

吉祥

# 光 纤 通 信





# 电子科技大学

光电信息学院 光纤通信课程组



- 1、 光纤通信系统， 邱昆等， 电子科技大学出版社
- 2、 光纤通信， 刘增基等， 西安电子科技大学出版社
- 3、 光纤通信系统， 杨祥林， 国防工业出版社

#### 4、 **Fiber-Optic Communications Technology**

**Djafar K.Mynbaev**

#### 5、 **Fiber-optic Communications System,**

**Third Edition Govind P. Agrawal**

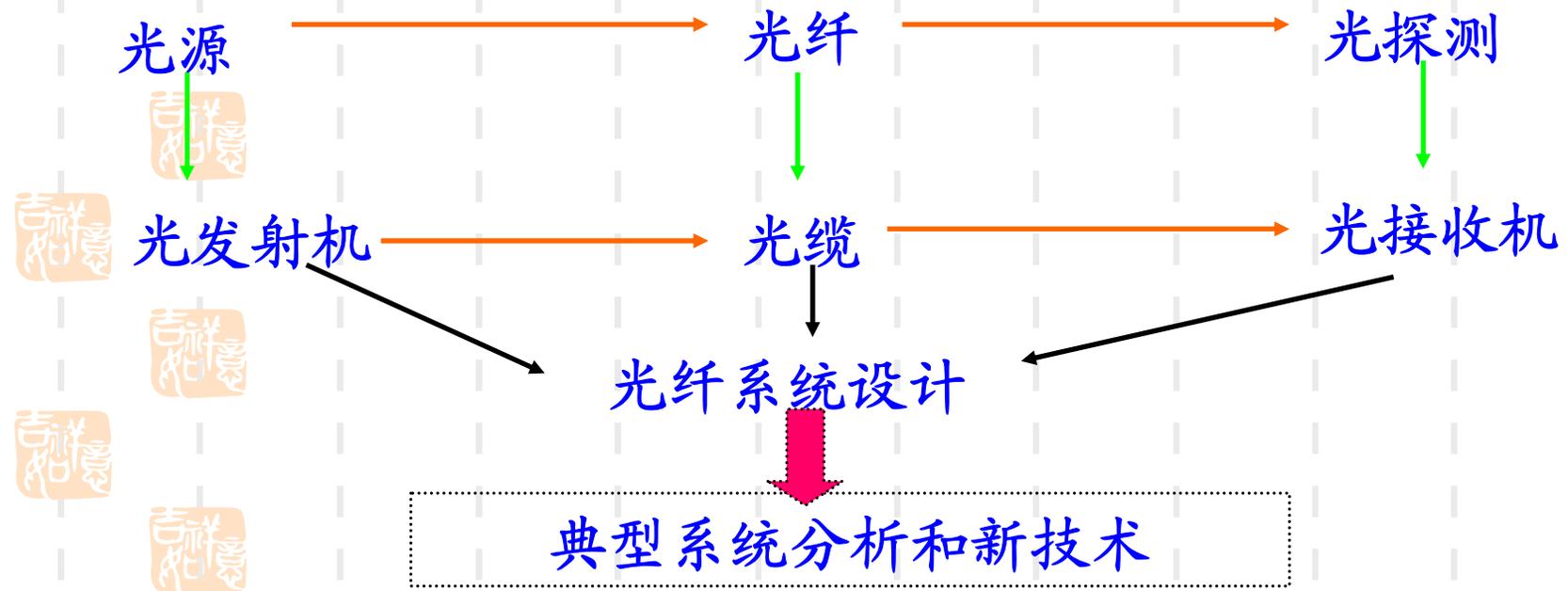
掌握一些光纤通信技术是现实需要对很多专业提出的要求，也是形成相关人员合理知识结构一个不可缺的重要组成部分要求。

光纤通信技术在近30、40年里得到了极大的发展，目前它和移动通信、数据通信已经成为电信领域发展的基石。

## 本课程全面介绍了以下内容

- 1、光纤通信系统的基本组成;
- 2、光纤和光缆的结构和类型, 光纤的传输原理和特性, 光纤特性的测量;
- 3、光源、探测器和无源器件的类型、原理和性质;
- 4、光端机的组成和特性;

- 5、 光纤通信原理;
- 6、 典型光纤传输系统;
- 7、 光放大及波分复用技术;



# 第一章 绪论

1.1 光纤通信发展的历史

1.2 光纤通信的优点和应用

1.3 光纤通信系统的基本组成

1.4 光纤通信的现状和展望

吉  
祥  
智  
慧

# 1.1 光纤通信发展的历史



吉祥

# 1.1.1 探索时期的光通信

吉祥

吉祥

吉祥

吉祥

吉祥

烽火台



旗语

西方的大航海时代

## 目视光通信

F1的旗语

白色旗表示跑道上有缓慢移动的车辆

红色旗表示比赛已停止

黑色旗表示指定的赛车下次通过修理站时要停车

黄底红道旗意思是告诉车手跑道较滑

## 光电话

贝尔, 1876年 发明电话

1880年 成功进行了光电话的实验

通话距离最远达到了213米

1881年 贝尔的《关于利用光线进行声音的产生与复制》

发射端: 太阳光作为光源 光束聚焦在震动片 调制

大气传送

接收端: 光波反射到硅光电池上 解调

光通信的三要素：光源；传输介质；光检测；

大气光通信优点：有一定的容量；传输距离；方便灵活

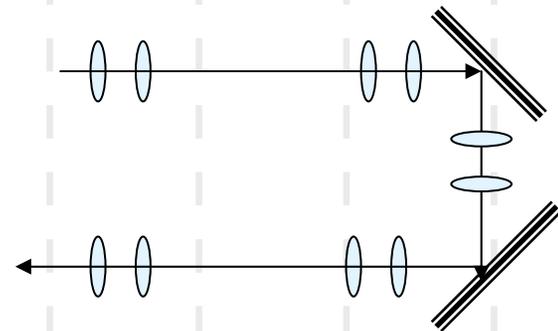
缺点：大气干扰；距离带宽有限；通信两点必须直线

可见

提出了光导引传输——早期的光波导（如图）

效率低下、有效传输距离短、无通信意义

提出了光导纤维——光纤理论模型



# 光通信

共同点：利用大气来传播可见光，由人眼来接收。光通信指的是一切运用光作为载体而传送信息的所有通信方式的总称，而不管传输所使用的媒质是什么。

大气通信

海底通信

空间通信

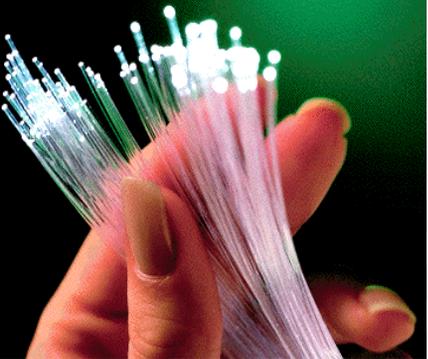
# 光纤通信

单纯地依靠光纤作为媒质来传送信息

Optical Communication

Vs.

Optical Fiber Communication



吉祥

## 1.1.2 现代光纤通信





- 1、低损耗的光纤；
- 2、高可靠、长寿命的光源及高响应的  
光检测器件；
- 3、光测量及光纤连接技术；

吉祥

# 难题之一:传输介质



理想光传输介质的寻找

透明度很高的石英玻璃丝

叫做光学纤维

简称“光纤”

内窥镜 一米

衰减损耗很大

20世纪60年代

1000dB/Km

dB

比较复杂的波导结构 放弃

用玻璃纤维通信希望渺茫??



