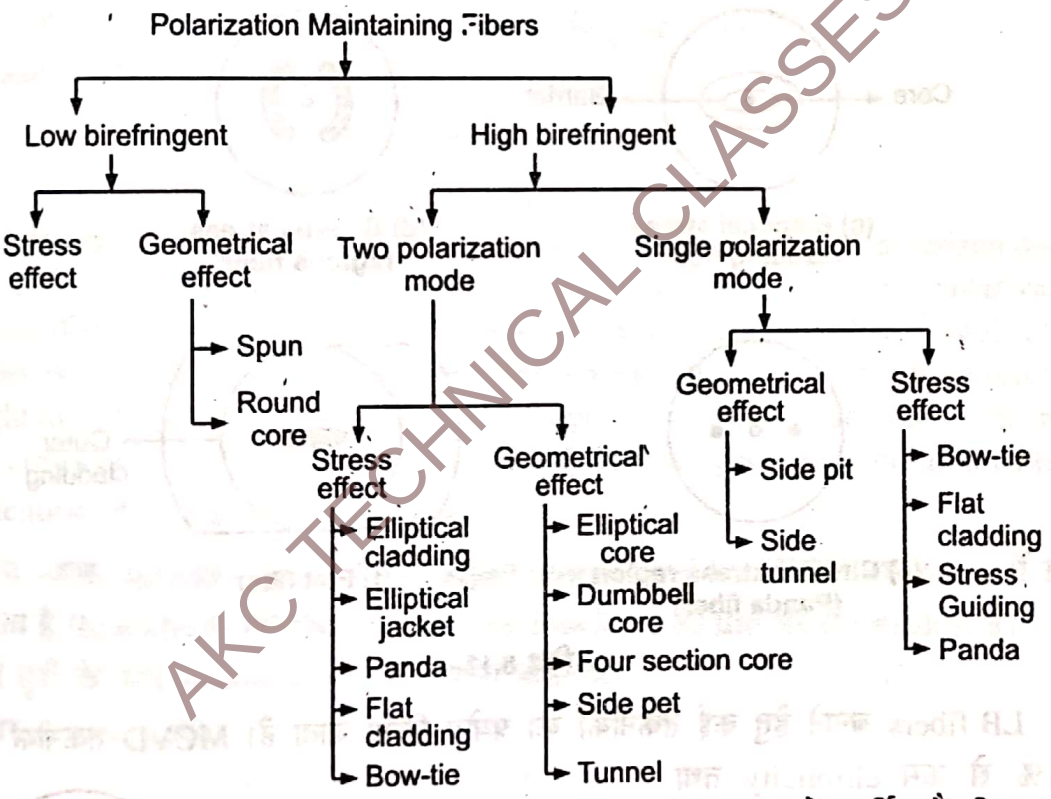
का त्यूँ बना रहे (अर्थात् उसके polarization का state change न हो) इसके लिए polarization maintaining fiber (PMF) का use किया जाता है जोकि दो प्रकार के हैं। High birefringence fiber low birefringence (LB) fiber

एक single mode fiber के लिए birefringence की range 10^{-6} से 10^{-5} तक होती है अत: एक HB fiber के लिए polarization को maintain रखने के लिए B_F का मान 10^{-4} या उसे अच्छा होना चाहिए। HB fiber दो प्रकार के होते हैं—

(i) Double polarization

(ii) Single polarization

विभिन्न प्रकार के polarization maintenance fiber का वर्गीकरण निम्न तालिका में दिया गया है—



AKC TECHNICAL CLASSES

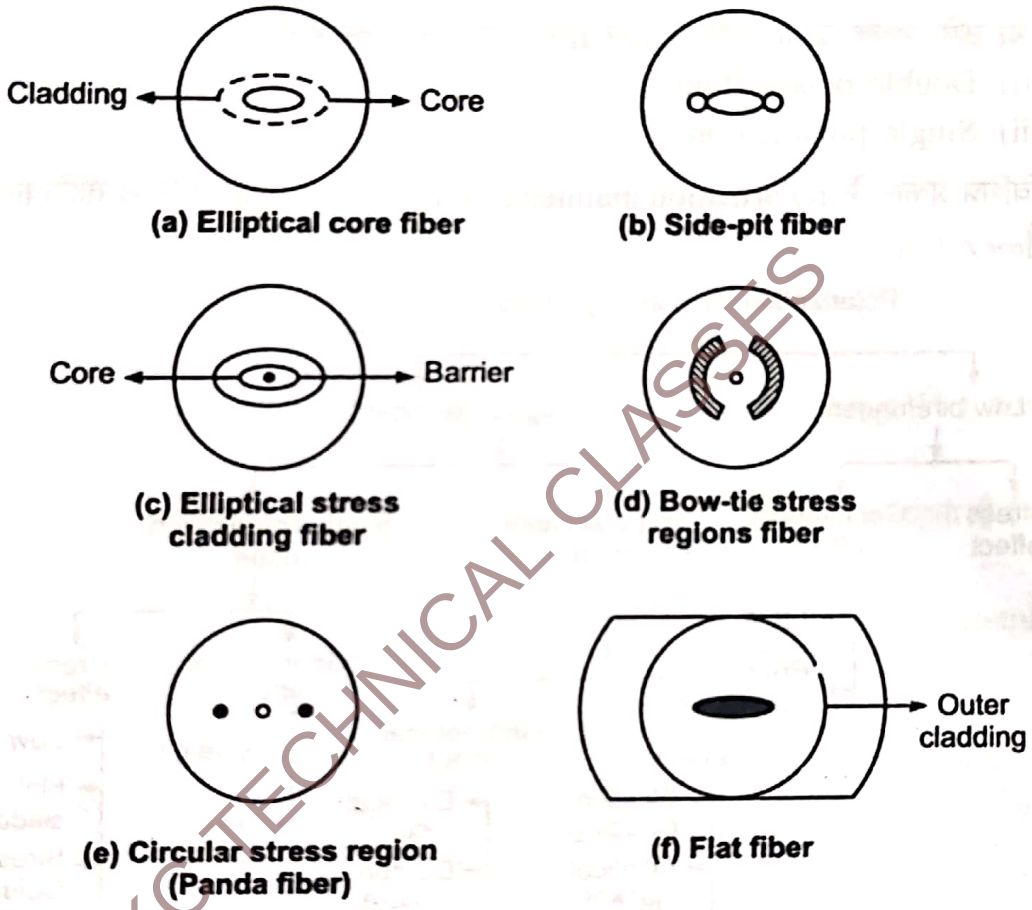
विभिन्न प्रकार के polarization maintaining fiber चित्र 8.12 में प्रदर्शित हैं। चित्र 8.12 (a) व (b) में geometric shape birefringence का प्रयोग किया गया है। यह एक कमजोर प्रभाव होता है तथा उच्च birefrinngence को उत्पन्न करने के लिए उच्च refractive index refrence को maintance करना पड़ता है।

चित्र 8.12 (a) में प्रदर्शित elliptical core fiber में उच्च doping levels होते हैं जिससे optical losses बढ़ते हैं और polarization cross coupling भी बढ़ती है। चित्र 8.12 (b) में प्रदर्शित side pit fibers द्वारा (low refractive index) भी *HB* fibers बनाये जा सकते हैं। चित्र 8.12 (c) में प्रदर्शित elliptical cladding (with high thermal expansion coefficient) द्वारा stress birefrengence उत्पन्न किये जा सकते हैं। चित्र 8.12 (d) तथा 8.12 (e) में प्रदर्शित

Scanned with CamScanner

bow-tie तथा Panda fibers में विभिन्न stress क्षेत्रों का उपयोग करके *HB* fibers बनाये जा सकते हैं।

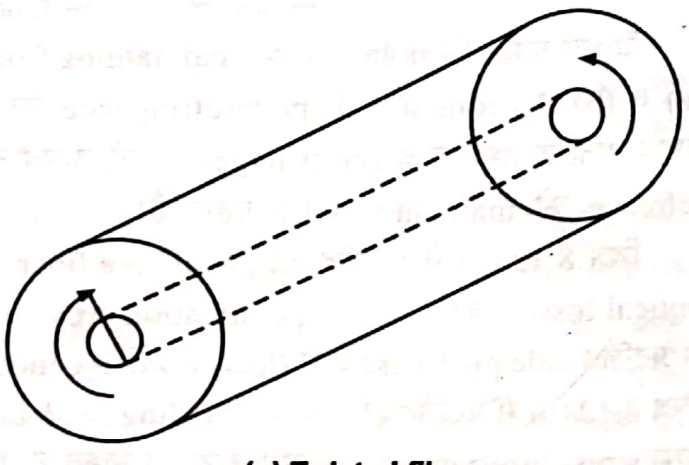
चित्र 8.12 (f) में प्रदर्शित flat cladding fiber में बाहरी सतह की elliptical cladding फाइबर कोर को स्पर्श करती है जिससे cladding दो भागों में divide हो जाती है।



चित्र 8.12

AKC TECHNICAL CLASSES

LB fibers बनाने हेतु कई तकनीकों का प्रयोग किया जाता है। MCVD तकनीक द्वारा 0·1% से कम ellipticity तथा लगभग 5×10^{-9} के modal birefringence को प्राप्त किया जा सकता है, बची हुई birefringence को कम करने के लिये निर्माण के बाद fiber को twist (मरोड़ना) किया जाता है [चित्र 8.12 (g)] 5 turns/m की twist rate से polarization mode के बीच के cross talk को समाप्त करने के लिए पर्याप्त होती है।



चित्र 8.12—Polarization maintaining fiber structures

Scanned with CamScanner

Residual birefringence (बची हुई birefringence) को समाप्त करने की एक अन्य विधि यह है कि fiber को draw करते समय glass को rotate कर दिया जाए जिससे spun fiber उत्पन्न होते हैं। PM fibers के अभिलक्षण modal birefringence और beat length के साथ-साथ mode coupling parameter, polarization cross talk तथा transmission losses से भी निर्धारित होते हैं।

Mode coupling parameter (h) fiber के maintenance की क्षमता को प्रदर्शित करता है तथा ये polarization crosstalk CT से निम्न सूत्र द्वारा सम्बन्धित होता है—

$$C_T = 10\log_{10}\frac{P_y}{P_x}$$

or
$$C_T = 10\log_{10}\tan h\,(hL)$$

where, P_x = optical power in the excited mode

P_y = optical power in the coupled mode

L = fiber length (in km).

Interference and delay differences between the orthogonally polarized modes in a birefringent fibers may cause polarization modal noise and polarization mode dispersion respectively. Polarization is also a problem when a single mode fiber is coupled to a modulator or other waveguide device that can require the light to be linearly polarized for efficient operation. So, there are many reasons to be considered for the use of fibers that will permit light to pass through with the retention of its state of polarization.

प्रश्न—एक optical signal जिसका input power level 1 mW को एक fiber में डाला जाता है (launched) जिसका attenuation loss $\lambda = 0{\cdot}82\ \mu m$ पर 0·5 dB/km है। 3 km की दूरी के बाद power level की गणना कीजिये।

उत्तर— Given that,

$$\lambda = 0{\cdot}82\ \text{mm}$$
$$\alpha = 0{\cdot}5\ \text{dB/km}$$
$$L = 3\ \text{km}$$
$$P_i = 1\ \text{mW}$$

फाइबर में Attenuation हानि,

$$\alpha = \frac{10}{L}\log\left(\frac{P_i}{P_o}\right)$$

i.e.,
$$P_o = P_i\left[10^{-\left(\frac{\alpha L}{10}\right)}\right]$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$= (1) P_i \left[10^{-\left(\frac{0.5\times 3}{10}\right)}\right]$$

$$= [10^{-0.15}]$$

अत: $\boxed{P_o = 0.75 \text{ mW.}}$

प्रश्न—एक फाइबर link में launch की गई mean power 0·5 mW है और fiber का attenuation 1·5 dB/km है। यदि detector 2μm न्यूनतम detect कर सकता है, तो link की अधिकतम संभव लम्बाई ज्ञात कीजिये।

उत्तर—Given that,

$$P_i = 1.5 \text{ mW}$$

$$P_o = 2 \mu\text{W}$$

$$\alpha = 0.5 \text{ dB/km}$$

Signal attenuation दिया जाता है—

$$\alpha = \frac{10}{L}\log_{10}\left(\frac{P_i}{P_o}\right)$$

$$L = \frac{10}{\alpha}\log_{10}\left(\frac{P_i}{P_o}\right)$$

$$= \frac{10}{0.5}\log_{10}\frac{1.5\times 10^{-3}}{2\times 10^{-6}}$$

$$= \frac{10}{0.5}\log_{10}\left(\frac{1.5\times 10^{3}}{2}\right)$$

$$= 20 \log_{10}(750)$$

$$L = 57.5 \times 10^3 \text{ m}$$

$\boxed{L = 57.3 \text{ km}}$

प्रश्न—किसी single mode fiber में PMD के कारण होने वाली pulse spread गणना कीजिए। (PMD-coefficeny = $0.5 Ps\sqrt{\text{km}}$ fiber length = 100 km)।

उत्तर—Given that,

$$D_{PMD} = 0.5 Ps\sqrt{\text{km}}$$

$$L = 100 \text{ km}$$

$$\therefore \quad \Delta t_{PMD} = D_{PMD}\sqrt{L}$$

$$= 0.5 \times \sqrt{100}$$

$\boxed{\Delta t_{PMD} = 5 \text{ ps}}$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

प्रश्नावली–8

1. (a) Optical fiber की transmission characteristics को explain कीजिये।
   (b) Optical fibers में होने वाले मुख्य losses की व्याख्या कीजिये।
   (c) Intermodal व Intramodal dispersion में अंतर बताइये।
2. Microbends व Macrobends में अंतर बताइये।
3. PMF से आप क्या समझते हैं?
4. ऑप्टिकल संचार पद्धति अन्य संचार पद्धतियों से किस आधार पर बेहतर है?
5. ऑप्टिकल फाइबर केबिल की संरचना बताइये।
6. ऑप्टिकल फाइबर के विभिन्न प्रकार बताइये।
7. विभिन्न ऑप्टिकल स्त्रोतों का वर्णन कीजिये।
8. फोटोडिटैक्टर का सिद्धान्त बताइये। ऑप्टिकल संचार में फोटोडिटैक्टर की महत्ता पर प्रकाश डालिये।
9. ऑप्टिकल फाइबर संचार पद्धति को ब्लॉक डायग्राम द्वारा समझाइये।
10. ऑप्टिकल संचार प्रणाली का बनाइये तथा संक्षेप में समझाइये।
11. ऑप्टिकल फाइबर के महत्वपूर्ण अभिलक्षणों को बताइये। विभिन्न प्रकार के ऑपटिकल फाइबर के नाम दीजिये व उनकी संरचना दर्शाइये।
12. ऑपटिकल फाइबर संचार प्रणाली का ब्लॉक आरेख बनाइये तथा इसे समझाइये।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

9 ऑप्टिकल फाइबर के पदार्थ तथा फैब्रीकेशन तकनीकें (MATERIALS AND FABRICATION TECHNOLOGIES OF OPTICAL FIBERS)

THINK ABOUT IT

"Religion is not merely a belief in some supreme Power, nor do I consider it to be the establishment of relations of any kind between this supreme Power and ourselves. It is also an inner identification with it and the creation of a new life through and its deepest mystery consists in the fact that the Divine enters the compass of the Human without impairing its Divinity. With this new phase life is completely renewed and elevated. Man becomes immediately conscious of the infinite and eternal, of that within him which transcends the world. For the first time the love of God becomes the ruling motive of his life, and brings him into an inner relation with the whole scope of reality... It is here that we find a new self, our true spiritual self."

