স্বপ্নের পৃথিবী রূপায়নে অপটোইলেকট্রনিক্সের দুর্বার পদচারণা

ফাইবার অপটিক কমিউনিকেশন, অপটিক্যাল মেমোরী ও অপটিক্যাল কমপিউটার

মোঃ হাসান শহীদ

কার না ইচ্ছে জাগে আলাদীনের আশ্চর্য প্রদীপের মত একটা কিছু হাতে পেতে? কল্পনার রাজ্যে বাঁধাহীন-বন্ধনহীন পক্ষের অভিযাত্রী হয়ে আমরা প্রায়ই মহাশক্তির স্বপ্ন দেখি। কিন্তু প্রশ্ন জাগে, আলাদীনের আশ্চর্য প্রদীপের মত কল্পিত কোন মহাশক্তির অধিকারী হলে আমরা কি করব? ব্যক্তি বিশেষের পক্ষে এ প্রশ্নের জবাব দেয়া সম্ভব নয়। তবে, যে কৃষক রাজা হলে সব ভাত গুড় দিয়ে খাবেন বলেছিলেন তার কাছ থেকে এ প্রশ্নের সমাধানের একটি দিক নির্দেশনা পেতে পারি। তা হল, মানুষের কল্পনা তার কর্মকাণ্ড দ্বারা মারাত্মকভাবে প্রভাবিত। তাই স্বভাবতঃই আমরা ধারণা করতে পারি কোন মহাশক্তির অধিকারী হলে একজন বিজ্ঞানী হয়ত নিত্যনব আবিষ্কার দিয়ে গোটা বিশ্ব ভরে দিবেন, একজন জ্ঞান পিপাসু পৃথিবীর সমস্ত বইয়ের জ্ঞান মাথায় পুরে নিবেন আর একজন পর্যটক মুহূর্তের মধ্যে ঘুরে আসবেন দেশ-দেশান্তর। তা হলে পৃথিবীটা কেমন হবে? নিশ্চয়ই স্বপ্নের পৃথিবী! কিন্তু বাঁধা হল, স্রষ্টা মানুষের হাতে অকস্মাৎ এরকম কোন মহাশক্তি তুলে দেয়ার পক্ষপাতী নন। মানুষের প্রতি তার শত-সহস্র বাণীর একটি হল 'সাধনায় সিদ্ধি'। যুগ-যুগান্তর ধরে মানব জীবনে স্রষ্টার এ বাণীর প্রতিফলন ঘটছে অবিরত। সাধনার বলেই হাজারো প্রযুক্তির উদ্ভাবন ঘটিয়েছে মানুষ। কাদা-মাটি-পাথরের পৃথিবীকে রাঙিয়েছে নানা রঙে। মানুষের অক্লান্ত প্রচেষ্টার এরকম আর একটি স্বাক্ষর 'অপটোইলেকট্রনিক্স' — এক বিস্ময়কর প্রযুক্তি। আলাদীনের আশ্চর্য প্রদীপ কিংবা আমাদের কল্পিত মহাশক্তিতুল্য এ প্রযুক্তি যে আজকের পৃথিবীকে একদিন স্বপ্নের পৃথিবীতে পরিণত করবে তা সহজেই অনুমান করা যায়।

অপটোইলেকট্রনিক্স ঃ প্রযুক্তির জগতে অপটোইলেকট্রনিক্সের সংযোজন নিয়ে বিশ্বের বিজ্ঞানী মহল এবং পদার্থবিদরা গর্বিত। তাই স্বাভাবিকভাবেই এ প্রযুক্তি সম্বন্ধে আমাদের কৌতূহলের শেষ নেই। এক কথায় অপটোইলেকট্রনিক্স হল "The marrage of light and electricity." একটু বিশদভাবে বললে বলা যায়, ইলেকট্রন এবং ফোটনের স্বভাবগত বৈশিষ্ট্যের মিশ্র প্রক্রিয়ার মাধ্যমে উদ্ভাবিত এক বিস্ময়কর প্রযুক্তির নাম অপটোইলেকট্রনিক্স।

বিজ্ঞানী ম্যাক্সপ্লাঙ্কের তত্ত্বানুসারে আমরা জানি, আলো অসংখ্য 'বিকিরণ কোয়ান্টার' সমষ্টি মাত্র। এ কোয়ান্টাগুলোকে ফোটন বলে।