## 损耗问题如何解决？

英国标准电信实验室 英籍华人高锟 (K.C.Kao) 博士



1966年7月，高锟就光纤传输的前景发表了具有重大历史意义的论文，论文分析了玻璃纤维损耗大的主要原因。

大胆地预言，只要能设法降低玻璃纤维的杂质，就有可能使光纤的损耗从每公里1000分贝降低到20分贝/公里，从而有可能用于通信。

世界上第一根低损耗的石英光纤:

1970年, 美国康宁玻璃公司

传输损耗 **20dB/Km**

光透过玻璃功率损耗一半 (相当于**3分贝**) 的长度:

普通玻璃            几厘米

高级光学玻璃      几米

光纤 (20dB/Km) **150米**

标志着光纤用于通信有了现实的可能性

吉祥

# 难题之二：光源



# 世界第一台激光器

1960年 梅曼 (T. H. Maiman) 红宝石激光器

**LASER:**“受激发射的光放大”

谱宽度窄，方向性极好，亮度极高，以及频率和相位较一致的良好特性。

室温 连续工作

**1970**年贝尔研究所的林严雄等人研制出能够在室温下连续工作的半导体激光器。（寿命短）

里程碑

**1977**年贝尔研究所和日本的电报电话公司几乎同时研制出寿命达**100**万小时的半导体激光器，从而有了真正实用的激光器。

**1970**年激光器和低损耗光纤这两项关键技术的重大突破，使光纤通信开始从理想变成可能，这立即引起了各国电信科技人员的重视，他们竞相进行研究和实验。

**1974**年美国贝尔研究所发明了低损耗光纤制法——**CVD法**（化学汽相沉积法），使光纤损耗降低到**1分贝/公里**；

**1977**年，世界上第一条光纤通信系统在美国芝加哥市投入商用，速率为**45Mb/s**。

吉  
祥  
如  
意

# 1.1.3 光纤通信在我国的发展

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

1974年开始了低损耗光纤和光通信的研究工作

70年代中期研制出低损耗光纤和室温下可连续发光的半导体激光器

1979年分别在北京和上海建成了市话光缆通信试验系统

# 光纤通信在中国

**1991** 不再建长途电缆通信系统

“八五”期间，建成了含**22**条光缆干线、总长达**33000**公里的“八横八纵”光纤通信干线传输网。

光纤通信已是各种通信网的主要传输方式

光速=频率X波长

1552.5nm~193.1THz

# 1.2 光纤通信的优点和应用



本世纪**30**年代，观点：“总有一天光通信会取代有线和微波通信而成为通信主流”。

今天，光纤通信已是各种通信网的主要传输方式。



# 光纤通信的优点

## 1、允许频带很宽，传输容量大

为了扩大通信容量，有线通信从明线发展到电缆，无线通信从短波发展到微波和毫米波，它们都是通过提高载波频率来扩容的。光纤通信所使用的频率要比以上使用的频率高的多。可使用的带宽巨大。

通信中，信道的带宽和信道的容量遵循所谓的香农公式：

$$C = B \times \log_2(1 + S/N)$$

其中，B是信道频带宽度（简称带宽）

S是信号功率谱密度

N是信道噪声功率谱密度

C是信道容量

由于任何信道都无法避免地会有各种噪声，而信号的功率也不可能太高，所以信道的容量不可能达到无穷。

## 2、损耗很小，中继距离很长

中继站，将衰减了的信号进行放大，然后接着往下传。

微波接力通信

我国目前市内局间中继长度小于15公里的占92.9%

## 3、重量轻、体积小

通信设备的体积和重量对于许多领域具有非常重要的意义

## 4、泄露小，保密性能好

## 5、节约有色金属，有利于资源合理使用

石英（主要成分是二氧化硅），砂子



## 6、抗电磁干扰性能好

任何的通信系统都应具有一定的抗干扰能力

主要有两个原因：

第一是光纤是绝缘体，不怕雷电和高压，不受电磁干扰；

第二是光纤中传输的是频率很高的光波，而各种干扰的频率一般都比较低，所以它不能干扰频率比它高的多的光波。

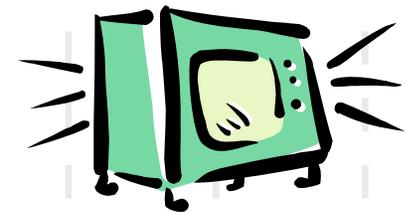
缺点：光纤质地脆、机械强度低、需要比较好的切割及连接技术，分路、耦合比较麻烦。





- 用于市话中继线
- 用于长途干线通信
- 用于高质量彩色电视传输
- 用于工业生产现场监视和调度
- 用于交通监视控制指挥
- CATV
- 光纤局域网
- 基带模拟信号的传输（雷达信号；音频信号）

