

71

7A7-8.11
1179

光纤通信用 光电子器件和组件

黄章勇 编著



A0952289

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 提 要

本书是一部专门介绍光纤通信光电子器件的专业技术书,共 13 章。该书较全面地介绍了光纤通信光发射器件(包括 LED 和 LD 及其组件/模块)、光接收器件(包括 PIN 和 APD 及其组件/模块)、光调制器、光开关以及光放大器的基本工作原理、器件结构、器件组装、器件特性参数,并重点介绍 DWDM 和光纤用户接入网应用的光电子器件;还较详尽介绍了确保光纤通信光电子器件可靠性的器件考核标准以及使用光电子器件的注意事项。

本书既展示了作者多年的工作积累,也参考了国内外近几年的最新技术资料,可供从事光纤通信(包括光电子器件研究和生产、光纤通信系统设计和制造、光电子器件和光纤通信系统销售、可靠性研究和管理等)的单位和工程技术人员使用和参考,也可供通信专业、光电子技术专业大专院校师生使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信光电子器件和组件/黄章勇编著. —北京:北京邮电大学出版社,2001.7

ISBN 7-5635-0507-5

I. 光... II. 黄... III. ①光缆通信—光电器件②光缆通信—电子元件
IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 031509 号

书 名: 光纤通信光电子器件和组件

作 者: 黄章勇 编著

责任编辑: 时友芬

出版发行: 北京邮电大学出版社

网 址: www.buptpress.com

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部)/010-62283578(FAX)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京忠信诚胶印厂印刷

开 本: 787mm×1 092mm 1/16

印 张: 21.5

字 数: 504 千字

印 数: 1—8000 册

版 次: 2001 年 7 月

ISBN 7-5635-0507-5/TN·228

定 价: 38.00 元

前 言

光纤通信已成为当今信息社会不可缺少的神经系统，其发展和潜力远没有到头，但是，对于光纤通信系统的核心元(器)件——光电子器件——尚没有一部完整的、系统的、可供实用的技术资料，即或有这方面的技术资料也是零星的、不完整的、缺乏实用的，急需一部更贴近实用性的有关光纤通信用光电子器件的技术资料。本书的宗旨是为光电子器件研究和生产者、光纤通信系统设计和制造者以及通信系统用户全面了解光纤通信用光电子器件。本书较全面地概述了光纤通信用的主要光电子器件的基本工作原理、器件结构、组装技术、器件特性参数以及各种光电子器件的现状和发展。

本书的特点是具有实用性，书中大

量地介绍了可供实用化的光电子组件和模块，并较详细介绍了 Bellcore 推荐和已被公认的光电子器件的常用参数以及这些参数的定义和测试方法，同时对尚不完全统一的可靠性考核标准作了较全面介绍。此外，本书还从实用角度介绍应用和操作光电子器件的相关问题。

作者希望通过本书对光纤通信，特别是光电子器件的应用和发展有所帮助。由于作者水平有限，书中肯定有许多遗漏和错误之处，敬请读者批评指正。

黄章勇

二〇〇〇年十月

光纤通信与光电子器件

1.1 光纤通信系统简介

光纤通信主要是指利用激光作为信息的载波信号并通过光导纤维来传递信息的通信系统。光纤通信是人类通信史上一重大突破,现今的光纤通信已成为信息社会的神经系统,其主要优点是:

- 光波频率很高,光纤传输频带很宽,故传输容量很大,理论上可通上亿门话路或上万套电视,可进行图像、数据、传真、控制、打印等多种业务;
- 不受电磁干扰,保密性好,且不怕雷击,可利用高压电缆架空敷设,用于国防、铁路、防爆等;
- 耐高温、高压,抗腐蚀,不受潮,工作十分可靠;
- 光纤材料来源丰富,可节约大量有色金属(如铜、铝),且直径小、重量轻、可挠性好。

光纤通信经过短短 30 年,得到了飞速的发展,已从第一代 $0.85\ \mu\text{m}$ 多模光纤系统,第二代 $1.3\ \mu\text{m}$ 多模光纤系统过渡到第三代 $1.3\ \mu\text{m}$ 单模光纤实用系统,第四代 $1.55\ \mu\text{m}$ 单模光纤系统现已广泛地投入使用。由于光电子器件、光纤技术以及系统技术的不断改善和更新,长距、高速、超高速、超大容量和超长距离的光纤通信系统乃至全光光纤通信系统已从实验室逐步进入工程实施阶段。

一个光纤通信系统通常由发射电端机、发射光端机、接收光端机、接收电端机以及连接发射和接收光端机的光纤(缆)线路组成,图 1-1 示出光纤通信系统简单模型。若是长距光纤通信系统,为补偿因光纤(缆)传输的损耗,在光纤线路上还配置光放大器,最具吸引力的光放大器是与传输光纤相匹配的光纤放大器,例如应用于 $1.55\ \mu\text{m}$ 光纤系统的掺铒光纤放大器(EDFA)和应用用于 $1.3\ \mu\text{m}$ 光纤系统的掺镨光纤放大器(PDFA)。为了在单根光纤上实现大容量传输,在光纤线路上还配置了波分复用器/解复用器(WDM/DEMUX)、 $1\times N$ 星形耦合器和矩阵光开关等。为了实现光器件(包括光有源器件和光无源