ফোটনের শক্তি হল,

$E = h\mu$ এখানে, h= প্লাঙ্কের ধ্রুবক = 6.63×10^{-27} erg-sec, μ = বিকিরণ কম্পাংক।

আলোর গাঠনিক কণা ফোটনের একটি অদ্ভুত বৈশিষ্ট্য হল এটি যুগপৎভাবে কণা (Particle) এবং তরঙ্গের (Wave) আচরণ করতে সক্ষম। অন্যদিকে, বস্তুর ক্ষুদ্রতম কণা হল ইলেকট্রন। যুগপৎভাবে কণা এবং তরঙ্গের আচরণ প্রকাশ করার ক্ষমতা ইলেকট্রনেরও রয়েছে। ইলেকট্রনকে আমরা কণা রূপে নির্দেশ করতে পারি কারণ এর ভর ও চার্য আছে এবং কণা বিজ্ঞানের নিয়মগুলো ইলেকট্রন মেনে চলে। টেলিভিশনের পিকচার টিউবে ইলেকট্রনের গতিবিধি এর কণা ধর্মকে সুস্পষ্টভাবে প্রমাণ করে। আবার বিশেষ বিশেষ ক্ষেত্রে যে ইলেকট্রন তরঙ্গের মত আচরণ করে তার প্রমাণ ইলেকট্রো-ম্যাগনেটিক ওয়েভে (Electro-magnetic wave) ইলেকট্রনের আচরণ। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে ইলেকট্রনের সাথে ফোটনের বৈশিষ্ট্যগত বিরাট মিল রয়েছে। এ কারণে এদের মধ্যে শক্তির আদান-প্রদানও সম্ভব। এরই প্রমাণ স্বরূপ ১৮৮৭ সালে বিজ্ঞানী হেনরিখ হার্টজ আবিষ্কার করেন যে, আলোক রশ্মি যখন কোন ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হয়, তখন ধাতব পৃষ্ঠের ইলেকট্রন আলোক রশ্মি থেকে শক্তি গ্রহণ করে। যখনই ইলেকট্রন দ্বারা গৃহীত শক্তি ধাতব পৃষ্ঠে তার বন্ধন শক্তি থেকে বেশী হয়, তখনই ইলেকট্রন ধাতব পৃষ্ঠ থেকে মুক্ত হয় বা বেরিয়ে আসে। ঠিক একইভাবে ইলেকট্রন থেকে ফোটনেও শক্তি সঞ্চারণ সম্ভব হয়েছে। বিজ্ঞানীরা প্রমাণ করেছেন ইলেকট্রনকে বাহ্যিকশক্তি (তাপ, আলো ইত্যাদি) দ্বারা উত্তেজিত করে তা থেকে ফোটন নিঃসরণ সম্ভব। বস্তুতঃ কোয়ান্টাম মেকানিকসের 'ওলট-পালট নিয়মই (Topsy-Turvy rules)-এর পিছনে কাজ করেছে। বিশেষ করে বিস্ময়কর সেমিকণ্ডাকটর প্রযুক্তির ছত্র-ছায়ায় আলো এবং বিদ্যুৎ কণার অদ্ভুত এ পারস্পরিক খেলাই অপটো-ইলেকট্রনিক্সের উদ্ভব ঘটিয়েছে।

বর্তমান বিশ্বের বিভিন্ন ক্ষেত্রে অপটোইলেকট্রনিক্সের ব্যাপক ও বহুমুখী প্রয়োগ শুরু হয়েছে। লাইট ডিটেকশন, সৌর শক্তিকে সরাসরি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তর, আলো-নিঃসরণ প্রযুক্তি পণ্যের উৎপাদন, লেসার, ফাইবার-অপটিক কমিউনিকেশন, অপটিক্যাল মেমোরী, অপটিক্যাল কমপিউটার ইত্যাদি সব আধুনিক প্রযুক্তিতেই যেন অপটো-ইলেকট্রনিক্সের দুরন্ত পদচারণা।

আমরা এ নিবন্ধে ফাইবার-অপটিক কমিউনিকেশন, অপটিক্যাল-মেমোরী এবং অপটিক্যাল-কমপিউটার এ তিন প্রযুক্তি নিয়ে আলোচনা করব।