# 光纤通信的应用

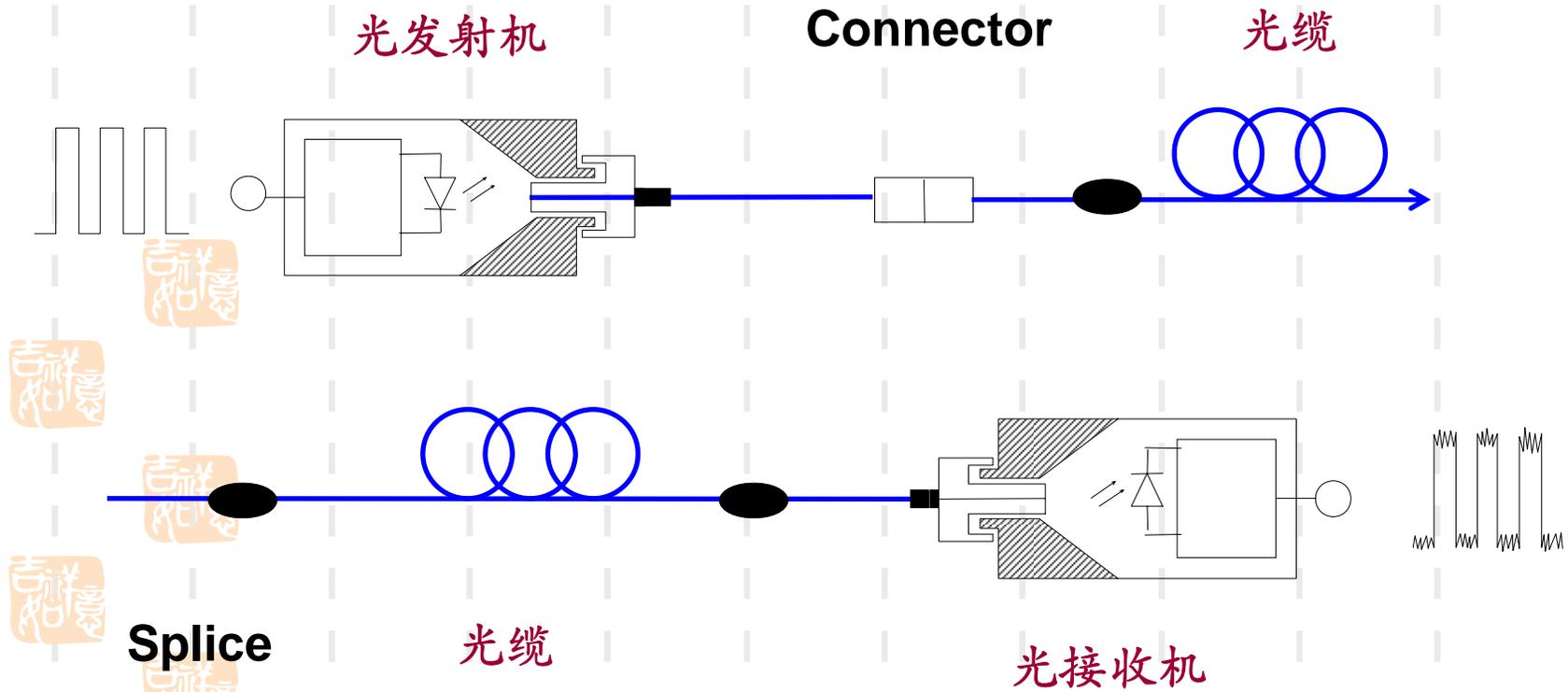


吉  
祥  
如  
意

# 1.3 光纤通信系统的基本组成



# 光纤通信系统示意图



# 光纤通信系统的三要素

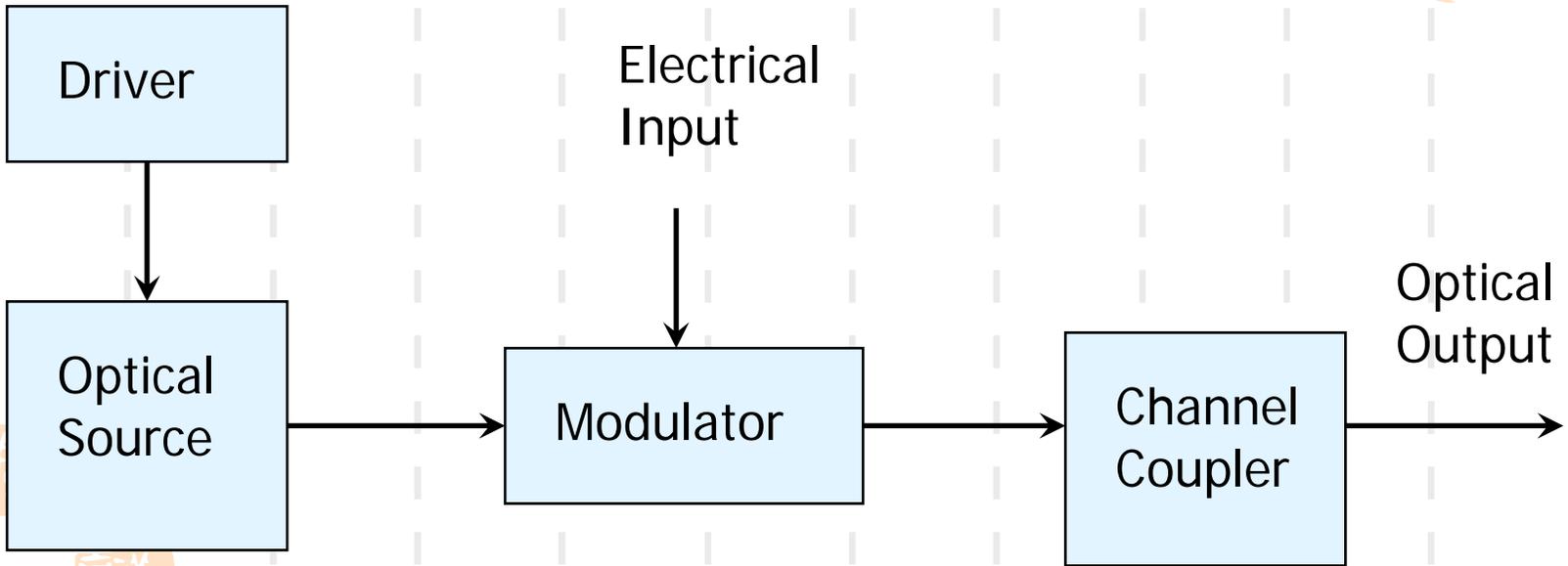


光发射端机

光接收端机

光纤





光发射端机的功能 电/光或E/O转换

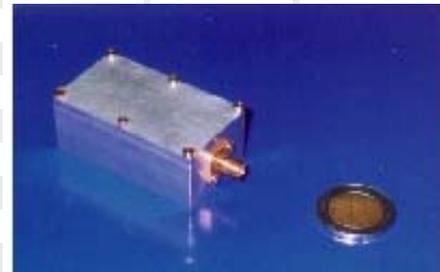
光端机由光源、驱动器和调制器组成。

对光源的要求??

输出功率足够大，调制频率足够高，谱线宽度和光束发散角尽可能小，输出功率和波长稳定，器件寿命长。

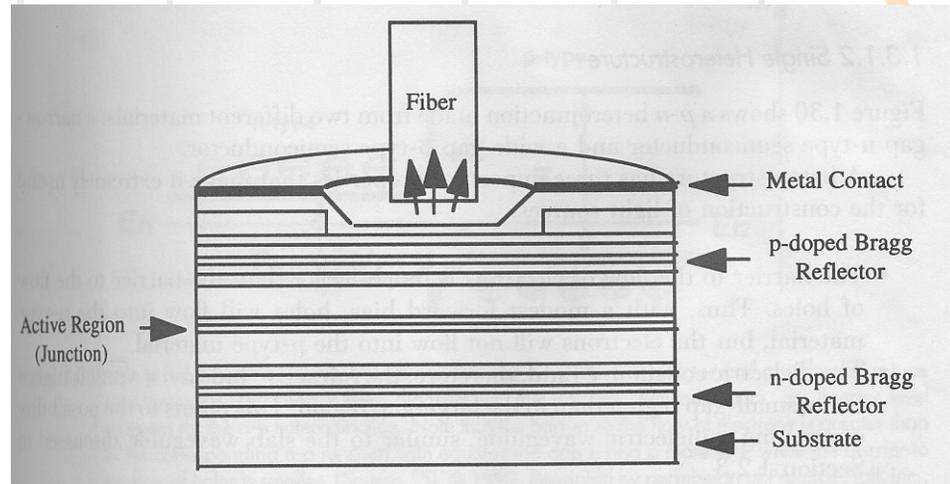
半导体发光二极管 (LED)

半导体激光二极管 (或称激光器) (LD)

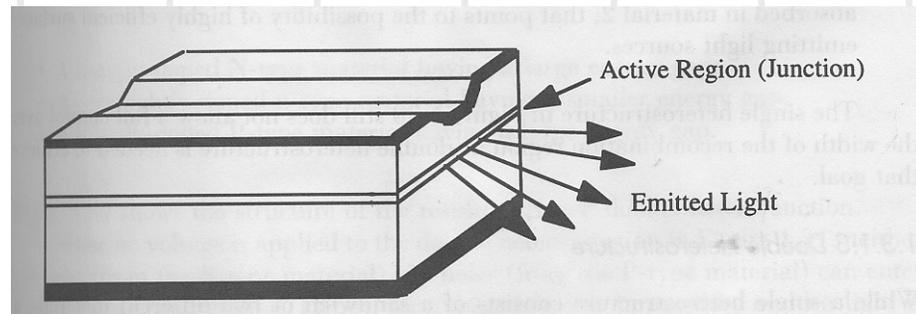


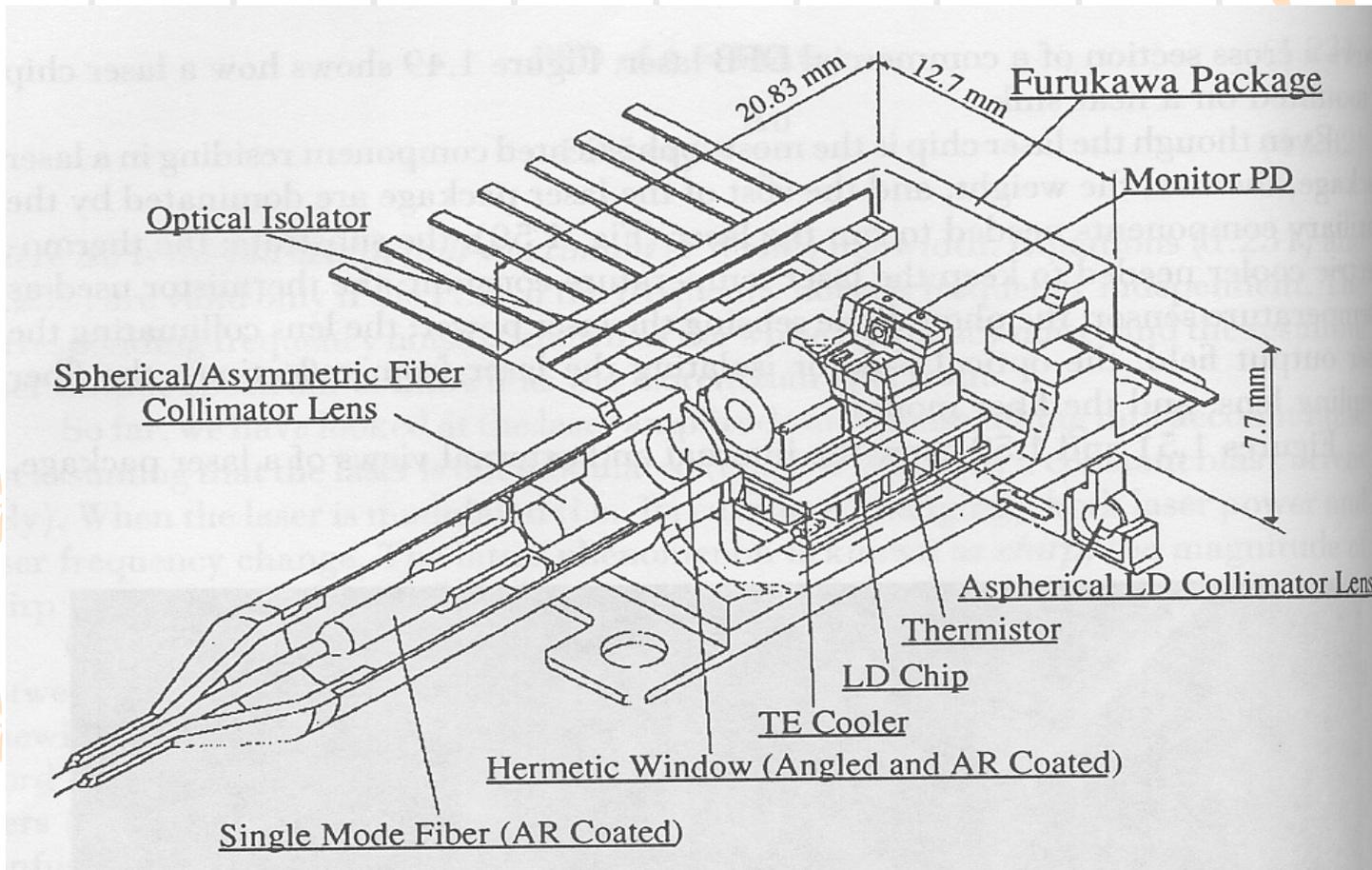
# 面发射和边发射器件

## Surface-Emitting diode

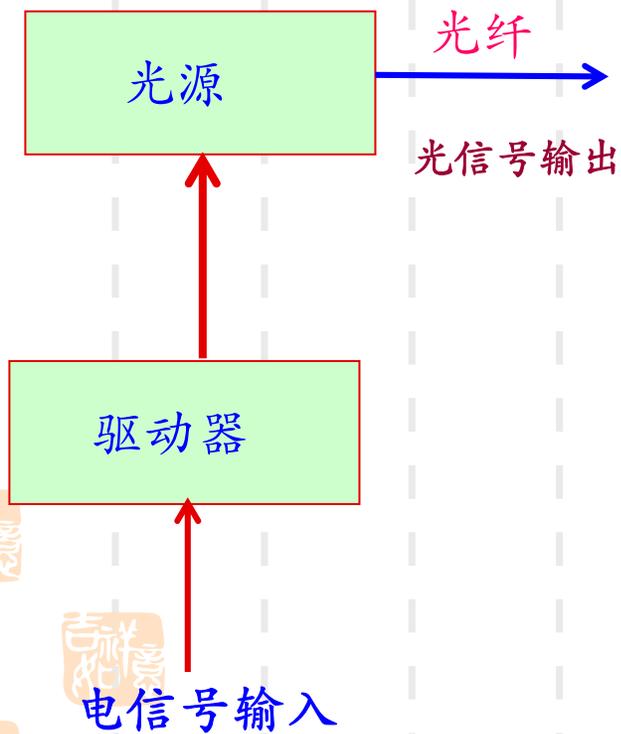


## Edge-Emitting Diode

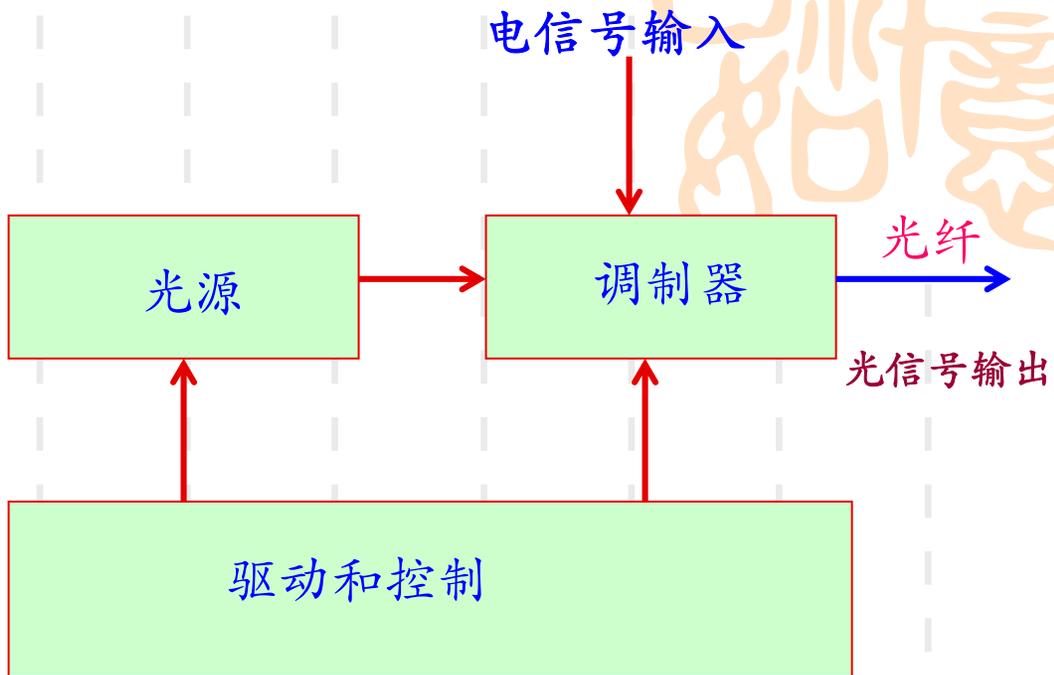




# 两种调制



**A 直接调制**



**B 间接调制**

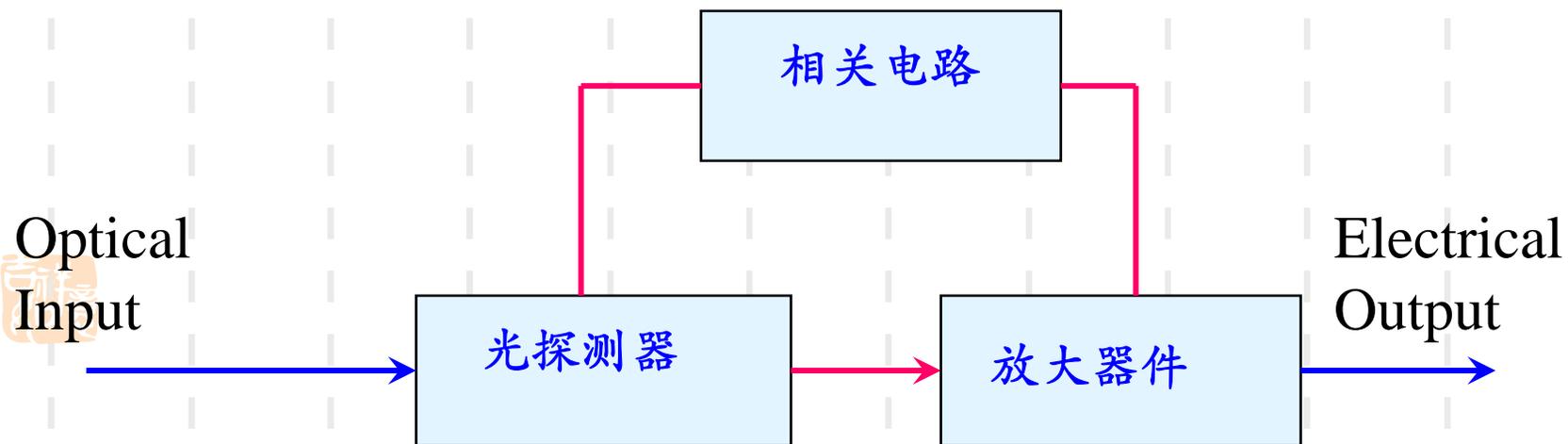
## 两种调制

**直接调制：**电信号调制器件的驱动电流，使输出光随电信号变化而实现。

**特点：**技术简单，成本较低，容易实现，但是调制速率受激光器的频率特性所限制。

**间接调制：**激光的产生和调制分开。目前有多种调制器可供选择，最常用的是电光调制器。它是利用光信号改变电光晶体的折射率，使通过调制器的光参数随电信号变化而实现调制的。

**特点：**调制速率高，缺点是技术复杂，成本较高。



## 光接收端机

功能：畸变、微弱信号转换为电信号，并经放大和处理后恢复成发射前的电信号。

光接收机由光探测器、放大器和相关电路组成，光探测器是光接收机的核心。

对光探测器的要求？？

响应度高、噪声低、高可靠性、高性价比和响应速度快。



# 光接收端机

广泛使用的光探测器有两种类型：

在半导体PN结中加入本征层的PIN光电二极管 (PIN-PD)

雪崩光电二极管 (APD)



光/电或O/E转换 通过光探测器实现

两种方式：直接检测和相干检测（外差检测）

**直接检测** 探测器直接把光信号转化为电信号。

简单、经济。是目前光纤通信系统普遍使用的方法。

**相干检测（外差检测）** 要设置一个本地振荡器和一个光混频器，使本地振荡光和光纤输出的信号光在混频器中产生差拍而输出中频信号，再由光探测器把中频信号转化为电信号。

难度大。高灵敏度 Chapter 1 绪论

# 接收机灵敏度

接收机的灵敏度是表征光接收机调整到最佳工作状态时，光接收机接收微弱光信号的能力。

光接收机灵敏度定义为：特定条件下（数字系统：误码率，模拟系统：信噪比），接收机所需要的小输入光功率。接收灵敏度一般用dBm来表示，它是以1mW光功率为基础的绝对功

率，或写为 
$$P_r = 10 \text{Log} (P_{\min} / 10^{-3})$$

其中， $P_{\min}$ 指在给定误比特率的条件下，接收机能接收的最小平均光功率。例如，在给定的误比特率为 $10^{-9}$ 时，接收机能接收的最小平均光功率为1nW（即 $10^{-9}$ W），光接收机灵敏度为-60dBm。

## 尽可能小的畸变（失真）

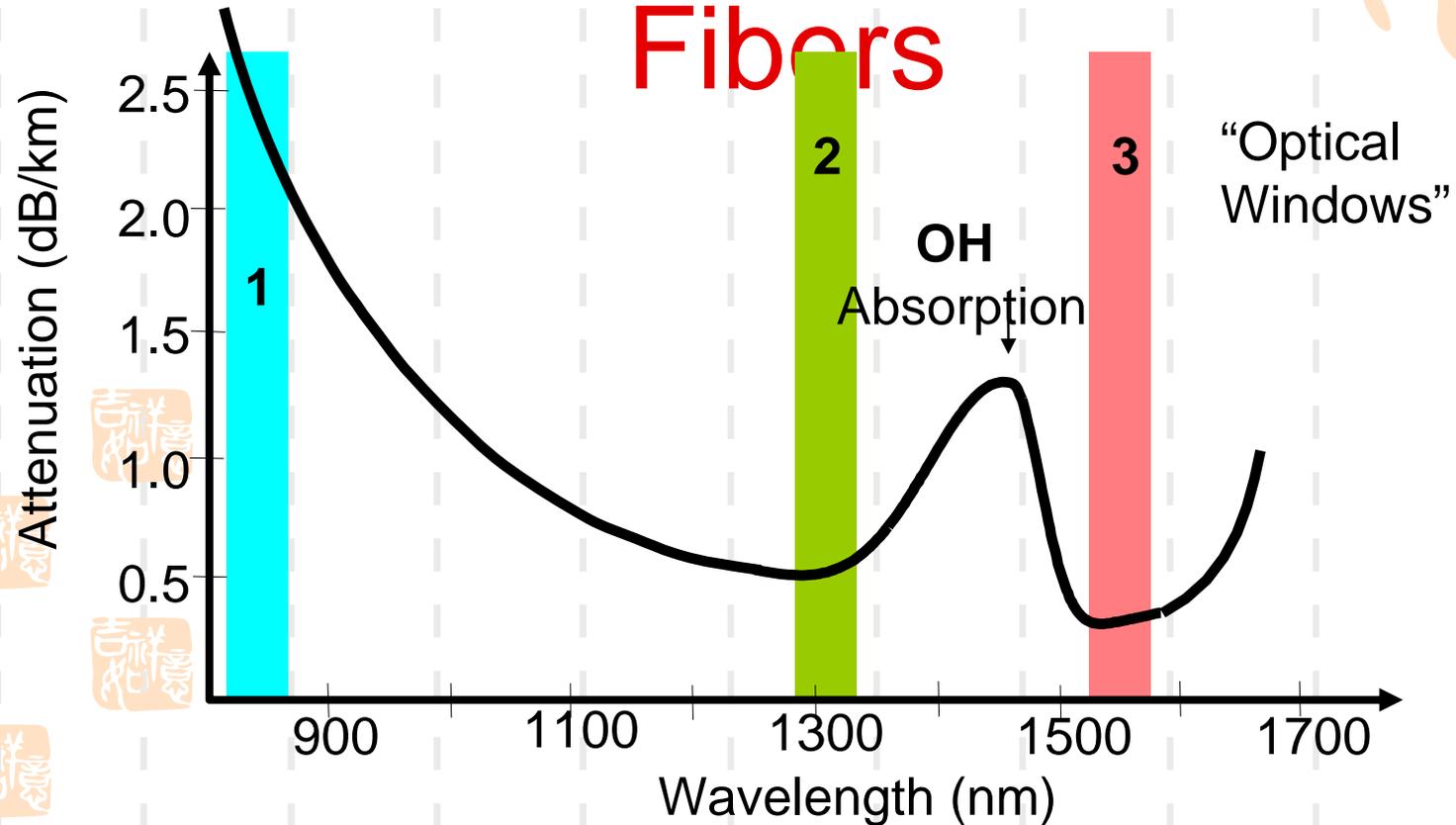
两个重要参数

损耗

色散



# Attenuation In Silica Fibers



Main cause of attenuation: Rayleigh scattering in the fiber core

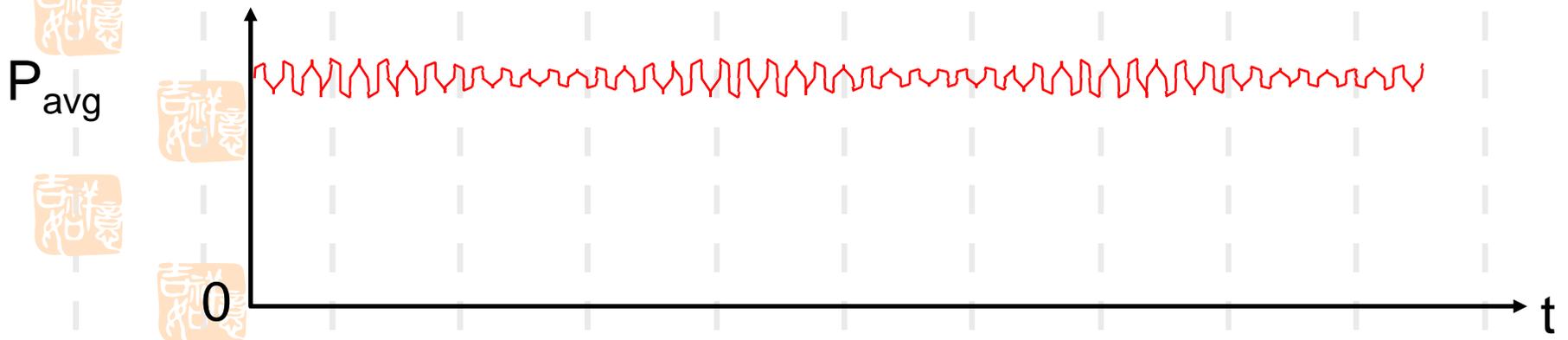
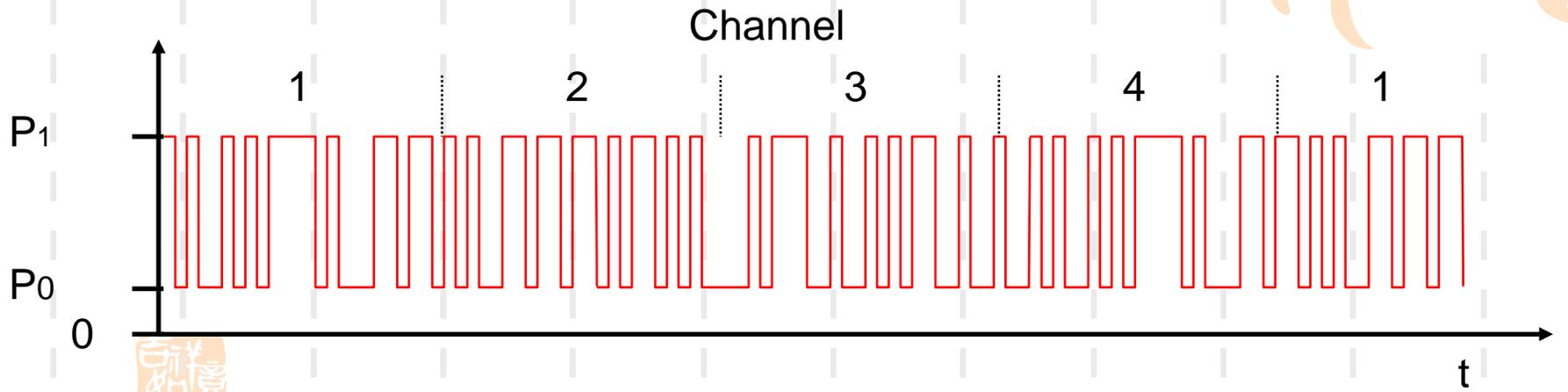
# 光纤通信系统的评价

- 1、有效性，指信息的传输速度；
- 2、可靠性，指信息的传输质量；
- 3、适应性，指环境使用条件；
- 4、标准性，指元件的标准性、互换性；
- 5、经济性，指成本是否低；
- 6、保密性，指是否便于加密；
- 7、使用维修是否方便。

# 光纤通信系统的分类

光纤通信系统可以根据系统所使用的激光光波的波长、携带信息的形式、传输光纤、信号的调制方式、光接收方式的不同和光纤中传送的是单波长通道还是多波长通道的信号分成多种光纤通信系统。

根据电端机送入光端机信号性质的不同，可分为模拟和数字光纤通信系统。



# 数字通信系统和模拟通信系统

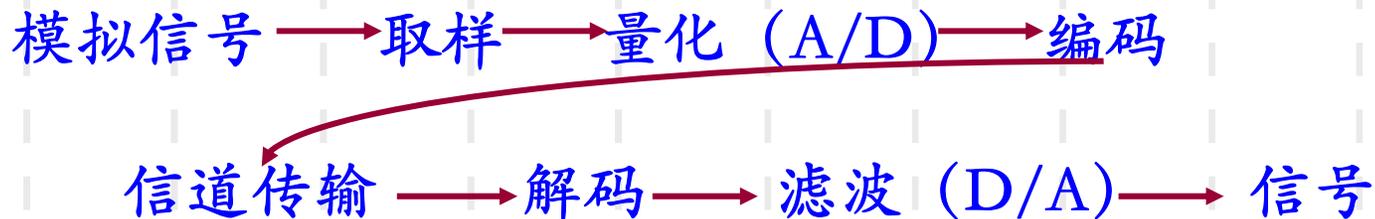
通信的目的是传递和交换信息

模拟信号：连续

数字信号：离散

模拟通信系统用参数取值连续的性号代表信息，强调的是变换过程中信号和信息之间的线性关系。

数字通信系统则用参数取值离散的信号来代表信息，强调的是信号和信息之间的一一对应关系。



要求:  $f_s > 2\Delta f$ , 采样速率为信号带宽的2倍 (Nyquist定理)

$$B > (\Delta f)(\text{SNR})/3 \quad (\text{B: 比特率} \quad \Delta f: \text{带宽} \quad \text{SNR})$$

光波的电磁场:  $E(t) = A \cos(\omega t + \phi)$

A	光强度调制 (AM)	幅移键控 (ASK) -----OOK + PCM
$\omega$	光频率调制 (FM)	频移键控 (FSK)
$\phi$	光波相位调制 (PM)	相移键控 (PSK)

常见线路码：

**RZ**（归零码）：光脉冲“1”宽度较窄，在比特周期结束前归零。

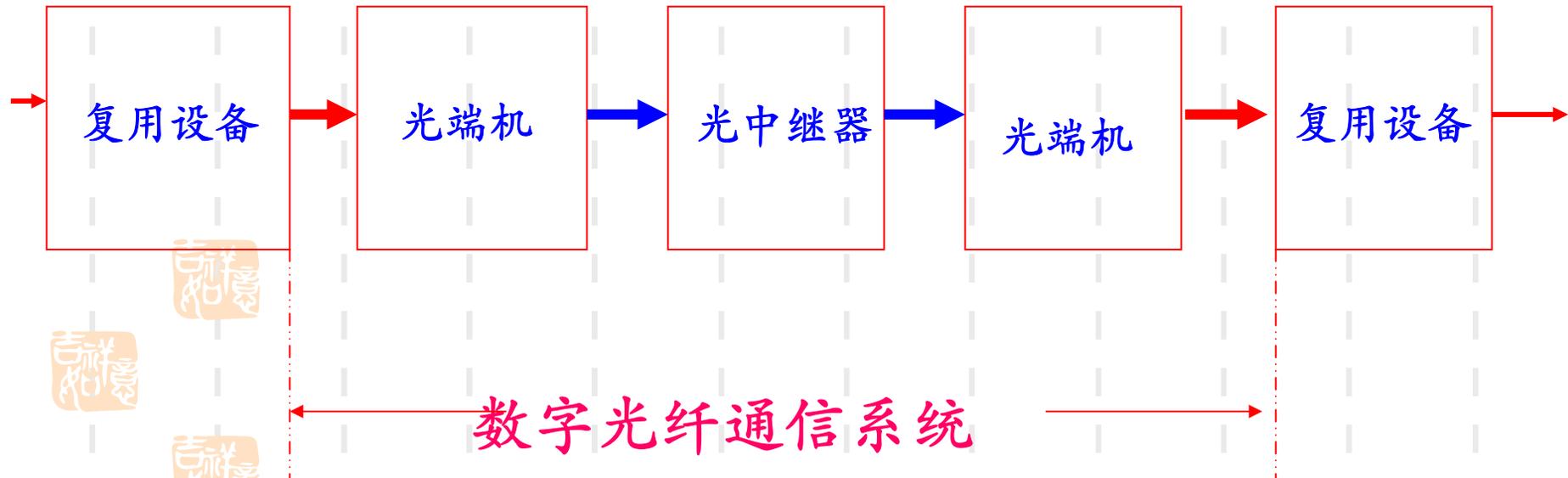
**NRZ**（非归零码）：光脉冲“1”在比特周期内不变，在两个连续比特“1”间不为零。

# 信道复用的方法???

电域

光域

# 数字光纤通信系统的组成



# 数字通信系统的优点

- 1、抗干扰能力强，传输质量好。
- 2、可以用再生中继，传输距离长。
- 3、适用各种业务的传输，灵活性大。

4、容易实现高强度的保密通信。

5、数字通信系统大量采用数字电路，易于集成，从而实现小型化、微型化，增强设备可靠性，有利于降低成本。



数字通信的缺点是占用频带较宽，系统的频带利用率不高。例如，一路模拟电话只占用4kHz的带宽，而一路数字电话要占用64 kHz的带宽。



数字通信的很多优点是以牺牲频带为代价得到的。



误码特性

抖动特性

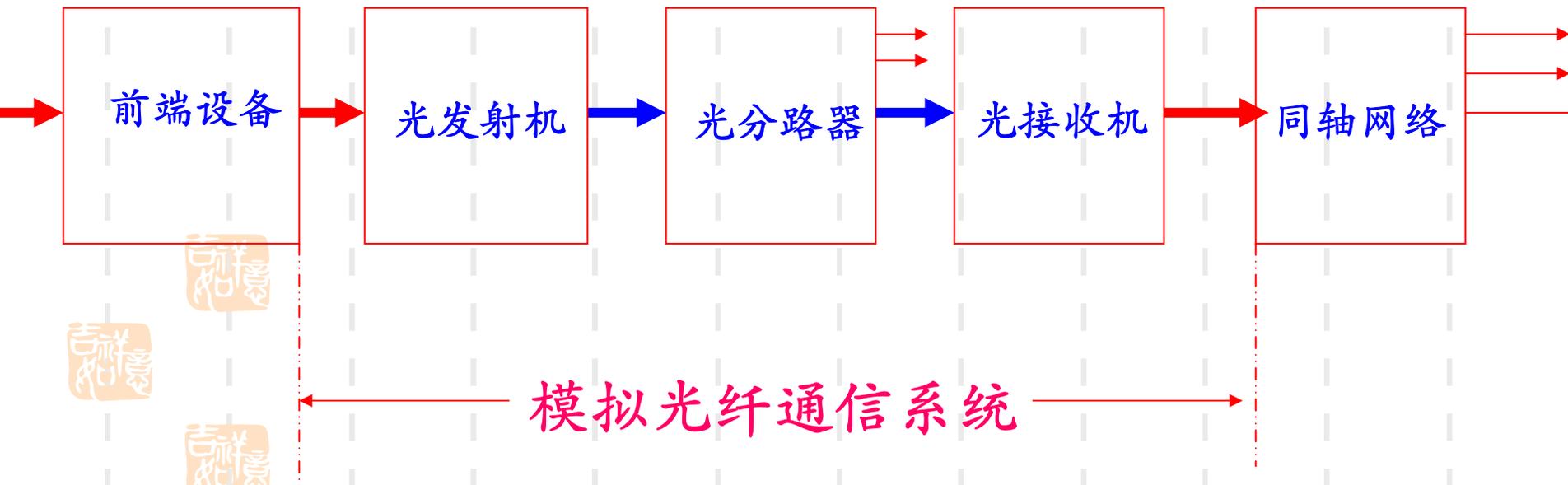
可靠性



模拟通信系统占用带宽较窄外，还有电路简单、价格便宜等优点。

主要应用在广播电视短程线传输、工业与交通监控系统、共用天线系统、计算机网乃至宽带的综合业务局域网中的光纤传输系统等。

# 模拟光纤通信系统的组成



# 影响模拟光纤通信系统的因素

## 噪声

系统自身的热噪声、激光器的强度噪声和光电探测器件的散粒噪声。其中，热噪声占主要地位。

## 非线性失真

光源的非线性特性（工作在线性区）

# 模拟光纤通信系统的重要指标

## 信噪比 (SNR)

即信号功率与噪声功率之比，衡量信号的恶化程度号。

## 载噪比 (CNR)

即载波功率与噪声功率之比。因为模拟系统中信息信号是叠加在一个射频 (RF) 载波上传送的，所以用计算载波的功率来代替信号的功率。

吉祥

# 1.4 光纤通信现状和展望



吉  
祥  
名  
譽

# 1.4.1 光纤通信的现状

吉  
祥  
名  
譽

吉  
祥  
名  
譽

吉  
祥  
名  
譽

吉  
祥  
名  
譽

吉  
祥  
名  
譽

吉  
祥  
名  
譽

# 光纤通信的演进

自**20世纪70年代**，各种各样的光纤通信系统大体经过了这样几个阶段：

**1、第一代光纤通信系统在20世纪70年代末大量投入运营。由0.85微米的光源和多模光纤构成。**

**光纤损耗大，多模光纤的传输带宽有限。**

**应用在低速率、短距离条件。**

**76年亚特兰大安装的商用系统，传输码速率44Mbit/s，传输距离10公里。**

# 光纤通信的演进

2、20世纪80年代初，采用1.3微米的半导体发光二极管或激光二极管作为光源，再加上多模光纤构成了早期的第二代光纤传输系统。

无中继距离20公里。

传输速率140 Mbit/s(多径色散)

20世纪80年中期，投入运营的第二代光纤通信系统由1.3微米的半导体激光器和单模光纤构成。

传输损耗低，色散小。

# 光纤通信的演进

第三代光纤通信系统采用了**1.55**微米作为工作波长，以色散位移光纤作为传输媒介。

适宜于超高速、长距离无中继传输。

典型传输速率为**565 Mbit/s**、**622 bit/s**、**2.488Gbit/s**。中继距离超过**100**公里。自**80**年代后期已经大量投入商用。

# 光纤通信的演进

第四代光纤通信系统采用波分复用 (WDM) 技术, 即在同一根光纤中传输多个光载波, 获得了更高的传输速率, 同时采用光纤放大器 (EDFA) 直接放大光信号以代替传统的光-电-光中继方式。

90年代中期投入商用。160\*10Gbit/s

第五代，即下一代它主要具有以下特征：

超宽带——单根光纤传输容量达到Tbit/s

超长距离——光放大传输距离达到

1000~10000Km

光交换——克服电交换的瓶颈

智能化——智能光网络技术。

# 相关核心器件的演进

## 激光器:

LED 半导体发光二极管 — 半导体激光器 LD

同质结半导体 LD — 双异质结 LD — 分布反馈 LD — 量子阱

LD

速率: MHz — Gb/s — 10Gb/s — 40Gb/s

## 光电探测器:

PIN 光电二极管 — APD 雪崩光电二极管

Si — GaAs — Ge — InGaAsP

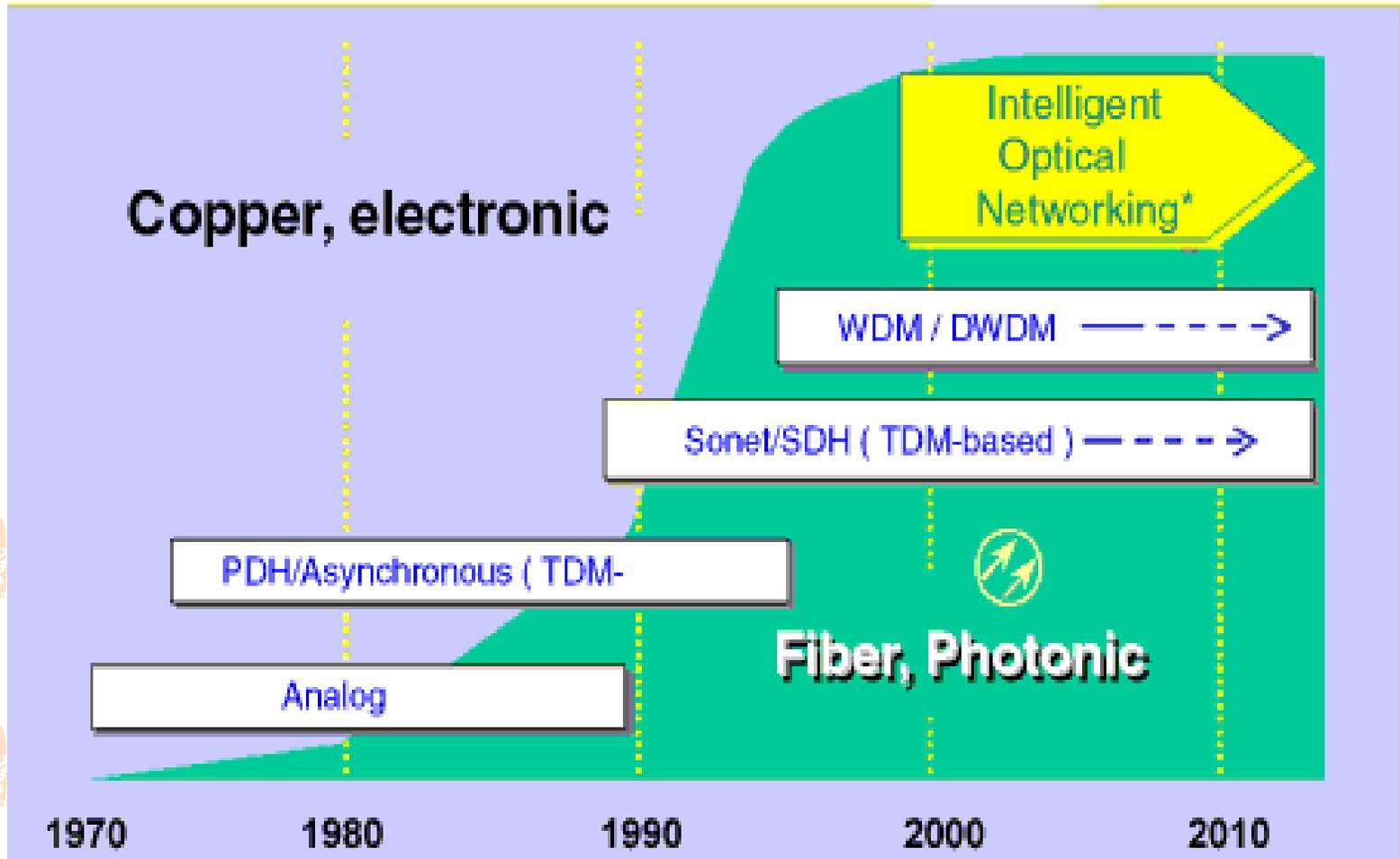
速率: MHz — Gb/s — 10Gb/s — 40Gb/s

近几十年光纤通信已经取得了突飞猛进的进展

传输容量上：2.5Gbit/s、10Gbit/s、40Gbit/s

大量采用WDM系统。

提高中继距离：上千公里的无电中继距离技术上已经可行。



吉  
祥  
如  
意

# 1.4.2 光纤通信的展望

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

吉  
祥  
如  
意

- 1、传输速率的高速化；
- 2、用户网的光纤化；

电信网的全光纤化

光纤到户 (FTTH) 光纤

到路边 (FTTC)

### 3、光交换节点取代电交换节点；

光交换，是指对光纤传送的光信号直接进行交换。

在光域中完成交换功能，而无需将光信号转换为电信号。有效的减小了时延，增加了系统的吞吐量。

## 4、相干光通信是未来的光纤通信方式 ( ? ? )

本振光源/光混频器，具有混频增益，系统的灵敏度  
极高，而且具有出色的波长选择性。

技术难度大...

## 5、孤子通信与全光通信

在一定的条件下，光纤的非线性效应与色散效应相互抵消，从而保持光脉冲形状在传播过程中不变形，形成所谓的光孤子。

光脉冲足够窄，脉冲能量在一定的范围之内。

1. What advantages does the lightwave technology offer?
2. Who is using fiber optics extensively?
3. Why are fiber-optic communications systems the backbone of modern telecommunications systems?
4. What were two major problems encountered in the early development of optical fibers for practical use in communications systems?

Laser

Optical fiber communication

DETECTOR

APD

PIN

ANALOGUE

DIGITAL

PD

ATTENUATION

MODULATOR

DIODE



.....



吉祥

END OF SECTION ONE



吉祥

Questions?



**Thank you!**