器件)与光纤线路间的连接还使用大量的光连接器。

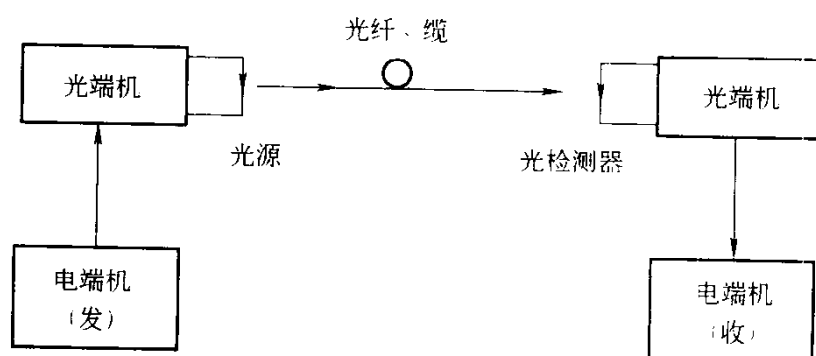


图 1-1 简化的光纤通信系统模型

图 1-2 示出包括终端用户设备的实际光纤通信系统图。从图中可以清晰地了解光纤通信与光电子器件之间的关系以及光电子器件在光纤通信系统中的作用和地位。

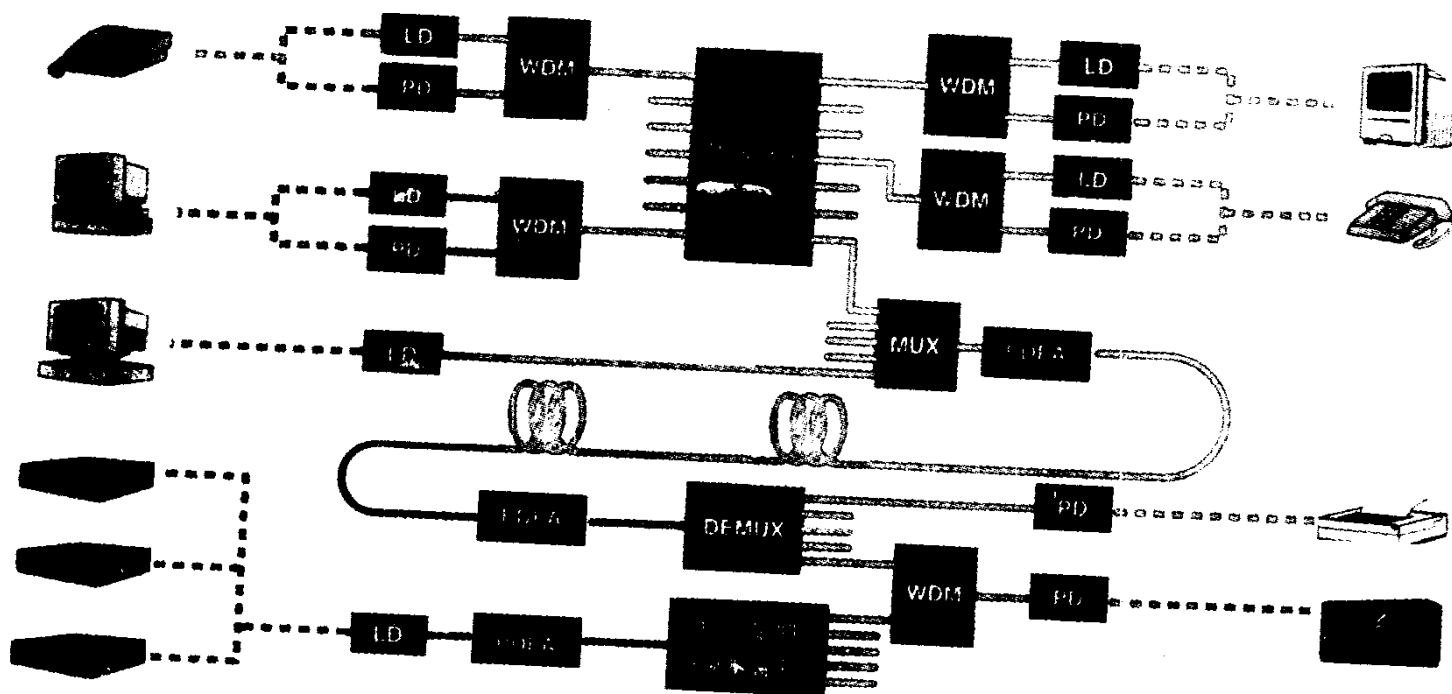


图 1-2 实际的光纤通信系统略图

1.2 光发射机

光发射机是由将带有信息的电信号转换成光信号的转换装置和将光信号送入光纤的传输装置组成,图1-3是光发射机的主要部件示意图。光发射组件是光发射机的主要部件,而光源(包括半导体光发射二极管和激光二极管)是核心。光纤通信光源必须满足如下原则:

- 光源的激射波长必须在传输光纤的低损耗窗口波段:0.85 μm (通常称作短波长波段)、1.31 μm 和 1.55 μm 波段(通常将 1.31 μm 和 1.55 μm 称为长波长波段);
- 光源的发射功率要大;
- 调制特性和发光/消光(响应速度)特性要好;
- 可靠性要高,寿命要长;

• 光源必须轻巧,适应振动、温度、湿度等环境变化;

• 能批量生产,价格便宜。

满足上述原则的光源是半导体光源,因而半导体光源具有以下优点:

(1) 其发光的光谱范围能与石英光纤的各个低损耗、低色散窗口对应。例如,以 GaAs 为衬底的 GaAlAs/GaAs 光源的中心发射波长正好位于 $0.85\ \mu\text{m}$,以 InP 为衬底的 InGaAsP/InP 光源的中心发射波长可分别位于 $1.31\ \mu\text{m}$ 和 $1.55\ \mu\text{m}$ 。同时,短距光纤通信系统大多选用 $0.85\ \mu\text{m}$ 波长光源,而长距光纤通信系统选用 $1.31\ \mu\text{m}$ 波长或者 $1.55\ \mu\text{m}$ 波长光源。

(2) 半导体光源,特别是半导体激光二极管不仅具有较高的发射功率而且还与光纤间有较高的耦合效率。

(3) 调制十分的简单,在中、低调制速度时,半导体光源可以进行直接调制,无须外部的光调制器。

(4) 可靠性极高,现在的发光二极管的寿命可达 10^6 小时以上,激光二极管的寿命可达 10^5 小时以上。

(5) 体积特别的小,并可与电子线路进行混合集成或单片集成,构成光电子集成的光发射机。

除光源外,光发射机还有与之匹配的直流偏置驱动电路、阻抗匹配电路、防止光从光纤返回的光隔离器以及监视光源发射功率的监视光电二极管、自动功率控制电路和使光源恒温工作的温控系统等。