১. ফাইবার অপটিক কমিউনিকেশন ঃ আলোর মাধ্যমে সংবাদ পাঠানোর চিন্তা-ভাবনা সুদূর অতীতেই মানুষের মন-মগজে স্থান করে নিয়েছিল। কথিত আছে, ঐতিহাসিক ট্রয় নগরীর পতনের সংবাদ অগ্নিসংকেত (fire signal) ব্যবহার করে বহু সংখ্যক রিলে স্টেশনের মাধ্যমে বিভিন্ন স্থানে পাঠানোর চেষ্টা করা হয়েছিল। তবে আধুনিক অপটিক্যাল কমিউনিকেশনের চিন্তা-ভাবনা শুরু হয় উনবিংশ শতাব্দীর শেষ ভাগে।

১৮৮০ সালে গ্রাহাম বেল সর্ব প্রথম আলোক রশ্মির মাধ্যমে কথা পাঠানোর চেষ্টা করেন। বহুমুখী অসুবিধার কারণে পরবর্তীতে এ ধরণের কোন উদ্যোগ গ্রহণ কিংবা তার যথার্থ উন্নয়ন সাধিত হয়নি।

কিন্তু ১৯৬০ সালে মাইম্যান কর্তৃক লেসার (Laser = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) আবিষ্কারের ফলে এ ক্ষেত্রে এক বিপ্লবের সূচনা হয়। লেসার হল এক ধরনের সমলয়ী বা সুসঙ্গত আলোক রশ্মি। সাধারণ আলোক রশ্মির সাথে এর পার্থক্যগত বৈশিষ্ট্য হল—

ক) এটি অত্যন্ত বিশুদ্ধ আলোক রশ্মি।

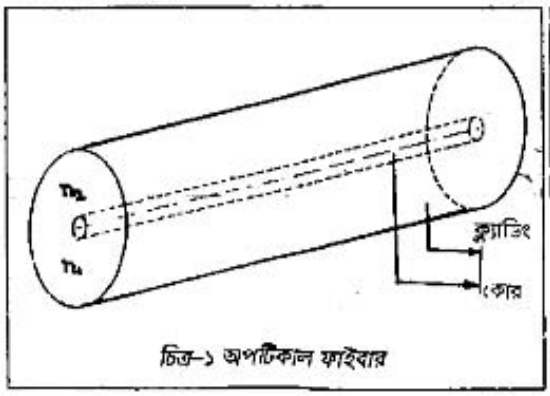
খ) এর উজ্জ্বলতা খুব বেশী।

গ) লেসার রশ্মিকে সুনিয়ন্ত্রণ সম্ভব।

ঘ) লেসার থেকে খুব সূক্ষ্ম আলোক বীম (Beam) তৈরী করা যায়।

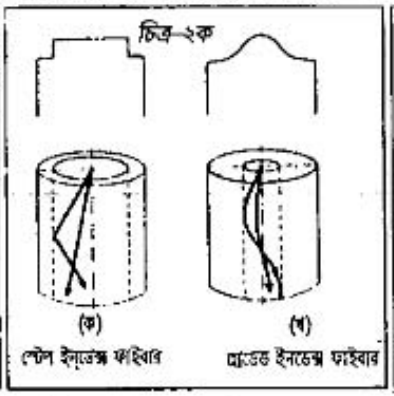
ঙ) সাধারণ আলোক রশ্মির মত যথেচ্ছভাবে ইহা ছড়ায় না।

অপটিক্যাল কমিউনিকেশনের জন্য এ রকম এক উপযোগী আলোক উৎস পাওয়ার সাথে সাথে গবেষণা



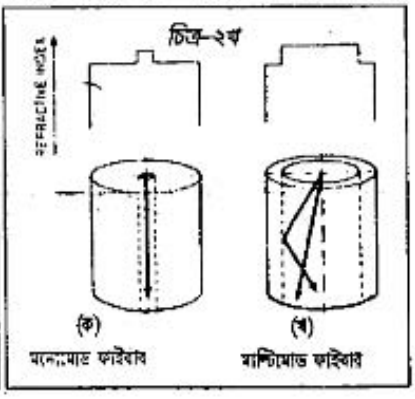
চিত্র-১ অপটিকাল ফাইবার

চিত্র-২ক



স্টেপ ইনডেক্স ফাইবার গ্রেডেড ইনডেক্স ফাইবার

চিত্র-২খ



মনোমোড ফাইবার মাল্টিমোড ফাইবার

শুরু হয় ব্যাপকভাবে। আবিষ্কৃত হয় আলোক তরঙ্গ পরিবহনের উপযোগী মাধ্যম অপটিক্যাল ফাইবার। এভাবে ধাপে ধাপে উন্নয়নের ফলে অপটিক্যাল ফাইবারের মাধ্যমে আজ বহুদূরে তথ্য প্রেরণ সম্ভব হচ্ছে। কমপিউটার প্রযুক্তির দ্রুত বিকাশের জন্য ফাইবার অপটিক কমিউনিকেশন গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রেখে চলেছে।