— Rudolph Eucken

ARC TECHNICAL CLASSES

§ 9.1. परिचय (Introduction) :

किसी optical fiber system में optical fiber स्वयं सबसे महत्वपूर्ण होता है क्योंकि इसके transmission अभिलक्षण पूरे system की performance को प्रभावित करते हैं अत: यह जरूरी है कि optical fiber के स्थिर transmission अभिलक्षण हो। इनको वैद्युत cables की तरह आसानी से handle किया जा सकें तथा यह विभिन्न size RIPs wavelengths पदार्थों में उपलब्ध हों जिससे इनको विभिन्न अनुप्रयोगों में use किया जा सके। इसके साथ-साथ यह भी जरूरी है कि इनको आसानी से terminate या आपस में connect किया जा सके।

§ 9.2. पदार्थ (Fiber) :

Fiber पदार्थ ऐसा होना चाहिये जिससे लम्बे पतले और लचीले (flexible) fibers बनाये जा सके। किसी विशेष wavelength पर यह पारदर्शी होने चाहिये जिससे light आसानी से इसमें propagate कर सके।

अधिकतर fibers glass या plastic से बनाये जाते हैं। Glass के रूप में Silica (SiO_2) या silicate का use किया जाता है। Plastic fibers कम use होते हैं क्योंकि इनमें attenuation अधिक होता है।

Scanned with CamScanner

Glass Fibers—Metal oxide तथा sulfides तथा selenides की mixtures को fuse करके glass बनाया जाता है। अधिकतर इसमें silica का use किया जाता है जिसकी refractive index 850 nm पर 1·458 होती हैं। दो अलग-अलग refractive index वाले पदार्थ बनाने के लिए (core तथा cladding हेतु) silica में विभिन्न प्रकार के dopants का use किया जाता है जैसे B_2O_3, G_2O_2 या P_2O_5

Fiber composition के कुछ उदाहरण निम्नवत् है—

- GeO_2–SiO_2 Core: SiO_2 cladding
- SiO_2 core: B_2O_3 – SiO_2 cladding
- GeO_2 – B_2O_3 – SiO_2 core: B_2O_3 – SiO_2 cladding

Active Glass Fiber—यदि passive glass में rare earth elements (atomic number 57–71) मिला दिया जाये तो एक नया पदार्थ उत्पन्न होता है जिसके अभिलक्षण passive glass से भिन्न होते हैं। इन पदार्थों से active glass fibers बनाये जाते हैं। Fiber laser हेतु उपयुक्त पदार्थ है— Erbium तथा Neodymium

Plastic Optical Fiber—उच्च speed सेवाओं हेतु plastic fibers का विकास हुआ। इनकी core plastic material की होती है। जैसे कि polymethylmethacrylate और perfluorinated polymer। इनको क्रमश: PMMA POF और PF POF भी कहा जाता है। यह मजबूत तथा durable होते हैं किन्तु इनमें attenuation ज्यादा होता है। इनके अभिलक्षण तालिका 9.1 में प्रदर्शित है।

Table 9.1

S. No.	Characteristics	PMMA Plastic Optical Fiber	PF Plastic Optical Fiber
(i)	Core diameter	0·4 mm	0·125–0·30 mm
(ii)	Cladding diameter	1·0 mm	0·25–0·60 mm
(iii)	Numerical aperture	0·25	0·20
(iv)	Bandwidth	2·5 Gb/s over 200 m	2·5 Gb/s over 550 m
(v)	Attenuation	140 dB/km at 650 nm	< 50 dB/km at 650-1300

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 9.3. विधियाँ (Fabrication) :

Multimode तथा single mode fiber को fabricate करने के लिए दो methods का use किया जाता है।

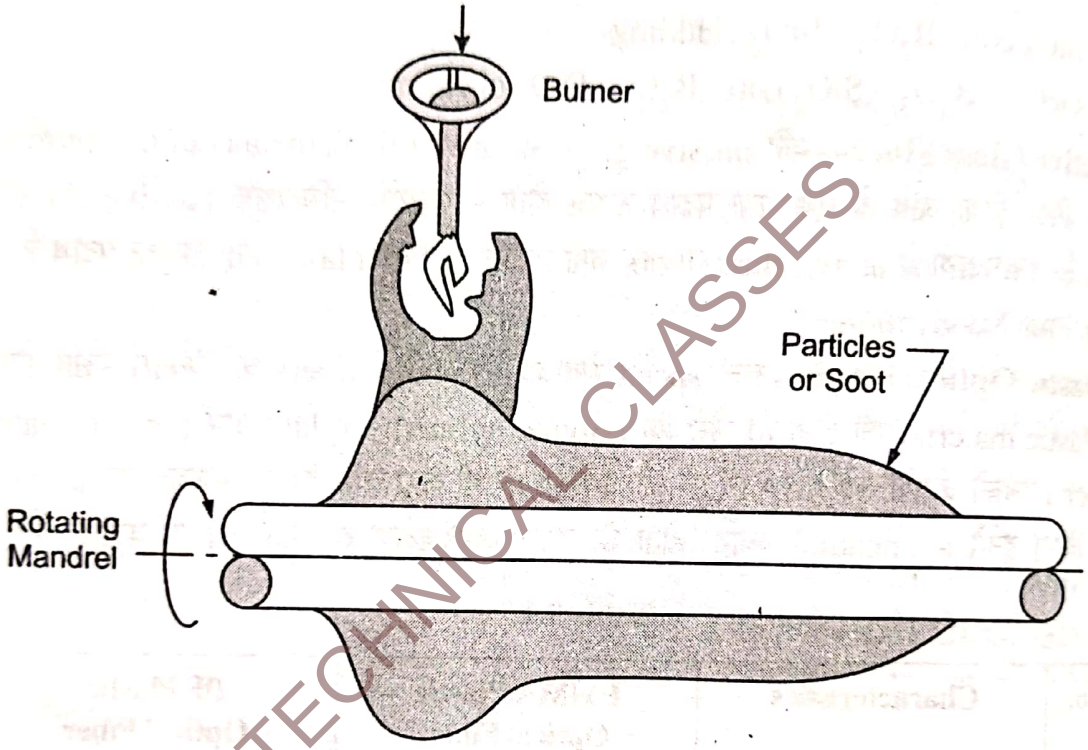
- Vapor phase oxidation
- Direct-melt process

Vapor Phase Oxidation Method—इस विधि में gaseous metal halide compound, dopant पदार्थ तथा oxygen को oxidize करके white silica powder बनाया जाता है। यह powder core तथा cladding का कार्य करता है। dopant material को change करके soot की layers की refractive index change की जाती है। Drawing furnace की

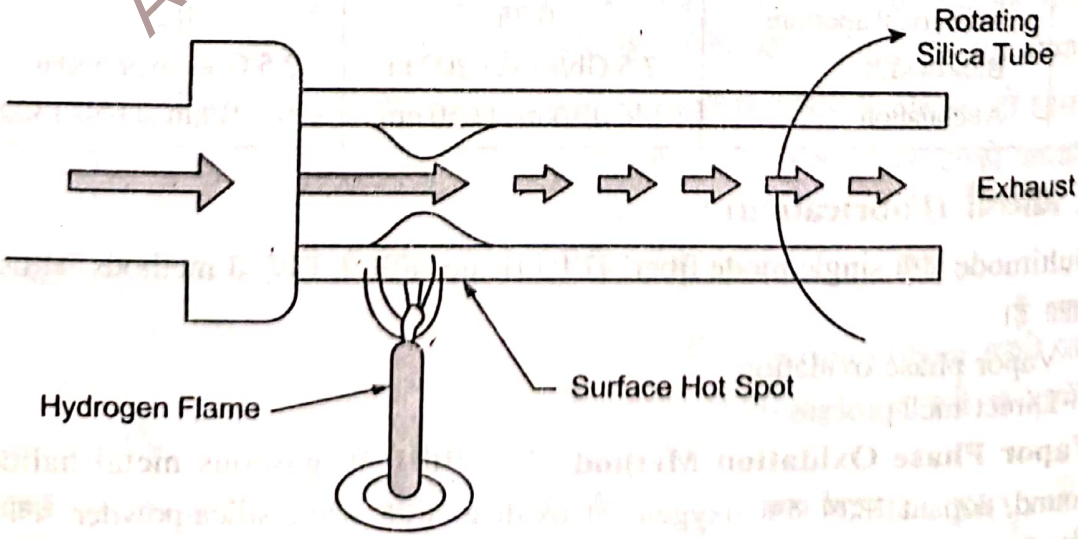
Scanned with CamScanner

सहायता से इसको cable का shape दिया जाता है। Glass substrate (mandrel) पर soot (sich) को deposit करने की कई विधियाँ है जैसे कि—

- Outside Vapor Phase Oxidation (OVPO) चित्र 9.1 (a)
- Inside Vapor Phase Oxidation (IVPO) चित्र 9.1 (b)
- Vapor Phase Axial Deposition (VAD) चित्र 9.1 (c)



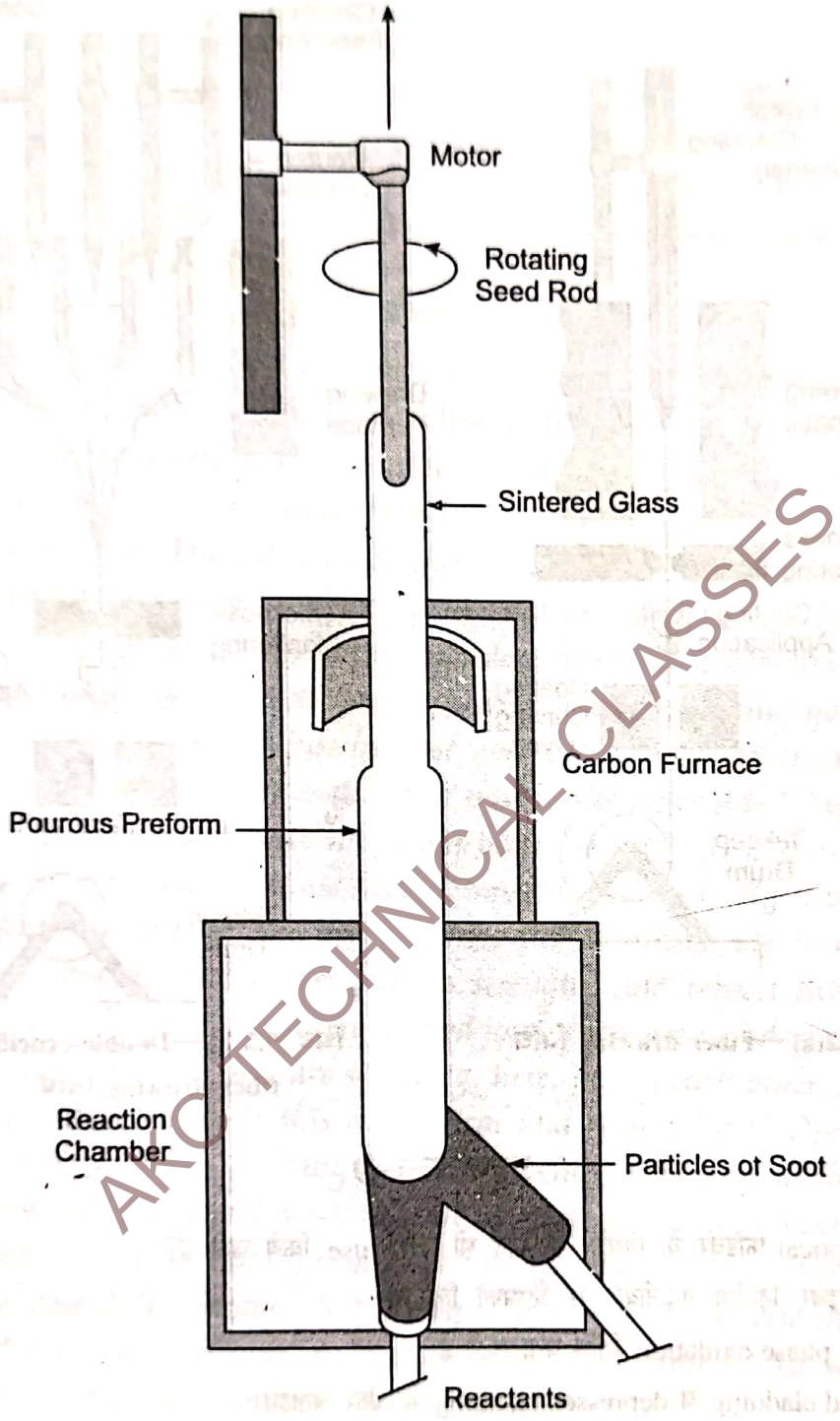
चित्र 9.1(a)—OVPO perform preparation विधि



चित्र 9.1(b)—IVPO preform preparation विधि

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

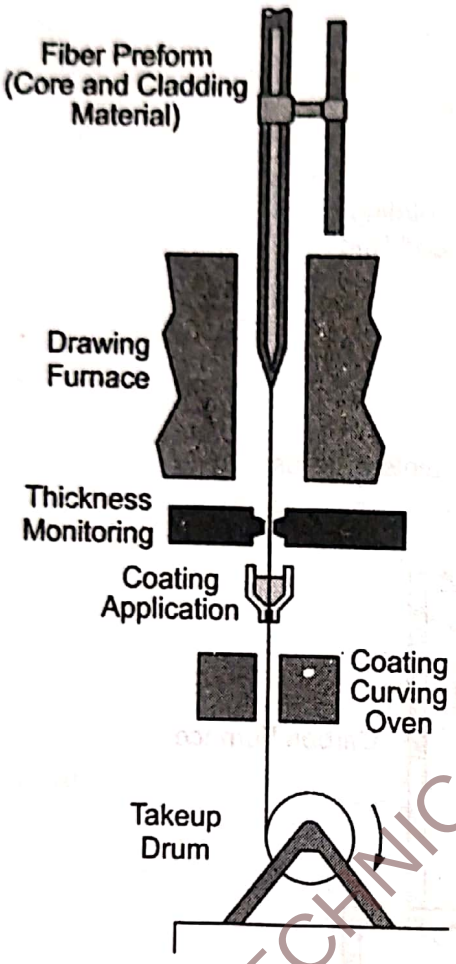


ARC TECHNICAL CLASSES

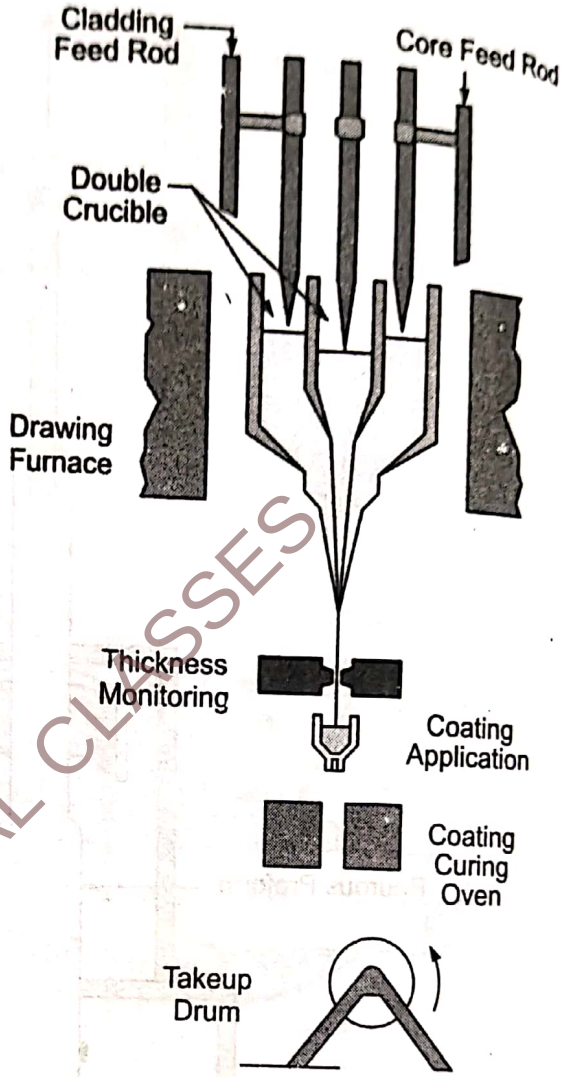
चित्र 9.1(c)—VAD preform preparation विधि

Direct Melt Process—इस विधि में multicomponent glass rods से fiber संरचना बनायी जाती है। इन rods को पिघलाकर तथा cladding बनायी जाती है। इसके लिए double crucible method का use किया जाता है (चित्र 9.2 देखें)।

Scanned with CamScanner



चित्र 9.2(a)—Fiber drawing विधि



चित्र 9.2(b)—Double-crucible fiber drawing विधि

AKC TECHNICAL CLESSES

प्रश्नावली–9

1. (a) Optical फाइबर के निर्माण में कौन सी पदार्थ use किये जाते हैं?
   (b) फाइबर निर्माण तकनीकों पर टिप्पणी लिखिये।
2. Vapour phase oxidation विधि क्या होती है?
3. Matched cladding व depressed cladding में अंतर बताइये।

Scanned with CamScanner

10 वेवगाइड्स (WAVEGUIDES)

THINK ABOUT IT

Two cats were walking on a narrow path toward each other. When they came near one another, no one was willing to let the other pass first. They just stood there, screaming at each other. "You let me pass first," said one cat." No! I was first here," said the other cat. After a while, the screams turned into a fight. The cats started fighting, scratching, and biting each other. A little while later, a wiser cat arrived to the scene. He looked at them and started to laugh. "Why are you laughing?" The cats asked him. "I am laughing at you and at your behavior. You are wasting your time and are hurting each other, just because you won't let the other one pass. The path is wide enough for each cat to pass to the other side." "Why are you fighting? Don't you have anything better to do?" "It is a matter of honor and power." The two cats said. "Someone, who is really strong and self-confident, doesn't feel the need to show this to others. He or she feels good about himself, and others feel his strength, and respect him, with love, not fear." "There is life, there is good food, there are wonderful things to enjoy and to do, and you are standing, here, facing each other, yelling, scratching and fighting. Is this a practical and rational act? Open your eyes and grow up!" "Is it really important who passes first to the other side of the path? Is it worthwhile to have all these scratches and bites? You are wasting your time, energy and health on nonsense." The two cats were bewildered and didn't know what to say. The words of the wise cat made sense, but their subconscious, programmed behavior and habits were too strong. It was not easy for them to resist them.

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 10.1. वेवगाइड्स (Waveguides) :

Waveguides द्वारा microwaves को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है। चूँकि OFC में फाइबर्स भी एक प्रकार से waveguides का कार्य करती है, अत: आइये waveguides पर भी चर्चा कर ली जाये।

आइये बात करते हैं, Microwave frequencies को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजने की। यह तो आप जानते ही हैं कि lower electromagnetic frequencies को एक स्थान से दूसरे

Scanned with CamScanner

स्थान पर भेजने हेतु transmission lines का प्रयोग किया जाता है। सवाल यह उठता है कि क्या microwave frequencies भी transmission lines पर आसानी से travel कर सकती हैं? देखिये, 3 GHz से अधिक आवृत्तियों को ट्रांसमिशन लाइन्स पर travel करने में कई दिक्कतें आने लगती हैं। इसके कई कारण हैं। पहला तो यह कि microwave frequencies पर transmission lines में losses अधिक होने लगते हैं। यह losses line के conductors में तो होते ही है, तथा conductor को support करने में use किये जाने वाले dielectric में भी होते हैं। Conductors में skin effect प्रभावी होने लगता है जिसके कारण current conductor के पूरे cross section में uniformly flow न करके conductor की सतह पर ही concentrate होने लगता है। इसके अलावा कई अन्य कारण भी हैं, जिनके कारण microwave frequencies का transmission iines पर टासमिट कराना कठिन हो जाता है तथा यह कारण वेवगाइड्स को पढ़ने के बाद आप ज्यादा अच्छी तरह से समझ पायेंगे। पहले देखते हैं कि आखिर वेवगाइड है क्या?

''एक hollow metallic tube of uniform cross section, जिसकी inner walls में लगातार reflections के माध्यम से electromagnetic waves को transmit किया जाता है, वेवगाइड कहलाती हैं :

''वेवगाइड धातु की एक खोखली ट्यूब होती है जिसमें विद्युत चुम्बकीय तरंगें प्रोपेगेट करती हैं।''

''माइक्रोवेव आवृत्तियों को ट्रांसमिट करने के लिये प्रयुक्त विशेष प्रकार की खोखली धात्विक ट्यूब्स वेवगाइड्स कहलाती हैं।''

"A hollow metallic tube of uniform crosssection for transmitting electromagnetic waves by successive reflections from inner walls of the tube is known as a waveguide."

"Hollow metallic pipes used for carrying microwave frequencies are called waveguides."

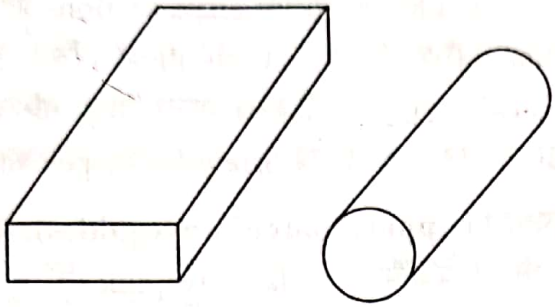
"A waveguide is a structure which guides waves, such as electromagnetic waves or sound waves. There are different types of waveguides for each type of wave. The most common meaning of waveguides is a hollow conductive metal pipe used to carry high frequency radio waves, particularly microwaves.

Waveguides differ in their geometry which can confine energy in one dimension such as in slab waveguides or two dimensions as in fiber or channel waveguides. Different waveguides are needed to guide different frequencies: an optical fiber guiding light (high frequency) will not guide microwaves (which have a much lower frequency). Note that the width of a waveguide needs to be of the same order of magnitude as the wavelength of the guided wave."

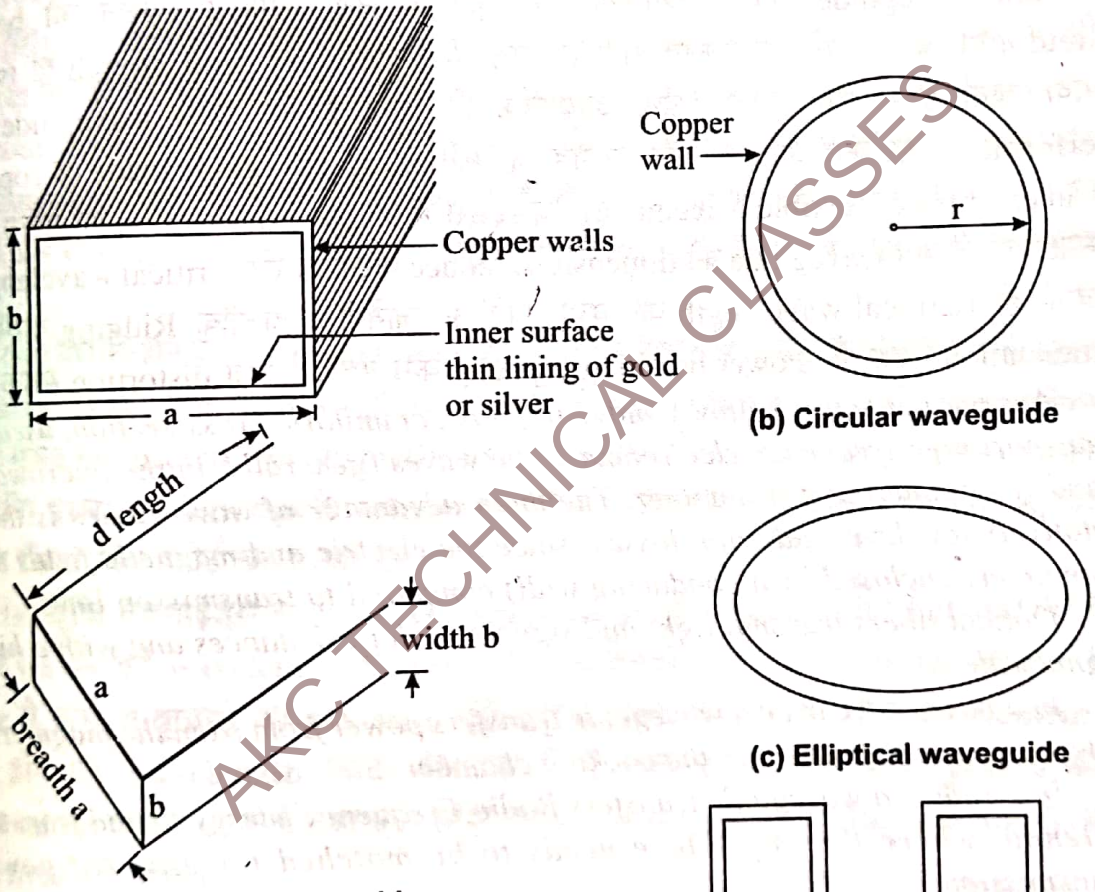
विभिन्न प्रकार की वेवगाइड्स (Different types of waveguides): इलैक्ट्रोमैगनेटिक तरंगों के संचरण हेतु वेवगाइड का cross-section किसी भी प्रकार का हो सकता है। चित्र 10.1 (a) में rectangular waveguide प्रदर्शित है जबकि 10.1 (b) में circular wave guide प्रदर्शित है। Waveguide के cross section rectangular व circular के अलावा अन्य shapes के भी हो

AK TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 10.1—Waveguides, (a) Rectanguiar, (b) Circular



चित्र 10.2—Waveguides of various shapes

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

सकते हैं। चित्र 10.2 में waveguides के विभिन्न cross sections प्रदर्शित हैं जैसे rectangular (चित्र 10.2 (a)), circular (चित्र 10.2 (b)), elliptical (चित्र 10.2 (c)), single ridge (चित्र 10.2 (d)), double ridge (चित्र 10.2 (e)) आदि। किन्तु अधिकतर rectangular या फिर circular wavegudes ही प्रचलन में है क्योंकि irregular shapes का विश्लेषण कठिन होता है।

वेवगाइड्स के अनुप्रयोग (Applications of waveguides): Rectangular wavegude सबसे अधिक use की जाती है क्योंकि circular wavegudes में waves को twist करने की tendency होती है। लेकिन Radars के rotating antennas हेतु circular wavegudes ज़्यादा उपयुक्त रहती हैं। Flexible waveguides में ellipitical shape को वरीयता दी जाती है। Flexible waveguides की आवश्यकता तब पड़ती है जब वेवगाइड सैक्शन को bend, stretdth या twist करने की जरुरत होती है। जब भी वेवगाइड को bend, stretch या twist किया जाता है तो यह ध्यान रखना आवश्यक हो जाता है कि इससे waveguide की performance पर कोई प्रतिकूल असर न पड़े (an Elliptical waveguide made of copper is an example of flexible waveguide) वेवगाइड्स में Ridge cross section का प्रयोग तब किया जाता है जब waveguide की dimensions reduce करनी हो तथा critical wavelength बढ़ानी हो (Critical wavelength की चर्चा आगे की जायेगी)। हालांकि Ridging करने से Attenuation बढ़ता है, Power handling capacity कम होती है तथा distortion बढ़ता है।

A wave-guide is a hollow conducting pipe, of uniform cross-section, used to transport high frequency electronmagnetic waves (generally, in the microwave band) from one point to another. The main advantage of wave-guides is their relatively low level radiation losses (since the electric and magnetic fields are completely enclosed by a conductng wall) compared to transmisson lines.

Optical fibers transmit light and signals for long distances and with a high signal rate.

In a microwave oven a waveguide transfers power from from the magnetron where waves are formed, to the cooking chamber.

In a radar, a waveguide transfers Radio Frequency energy to and from the antenna, where the impedance needs to be matched for efficient power transmission.

A waveguide called stripline can be created on a printed circuit board, and is used to transmit microwave signals on the board. This type of waveguide is very cheap to manufacture and has small dimensions which fit inside printed circuit boards.

Waveguides are used in scientific instruments to measure optical, acoustic and elastic properties of materials and objects. The waveguide can be put in contact with the specimen (as in a Medical ultrasonography), in which case the waveguide ensures that the power of the testing wave is conserved, or the specimen may be put inside the waveguide (as in dielectric constant measurement), so that smaller objects can be tested and the accuracy is better.

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

वेवगाइड्स के सम्बंध में निम्न महत्त्वपूर्ण बातों को जानना आपके लिये अति आवश्यक है–

(i) वेवगाइडस uniform cross section वाली hollow metallic tubes होती हैं जिनके अन्दर की walls से successive reflections द्वारा electromagnetic waves propagate करती हैं।

(ii) किसी सिस्टम में, waveguide के एक छोर पर एन्टीना हो सकता है जबकि दूसरे छोर पर रिसीवर या ट्रांसमिटर हो सकते हैं। एन्टीना electromagnetic waves को transmit करेगा, तथा यह waves waveguide के अन्दर सफर करती हुई load द्वारा receive कर ली जायेंगी।

(iii) Waveguides की दीवारें metallic होती है तथा electromagnetic waves को reflect करती हैं। यहाँ बहुत ही ध्यान से इस बात को समझने की कोशिश करें कि energy का conduction waveguide की दीवारों के माध्यम से नहीं हो रहा है बल्कि waveguide में filled dielectric के माध्यम से हो रहा है जो कि सामान्यत: air होती है। दीवारों का काम सिर्फ इस energy को wavegude के अंदर सीमित करके रखने का है, इससे ज्यादा कुछ नहीं।

(iv) ट्रांसमिशन लाइन में wave propagation का विश्लेषण करते समय हम voltages व currents की बात करते हैं। Waveguides में wave propagation का discussion करते समय हम electric तथा magnetic fields की बात करेंगे (as in wave propagation)। हालांकि इससे waveguides के behaviour को समझना एक कठिन कार्य हो जाता है, पर इसके सिवा और कोई चारा नहीं है।

(v) चूँकि वेवगाइड्स के cross sectional dimensions waveguides में travel करने वाली waves की wavelength के order के होने चाहिये अत: waveguides का use 1 GHz से कम आवृत्तियों का practical नहीं होता। कहने का तात्पर्य यह है frequencies कम होने पर wavelength ज्यादा होने लगती है तथा इसके लिये waveguides की dimensions बढ़ानी पड़ती हैं तथा एक सीमा का बाद waveguides की dimensions बढ़ाना practical नहीं होता।

(vi) Transmission lines व waveguides दोनों में कई signals एक साथ propagate किये जा सकते हैं। ट्रांसमिशन लाइन्स में दो सिगनल एक साथ propagate कराने हेतु उनकी frequency different होना जरुरी होता है, जबकि waveguides में ऐसा नहीं है। waveguides में दो सिगनल एक साथ transmit करने हेतु उनकी modes अलग होना ही काफी है।

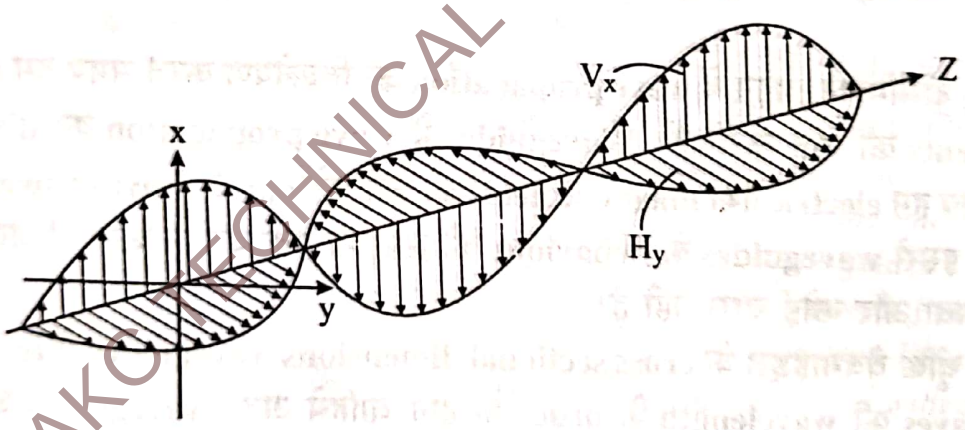
(vii) Waveguides के अंदर केवल हवा (air) होती है, तथा propagation इसकी walls से reflection के कारण होता है (न कि conduction द्वारा, जैसा कि transmission lines में होता है।) अत: transmission lines की तुलना में wavegudes में कम power losses होते हैं।

(viii) स्मिथ चार्ट्स को waveguides calculaton हेतु भी use किया जा सकता है।

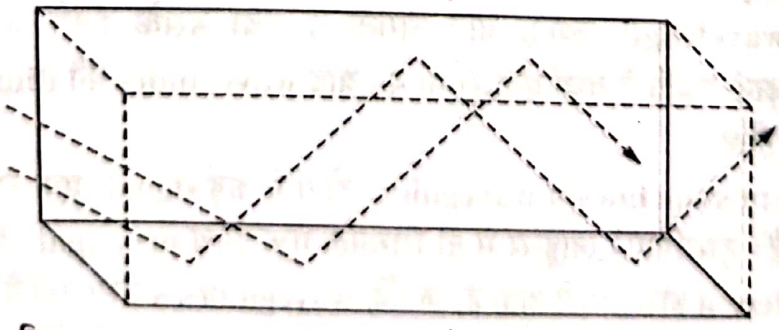
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

कन्डक्टिंग सतह से वेव का रिफ्लैक्शन (Reflection of waves from conducting plane) : इलैक्ट्रोमैगनेटिक तरंगें Traverse Electro-magnetic (TEM) होती हैं अर्थात् electric field, magnetic field तथा direction of propagation, यही तीनों mutually perpedicular होते हैं (चित्र 10.3 देखें), आप ध्यान दीजिये कि electric field x direction में है, magnetic field y direction में है तथा directon of propagation z-direction में है)। ऐसी तरंगों को waveguide में सीधे नहीं भेजा जा सकता क्योंकि ऐसा करने से electric field waveguide की conducting walls द्वारा short circuit हो जायेगी। अत:, कोई ऐसा method होना चाहिये जिससे electric field walls के समीप तथा walls के parallel में exist करे। अत: waves को zig-zag motion में भेजा जाता है (चित्र 10.4 देखें)। अब waves waveguide की दीवारों से bounce करती हुई चलती हैं जिससे electric field waveguide के center या उसके आसपास अधिकतम होती है तथा waveguides की walls पर शून्य होती है। अत: इस स्थिति में walls के लिये short circuit करने को कुछ नहीं होता तथा walls के बीच उत्पन्न wave pattern को वह interfere नहीं कर पाती तथा wave आसानी से propagate हो जाती हे।



चित्र 10.3—Transverse electromagnetic wave in free space.



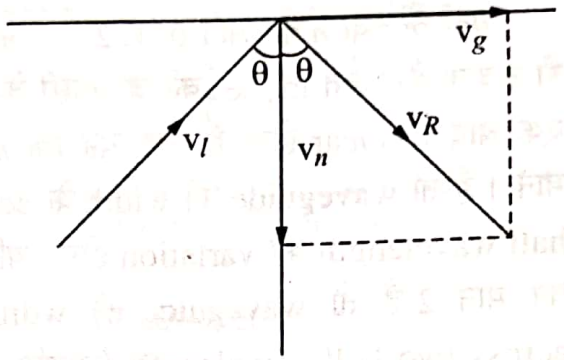
चित्र 10.4—Method of wave propagation in a waveguide.

इस zig-zag motion से दो स्थितियाँ उत्पन्न होती है, पहली तो यह waveguide में velocity of propoagation free space से कम होगा (यह ठीक ऐसा ही है कि आप सड़क पर सीधे दौड़ लगायें तो आपकी velocity ज्यादा होगी, और यदि आप zig-zag दौड़े तो velocity कम हो जायेगी)। दूसरी बात यह, कि अब waves TEM नहीं रह जाती। यह स्थिति उत्पन्न होती है क्योंकि जब propagation reflection के कारण होता है तो electric तथा

AKOTECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

magnetic fields के लिये normal component के साथ-साथ direction of propation में भी fields के component उत्पन्न हो जाते हैं (जो कि इस बात पर निर्भर करते हैं कि waveguides में waves किस प्रकार set up हुई हैं)। प्रोपेगेशन की दिशा में इस कम्पोनैंट के उत्पन्न होने के कारण अब waves TEM नहीं रह जाती क्योंकि अब प्रोपेगेशन की दिशा में इलैक्ट्रिक या मैगनेटिक कम्पोनैंट भी होता है (चित्र 10.5) देखें।



चित्र 10.5—Reflection from a conducting

अतः, अब प्रोपेगेशन हेतु दो प्रकार की विधियाँ सम्भव हो जाती हैं, जिनको modes कहा जाता है। वह modes जिनमें प्रोपेगेशन की दिशा में इलैक्ट्रिक फील्ड का कम्पोनैंट नहीं होता transverse electric modes (TE modes) कहलाती हैं। वह modes जिनमें प्रोपेगेशन की दिशा में मैगनेटिक फील्ड का कोई कम्पोनैट नहीं होता, transverse magnetic modes (TM modes) कहलाती हैं।

"The Electromagnetic wave inside the waveguides can have an infinite number of patterns, and these are called modes of propagation. In general, there are two kinds of modes in a waveguides. The modes in which electric field is always transverse to the direction of propagation (and hence there is no electric field component component in the direction of propagation) is called transverse electric mode or TE mode. On the other hand, the modes in which magnetic field is always transverse to the direction of propagation (and hence there is no magnetic field component in the direction of propagation) is calied Transverse magnetic mode or TM mode.

Note that :

If wave is propagating in Z direction, then

For TE mode, $E_z = 0, H_z \neq 0.$

For TM mode $H_Z = 0, E_z \neq 0.$

वेवगाइड्स के मोडस को विभिन्न submodes में निम्नवत् विभाजित किया जा सकता है—

(i) $TE_{m,n}$ modes (Transverse electric modes के लिये)

(ii) $TM_{m,n}$ modes (Transverse magnetic modes के लिये)

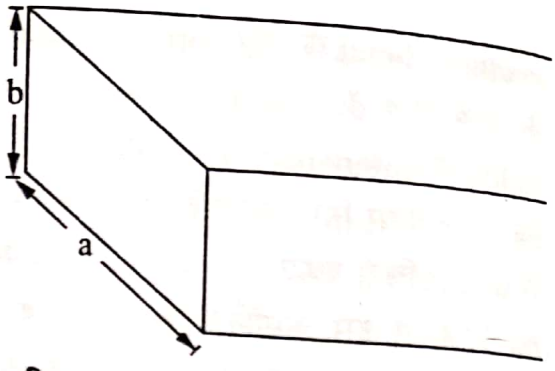
जहाँ

m = number of half wavelength (half wavelengths of electric field for TE mode and half wavelength of magnetic field for TM mode) across waveguide width (a, in Fig. 10.6)

n = number of half wavelength (half wavelength of magnetic field for TE wave and half wavelength of electric field for TM wave) along waveguide height (b, in Fig. 10.6)

ARC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 10.6—Rectangular waveguide of width *a* and height *b*.

यहाँ m तथा n का मान 0, 1, 2 ..... n, तक हो सकता है। उक्त modes की जानकारी के बाद एक बाद तो clear होती है। वह यह कि m का मान 1 है तो waveguide की width के across half wavelength का variation होगा, यदि m का मान 2 है तो waveguide की wdith के across two half-wavelength (अर्थात् one wavelength का variation होगा), इसी प्रकार यदि m का मान 3 है तो waveguide को wdith के across तीन half wavelengths (अर्थात् 1.5 wavelength) का variation होगा। इससे यह समझ में आता है कि waveguide की width के across कम से कम wave की आधी wavelength तो होनी ही चाहिये अत:, यदि आपको waveguide की width दी गई है तो उसमें कम से कम वही frequency propagate कर सकती है जिसकी wavelength waveguide की width से double (या उससे ज्यादा अर्थात् 3 गुनी, चार गुनी इत्यादि है।) अत: waveguide की लिये wavelength की एक अधिकतम सीमा है, जिससे ऊपर की wavelength उसमें प्रोपेगेट नहीं कर सकती। इस वेवलैथ को वेवगाइड की कट-ऑफ वेवलैंथ कहा जाता है।

डॉमिनैट मोड (Dominant mode) : Waveguide की वह mode जिसकी cut-off wavelength अधिकतम होती है, dominant mode कहलाती है, तथा बाकी सब modes higher modes कहलाती हैं। जैसे कि TE waves के लिये TE_{10} mode dominant mode होती है।

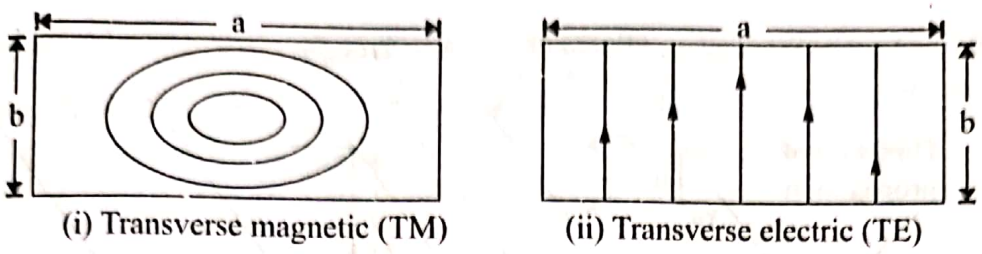
"The mode having highest cut-off wavelength is called dominant mode of the waveguide and all other modes are called higher modes. For TE waves TE_{10} mode is the dominant mode. It is the mode which is generally used for all microwave transmission in a waveguide. It results in low loss, distortionless transmission, while with higher modes of transmission, there is some power loss and harmonic distortion."

"The natural mode of operation for a waveguide is known as dominant mode. This mode is the lowest possible frequency, which can be transmitted through that particular waveguide. The half wavelength is is the lowest frequency, which propagates in the waveguide. When m = 1, the signal is said to be in dominant mode, and this yields the largest cut-off wavelength of the waveguide."

रैडियेशन पैटर्न (Radiation Patterns) : चित्र 10.7 (a) में transverse electric तथा magnetic field patterns प्रदर्शित हैं। चित्र 10.7 (b) में dominant mode TE_{10} प्रदर्शित है। आप देखें कि इसमें width a के अंदर electric field की half wavelength दिखाई पड़ रही है। TE_{10} को विस्तृत रूप में चित्र 10.7 (c) में दिखाया गया है।

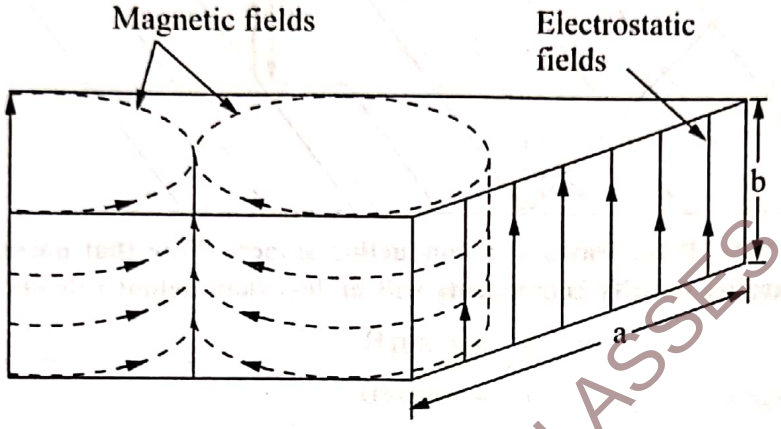
AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



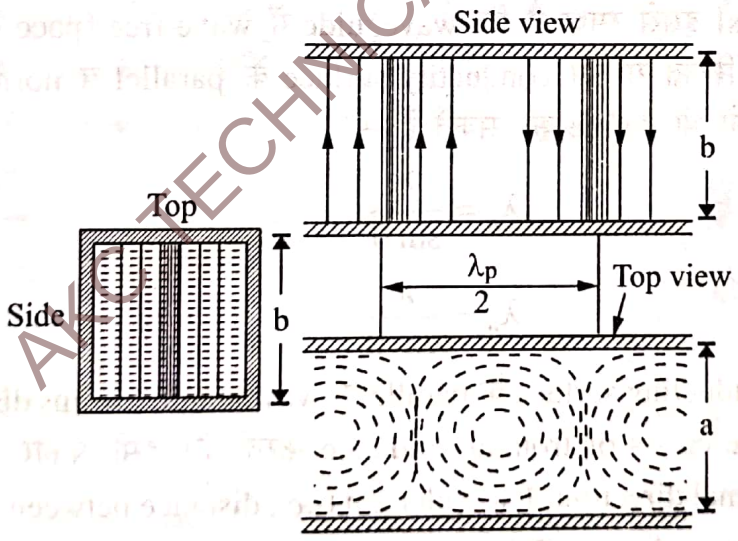
(i) Transverse magnetic (TM) (ii) Transverse electric (TE)

(a)



(b)

चित्र 10.7—(a) TM and TE propgation,
(b) Dominant mode of waveguide operation.



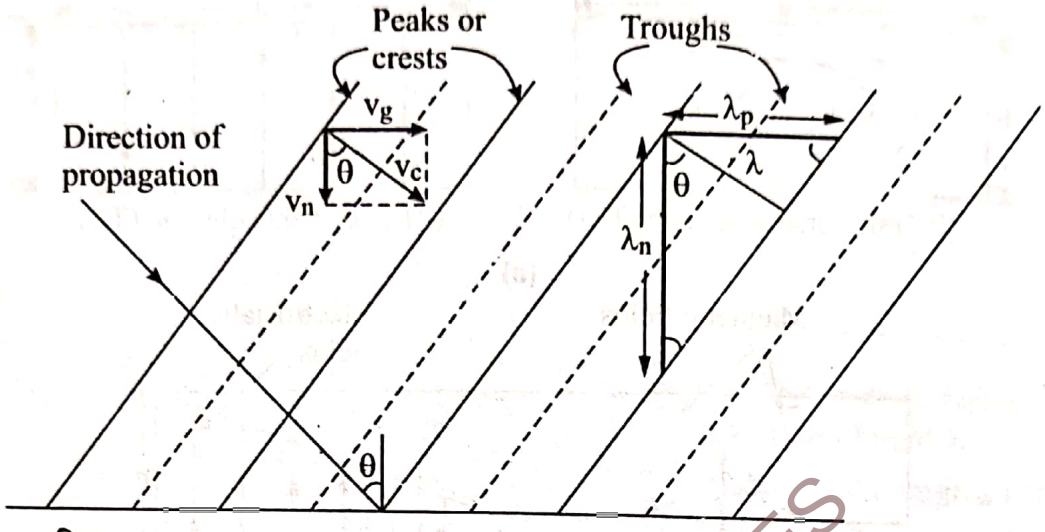
(c)

चित्र 10.7—(c) $RE_{1,0}$ mode

वेवगाइड्स में वेव्स का संचरण (Travel of waves through the waveguidie) : आपको मैने बताया था कि waveguides में wave सीधी नहीं चलती बल्कि दीवारों से reflect होकर zig-zag motion में चलती हैं तथा इनका motion सीधा नहीं होता बल्कि diagonal होता है। ऐसी ही एक वेव चित्र 10.8 में प्रदर्शित है, जिसका angle of incidence e है। यदि इस wave की actual velocity v_c है, तो conducting surface की parallel व normal directons में velocity निम्नवत् होगी—

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner



चित्र 10.8—Plane waves at a conducting suface. (Note that normal and parallel velocity components will be less than actual velcoity v_c)

$$v_g = v_c \sin\theta \quad \text{...(i)}$$

$$v_n = v_c \cos\theta \quad \text{...(ii)}$$

जहाँ v_g = velocty in direction parallel to conducting surface

v_n = velocity in direction perpendicular to the conducting surface.

उदाहरणत: यदि $\theta = 30°$, तथा $v_c = 3 \times 10^8$ m/s, तो $v_g = 1{\cdot}5 \times 10^8$ m/s तथा $v_n = 26 \times 19^8$ m/s। इससे स्पष्ट है कि waveguide में wave free space की तुलना में धीरे चलती है। ऐसी स्थिति में हम conductity surface के parallel व normal direction में wavelengths को भी define कर सकते हैं—

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\sin\theta} \quad \text{...(iii)}$$

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{\cos\theta} \quad \text{...(iv)}$$

यहाँ λ_p conducting surface के parallel में wavelength (means distance between two successive crests or troughs) indicate करती है। इसी प्रकार λ_n conducting surface के normal direction में wavelength (*i.e.*, distance between two successive crests or trough) indicate करती है।

इलैक्ट्रोमैगनेटिक तरंगों की दो velocities होती हैं, एक तो वह velocity जिससे वह propagate करती है, तथा दूसरी वह जिससे वह travel करती है। Free space में तो यह दोनों velocities समान होती है तथा इनका मान प्रकाश की गति अर्थात् 3×10^8 m/s होता है अर्थात् for free space

$$v_c = f\lambda = 3 \times 10^8 \text{m/s} \quad \text{...(v)}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

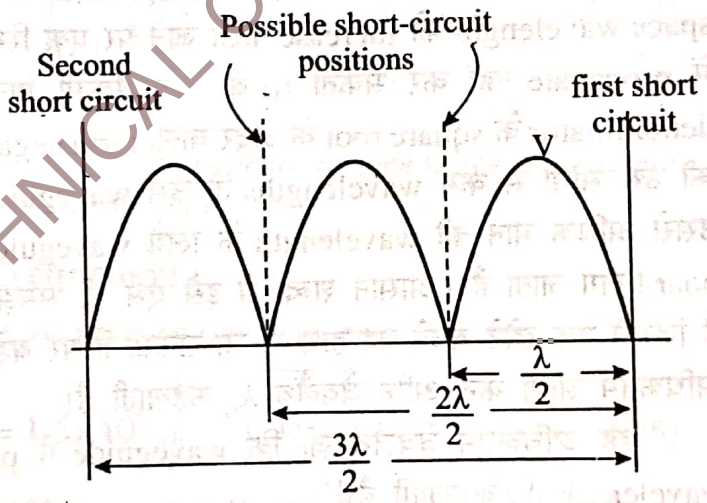
वेवगाइड्स में situation थोड़ी चेंज हो जाती है। यहाँ phase velocity v_p, अर्थात् वह velocity जिससे वेव conducting surface के parallel direction में phase change करती हैं, का मान velocity of propagation से भिन्न होता है। अत: phase velocity

$$v_p = f\lambda_p$$
$$= f\frac{\lambda}{\sin\theta} = f\lambda \operatorname{cosec}\theta$$
$$= v_c \operatorname{cosec}\theta \qquad ...(vi)$$

यह एक आश्चर्यजनक परिणाम है, क्योंकि इसके अनुसार wave की phase velocity का मान प्रकाश की गति से अधिक होगा (because $\operatorname{cosec}\theta \geq 1$)। लेकिन यहाँ पर इस बात का उल्लेख करना जरुरी है कि phase velocity किसी भी तरह से Theory of relativity को contradict नहीं कर रही, क्योंकि phase velocity से कोई mass, या energy का transfer नहीं हो रहा, न इस velocity से कोई signal भेजा जा रहा है। यह केवल वह apparent velocity है जिससे wave boundary पर फेज़ चेंज करती है।

"Phase velocity is the velocity with which the wave changes phase at a plane boundary and not the velocity with which it travels along the boundary."

अब तक किये गयें discussion में हमने waveguide की एक दीवार के बारे-ही बात की है। Waveguide की दूसरी दीवार इस प्रकार होनी चाहिये जिससे वह waveguide के existing pattern को disturb न करे (जिसके लिये यह point of zero voltage पर होनी चाहिये (चित्र 10.9) अत: दूसरी दीवार पहली दीवार से $m\frac{\lambda}{2}$ दूसरी पर स्थापित की जानी चाहिये, (m is the number of half wavelengths of electric intensity to be established between the walls).



चित्र 10.9. Placement of second short circuit at mλ/2 distance from short circuit.

कट-ऑफ वेवलैथ (Cut-off-wavelength)

यदि wavelength की दो walls के मध्य distance (अर्थात् waveguide की width) a है, तो a को half wavelength λ_n का multiple होना चाहिये

$$a = \frac{m\lambda_n}{2} \qquad ...(10.1)$$

where a = width of the waveguide
λ_n = wavelength in direction normal to both the walls
m = number of half wavelength of Electric field intensity to be established between the walls, $m = 1, 2, 3, ..., n$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

समीकरण (iv) के अनुसार

$$a = \frac{m(\lambda/\cos\theta)}{2} = \frac{m\lambda}{2\cos\theta}$$

या $$\cos\theta = \frac{m\lambda}{2a} \qquad ...(vii)$$

अत: $$\lambda_p = \frac{\lambda}{\sin\theta}$$

$$= \frac{\lambda}{\sqrt{1-\cos^2\theta}}$$

$$\boxed{\lambda_p = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)^2}}} \qquad ...(10.2)$$

आप देखेंगे कि समीकरण 10.2 एक important निष्कर्ष लेकर आता है। वह यह कि free space wavelength को increase करते जाने पर एक स्थिति आती है कि wave waveguide में propagate नहीं कर सकती (a व m के किसी मान के लिये जब समीकरण 10.2 में denominator के square root के अंदर वाली term negative हो जाती है)। इस wavelength की उस सीमा से कम wavelengths तो उस waveguide में propagate कर सकती है पर उससे अधिक मान की wavelength के लिये waveguide के दरवाजे पर "No entry" का board लग जाता है (आसान शब्दों में इसे ऐसे भी समझ सकते है कि एक पतला सा पाइप है जिसमें एक छोटे बच्चे का हाथ तो जा सकता है पर बड़े व्यक्ति का नहीं)। वेवलैंथ की यह अधिकतम सीमा कट-ऑफ वेवलैंथ λ_0 कहलाती है।

"वह अधिकतम वेवलैथ जो कि waveguide में propagate कर सकती है, cut-off wavelength A_0 कहलाती है।"

For cut off wavelength, λ_0

$$1-\left(\frac{m\lambda_o}{2a}\right)^2 = 0$$

या $$\left(\frac{m\lambda_0}{2a}\right) = 1$$

या $$\lambda_0 = \frac{2a}{m} \qquad ...(10.3)$$

"The largest value of cutoff wavelength will be when m = 1, and it will be

$$\lambda_0 = 2a"$$

"When m = 1, the longest wavelength, which can travel along the waveguide is two times the waveguide width. This is called the dominant mode of propagation

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

and it gives the longest wavelength which can be propagated in the waveguides. For higher modes, the cut-off wavelength will become smaller and smaller.''

समीकरण 10.2 के अनुसार

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)^2}}$$

$$= \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left[\left(\frac{m}{2a}\right)\right]^2}}$$

अत:

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a/m}\right)^2}}$$

अत:

$$\boxed{\lambda_p = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2}}} \quad ...(10.4)$$

Equation clears that the guide wavelength depends on free space wavelength of the signal and cut-off wavelength of the guide.

कट-ऑफ फ्रीक्वैंसी (Cut-off frequency) :

The lower cut off frequency f_0 of a waveguide is given as

$$f_0 = 1{\cdot}5\times10^8\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad ...(10.5)$$

where a and b are waveguide dimensions and m and n indicate the mode of transmission.

For dominant mode TE_{10},

$$f_0 = 1{\cdot}5\times10^8\sqrt{\frac{1}{a^2}}$$

या

$$f_0 = \frac{1{\cdot}5\times10^8}{a}$$

If a is expressed in meters,

या

$$\boxed{f = \frac{3\times10^8}{2a}\ \text{Hz}} \quad ...(10.6)$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

यह बात अत्यंत ध्यानपूर्वक समझ लें कि यदि किसी तरंग की वेवलैंथ λ वेवगाइड की कट ऑफ वेवलैंथ λ_0 से ज्यादा है तो वह तरंग उस वेवगाइड से प्रोपेगेट नहीं कर पायेंगी। इसी बात को दूसरे शब्दों में हम ऐसे भी कह सकते हैं कि यदि किसी तरंग की आवृति f वेवगाइड की कट-ऑफ आवृत्ति f_0 से कम है तो वह तरंग उस वेवगाइड में प्रोपेगेट नहीं कर पायेगी।

$$f < f_0 \,(i.e.\,, \lambda > \lambda_0) \Rightarrow \text{No propagation}$$
$$f > f_0 \,(i.e., \lambda < \lambda_0) \Rightarrow \text{Propagation takes place}$$

इसके साथ-साथ यह बात भी ध्यान रखें कि प्रत्येक mode के लिये वेवगाइड की कट-ऑफ वेवलैंथ अलग-अलग होती है। Dominat mode के case में cut-off wavelength सर्वाधिक होती है।

वेवगाइड की ग्रुप एवं फेज़ वेग (Group and phase velocity in the waveguide):

वेवगाइड की conducting wall से reflect होने वाली wave की दो velocities होती हैं group velocity तथा phase velocity. यह दोनों velocities wall की parallel direction में होती हैं।

यदि समीकरण (i) एवं (iv) को multiply किया जाये

$$v_g \times v_p = v_c \sin\theta \times \frac{v_c}{\sin\theta}$$
$$= v_c^2$$

अत:

$$\boxed{v_c^2 = v_g \times v_p} \qquad \ldots (10.7)$$

So, the product of group velocity and phase velocity of a signal propagating in waveguide is the square of velocity of light in free space.

Phase velocity v_p का मान

$$v_p = f\lambda_p$$

तथा ग्रुप velocity

$$v_g = \frac{v_c^2}{v_p} = v_c^2 \frac{\sqrt{1-(\lambda/\lambda_0)^2}}{v_c}$$

अत:

$$v_g = v_c \sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2} \qquad \ldots (10.8)$$

समीकरण 10.8 एक बार फिर से यही सिद्ध करती है कि waveguide में velocity of propagation अर्थात् group velocity free space से कम होती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Equation 10.8 shows that the velocity of propagation (group velocity) in a waveguide is lower than in free space. The equation shows that Group velocity decreases as the free-space wavelength approaches the cutoff wavelength and ultimately becomes zero when the two wavelengths are equal. The physical explanation of this is that the angle of incidence (and reflection) has become 90°, there is no travelling wave and all the energy is reflected back to the generator. The students may also note that there is no transmission-line equivalent of this behavior, but the waveguide may be thought of as a high-pass filter having no attenuation in the passband (for wavelengths shorter than λ_0), but very high attenuation in the stop band.

The field pattern is formed from the superposition of two plane waves travelling in different directions. These two waves have the same free space wavelength, and give the standing wave pattern along y required to make the fields vanish at the side guide walls. The whole field pattern is called a "Mode". For the TE_{10} mode (transverse electric), if you plot out a plan view of the field patterns carefully, you will see that the electric field is always out of the paper, but that the magnetic field forms stadia loops with repetition distance equal to a guide wavelength; there are two stadio loops per guide wavelength, in opposite senses of magnetic field circulation.

उदाहरण : एक rectangular waveguide की dimensions 5 cm × 2·5 cm है। इसकी dominant mode की cutoff आवृत्ति ज्ञात कीजिये।

हल : Given that $a = 5$ cm $= 0{\cdot}05$ m, $b = 2{\cdot}5$ cm $= 0{\cdot}025$ m

Dominant Mode $= TE_{10}$

Hence $m = 1, n = 0$

So, cut off frequency

$$f_c = 1{\cdot}5 \times 10^8 \sqrt{\frac{1}{0{\cdot}05^2} + \frac{0}{0{\cdot}025^2}}$$

$$= 1{\cdot}5 \times 10^8 \times \frac{1}{0{\cdot}05} = 3 \times 10^9 \text{ Hz} = 3 \text{ GHz}$$

उदाहरण : एक waveguide की dimensions 5 cm × 2·5 cm हैं। इस वेवगाइड की dominant mode cut-off wavelength बताइये।

हल : $a = 5$ cm

So cut off wavelength (for TE_{10} mode)

$$= 2a = 2 \times 5 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उदाहरण : एक 9 GHz wave एक 3 cm × 2 cm waveguide में propagate कर रही है। निम्न की गणना कीजिये

(i) Dominant mode की cut-off wavelength

(ii) Dominant mode में waveguide में wavelength

(iii) Group तथा phase velocities.

हल : Given $a = 3$ cm, $b = 2$ cm

$f = 9 \text{ GHz} = 9 \times 10^9 \text{ Hz}$

(a) Cut-off wavelength

$$\lambda_0 = \frac{2a}{m}$$

For dominant mode, $m = 1$

So $\lambda_0 = 2 \times 3 = 6 \text{ cm}$

(b) Wavelength $$\lambda = \frac{v_c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{9 \times 10^9} = 0{\cdot}0333 \text{ m} = 3{\cdot}33 \text{ cm}$$

Since, the free space-wavelength is less than cut-off wavelength, the wave will propagate

(c) Group velocity

$$v_g = v_c \times \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2}$$

$$= 3 \times 10^8 \times \sqrt{1 - \left(\frac{3{\cdot}33}{6}\right)^2} = 3 \times 10^8 \times 0{\cdot}83$$

$$= 2{\cdot}49 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Phase velocity, $$v_p = \frac{v_c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2}} = \frac{3 \times 10^8}{0{\cdot}83} = 3{\cdot}61 \times 10^8 \text{ m/s}$$

सर्कुलर वेवगाइड्स (Circular waveguides) :

सर्कुलर वेवगाइड्स का behaviour rectangular waveguides के समान होता है तथा rectangular waveguides के लिये use की गई terminology circular waveguides के लिये भी ज्यों की त्यों रहती है।

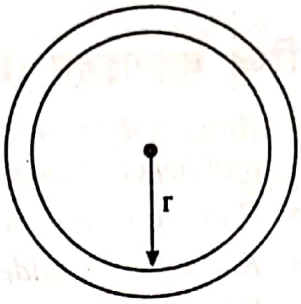
एक circular waveguide (चित्र 10.10) जिसकी radius r है, की cut-off wavelength निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात की जा सकती है—

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$\lambda_0 = \frac{2\pi r}{(kr)} \qquad ...(10.9)$$

where r = internal radius of circular waveguide
(kr) : solution of a Bessel function equation.



चित्र 10.10—Circular waveguide

ध्यान दें कि यहाँ (kr) एक संयुक्त term है जिसको अलग नहीं किया जा सकता। कुछ चुनींदा modes के लिये (kr) के मान तालिका में प्रदर्शित हैं—

तालिका 10.1—Value of (kr) for some modes of circular waveguides

Mode	(kr)
TE_{01}	3·8
TE_{02}	7·02
TE_{11}	1·8
TE_{12}	5·3
TM_{01}	2·4
TM_{02}	5·5
TM_{11}	3·8
TM_{22}	7·02

Table 10.1 से देखें कि (kr) का न्यूनतम TE_{11} के लिये है, अत: circular waveguides में TE_{11} dominant mode होती है।

दूसरी बात यह कि circular waveguides में m wave cross section की circumference में number of full intensity variations दर्शाता है जबकि n center से wall तक (radially outwards) half wave intensity variations दर्शाता है।

Circular waveguides के सम्बंध में निम्न बातें नोट करने योग्य हैं—

(i) *They are easy to manufacture than rectangular waveguides.*

(ii) *They are easy to join together.*

(iii) *They are used in rotational couiplings and by using circular waveguides, rotation of polarization can be overcome. TM_{01} preferred to TE_{01} as it requires smaller diameter for same cut-off wavelength.*

(iv) *The drawback of circular waveguide is that its requires bigger area than its rectangular counterpart, for carrying the same signal.*

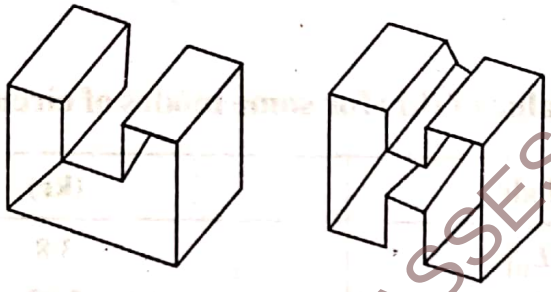
(v) *Another drawback of circular waveguide is the possibility of plane of polarization to rotate during transmission unpredictably.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

रिज्ड वेवगाइड्स (Ridged waveguides)

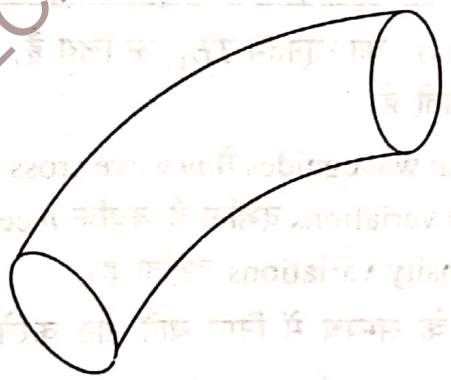
- *Ridging the rectangular waveguides results in lowering the cut off wavelength, and hence allows smaller dimensions (Fig. 10.11)*
- *Ridging results in greater bandwidth.*
- *Ridged waveguides have more attenuation per unit length than rectangular waveguides.*



चित्र 10.11—Ridged waveguides, (a) Single ridge; (b) Double ridge.

फ्लैक्सिबल वेवगाइड्स (Flexible waveguides) :

- *Making the waveguide flexible (capable of movement) results in easy bending, twisting, stretching, vibration and insertion (Fig. 10.12)*



चित्र 10.12—Flexible waveguides.

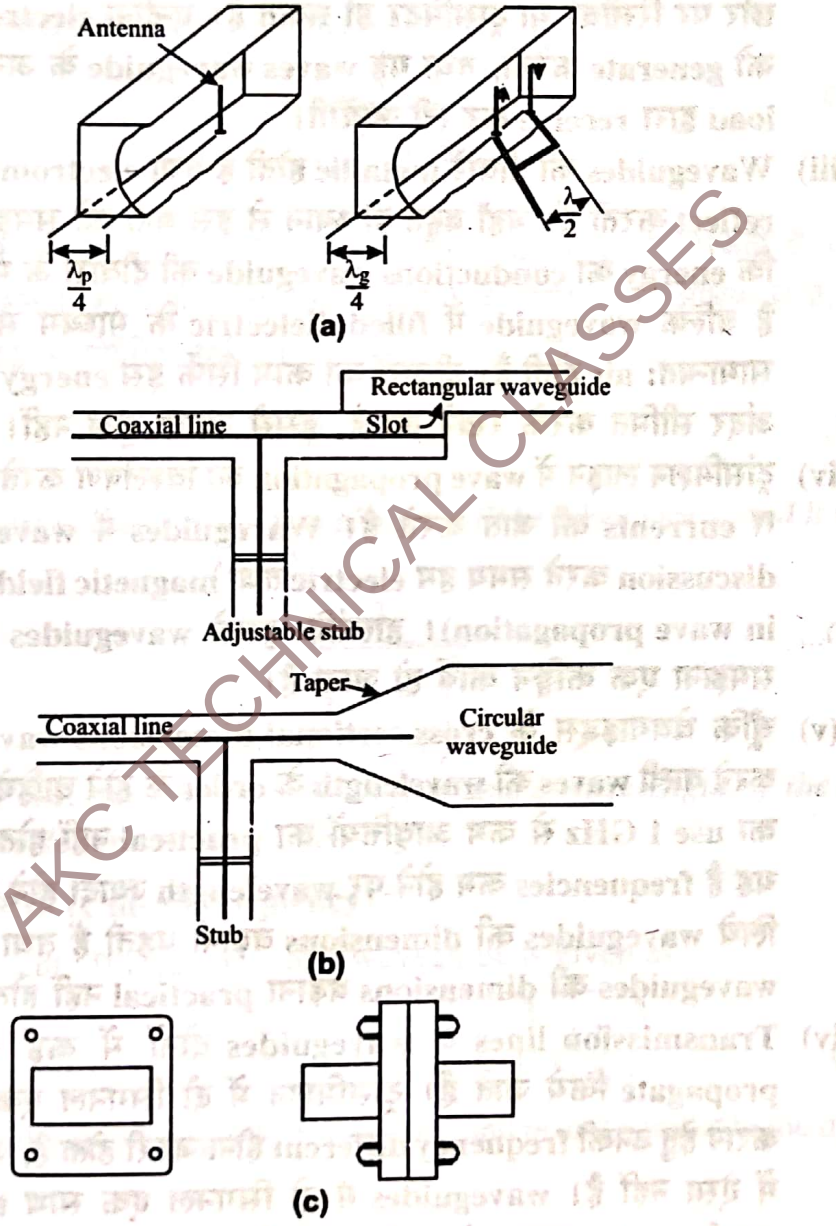
- *Copper, Aluminium tubes having elliptical cross section, small corrugation and transition to rectangular waveguides at the two ends may be used for this purpose.*
- *A TE_{11} mode may be transformed to a TE_{10} mode using flexible waveguides, eliminating the requirements of joints, bends and corners.*
- *Power handling capability and SWR may remain same but attenuation in dB/m may become around five times compared to their rectangular counterparts.*
- *Useful in case of awkward installation.*

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

वेवगाइड्स को एक्साइट करने की विधियाँ (Methods of Exciting waveguides):

वेवगाइड में कोई particular mode को launch करने हेतु एन्टीना (एक या अधिक) use किये जाते हैं। (चित्र 10.13 (a)। वेवगाइड्स को coaxial lines से भी couple किया जा सकता है (चित्र 10.13 (b)। Waveguides के pieces को flanges द्वारा भी join किया जा सकता है (चित्र 10.13 (c)।



चित्र 10.13—Exciting the waveguides using (a) antennas (b) coaxial lines (c) Use of flanges.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

वेवगाइड्स के सम्बंध में निम्न महत्त्वपूर्ण बातों को जानना आपके लिये अति आवश्यक है–

(i) वेवगाइडस uniform cross section वाली hollow metallic tubes होती हैं जिनके अन्दर की walls से successive reflections द्वारा electromagnetic waves propagate करती हैं।

(ii) किसी सिस्टम में, waveguide के एक छोर पर एन्टीना हो सकता है जबकि दूसरे छोर पर रिसीवर या ट्रांसमिटर हो सकते हैं। एन्टीना electromagnetic waves को generate करेगा, तथा यह waves waveguide के अन्दर सफर करती हुई load द्वारा receive कर ली जायेंगी।

(iii) Waveguides की दीवारें metallic होती है तथा electromagnetic waves को reflect करती हैं। यहाँ बहुत ही ध्यान से इस बात को समझने की कोशिश करें कि energy का conductions waveguide की दीवारों के माध्यम से नहीं हो रहा है बल्कि waveguide में filled dielectric के माध्यम से हो रहा है जो कि सामान्यत: air होती है। दीवारों का काम सिर्फ इस energy को waveguide के अंदर सीमित करके रखने का है, इससे ज्यादा कुछ नहीं।

(iv) ट्रांसमिशन लाइन में wave propagation का विश्लेषण करते समय हम voltages त currents की बात करते हैं। Waveguides में wave propagation का discussion करते समय हम electric तथा magnetic fields की बात करेंगे (as in wave propagation)। हालांकि इससे waveguides के behaviour को समझना एक कठिन कार्य हो जाता है।

(v) चूँकि वेवगाइड्स के cross sectional dimensions waveguides में travel करने वाली waves की wavelength के order के होने चाहिये अत: waveguides का use 1 GHz से कम आवृत्तियों का practical नहीं होता। कहने का तात्पर्य यह है frequencies कम होने पर wavelength ज्यादा होने लगती है तथा इसके लिये waveguides की dimensions बढ़ानी पड़ती हैं तथा एक सीमा का बाद waveguides की dimensions बढ़ाना practical नहीं होता।

(iv) Transmission lines व waveguides दोनों में कई signals एक साथ propagate किये जाते हैं। ट्रांसमिशन में दो सिगनल एक साथ propagate कराने हेतु उनकी frequency different होना जरुरी होता है, जबकि waveguider में ऐसा नहीं है। waveguides में दो सिगनल एक साथ transmit करने हेतु उनकी modes अलग होना ही काफी है।

(vii) Waveguides के अंदर केवल हवा (air) होती है, तथा propagation इसकी walls से reflection के कारण होता है (न कि conduction द्वारा, जैसा कि transmission lines में होता है।) अत: transmission lines की तुलना में wavegudes में कम power losses होते हैं।

(viii) स्मिथ चार्ट्स को waveguides calculaton हेतु भी use किया जा सकता है।

MC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

वेवगाइड्स सबन्धी महत्वपूर्ण सूत्र–

$$a = \frac{m\lambda_n}{2} \qquad ...(10.10)$$

where a = width of the waveguide

λ_n = wavelength in direction normal to the walls

m = number of half wavelength of Electric field intensity to be established between the walls, $M = 1, 2, 3$

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{m\lambda}{2a}\right)^2}} \qquad ...(10.11)$$

"वह अधिकतम वेवलैथ जो कि waveguide में propagate कर सकती है, cut-off wavelength कहलाती है।" यदि तरंग की वेवलैंथ λ का मान λ_0 से अधिक होगा, तो वह तरंग उस वेवगाइड में प्रोपेगेट नहीं कर पायेगी।

$$\lambda_0 = \frac{2a}{m} \qquad ...(10.12)$$

"The largest value of cutoff wavelength will be when $m = 1$, and it will be

$$\lambda_0 = 2a"$$

अत:

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2}} \qquad ...(10.13)$$

The guide wavelength depends on free space wavelength of the signal and cut-off wavelength of the guide.

कट-ऑफ फ्रीक्वैंसी (Cut-off frequency) :

The lower cut off frequency of a waveguide is given as

$$f_c = 1{\cdot}5 \times 10^8 \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \qquad ...(10.14)$$

where a and b are waveguide dimensions and m and n indicate the mode of transmission.

For dominant mode TE_{10}, $f_c = \frac{3\times10^8}{2a}$ ...(10.15)

वेवगाइड की ग्रुप एवं फेज़ वेग (Group and phase velocity in the waveguide):

अत: $v_c^2 = v_g \times v_p$ ...(10.16)

So, the product of group velocity and phase velocity of a signal propagating in waveguide is the square of velocity of light in space.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

Phase velocity v_p का मान

$$v_p = \frac{v_c}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2}}$$

ग्रुप velocity v_g

अत:

$$v_g = v_c\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2} \qquad ...(10.17)$$

Cut off wavelength for $TE_{m,n}$ and $TM_{m,n}$ modes—

$$\lambda_0 = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2}}$$

एक circular waveguide जिसकी radius r है, की cut-off wavelength निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात की जा सकती है—

$$\lambda_0 = \frac{2\pi r}{(kr)} \qquad ...(10.18)$$

Characteristic wave impedance of the waveguide

$$z_g = \frac{\eta}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2}} \text{ (for TE mode)}$$

$$z_g = \eta\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2} \text{ for TM mode)}$$

where $\eta = 377\ \Omega$ (intrinsic impedance of teh wave)

Phase velocity in a media

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उदाहरण

(i) A rectangular waveguide of 3·5 cm × 5 cm internal dimensions has a 10 GHz. Signal propagated in it. Calculate the cut-off wavelength, the guide wavelength, the group and phase velocities for TE_{10} and TM_{11} mode

Sol. The free space wavelength

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^{10}}{10\times10^{9}} = 3 \text{ cm}$$

(a) The cut off wavelength

$$\lambda_0 = 2a = 2 \times 5 = 10 \text{ cm}$$

Calculate ∂, for making the further calculations easy where

$$\partial = \sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2}$$

$$= \sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2}$$

$$= \sqrt{1-\left(\frac{3}{10}\right)^2} = \sqrt{\frac{91}{100}}$$

$$= 0{\cdot}954$$

Hence, the guide wavelength

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\partial} = \frac{3{\cdot}0}{0{\cdot}954} = 3{\cdot}15 \text{ cm}$$

The group and phase velocities, respectively,

$$v_g = v_c\,\partial = 3 \times 10^8 \times 0{\cdot}954$$
$$= 2{\cdot}86 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$v_p = \frac{v_c}{\partial} = \frac{3\times10^8}{0{\cdot}954} = 3{\cdot}15 \times 10^8 \text{ m/s}$$

The characteristic wave impedence

$$Z_0 = \frac{120\pi}{0{\cdot}954} = 395{\cdot}2\ \Omega$$

(b) For TM_{11} mode

$$\lambda_0 = \frac{2}{\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2} = \frac{2}{\left(\frac{1}{3{\cdot}5}\right)^2+\left(\frac{1}{5}\right)^2}$$

AKG TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

$$= \frac{2}{\sqrt{0{\cdot}082 + 0{\cdot}04}} = 5{\cdot}72 \text{ cm}$$

$$\partial = \sqrt{1 - \left(\frac{3}{5{\cdot}72}\right)^2} = 0{\cdot}85$$

$$\lambda_p = \frac{1}{\partial} = \frac{3}{0{\cdot}85} = 3{\cdot}53 \text{ cm}$$

$$v_g = v_L \times \partial = 3 \times 10^8 \times 0{\cdot}85 = 2{\cdot}55 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$v_p = \frac{v_c}{\partial} = \frac{3 \times 10^8}{0{\cdot}85} = 3{\cdot}53 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Because this is TM_{11} mode,

$$Z_0 = 120\pi \times \partial$$
$$= 320{\cdot}28\ \Omega$$

(ii) Calculate the cut-off wavelength, the guide wavelength and the characteristic impedence of a circular waveguide with internal radius of 2.4 cm, for a 9 GHz signal propagated in TE_{11} mode

Sol.
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^{10}}{9 \times 10^9} = 3{\cdot}33 \text{ cm}$$

$$\lambda_0 = \frac{2\pi r}{(kr)} = \frac{2 \times 3{\cdot}14 \times 2{\cdot}4}{1{\cdot}8}$$

(Note that the value of (kr) has been taken from table 3.2 of TE_{11} mode)

So, $$\lambda_0 = 8{\cdot}4 \text{ cm}$$

Calculating the value of ∂

$$\partial = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2}$$

$$= \sqrt{10\left(\frac{3{\cdot}33}{8{\cdot}4}\right)^2} = 0{\cdot}92$$

Hence
$$\lambda_p = \frac{3{\cdot}33}{0{\cdot}92} = 3.62 \text{ cm}$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{0{\cdot}92} = 409.56\ \Omega$$

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

प्रैक्टिस प्रश्न

(i) A rectangular waveguide of 5 cm × 4 cm. Can TE_{10}, TE_{20}, TE_{21}, T_{02} and TE_{12} propagate in this waveguide.

(Ans. TE_{10}, TE_{20}, TE_{21} and TE_{02} can prpagate but TE_{12} cannot propagate)

(ii) A airfilled circular waveguide has an internal diameter of 5 cm. Calculate f_c for TE_{01} modes. (Ans. $0{\cdot}726 \times 10^8$ Hz)

(iii) In a rectangular airfilled waveguide the cut-off frequncies for TE_{10} and TE_{01} are 54 GHz and 12 GHz respectively. Find the dimensions of the waveguide. (Ans. 3 cm × 1·25 cm)

(iv) A waveguide of has f_c = 6·5 GHz, and 150 m length. If a short pulse of 7·2 GHz is introduced at one end, after how much direction will it arrive at the other end. (Ans. 530 ns)

(v) An standard rectangular waveguide has a = 6 cm. What will be the value of b. (Ans. 3 cm)

(vi) A rectangular waveguide of 3 cm × 4·5 cm has a 9 GHz signal propagated through it. Calculate the group and phase velocities for TE_{10} and TM_{11} modes.

(Ans. $2{\cdot}8 \times 10^8$ m/s, $3{\cdot}23 \times 10^8$ m/s, $2{\cdot}24 \times 10^8$ m/s, 4·02 × 10 m/s).

(vii) Calculate the ratio of crossection of circular to standard rectangular waveguide if each is to have the same cut-off wavelength for its dominant mode. (Ans. 2·18)

(viii) When the dominant mode of propagated in an air filled rectangular waveguide, guided wavelengte for 9 GHz is 4 cm. Calculate breadth of the guide. (Ans. 3 cm)

(ix) Calculate the cut-off frequencies for following modes of a 2 cm by 1 cm rectangular waveguide (a) TE_{10} (b) TE_{01} (c) TE_{22} (d) TM_{11} (e) TM_{21}. (Ans. 7·5 GHz, 15 GHz, 33·5 GHz, 16·66 GHz, 21·2 GHz)

विचार प्रश्न

(i) The use of waveguides for transmitting signals were known even before the term was coined. The phenomenon of sound waves guided through a taut wire have been known for a long time, as well as sound through a hollow pipe such as a cave or medical Stethoscope. Discuss?

(ii) Other uses of waveguides are in transmitting power between the components of a system such as radio, radar or optical devices. Waveguides are the fundamental principle of guided wave testing (GWT), one of the many methods of non-destructive evaluation. Discuss.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(iii) There are structures in nature which act as waveguides: for example, the SOFAR channel layer in the ocean can guide whale song over enormous distance. Discuss?

(iv) A waveguide restricts the three dimensional "free space" propagation of the electromagnetic wave to a single dimension. Do you agree? Discuss.

(v) The waveguides are less lossy and routeable where low loss means that the wave travels along the guide without greatly attenuating as it goes and routeable means that we can gently bend the guiding structure without losing contact with the wave, without generating reflections, and without incurring much additional loss. Discuss in your class.

(vi) एक rectangular वेवगाइड TE_{10} mode न्यूनतम 5 GHz pass कर सकती है। क्या TE_{11} mode में यह 5 GHz pass कर पायेगी ?

(vii) एक rectangular waveguide TE_{11} mode में न्यूनतम 5 GHz pass कर सकती है। क्या TE_{10} mode में यह 5 GHz pass कर पायेगी।

(viii) एक rectangular waveguide TE_{12} mode में न्यूनतम 5 GHz pass कर सकती है। क्या TE_{21} mode में यह 5 GHz pass कर पायेगी ?

(ix) एक rectangular waveguide TE_{21} mode में न्यूनतम 5 GHz pass कर सकती है। क्या यह TE_{12} mode में यह 5 GHz pass कर पायेगी?

(x) Will a tunnel modelled as an air filled metallic rectangular waveguide of dimensions 8 m × 16 m be able to pass 1·5MHz AM broadcast signal? Repeat if the signal is a 120 MHz FM broadcast signal?

(xi) Find the dimensions of a rectangular waveguide with a TE_{10} cut off of 54 GHz and TE_{01} cut-off of 12 GHz.

(xii) एक circular waveguide में TE_{01} mode न्यूनतम 5 GHz पास कर सकती है। क्या यह waveguide TE_{11} mode में 5 GHz को pass कर पायेगी ?

(xiii) एक circular waveguide TE_{11} mode में न्यूनतम 5 GHz को pass कर सकती है। क्या यह waveguide TE_{01} mode में 5 GHz को पास कर पायेगी?

(xiv) Is it justified to say waveguide a low pass filter or a high pass filter? Explain.

(xv) Waves travel forward more slowly in a waveguide than in free space. Why?

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

प्रश्नावली–10

1. Waveguides क्या होती हैं? क्या optical fibers एक प्रकार की waveguides हैं। चर्चा कीजिये।
2. An air filled $7 \times 3{\cdot}5$ cm rectangular waveguide operates in made. Calculate the phase velcoity and guided wavelength at 3·5 GHz. (**Ans.** $2{\cdot}37 \times 10^8$ ms, 0·108 m)
3. Calculate the ratio of circular waveguide radius to the rectangular waveguide breadth of dominant TE mode. Given, both have similar cut off wavelength and (Kr) for TE_{11} is 1·8. (**Ans.** 1·84)
4. The TE_{10} mode is propagated in a 6×4 cm waveguide, and the distance between maximum, and minimum is found to be 4·55 cm. Find the frequency of the wave. (**Ans.** 2·99 GHz)
5. A 3×6 cm rectangular waveguide has a 9 GHz signal propagated through it. Calculated the cut-off wavelength cut off frequency, guide wavelength, group and phase velocity and wave impedence. For TE_{10} and TM_{11} modes.
6. A dominant mode is propagating through 5 cm radius waveguide. Dtwermine its cut-off frequency, guide wavelength and wave impedence for a propagating frequency of 3 GHz. (**Ans.** 1·76 GHz, 12·33 cm, 464·84 Ω)
7. The location of successive minima of a slotted line section are found at 4·4 cm and 7·36 cm. What is the incident frequency for mode if cut-off wavelength is 7 cm. (**Ans.** 6·64 GHz)
8. Show that a TEM wave cannot propagate in a waveguide using maxwell equations.
9. A $7 \times 3{\cdot}5$ cm waveguide has a dielectric material ($\varepsilon_r = 9$) filled in it, and operates in TE_{10} mode. Find the cut off frequency and phase velocity and guided wavelength at 2 GHz.
10. Find signal frequency of the dominant mode of a 6 cm $\times$ 4 cm waveguide, if the distance between maximum and minimum is 4·47 cm.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

11 प्रयोगात्मक (Practicals)

Becoming thoughtless does not mean non-existence of thought. It simply means reaching out to the absolute state of the consciousness which is free of thinking. All of us need a thought to allow universal consciousness to express itself through finite medium – but in the end the expression itself is infinite, whether visible or invisible"

—Drunken Mystic

Being empty makes me whole sometimes. I wonder if every hollow hole has its own solidity of fulfillment"

—Munia Khan

"Know that it is your birthright to awaken. Seeking Truth is the ultimate quest of every moral citizen. Truth is felt first in the heart, and then the mind. The voice of your conscience comes from your heart, not your mind. The voice of reason comes from your mind, not your heart. Your mind is simply there to reason with your heart. Always listen to your heart first. Those who look for Truth through the mind before the heart will never find Truth. When you come close to Truth, the first sign will be an inner sense of liberation. Truth will NEVER imprison you. Only the repression of your conscience will. This is what is meant by 'THE TRUTH WILL SET YOU FREE'."

—Suzy Kassem

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

13 बहुविकल्पीय प्रश्न बैंक
(MULTIPLE CHOICE QUESTIONS)

THINK ABOUT IT

A 24 year old boy seeing out from the train's window shouted...

"Dad, look the trees are going behind!"

Dad smiled and a young couple sitting nearby, looked at the 24 year old's childish behavior with pity, suddenly he again exclaimed...

"Dad, look the clouds are running with us!"

The couple couldn't resist and said to the old man...

"Why don't you take your son to a good doctor?" The old man smiled and said... "I did and we are just coming from the hospital, my son was blind from birth, he just got his eyes today.

Every single person on the planet has a story. Don't judge people before you truly know them. The truth might surprise you.

AKC TECHNICAL CLASSES

1. In an optical fiber, the light is transmitted through the
   (a) core (b) cladding
   (c) buffer (d) outer jacket
2. Light is confined within the core of a optical fiber by
   (a) total internal refraction.
   (b) total internal reflection at the outer edge of the cladding.
   (c) total internal reflection at the core cladding boundary.
   (d) reflection from the fiber's plastic coating.
3. The loss of a fiber optic connector is defined as:
   (a) Calculated loss due to geometric misalignment.
   (b) Loss of the connector mated to another connector.
   (c) One-half the loss of a mated pair of connectors.
   (d) Loss of a statistical sample of connectors.
4. What makes optical fibers immune to EMI?
   (a) Transmit signals in as light rather than electric current.
   (b) Too small for magnetic fields to introduce current in them.
   (c) Magnetic fields cannot penetrate the glass of the fiber.
   (d) Readily shielded by outer conductors in cable.

Scanned with CamScanner

5. Field terminations of singlemode fibers are generally done by:
   (a) Adhesive/polish method.
   (b) Heat-cured anaerobic adhesive.
   (c) Prepolished/splice connectors with mechanical splices.
   (d) Fusion splicing a factory terminated pigtail onto the fiber.

6. Which of the following is not a reason to use fiber-optic cables for point to point data transmission?
   (a) Need to assure data security.
   (b) Avoidance of ground loops.
   (c) Data-transfer rates too low to use metal cables.
   (d) Elimination of spark hazards.

7. Factory terminations, such as used for making patchcords, generally use what method of attaching the connector to the cable?
   (a) Epoxy or polish. (b) Anaerobic adhesive.
   (c) Prepolishe or splice. (d) All of the above.

8. From a reliability point, which is the best method to join two fibers.
   (a) Mechanical splicing. (b) Fusion splicing.
   (c) Adhesive connectors. (d) Factory terminations.

9. The difference between a fiber optic connector and a splice is
   (a) connectors are smaller.
   (b) connectors are demountable, while splices are permanent.
   (c) connectors require adhesives.
   (d) splicing need expensive tools.

10. Which of the following performance requirements are not shared by connectors and splices
   (a) low loss. (b) low back reflection.
   (c) repeatability. (d) durability under repeated matings.

11. Which of the following describes a technique to achieve fault tolerance in optical networks with minimum costs?
   (a) Bypassing active elements.
   (b) Avoid the usage of star couplers.
   (c) Duplication of system properties.
   (d) Topological reconfiguration

12. In singlemode connectors, which is as important as low loss.
   (a) Ease of field termination.
   (b) Low reflectance.
   (c) Low cost.
   (d) Compatibility with many cable types.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

13. Both mechanical splices and prepolished/splice connectors require a good _____ to have low loss.
   (a) field polishing technique.
   (b) cleave on the fiber being terminated.
   (c) fiber loss.
   (d) cable design.

14. Which of the following is NOT a reason to use flexible optical circuits?
   (a) Low loss distribution.
   (b) Protection of fiber.
   (c) Small size.
   (d) Compact and bend easily.

15. Physical c' ntact polish on connectors is designed to reduce
   (a) loss.
   (b) reflectance.
   (c) loss and reflectance.
   (d) polishing time.

16. Individual splice loss on concatenated cables can be verified by using
   (a) OTDR test.
   (b) insertion loss test.
   (c) visual inspection.
   (d) visual fault location.

17. Preparing cables for splicing in splice closures requires
   (a) leaving the proper length of buffer tubes from the cable entrance in the closure to the splice tray.
   (b) leaving the proper length of fiber to splice and fit the splice in the splice tray.
   (c) securing the cable properly at the closure entrance and . Careful cleaning of all fibers.
   (d) All of the above.

18. Connectors are used to:
   (a) Decode data transmitted via fiber optic cable.
   (b) Generate light in a fiber optic system.
   (c) Attach fiber cables to components or subsystems interconnected with fiber optic cable.
   (d) None of these.

19. An advantage provided by connectors is:
   (a) Allow fiber optic components or subsystems to be easily interchanged or upgraded.
   (b) Amplify light, causing it to travel farther down a fiber cable.
   (c) Permanent method of attaching fiber cable to optical components.
   (d) None of these.

20. Which of the following happen to be the limitations of optical fiber?
   I. The architecture of their couplers.
   II. Costs of implementing them.
   III. Modification of the software and hardware on existing systems.
   IV. The difficulty of installing the cables.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(a) II and IV only.
(b) I, II and III only.
(c) I, III and IV only.
(d) I, II, III and IV.

See Fig. 13.1 and answer the question no. 21 to 26.

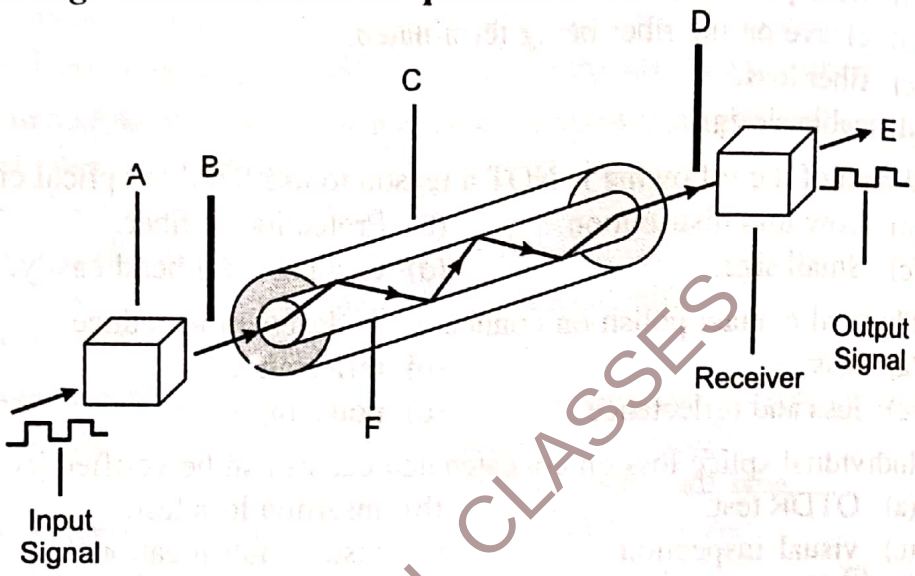


Fig. 13.1

21. Optical detector is shown by
(a) A
(b) C
(c) E
(d) F

22. Optical source is shown by
(a) A
(b) C
(c) E
(d) F

23. Optical fiber is shown by
(a) A
(b) C
(c) E
(d) F

24. Transmitted light signal is shown by
(a) A
(b) C
(c) E
(d) F

25. The signals at B and D are respectively _____
(a) optical and electrical.
(b) electrical and optical.
(c) both electrical.
(d) both optical.

26. The input and output signals shown are respectively_____
(a) optical and electrical.
(b) electrical and optical.
(c) both electrical.
(d) both optical.

27. The main elements of a fiber optic connector are:
(a) Fiber cable, LED and photodiode.
(b) Connector body, ferrule and strain relief.
(c) Laser diode and bulkhead adapter.
(d) Crimper.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

28. Early fiber optic connectors:
    (a) Had problems with alignment and repeatability.
    (b) Were occasionally modifications of existing electrical connectors.
    (c) Could be time consuming to install.
    (d) All of the above.

29. Recently designed fiber optic connectors:
    (a) Require high technical skill to install.
    (b) Are smaller with less optical loss.
    (c) Can often carry several fibers in a multi-channel system.
    (d) Both (b) and (c).

30. What method allows large number of independent, selectable channels to exist on a single fiber?
    (a) Frequency Division Multiplexing.
    (b) Time Division Multiplexing.
    (c) Analogue Modulation.
    (d) Phase Modulation.

31. Splices are used when:
    (a) A low-loss permanent connection is needed between fibers.
    (b) An easily removable connection is needed between fibers.
    (c) Connectors are in short supply
    (d) None of these.

32. A fusion splice has the advantage of:
    (a) Easy installation with ordinary hand tools.
    (b) Extremely low insertion loss and low cost per splice.
    (c) Both (a) and (b).
    (d) None of these.

33. Mechanical splices:
    (a) Require expensive equipment to install.
    (b) Have extremely low insertion loss and cost per splice.
    (c) Can be installed using simple hand tools.
    (d) None of the above.

34. End preparation of a fiber prior to splicing:
    (a) Is not critical for good optical performance.
    (b) Is usually done by cleaving for splice applications.
    (c) Can be done with inexpensive hand tools or automated equipment.
    (d) Both (b) and (c).

35. What are the three basic parts of an optical fiber?
    (a) Core, cladding and coating.
    (b) Inside, middle and outside.
    (c) Fiber, kevler and jacket .
    (d) Hole, shell, and coating.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

36. What is the definition of a bound ray?
    (a) A ray cannot move.
    (b) A ray that travels in the air.
    (c) A ray that is refracted out of the fiber.
    (d) A ray that propagates through the fiber by total internal reflection.

37. Electromagnetic wave behaviour is used to describe the propagation of light along the fiber in what theory?
    (a) Mode theory. (b) Particle theory.
    (c) Darwin's theory. (d) Rayleigh's theory.

38. The loss of optical power as light travels along a fiber is called
    (a) attenuation. (b) scattering.
    (c) absorption. (d) dispersion.

See Fig. 13.2 and answer the question no. 39 to 44.

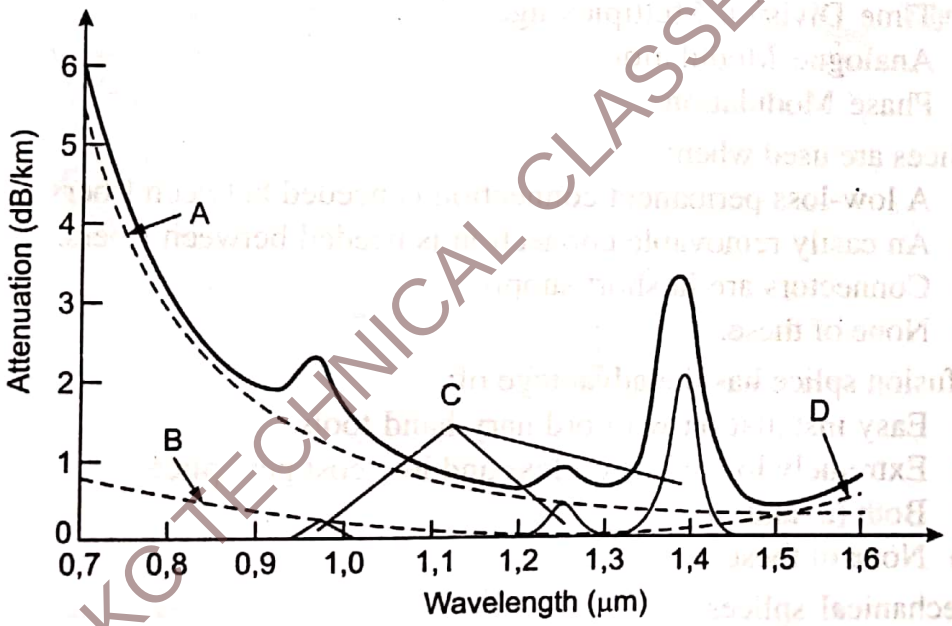


Fig. 13.2

AKC TECHNICAL CLASSES

39. The curves show
    (a) spectral gain of a optical fiber.
    (b) Spectral attenuation of a optical fiber.
    (c) spectral delay of optical fiber.
    (d) group velocity of optical signal.

40. The area marked A shows
    (a) Rayleigh scattering. (b) Ultraviolet absorption.
    (c) infrared absorption. (d) OH^- absorption.

41. The area marked B shows
    (a) Rayleigh scattering. (b) Ultraviolet absorption.
    (c) infrared absorption. (d) OH^- absorption.

Scanned with CamScanner

42. The area marked C shows
(a) Rayleigh scattering. (b) Ultraviolet absorption.
(c) Infrared absorption. (d) OH^- absorption.

43. The area marked D shows
(a) Rayleigh scattering. (b) Ultraviolet absorption.
(c) infrared absorption. (d) OH^- absorption.

44. Which of these strongly depends on a wavelength_____
(a) A (b) B
(c) C (d) D

45. What type of optical fiber would best be used in the Multiple Channel Architecture (MCA)?
(a) Refractive-Index. (b) Step-Index.
(c) Graded-Index. (d) None of the above.

46. Unit of Attenuation is
(a) dB. (b) dB /km.
(c) micrometer. (d) micrometer/km.

47. Scattering loss is inversely proportional to the fourth power of light wavelength in case of :
(a) Mie scattering. (b) Raman scattering.
(c) Rayleigh scattering. (d) Brillouin scattering.

48. Radius of curvature is larger than fiber diameter in
(a) micro bend. (b) macro bend.
(c) Gentle bend. (d) uniform bend.

49. Dispersion which occurs only in multimode fibers is
(a) modal. (b) chromatic.
(c) material. (d) waveguide.

See Fig. 13.3 and answer the question no. 50 to 59.

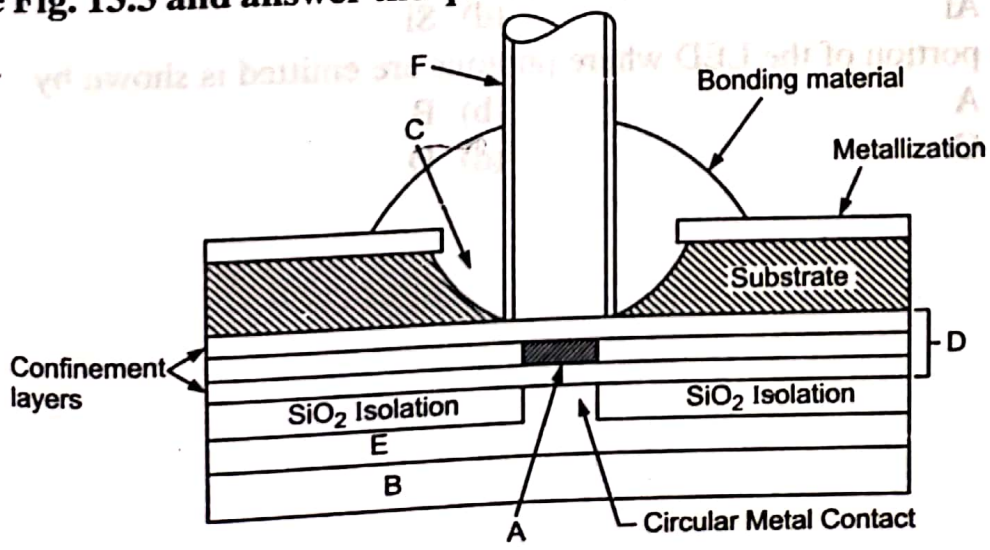


Fig. 13.3

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

50. The figure shows a
    (a) planar LED.
    (b) dome shaped LED.
    (c) surface emitting LED.
    (d) edge emitting LED.

51. The portion marked A represents
    (a) active region.
    (b) heat sink.
    (c) fiber.
    (d) metallisation.

52. The portion marked B represents
    (a) active region.
    (b) heat sink.
    (c) fiber.
    (d) metallisation.

53. The portion marked C represents
    (a) active region.
    (b) heat sink.
    (c) circular etched well.
    (d) metallisation.

54. The portion marked D represents
    (a) active region.
    (b) double hetero junction layers.
    (c) fiber.
    (d) metallisation.

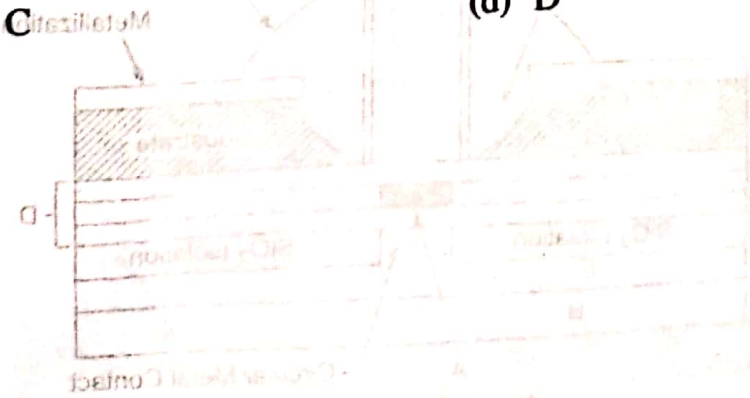
55. The portion marked E represents
    (a) active region.
    (b) heat sink.
    (c) fiber.
    (d) metallisation.

56. The portion marked F represents
    (a) active region.
    (b) heat sink.
    (c) fiber.
    (d) metallisation.

57. The active layer is made of
    (a) GaAs
    (b) AlGaAs
    (c) Al
    (d) Si

58. On both sides of active layer is
    (a) GaAs
    (b) AlGaAs
    (c) Al
    (d) Si

59. The portion of the LED where photons are emitted is shown by
    (a) A
    (b) B
    (c) C
    (d) D



AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

उत्तरमाला

1. (a)	2. (c)	3. (b)	4. (a)	5. (d)	6. (c)	7. (a)	8. (b)
9. (b)	10. (d)	11. (d)	12. (b)	13. (b)	14. (c)	15. (c)	16. (a)
17. (d)	18. (c)	19. (a)	20. (b)	21. (c)	22. (a)	23. (b)	24. (d)
25. (d)	26. (c)	27. (b)	28. (d)	29. (d)	30. (a)	31. (a)	32. (c)
33. (c)	34. (d)	35. (a)	36. (d)	37. (d)	38. (b)	39. (b)	40. (a)
41. (b)	42. (d)	43. (c)	44. (a)	45. (c)	46. (a)	47. (a)	48. (b)
49. (b)	50. (c)	51. (a)	52. (b)	53. (c)	54. (b)	55. (d)	56. (c)
57. (a)	58. (b)	59. (a)					

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

मॉडल पेपर

ऑप्टिकल फाइबर कम्यूनिकेशन

(Optical Fiber Communication)

[Time : 2:30 Hours] **[Maximum Marks : 50]**

नोट: सभी प्रश्न अनिवार्य हैं।

1. किन्हीं दो भागों के उत्तर दीजिए— **[2 × 5 = 10]**

(अ) Reflection, refraction तथा polarisation के सिद्धान्त को समझाइए?

(ब) वैद्युत चुम्बकीय तरंगें क्या होती है?

(स) Modes क्या होती है? Planar guides में modes किस प्रकार propagate करती है?

2. किन्हीं दो भागों के उत्तर दीजिए— **[2 × 5 = 10]**

(अ) Optical sources क्या होते हैं। Optical communication में इनका क्या महत्व है?

(ब) परिभाषा तथा संख्यात्मक उदाहरणों की सहायता से LED की internal तथा external quatum efficiency में अन्तर स्पष्ट कीजिए?

(स) Optical fiber commuication में use होने वाले विभिन्न प्रकार के LEDs के सिद्धान्त, अभिलक्षण तथा संरचना को स्पष्ट कीजिए।

3. किन्हीं दो भागों के उत्तर दीजिए— **[2 × 5 = 10]**

(अ) Optical detectors क्या होते हैं? OFC में इनका क्या महत्व है?

(ब) Photodiode क्या होते हैं? OFC में use किये जाने वाले विभिन्न photodiodes का सिद्धान्त, संरचना व पदार्थ बताइए।

(स) कप्लर के प्रकार एवं आवश्यकता के बारे में वर्णन कीजिए।

4. किन्हीं दो भागों का उत्तर दीजिए— **[2 × 5 = 10]**

(अ) OFC में connectors, splices, splitters, couplers, cables व isolators क्या होते हैं। इनकी आवश्यकता व महत्व क्या है? इनके विभिन्न प्रकार भी लिखिए?

(ब) Splicing की क्या आवश्यकता है? विभिन्न प्रकार की splicing तकनीकों के बारे में बताइए?

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner

(स) Give a detailed comparison of SOA, EDFA and Raman Amplifiers.

5. किन्हीं दो भागों का उत्तर दीजिए— [2 × 5 = 10]

(अ) OFC में audio, video तथा data एक साथ कैसे transmit किया जा सकता है?

(ब) What is an optical amplifiers? Explain the types of optical amplifiers?

(स) What is Raman Amplifier? Explain in detail.

AKC TECHNICAL CLASSES

Scanned with CamScanner