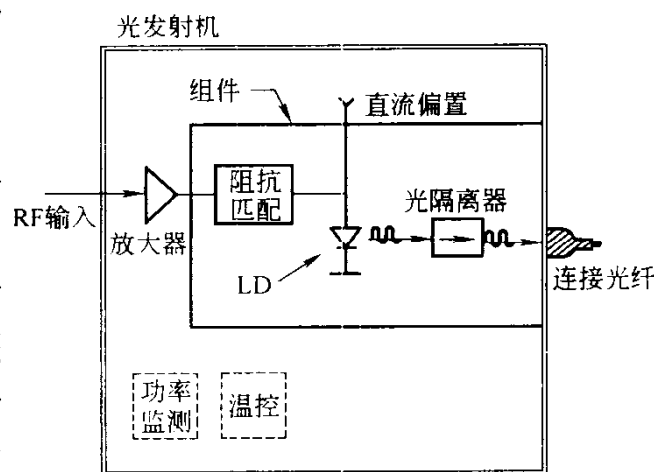


图 1-3 光发射机示意图

1.3 光调制器

在光纤通信系统要求较高速率时,半导体光源的调制特性满足不了要求,必须使用外部调制器。目前,在光纤通信系统使用的外调制器通常是铌酸锂(LiNbO_3)电-光调制器,它采用了一个集成光学的 Mach-Zehnder(缩写为 M-Z)构形,实现对光信号的强度调制,因此,称这种外调制器为 M-Z 强度调制器,图 1-4 是使用光调制器的典型电路示意图。如图所示,数字电信号不再是直接加在激光二极管光源上,而是把数字电信号加在 LiNbO_3 调制器的电极上,通过电-光调制器的 M-Z 构形把来自激光二极管的单偏振连续

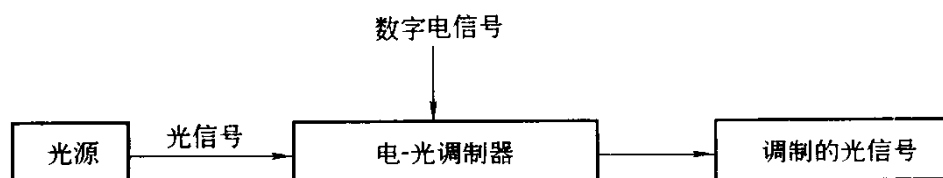


图 1-4 使用外调制器的光信号调制

波(CW)光转换成为一个随时间变化的光输出信号。

光纤通信系统对调制的要求是:

- 高的调制速率和宽的调制带宽
- 低的驱动电压
- 高消光比
- 低的插入损耗

1.4 光 纤(缆)

光纤(缆)是光纤通信系统光波传输的媒体。光纤由高折射率的纤芯和低折射率的包层和塑套构成,如图 1-5 所示。按制作光纤的材料不同分为石英(SiO_2)光纤、多组分玻璃光纤、全塑料光纤和掺杂光纤。按折射率分布可分为阶跃折射率(SI)光纤和渐变折射率(GI)光纤。按传播光波模式可分为单模(SM)光纤和多模(MM)光纤。阶跃折射率光纤适于小容量短距离系统,渐变折射率光纤适于中容量中距离系统,单模光纤适合于大容量长距离系统。

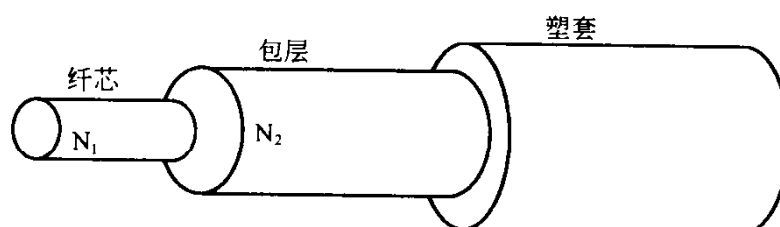


图 1-5 光纤的结构

光缆由多根光纤构成,依据纤芯数量不同,光缆有双芯、4 芯、8 芯、12 芯、18 芯、24 芯、32 芯等种类。

1.5 光 放 大 器

当光波在光纤中传输一定距离之后,由于光纤的损耗致使光功率减弱,要使光波继续向前传播,必须对光波进行放大,较早的办法是使用光-电-光的放大方式,即使用两次光电转换过程放大光信号。这种方式的光放大不仅装置复杂、成本高,而且带来不利的后果。近年研究开发出的稀土掺杂的光纤放大器使在线光放大技术发生了一场革命。根据放大光信号波段,光纤放大器有四种类型。它们分别是工作于 $1.55 \mu\text{m}$ 波段的掺铒(Er)光纤放大器、工作于 $1.31 \mu\text{m}$ 波段的掺镨(Pr)光纤放大器(PDFA)、工作于 $1.40 \mu\text{m}$ 波段的掺铥(Tm)光纤放大器(TDFA)和可望工作于 $1.27 \sim 1.67 \mu\text{m}$ 全光波段的拉曼光纤放大器(RFA)。常将 EDFA 划分为 C 波段($1530 \sim 1570 \text{ nm}$)和 L 波段($1580 \sim 1610 \text{ nm}$)。目前 EDFA 仍是最成熟的放大器,它被光纤传输系统大量采用。光纤放大器的基本原理是利用稀土掺杂的光纤,在半导体激光器的泵浦下,发生能级跃迁而实现光的直接放大。对 EDFA 来说, 1480 nm 和 980 nm 波长的半导体激光器是它的泵浦光源。

光纤放大器的主要要求是：

- 高的增益
- 低的噪声系数
- 高的输出光功率
- 低的非线性失真

1.6 光接收机

光接收机和光发射机一样,也是光纤通信系统的核心部件。光接收机由光电探测器和放大、处理电路两个主要部分组成,图 1-6 示出了光接收机的主要组成部分。

光电探测器的主要功能是检测出已被信息调制过的光信号并将它转换成电信号,它相当于电通信系统中的检波。用于光纤通信的光电探测器主要有两种,一种是 PIN 光电二极管(PIN-PD),另一种是雪崩光电二极管(APD)。光纤通信用光电探测器的主要要求是：

- 高的灵敏度
- 低的噪声
- 快的响应速度
- 足够的带宽
- 对温度变化不敏感
- 尺寸小并能与光纤匹配
- 价格合理,寿命长

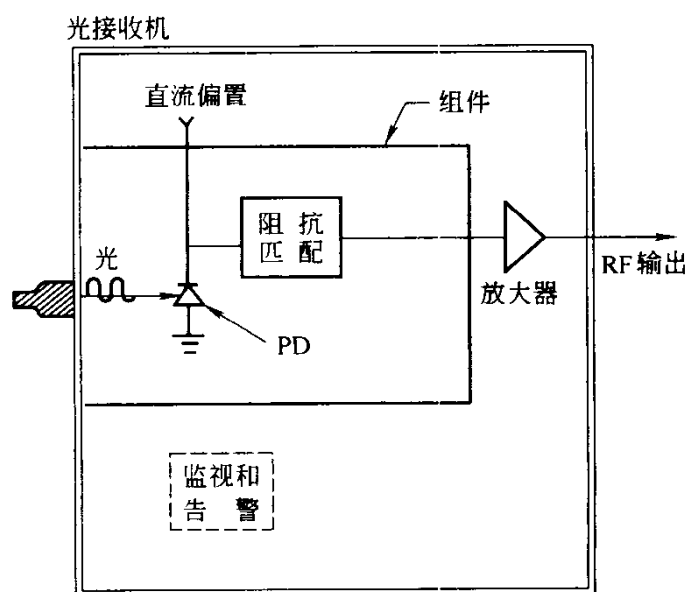


图 1-6 光接收机主要组成部分

在光接收机中,由于光电探测器的输出电信号通常比较小,必须经放大才能使用。放大和处理电路的作用是将微弱的电信号放大并作适当处理。在光接收机中,最常使用的放大器是 GaAs 场效应晶体管(FET),称之为 FET 放大器。在光接收机中为了知道光输入功率和光输入损耗情况,还设置光输出监视和告警电路。

1.7 光无源器件

在光纤通信系统中还包括大量不可缺少的光无源器件,它们分别是：

1. 光耦合器

光耦合器常用于需要传输的光分路/光合路以及光耦合,按结构形式可分为熔接型、研磨型和集成光路型。在光纤系统中多采用 $1 \times N$ 星形耦合器。

2. 光隔离器

光隔离器是在光通路中防止光反射回光源,即只允许光单向传输的无源器件。常用

的光隔离器主要由起偏器、检偏器和旋光器三部分组成。起偏器与检偏器的透光轴成 45° 角,旋光器使通过的光发生 45° 的旋转。例如,当垂直偏振光入射时,由于该光与起偏器透光轴方向一致,所以全部通过。经旋光器后,其光轴旋转 45° 角,恰好与检偏器透光轴一致而获得低损耗传输。如果有反射光出现且反向进入隔离器的只是与检偏器光轴一致的那一部分光,这一部分光经过旋光器被旋转 45° ,变成水平线偏振光,正好与起偏器透光轴垂直,所以光隔离器能够阻止反射光的通过。图 1-7 是隔离器的工作原理图。按结构分光隔离器有三类,即块型、光纤型和波导型。

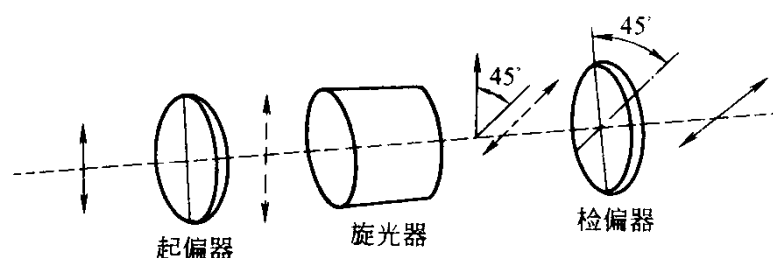


图 1-7 光隔离器的工作原理图

光隔离器的主要技术指标是：

- 低的插入损耗(对正向入射光)
- 大的隔离度(对反向反射光)

3. 光衰减器

光衰减器是对光功率进行预定量衰减的器件,分为可变光衰减器和固定光衰减器两种。前者主要用于调节光线路电平,后者主要用于电平过高的光纤通信线路。图 1-8 示出光纤通信用的光可变衰减器。如图所示,光纤输入的光经自聚焦透镜变成平行光束,平行光束经衰减片送到自聚焦透镜并耦合到输出光纤。衰减片通常是表面蒸镀了金属吸收膜的玻璃基片,为减小反射光,衰减片与光轴可以倾斜放置。光衰减器的主要技术要求是：

- 高的衰减精度
- 好的衰减重复性
- 低的原始插损

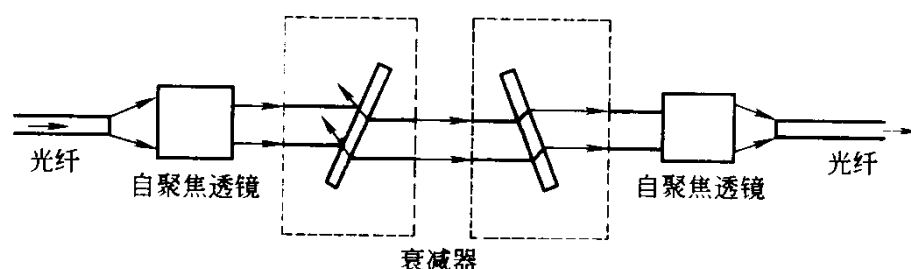


图 1-8 光可变衰减器示意图

4. 光纤连接器

光纤连接器是光纤系统最基本的无源器件,它起着各种设备和部件与光纤之间的连接作用。有 FC 型、PC 型和 SC 型。光连接器的主要技术要求是：

- 低的插入损耗

- 好的重复性
- 好的互换性
- 低的反射损耗
- 长的寿命

5. 波分复用器/解复用器

随着信息量的不断扩大,必须提高光纤的传输比特(bit)率。早期系统是采用电子时分复用技术,即在发送方面,把低比特速率的电信号用时分复用逐级合成为高速率的电信号,然后以强度调制激光二极管;在接收方面,由光电探测器检出电信号,再分路。目前的光纤通信系统是采用光波分复用(WDM)技术,它可将两个或两个以上的光通道合成在一条光纤中传输。目前复用上百个信道的密集 WDM 技术已被系统大量采用。

光波分复用器/解复用器是一种将多路光信号合成或分开的光无源器件。目前采用的大多为薄膜滤波器型光波分复用器/解复用器,集成光学波分复用器/解复用器已成为未来系统的首选器件,特别是阵列波导光栅(AWG)和布喇格(Bragg)光栅型的波分复用/解复用器件具有巨大的应用潜力。

6. 光开关

光开关是光纤通信系统不可缺少的器件,它不仅可用于光源备份的光路切换,还可用于逻辑、数字光通信系统中的光路选择和光交换。光开关分为机械式和非机械式两类。机械式光开关是采用移动(机电式)光纤或反射镜的方法来转换光路,其优点是插入损耗小、串扰低,缺点是磨损大、速度慢、功耗大、寿命短。非机械式光开关正好克服机械式光开关的缺点,可分为三大类型:电光开关、磁光开关和集成光路光开关。电光开关是通过电介质施加电场使其折射率分布发生改变,从而导致偏振光反射特性改变,实现光的开关,其速率可达 μs 级。磁光开关是利用某些旋磁材料在外加磁场作用下产生旋光性,使这些材料的光偏振面发生旋转而实现光开关,其开关速率比电光开关高,且重复性好、寿命长、工作稳定。集成光路光开关是利用集成光学 Mach-Zehnder 干涉仪(MZI)的热光效应和电光效应实现光开关,是未来光纤通信系统最有希望的光开关。

7. 光耦合器

光耦合器是将光信号进行分路或合路、插入、分配的一种器件。按器件结构分,大体可分为四类:即微光元件型、光纤成型型、光纤对接耦合型和平面波导型。微光元件耦合器大多采用自聚焦透镜,利用 $\lambda/4$ 的自聚焦透镜,把聚焦光线变成平行光线的特点而实现两束光线的耦合。光纤成型型耦合器最典型形式是星形耦合器,它可以是由两根以上(最多可达 100 多根)的光纤局部加热熔合而成,这种光耦合器在制作上比较方便,价格比较便宜,光纤和元件为一整体,可以耐受机械振动和温度变化。光纤对接型耦合器是利用玻璃加工技术,把光纤端磨抛成楔形,将两根光纤的楔形斜面对接胶粘后,再与另一根光纤的端面粘接。平面波导型耦合器是利用平面薄膜光刻工艺制作的,其一致性好,插入损耗小、分光比精度也高。

发光二极管和发光二极管组件

光纤通信用的发光二极管(LED)通常是采用以 GaAs 为衬底的 GaAs 或 AlGaAs 和 InP 为衬底的 InGaAs 或 InGaAsP 材料制成。用 AlGaAs/GaAs 制作的 LED 其峰值发射波长在 $0.8 \sim 0.95 \mu\text{m}$ 范围内,用 InGaAsP/InP 制作的 LED 其峰值发射波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 和 $1.55 \mu\text{m}$ 。光纤通信用的 LED 一般为高功率 LED,其结构形式有正面(正面发光型)和侧面(侧面发光型)LED。作为光纤通信的 LED 多采用侧面型 LED,因为侧面发射光的 LED 有与激光二极管相似的构形,可提供与光纤耦合的高耦合效率、较宽带宽和较窄的光谱线宽。

2.1 发光二极管结构和基本工作原理

2.1.1 LED 结构

图 2-1 分别示出了 AlGaAs/GaAs LED 和 InGaAsP/InP LED 的结构截面图。要使 LED 发光,有源层的半导体材料必须是直接带隙材料,越过带隙的电子和空穴能够直接复合而发射出光子。为了使器件有好的光和载流子限制,大多采用双异质结(DH)结构。

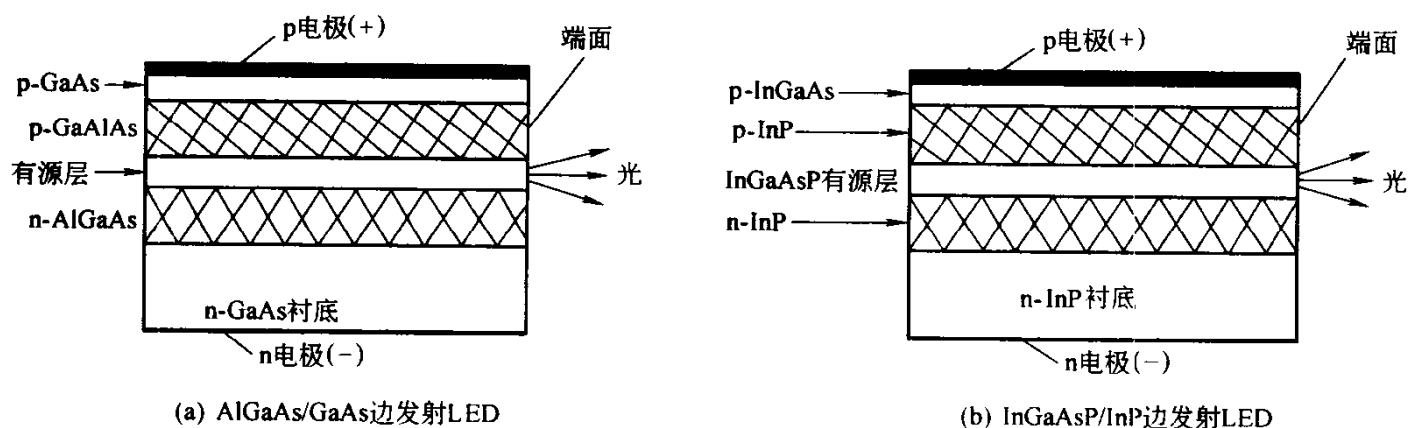


图 2-1 边发射 LED 结构截面图

2.1.2 LED 的基本工作原理

LED 是一种直接注入电流的光发射器件,是半导体晶体内部受激电子从高能级回复到低能级时,发射出光子的结果,这就是通常所说的自发发射跃迁。为了说明 LED 的发光过程,首先从半导体材料的能带结构说起。由原子构成晶体时,电子不再是属于某个原子,而在整个晶体内作“共有化运动”,这就导致原子能级分裂成能带。不允许存在能量状态区域称为带隙,带隙宽度用电子伏特(eV)表示。带隙下方与价电子对应的低能量区称为价带,其上方高能量区称为导带,导带底的电子能量比价带顶的电子能量高,其值等于带隙宽度 E_g (简称带隙的能量)。

不同半导体材料有不同的能带结构,图 2-2 分别示出了 GaAs 和 GaP 能带结构示意图,图中只画出典型的导带底和价带顶,横坐标单位是波矢量,用符号 k 表示,自由电子波矢量 k 的值与能量 E 的关系是:

$$E = h^2 \cdot k^2 / 2m \quad (2-1)$$

式中, m 是电子质量; h 是普朗克常数 ($h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{S}$)。

因此,半导体晶体中,电子能量同样能用波矢量来描述。人们用繁复的理论计算了一些实际半导体的能量 E 和波矢量 k 的曲线。从图 2-2 中可看见, GaAs 晶体的价带顶和导带底处于同一 k 值处,称这种半导体为直接跃迁半导体或直接带隙半导体;

而 GaP 晶体的价带顶和导带底不在同一 k 值处,称这种半导体为间接带隙半导体。用 E_{gd} 表示直接带隙型半导体的带隙宽度,用 E_g 表示间接带隙型半导体的带隙宽度。

当 LED 的 PN 结加上正向偏压,注入的少数载流子和多数载流子(即电子和空穴)复合而发光。值得注意的是,对于大量处于高能级的粒子各自分别自发发射一系列角频率为 $\nu = E_g/h$ 的光波,但各列光波之间没有固定的相位关系,可以有不同的偏振方向,并且每个粒子所发射的光沿所有可能的方向传播,这个过程称之为自发发射。其发射波长 λ 可用下式来表示:

$$\lambda = \frac{1.2396}{E_g} \quad (2-2)$$

GaAs 的 $E_g = 1.435 \text{ eV}$,故可用它来制作 $0.85 \mu\text{m}$ 波长的红外 LED。InGaAsP 的 $E_g = 0.75 \sim 1.35 \text{ eV}$,对应的发射波长为 $1.65 \sim 0.92 \mu\text{m}$,考虑到光纤的低损耗窗口, InGaAsP LED 的发射波长选为 $1.3 \mu\text{m}$ 和 $1.55 \mu\text{m}$ 。

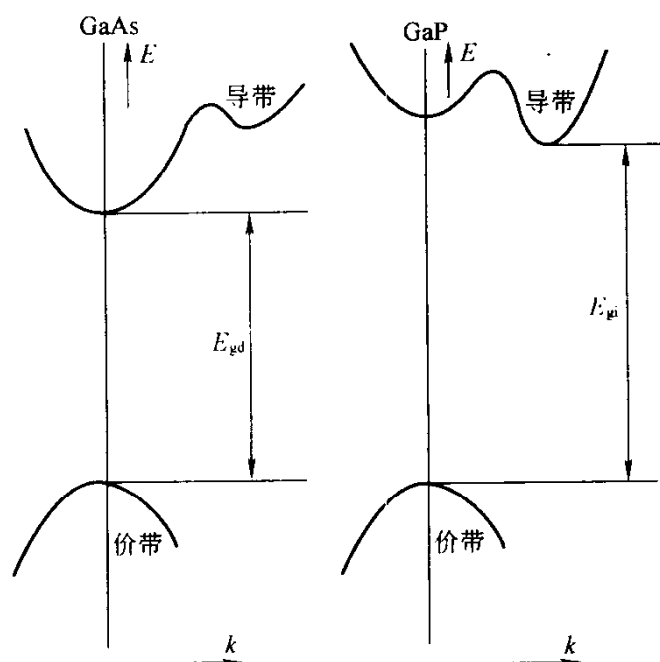


图 2-2 GaAs 和 GaP 晶体的能带结构示意图

2.2 发光二极管特性及测试方法

2.2.1 LED 光谱特性及测试方法

由于 LED 没有光学谐振腔选择波长,所以它的光谱是以自发发射为主的光谱,图 2-3 示出了 1 300 nm LED 的典型光谱曲线。发光光谱曲线上发光强度最大时所对应的波长为发光峰值波长 λ_p ,光谱曲线上两个半光强点 λ_1 和 λ_2 所对应的波长差 $\Delta\lambda$ 称之为 LED 谱线宽度(简称谱宽),其典型值在 30~40 nm 之间。 λ_p 和 $\Delta\lambda$ 的测试方框图如图 2-4 所示,当被测器件的正向工作电流达到规定值时,旋转单色仪波鼓,使指示器达到最大值,读出波长峰值,此即为该器件的发光峰值波长 λ_p 。再旋转单色仪波鼓(朝相反方向各转一次),使指示器读数为最大值的一半时,读出两个等于最大值一半的数值,两者之差即为光谱线宽 $\Delta\lambda$ 。实际上,现在可用光谱仪直接显示在显示屏上,并可自动打印出光谱曲线。

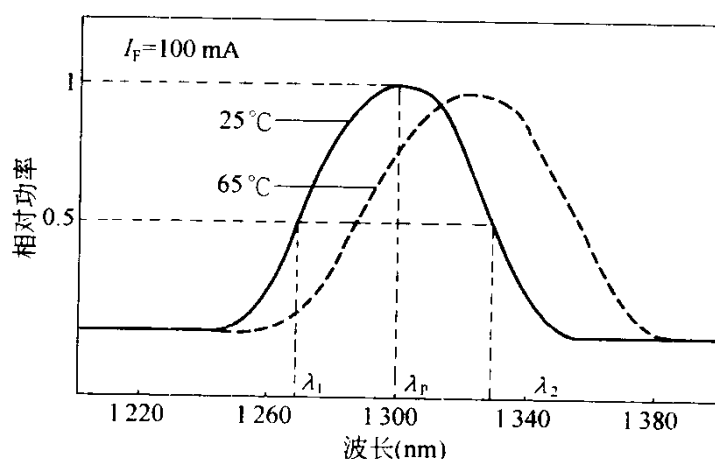


图 2-3 1 300 nm LED 光谱曲线

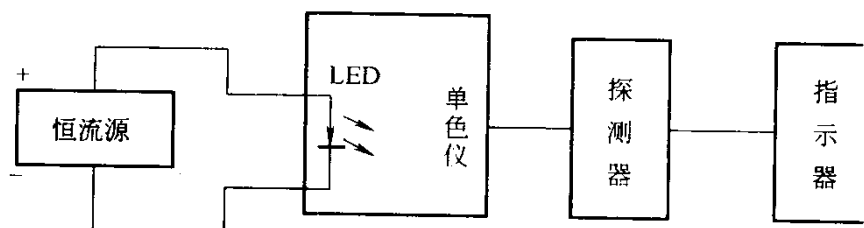


图 2-4 LED 的 λ_p 和 $\Delta\lambda$ 测试方框图

从图 2-3 可以看到,当器件工作温度升高时,光谱曲线随之向右移动,从 λ_p 的变化可以求出 LED 的波长温度系数。

2.2.2 LED 伏安特性及测试方法

LED 通常都具有如图 2-5 所示的较好的伏安特性。当 LED 管芯通过的正向电流为规定值时,正、负极之间所产生的电压降,即为正向压降(以 V_F 表示,单位为 V),由于正

向电阻比较小,故 V_F 一般都较低,图 2-6 示出了 V_F 的测试原理图。

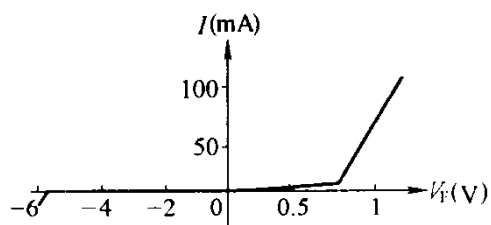


图 2-5 LED 的伏安特性曲线

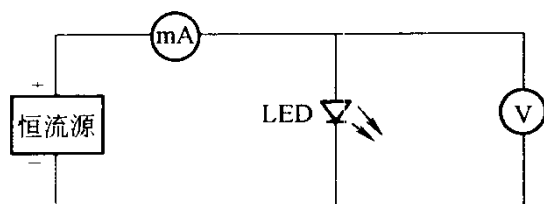


图 2-6 LED 的正向压降测试原理图

当 LED 两端加规定反向电压时,通过 LED 的电流称之为反向电流(以 I_R 表示),其测试原理图如图 2-7 所示。测试时,调节稳压电源,使直流电压表的电压为规定值,此时流过与被测 LED 串联的电流表值为所测的反向电流。

LED 的结电容 C_0 是指在零偏压下 LED 的电容值,其测试原理图如图 2-8 所示。测量时,调节零位,并调节振荡器的频率至规定的频率,接入被测 LED,在指示器上显示出来的读数即为 LED 的结电容。

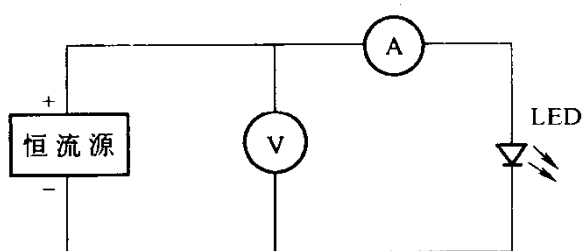


图 2-7 LED 的反向电流测试原理图

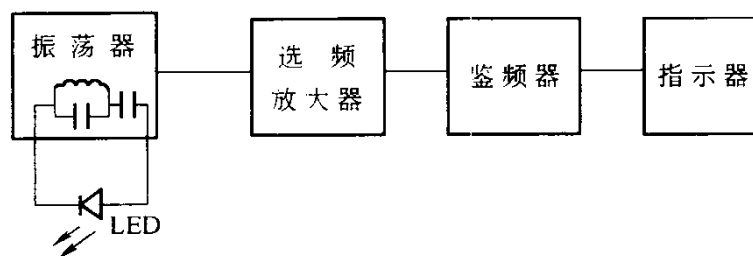
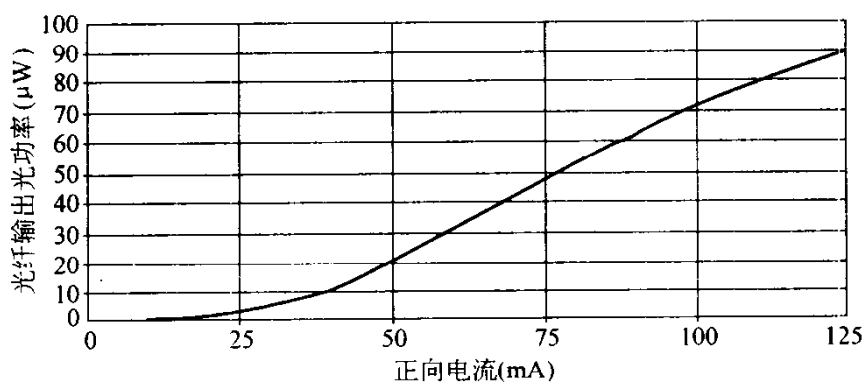


图 2-8 LED 的结电容测试原理图

2.2.3 LED 的电光转换特性及测试方法

电光转换特性是 LED 的光输出功率与注入电流的关系曲线,即 $P-I$ 曲线,因为是自发发射光,所以, $P-I$ 曲线的线性范围较大,如图 2-9 所示。LED 的输出光功率是 LED 重要参数之一,分为直流输出功率 P_0 和脉冲输出功率。所谓直流输出光功率是指在规定正向直流工作电流下,LED 所发射出的光功率,图 2-10 是测试原理图。测试时,把 LED 和接收器置于同一暗盒中,使发光面和接收面互相平行且尽量靠近。调节恒流源,使其正向电流 I_F 为规定值,指示器上的读数即为被测 LED 的直流输出光功率。所谓脉冲输出光

图 2-9 LED 的 $P-I$ 曲线

功率是指在规定幅度、频率和占空比的矩形脉冲电流作用下,LED 发光面所发射出的光功率。测试时,把 LED 和接收器置于同一暗盒中,使发光面和接收面互相平行且靠近。调节脉冲源,使其峰值电流 I_P 为规定值时,指示器上的读数即为被测 LED 的脉冲输出光功率值,图 2-11 是测试原理图,图中 R_L 为取样电阻。脉冲峰值输出光功率和平均输出光功率的关系为:

$$P_P = \frac{P_{AV}}{D_R} \quad (2-3)$$

式中, P_P 为脉冲峰值输出光功率, P_{AV} 为脉冲平均输出光功率, D_R 为脉冲波形占空比。

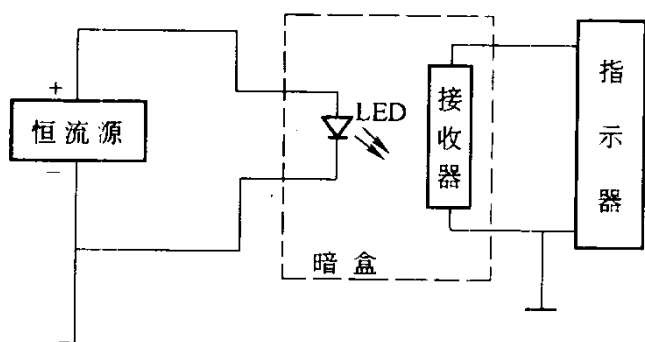


图 2-10 直流输出光功率测试原理图

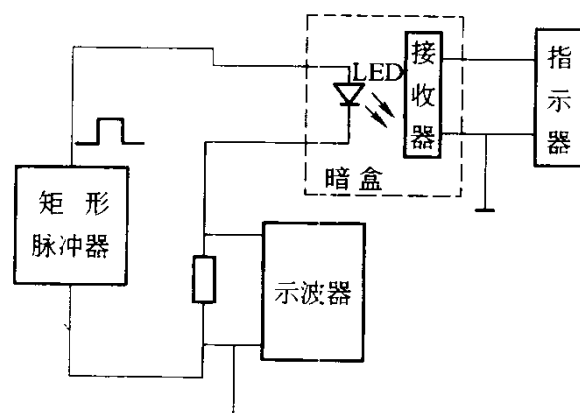


图 2-11 脉冲输出光功率的测试原理图

2.2.4 LED 的辐射强度空间分布和半值角 $\theta_{1/2}$

辐射强度空间分布是指 LED 在规定的正向工作电流下垂直和平行于 PN 结方向强度随空间角的分布图,它的分布影响到与光纤之间的耦合效率。测试时,把 LED 置于预定位置上,调节恒流源,使工作电流 I_F 为规定值,从 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 转动发光器件,读取不同角度下指示器上的辐射强度值,然后在极坐标或直角坐标上分别作出相应点的角度与辐射强度关系图,即为辐射强度空间分布图。在分布图上读取半强度值点相应的角度 θ_1 和 θ_2 ,则半值角 $(\theta_{1/2})_\perp = |\theta_{2\perp} - \theta_{1\perp}|$, $(\theta_{1/2})_\parallel = |\theta_{2\parallel} - \theta_{1\parallel}|$,其中 $(\theta_{1/2})_\perp$ 为垂直于 PN 结方向的半值角, $(\theta_{1/2})_\parallel$ 为平行于 PN 结方向的半值角。图 2-12 示出了半值角的测试原理图,图中: L 为 LED 发光面与接收器光敏面之间的距离, O_1O_2 为主光轴。调节时,LED 的出光面和接收器的光敏面应垂直于主光轴 O_1O_2 , L 与接收器光敏面直径之比至少应

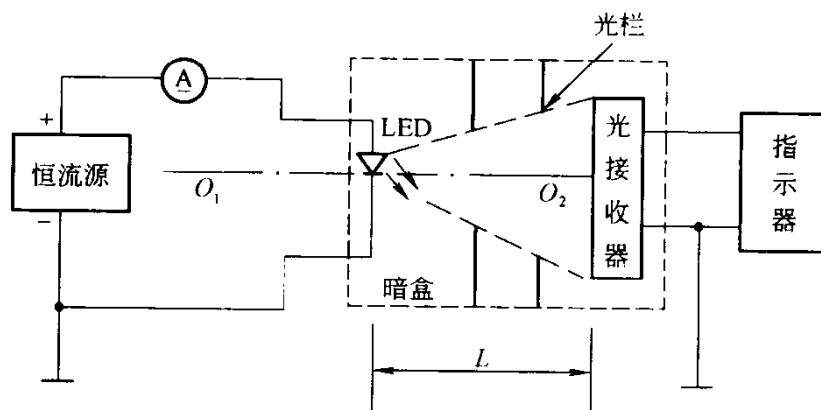


图 2-12 LED 半值角的测试原理图

为 10:1。

2.2.5 LED 的调制特性

当在规定的直流正向工作电流下,对 LED 进行数字脉冲或模拟信号电流调制,便可实现对输出光功率的调制。LED 有两种调制方式,即数字调制和模拟调制,图 2-13 示出这两种调制方式。调制频率或调制带宽是光通信用 LED 的重要参数之一,它关系到 LED 在光通信中的传输速度大小,LED 因受到有源区内少数载流子寿命的限制,其调制的最高频率通常只有几十兆赫兹,从而限制了 LED 在高比特速率系统中的应用,但是,通过合理设计和优化的驱动电路,LED 也有可能用于高速光纤通信系统。调制带宽是衡量 LED 的调制能力,其定义是在保证调制度不变的情况下,当 LED 输出的交流光功率下降到某一低频参考频率值的一半时(-3 dB)的频率就是 LED 的调制带宽,图 2-14 示出了调制带宽的测试原理图。图中 L 为频扼线圈, C 为隔直流电容, R_C 为负载匹配电阻。测试时,调节恒流源,使电流表读数为规定值,从选定的低频点开始,调节信号源输出,把输出的正弦调制光对准探测器光敏区,改变信号源频率,并保证调制度不变,当指示器上指示的光功率下降至选定的低频参考频率值的 -3 dB 时,信号源的频率即为光的带宽。测试要求是:选择 R_C 使 LED 回路与信号源输出阻抗匹配;光电探测器(包括输出回路)的频率响应比被测 LED 至少高 5 倍;指示器应能对光功率或电功率的交流成份相对值进行直接指示。

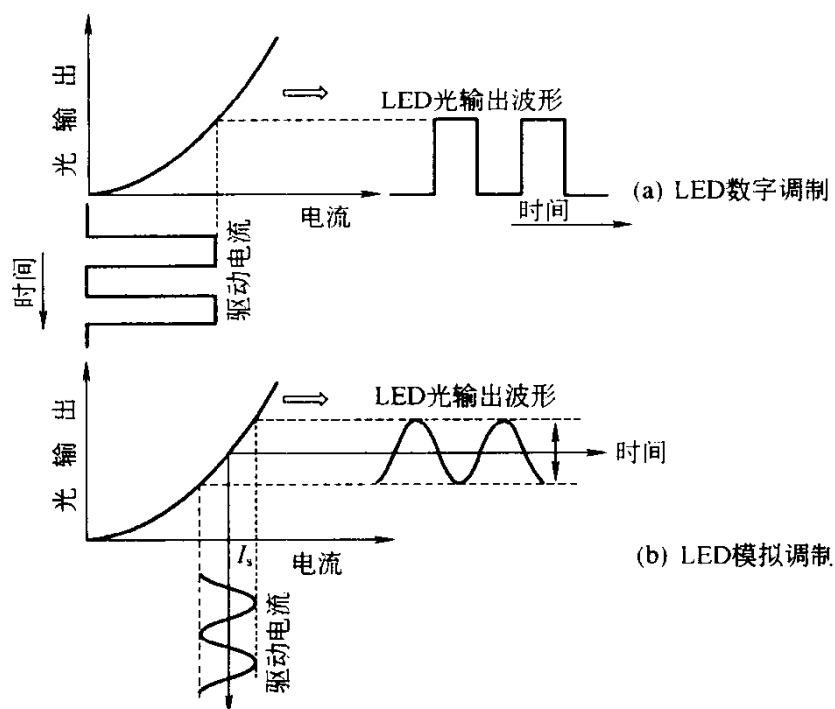


图 2-13 LED 的调制

2.2.6 LED 光输出的温度依赖性

用输出光功率温度系数 α_p 表示输出光功率随温度的变化率关系:

$$\alpha_p = -\Delta P / \Delta T \quad (2-4)$$