অপটিক্যাল ফাইবার ঃ

অপটিক্যাল ফাইবার হল ডাই-ইলেকট্রিক (অন্তরক পদার্থ) দিয়ে তৈরী এক ধরনের আঁশ— যা আলো নিবদ্ধকরণ এবং পরিবহনে (transmission) সক্ষম। ভিন্ন প্রতিসরাংকের দু'ধরনের ডাই-ইলেকট্রিক দিয়ে অপটিক্যাল ফাইবার গঠিত। ভিতরের ডাই-ইলেকট্রিকটি কোর (Core) এবং কোরকে আবৃত করে থাকা বাইরের ডাই-ইলেকট্রিকটি ক্ল্যাডিং (Cladding) নামে পরিচিত। কোরের প্রতিসরাংক ক্ল্যাডিং এর চেয়ে বেশী হয়ে থাকে। চিত্র-১ এ n_1 এবং n_2 যথাক্রমে কোর ও ক্ল্যাডিং এর প্রতিসরাংক এবং এক্ষেত্রে $n_1 > n_2$.

ক. গঠন উপাদান ঃ

অপটিক্যাল ফাইবার তৈরীর জন্য ব্যবহৃত ডাই-ইলেকট্রিকের বিশেষ কতকগুলো গুণগত বৈশিষ্ট্য থাকা প্রয়োজন। এ বৈশিষ্ট্যের মধ্যে—

- অতি স্বচ্ছতা (excellent transparency)
- রাসায়নিক সুস্থিরতা বা নিষ্ক্রিয়তা (chemical stability) ও
- সহজ প্রক্রিয়াকরণ যোগ্যতা (suitability for processing) বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। এসব গুণাগুণসম্পন্ন নীচের দুটি অন্তরক পদার্থ ফাইবার তৈরীর জন্য বহুলভাবে ব্যবহৃত হয়—
- সিলিকা (Pure or doped)
- মাল্টি কমপোনেন্ট কাঁচ (Multicomponent glass)

কখনো কখনো ফাইবারের ক্ল্যাডিং হিসেবে প্লাস্টিক কিংবা বায়ু ব্যবহৃত হয়ে থাকে। বর্তমানে পূর্ণ প্লাস্টিক ফাইবারের ব্যবহার ও পরিলক্ষিত হচ্ছে। অতিরিক্ত ক্ষয় (loss) হচ্ছে এ ক্ষেত্রে প্রধান বাধা। সাধারণ কাঁচ ফাইবার তৈরীর জন্য মোটেই উপযোগী নয়। কারণ এর মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি কিছু দূর যেতে না যেতেই নিঃশেষ হয়ে যায়। তাছাড়া সাধারণ কাঁচ দূর থেকে স্বচ্ছ মনে হলেও অপটিক্যাল কমিউনিকেশনের জন্য যতটা স্বচ্ছতা দরকার ঠিক ততটা স্বচ্ছ নয়। ফাইবার তৈরীর জন্য সোডা-বোরো সিলিকেট, সোডা লাইমসিলিকেট, সোডা-অ্যালুমিনাসিলিকেট ইত্যাদি মাল্টি-কমপোনেন্ট কাঁচগুলো বেশী ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

খ. প্রকারভেদ ঃ

ফাইবারের গাঠনিক উপাদানের প্রতিসরাংকের উপর ভিত্তি করে ফাইবারকে দু'ভাগে ভাগ করা হয়—

- স্টেপ-ইনডেক্স ফাইবার (step Index fibre)
- গ্রেডেড-ইনডেক্স ফাইবার (Graded-Index fibre)

স্টেপ-ইনডেক্স ফাইবারের কোরের প্রতিসরাংক সর্বত্র সমান থাকে। কিন্তু, গ্রেডেড-ইনডেক্স ফাইবারের কোরের প্রতিসরাংক কেন্দ্রে সবচেয়ে বেশী থাকে এবং ইহা ব্যাসার্ধ বরাবর কমতে থাকে।

কোরের প্রতিসরাংকের ভিন্নতার জন্য এ দু'ধরনের ফাইবারে আলোক রশ্মির গতিপথও ভিন্ন হয়। গ্রেডেড ইনডেক্স ফাইবারের তুলনায় স্টেপ-ইনডেক্স ফাইবারের কোরের ব্যাসার্ধ বেশী।

ফাইবার অক্ষের সাথে আলোক রশ্মির উৎপন্ন কোন সংখ্যা (number of discrete angles) বা মোডের (MODES) উপর ভিত্তি করে ফাইবারকে আরও দু'ভাগে ভাগ করা হয়।

- মনো-মোড ফাইবার (Monomode fibres)
- মাল্টি-মোড ফাইবার (Multimode fibres)

কোরের ব্যাসার্ধ খুব বড় হলেই মাল্টি-মোড প্রোপাগেশন (Propagation) সম্ভব। কিন্তু কোরের ব্যাসার্ধ যদি এত ছোট হয় যে শুধু একটি মোডেই প্রোপাগেশন সম্ভব তখন তাকে মনো-মোড ফাইবার বলে। অনেক সুবিধা থাকা সত্ত্বেও মাল্টি-মোড ফাইবারের একটি বড় অসুবিধা হল এতে আলোর বিকিরণ খুব বেশী হয়।

গ. ফাইবার-অপটিক কমিউনিকেশন ব্যবস্থা ঃ

অপটিক্যাল ফাইবার কমিউনিকেশন ব্যবস্থা বেশ সহজ এবং টেলি-কমিউনিকেশন ব্যবস্থার সাথে এর যথেষ্ট মিল রয়েছে। নীচে এ ব্যবস্থার (চিত্র-৩)একটি ব্লক ডায়াগ্রাম দেয়া হল।

প্রেরক যন্ত্র (Transmitter), প্রেরণ মাধ্যম (Optical fibre) এবং গ্রাহক যন্ত্র (Receiver) এ তিনটি মূল অংশ নিয়ে ফাইবার অপটিক কমিউনিকেশন ব্যবস্থা সংগঠিত। প্রেরকযন্ত্র উৎস থেকে তথ্য সংগ্রহ করে ফাইবারের মাধ্যমে তা গ্রাহকযন্ত্রে পৌঁছে দেয়।

প্রেরকযন্ত্র (Transmitter) ঃ

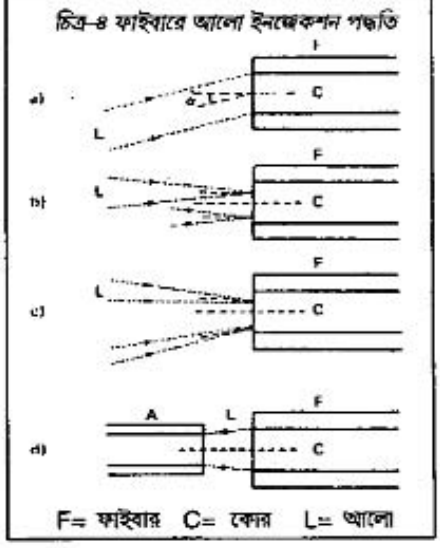
ফাইবারের মাধ্যমে আমরা যেসব তথ্য পাঠাতে চাই তা সাধারণতঃ অ্যানালগ সিগনাল (Analog Signal) বা ডিজিটাল সংকেত (series of zeros and ones) হয়ে থাকে। ফাইবার সরাসরি এ ধরনের তথ্য পরিবহনে সক্ষম নয়। এ অ্যানালগ সিগনাল বা ডিজিটাল সংকেতকে প্রয়োজনীয় মডুলেশনের মাধ্যমে ফাইবারের মধ্য দিয়ে পরিবহন উপযোগী আলোক তরঙ্গে পরিণত করাই প্রেরকযন্ত্রের কাজ। প্রেরকযন্ত্র মডুলেটর এবং আলোক উৎসের (লেসার, লাইট ইমিটিং ডায়োড ইত্যাদি) মাধ্যমে একাজ সম্পন্ন করে। তথ্যকে আলোকতরঙ্গে রূপান্তরের পর প্রেরক যন্ত্র তা ফাইবারের মধ্যে নিক্ষেপ (Inject) করে। এরকম চার ধরনের ইনজেকশন (নিক্ষেপ) পদ্ধতি নিচের (চিত্র-৪) এ দেখান হল।

তথ্য পরিবহন পদ্ধতি ঃ

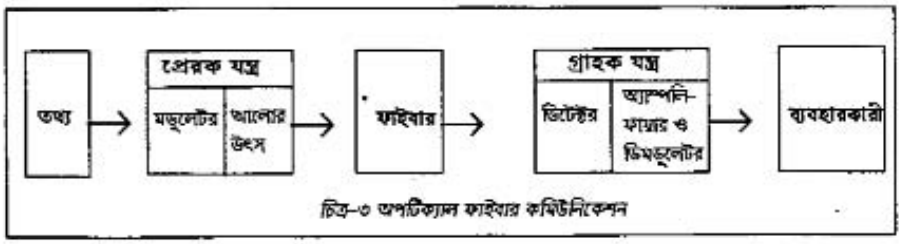
অপটিক্যাল ফাইবার আলোক রশ্মির পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন (Total internal reflection) এর মাধ্যমে তথ্য পরিবহন করে থাকে। আলোক রশ্মি যখন কোর-ক্ল্যাডিং বিভেদ তলে আপতিত হয় তখন তা স্নেলের সূত্রানুসারে প্রতিসৃত হয়ে থাকে (চিত্র-৫)।

এখানে কোর ঘন মাধ্যম এবং ক্ল্যাডিং হালকা মাধ্যম (যেহেতু কোরের প্রতিসরাংক, n_1 > ক্লাডিং এর প্রতিসরাংক n_2) হওয়ায় কোরে আপাতন কোণ θ_1 ক্লাডিং এ প্রতিসরণ কোণ θ_2 এর চেয়ে ছোট হয়। এখন আপাতন কোণ θ_1 কোরের সংকট কোণ θc এর চেয়ে ছোট বা সমান হলে পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটবে না (চিত্রে i নং রশ্মি) বা আলোক রশ্মিটির কিছু অংশ মাত্র প্রতিফলিত হবে। ফলে এ রশ্মিটি ফাইবারের মধ্য দিয়ে কিছু দূর যেতে না যেতেই নিঃশেষ হয়ে যাবে। কিন্তু আপাতন কোণ θ_1 যদি θc এর চেয়ে বড় হয় তবে আলোক রশ্মির পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটবে (চিত্রে ii নং রশ্মি)। এভাবে বার বার পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের মাধ্যমে রশ্মিটি— গ্রাহক যন্ত্রে গিয়ে ধরা পড়বে।

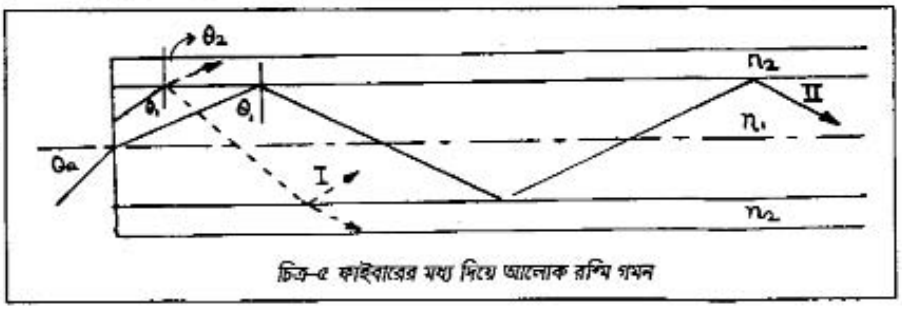
গ্রাহকযন্ত্র (Receiver) ঃ গ্রাহকযন্ত্রে মূলতঃ দুটি অংশ থাকে। এ দু'টি হল ফটোডিটেক্টর এবং প্রোসেসিং ইউনিট। ফটোডিটেক্টরের কাজ হল ফাইবার থেকে তথ্য উদ্ধার করা (detection)। প্রোসেসিং ইউনিটে থাকে অ্যাম্প্লিফায়ার, ফিল্টার ডিমডুলেটর ইত্যাদি। এরা তথ্যকে যথার্থভাবে ডিমডুলেশন, অ্যাম্পলিফিকেশন এবং ফিল্টারেশনের মাধ্যমে ব্যবহারকারীর কাছে পৌঁছায়। (চলবে)



চিত্র-৪ ফাইবারে আলো ইনজেকশন পদ্ধতি



চিত্র-৩ অপটিক্যাল ফাইবার কমিউনিকেশন



চিত্র-৫ ফাইবারের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমন