

# 光纤通信讲座

## 光纤通信中的物理器件

董孝义

(南开大学现代光学研究所)

无论哪种形式的光纤通信系统,都是由若干个有源和无源器件组成。例如,在已实用化的 IM/DD 通信系统中(如图 1 所示),除传输光纤外,还应有以下几个重要组成部分:第一,光源,它作为通信的载波发生器工作,并且将待传送的信号加到光载波上;第二,光探测器,它作为光电解调器工作,将通过光纤传来的信号从光载波中解调出来,并且转换成电信号形式输出;第三,光耦合器,通过它,一方面将光源发出的光载波耦合到光纤中,另一方面又将光纤尾端输出的光载波耦合给光探测器。此外在实际光纤通信系统中,一些光开关、光分路器、光隔离器、光衰减器等也是不可缺少的<sup>[1]</sup>。对于一些正在开发的光纤通信系统<sup>[2,3]</sup>来说,还需要一些诸如光波复用器、光混频器以及偏振保持器等部件。所有这些器件按其物理功能分类,可分为有源和无源两大类,由于篇幅所限,本文重点介绍有源器件。

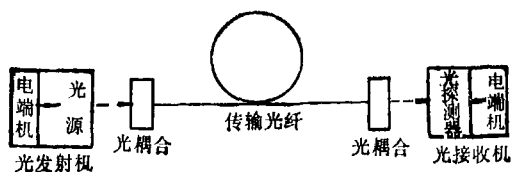


图 1

### 一、光纤通信中的光源

目前,无论是实用化的,还是研制中的光纤通信系统都要使用激光二极管(LD)或发光二极管(LED)作光源,其原因是,这种半导体器

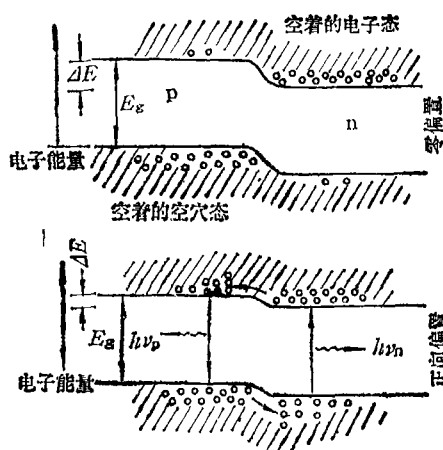


图 2 p-n 结上复合发光

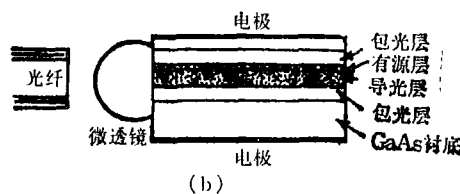
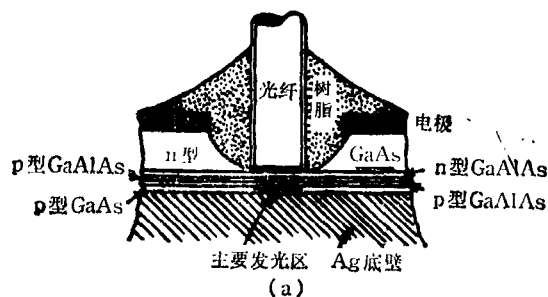


图 3 LED 的结构示意图

(a) 平穩型面发光 LED; (b) 导光型侧发光 LED

件具有驱动功率低、发光效率高、体积小、寿命长以及可直接调制等一系列优点。

## 1. 半导体发光二极管 (LED)

这是一种结型发光器件。当 p-n 结正向偏置时,电子和空穴分别注入 p 区和 n 区。如果注入的电子和空穴在结附近发生复合,则能量将可能通过复合发光的形式释放出来(见图2)。发光的波长可根据爱因斯坦定律计算出来,即  $\lambda = hc/E_g$ , 其中  $E_g$  为禁带宽度。由于通信用光纤的窗口波长是 0.8—0.9  $\mu\text{m}$  和 1.3—1.6  $\mu\text{m}$ , 因此要求选择适宜的  $E_g$  值, 以便与光纤传输匹配。图 3 给出了两种目前发展起来的 LED 结构, 它们属于三元化合物半导体, 适用于 0.8—0.9  $\mu\text{m}$  波段。目前最好的水平是: 连续工作输出达 200mW, 调制速率达 100Mbit/s。在 1.3—1.6  $\mu\text{m}$  波段, 主要使用四元化合物半导体多层结构。T. V. Muoi 最近报道, 他们研制成一种掺 Zn 的具有高调制速率的 1.3  $\mu\text{m}$  面发光 LED, 在有源区掺杂浓度为  $10^{19}/\text{cm}^3$  时, 可以得到 500Mbit/s 的调制速率, 这是长波长 LED 的最高水平<sup>[4]</sup>。

表征 LED 特性的主要参数如下:

### (1) 辐射亮度

亮度是描述发光器件性能的主要参数之一。LED 是面光源, 辐射亮度为

$$L(\theta) = \frac{d^2 P_\theta}{d\Omega dA \cos\theta}, \quad (1)$$

其中  $d\Omega$  为立体角,  $dA \cos\theta$  为  $\theta$  方向的发光面积,  $d^2 P_\theta$  则是该方向上面光源发射的光功率。为了提高 LED 的  $L(\theta)$  值, 应增大其发射功率。为此, 提高 LED 的全反射角和减少光的吸收是必要的, 在图 3 中将光纤输入面直接与 LED 的发光面接触, 正是出于这种考虑。

### (2) 光谱宽度

如上所述, LED 是通过自发复合发光的一种发光器件, 因此发射的是非相干光, 它发射的光谱具有一定的宽度。由于载流子在能带中温度分布的起伏是引起谱宽的主要原因, 因此谱宽大致可以写成

$$\Delta\lambda = kT \cdot \frac{\lambda^2}{hc}. \quad (2)$$

显然, 对于一定的 LED, 在一定的温度下谱宽

物理

$\Delta\lambda$  是确定的。例如 GaAlAs 材料的 LED,

$$\lambda = 0.8-0.9 \mu\text{m},$$

谱宽  $\Delta\lambda = 0.04 \mu\text{m}$ ; InGaAsP 材料的 LED,  $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ , 谱宽为  $\Delta\lambda = 0.09 \mu\text{m}$  等。由于 LED 的光谱宽度较宽, 因此在光纤通信中只能用于 IM/DD 系统<sup>[5]</sup>。

### (3) 调制特性

在使用 LED 作光源的通信系统中, 主要采用直接调制方式, 因此 LED 的调制特性是影响系统频率特性的主要因素。LED 的调制特性由下式决定:

$$P(\omega) = \frac{P(0)}{[1 + (\omega\tau_s)^2]^{1/2}}, \quad (3)$$

其中  $P(0)$  是直流 ( $\omega = 0$ ) 情况下 LED 的输出功率,  $\tau_s$  为少数载流子的寿命。当我们令调制频率  $f = f_c = \omega_c/2\pi$  时, 输出功率下降为  $P(\omega_c) = P(0)/2$ , 因此, 可定义  $f_c$  为 LED 的截止频率。由 (3) 式可得出  $f_c = 1/2\pi\tau_s$ , 说明 LED 的截止频率主要由半导体的少子寿命决定。实际上可通过增加掺杂浓度和增大注入电流密度的方法使  $\tau_s$  减小到 2ns, 从而使调制频率扩展到 1GHz。不过在一般的情况下只能用到几十个 MHz, 这是因为高掺杂和大电流注入均会导致量子效率下降, 使发光出现饱和。

目前对 LED 的研究主要集中在 1.3—1.6  $\mu\text{m}$  波段, 除了上述 T. V. Muoi 的报道外, 光纤功率已有很大提高, 可达 80  $\mu\text{W}$ , 在某些场合下可取代短波长 LD。边发射和超亮度边发射是 LED 研制的最新成就, 例如英国和美国近期采用 1.536  $\mu\text{m}$  的侧面 LED, 成功地进行了 107km 的无中继传输<sup>[4]</sup>。

## 2. 半导体激光二极管 (LD)

作为光纤通信用的光源, LED 具有线性好、稳定性高、成本低等一系列优点, 但由于发射功率低, 而且是非相干光, 因此只适用于中短距离小容量通信, 同时仅适于 IM/DD 系统。为了发展中长距离大容量通信或者发展新型通信系统, 人们又研制出一种新的半导体光源——LD。

大家知道, 构成激光器的三个基本条件是:

第一,要产生足够的粒子数反转,即高能态的粒子数要足够地大于低能态的粒子数;第二,要有一个合适的谐振腔或其它机制的反馈机构,以便使激射光子增生,从而产生激光振荡;第三,要满足一定的阈值条件,以使光子增益大于损耗。LED 不满足这三个条件,因此不能形成激光,只能产生自发辐射;而 LD 则能满足这三个条件,因此可产生受激辐射。下面我们具体地分析这三个条件。

半导体中价带和导带上的电子占据几率服从费米分布<sup>[5]</sup>,即

$$f_c(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_{Fn}}{kT}\right)}, \quad (4)$$

$$f_v(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_{Fp}}{kT}\right)}, \quad (5)$$

式中  $E_{Fn}$ ,  $E_{Fp}$  分别表示电子和空穴的准费米能级,如图 4 所示。受激发射的实质是:导带中能量为  $E$  的电子受激发射出能量为  $h\nu$  的光子,并随之跃迁到下面价带中能量为  $E - h\nu$  的未被电子占据的能级上。若使产生这一过程的条件得到满足,则通过计算可得

$$f_c(E) > f_v(E - h\nu), \quad (6)$$

根据(4)式和(5)式,上式可写成

$$E_{Fn} - E_{Fp} > h\nu. \quad (7)$$

这就是粒子数反转条件。其物理意义是,导带的能级上被电子占据的几率,应大于与辐射跃迁相联系的价带能级上被电子占据的几率。由于半导体是能带结构,因此用(7)式来说明更有意义。(7)式说明,半导体材料中非平衡的电子与空穴的准费米能级之差要大于禁带宽度  $E_g = h\nu$ , 这就是说, p-n 结两边的 p 区和 n 区至少有一个要高掺杂到简并化程度。此外,为满足(7)式,还要求施加 p-n 结的正向偏压足够高,以致于有足够大的注入,形成一个高的自由载流子密度。这是因为准费米能级间的差值与外加偏压  $V$  满足关系式  $E_{Fn} - E_{Fp} = qV$ , 所以要求  $qV > E_g$ 。由图 4 可见,在 p-n 结区附近形成一个粒子数反转区,又称“有源区”,激光就发生在这个区域。

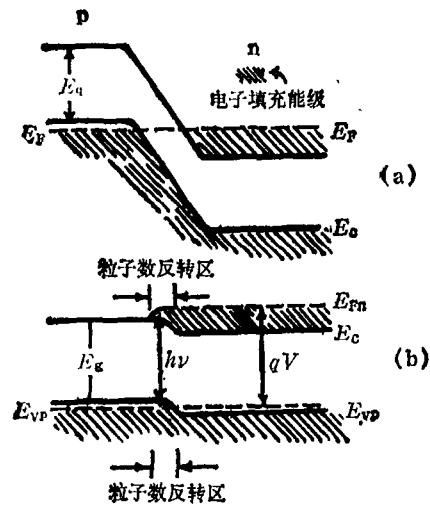


图 4 LD 能级图

(a) 零偏置; (b) 正向偏置

为了满足上述第二个条件,通常是利用材料的解理面构成激光谐振腔。例如砷化镓材料,使其沿(110)方向解理,从而构成一对平行镜面(法布里-珀罗腔)和另外一对与之垂直的平行粗糙面。前者赋以激光形成所必要的反馈作用,而后者则用来消除主要方向以外的激光作用,以便使激光有较好的方向性。除此之外,近些年来还发展了分布反馈型的激光器结构<sup>[6]</sup>,省去了谐振腔,并使 LD 性能有了较大的提高。

至于第三个条件,它是各种激光器共有的。对于半导体激光器来说,这个条件可以写成

$$G = \alpha + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right), \quad (8)$$

式中  $G$  为激光增益系数,  $\alpha$  为激光器内部损耗,  $L$  为腔长,  $R_1$ ,  $R_2$  为两个反射面(解理面)的反射率,因此  $1 - R$  代表耦合损耗。(8)式表明增益系数必须达到一定值(即阈值)时方能形成激光。对于砷化镓一类的 LD,当正向偏置较低,注入电流很小时,受激辐射不足以克服吸收损耗,因此只能出现普通的自发辐射(LED 的工作状态)。仅当注入电流增大到某一确定值(电流阈值)时,增益满足(8)式,方能发射出谱线尖锐、模式明确的激光。

LD 的主要特性参数如下:

### (1) LD 的阈值电流

理论和实验上都已证明, 增益系数  $G$  与电流密度  $J$  之间有以下关系:

$$G = \beta J^m, \quad (9)$$

$\beta$  称为增益因子, 对于不同类型的 LD, 指数  $m$  有不同的值, 例如对于同质结砷化镓 LD,  $m = 1$ ; 对于 GaAlAs-GaAs 双异质结 LD,  $m = 2.8^{[7]}$ . 将(9)式代入(8)式, 得

$$J_t^m = \frac{1}{\beta} \left[ \alpha + \frac{1}{2L} \ln \left( \frac{1}{R_1 R_2} \right) \right]. \quad (10)$$

由于不同结构的 LD,  $m$  值差别很大, 因此阈值电流也有很大的差别. 因为  $J_t$  低的 LD 效率高, 温度稳定性好, 作为光纤通信系统中的光源使用是令人满意的. 因此, 近年来人们一直在研究寻找降低  $J_t$  值的各种途径<sup>[8]</sup>. 例如人们已经发现, 有源层厚度越小, 注入量子效率越高,

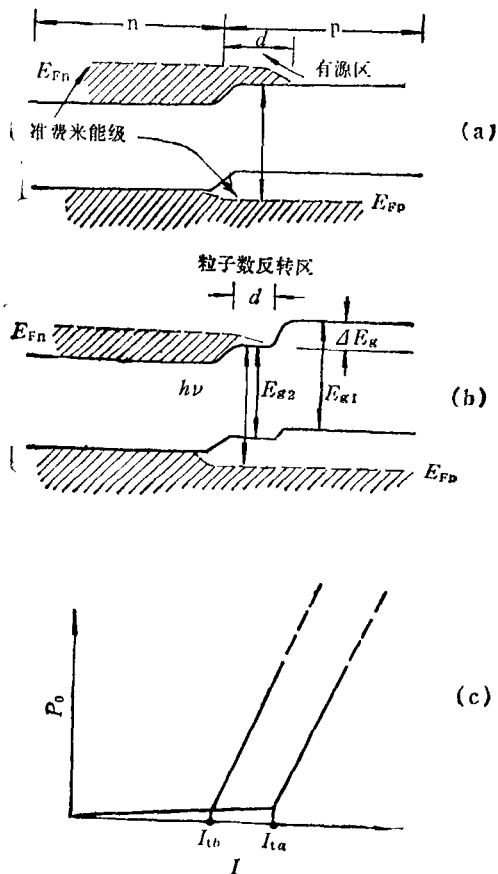


图5 两种能级结构及相应阈值电流示意图  
(a) 同质结; (b) 异质结; (c)  $P_0$ - $I$  曲线

阈值电流密度  $J_t$  越低. 图5给出了两种 LD 的能带结构与对应的  $I$ - $P_0$  (电流-光功率) 曲线, 可以从中看出这一规律.

### (2) 输出激光模式

如上所述, LD 的一对解理面构成谐振腔, 激光在其中形成驻波振荡. 形成驻波的条件是:  $N\lambda/2 = n_0L$ ,  $n_0$  为材料的折射率. 这种驻波结构即为 LD 的纵模. 一般情况下可能有多个纵模存在, LD 的谱宽可达  $30 \text{ \AA}$ . 但当电流超过阈值后, 激光可能集中在单一纵模上, 于是得到谱线很窄的单模激光输出. 不过, 若想得到频率更纯、稳定性更高的激光输出, 则需要增加更多的选模与稳频的机构<sup>[2]</sup>.

对于 LD 来说, 横模在两个方向形成. 一个是垂直于结平面的横模, 另一个是平行于结平面的横模. 前者随着有源层厚度  $d$  的减少, 模次数目变少, 当  $d < 0.4 \mu\text{m}$  以下时, 只有一个模即基模存在; 后者又称侧模, 如电极为条状, 其宽度为  $10-15 \mu\text{m}$ , 且注入电流较大时会引起高阶侧模. 它的出现会导致  $P_0 \sim I$  曲线弯曲. 为了得到单一的侧模, 只有令条形电极变窄(一般小于  $5 \mu\text{m}$  时)才可消除其对曲线的影响.

### (3) LD 的动态特性

(a) 最高调制频率  $f_{mr}$ : 与 LED 情况一样, 在光纤通信中 LD 也采用直接调制, 因此  $f_{mr}$  的大小直接影响通信的性能指标. LD 的  $f_{mr}$  主要取决于谐振腔的特性频率, 经计算可得

$$f_{mr} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{(I - I_t)/I_t}{\tau_p \tau_s (1 - u)} \right]^{1/2}, \quad (11)$$

这里  $\tau_p$ ,  $\tau_s$  分别为光子和载流子的寿命, 一般有  $\tau_p \approx 1\text{ps}$ ,  $\tau_s \approx 2-3\text{ns}$ ;  $u$  是受激后产生增益时的归一化载流子密度,  $u \approx 0.6$ . 因此当注入电流  $I = 1.2I_t$  时,  $f_{mr}$  可达  $1.2-2\text{GHz}$ . 当调制深度很大时,  $f_{mr}$  还要相应减少一些<sup>[9]</sup>.

(b) 动态光谱宽度: 当调制频率很高(接近  $f_{mr}$ ) 时, 由于电流和光强调制引起的周期性载流子变化, 导致折射率和温度的起伏, 从而使直流时工作在单模状态的半导体激光器的受激

发射谱趋向于多模化,即波长加宽,由此产生的 $\Delta\lambda$ ,称为动态光谱宽度。显然,在光纤通信中,特别是在相干通信<sup>[2]</sup>和复用通信<sup>[3]</sup>中,希望LD处于动态单模(DSM)工作状态,即 $\Delta\lambda_s \rightarrow 0$ 。为了获得动态单模LD器件,目前正在开展大量的研究工作,已经提出多种有实际意义的方案<sup>[9]</sup>。

#### (4) 阈值电流对温度的依赖关系

由于LD是采用直接调制的,因此温度对 $I_t$ 的影响直接关系到光纤通信系统的稳定。一般有

$$I_t = A \cdot \exp(T/T_0), \quad (12)$$

式中 $A$ ,  $T_0$ 为常数,  $T_0$ 与LD材料的结构有关。例如,对于GaAlAs,  $T_0 = 120-140K$ ; 对于InGaAsP/InP,  $T_0 = 150-180K$ <sup>[10]</sup>。

随着光纤通信的发展,特别是新型光纤通信系统的开发,对LD的研究也日趋深入和广泛。除了进行旨在提高上述几个参数值的研究工作以外,目前研究的课题主要集中在以下几个方面<sup>[6]</sup>: 第一,宽带和窄谱宽的研究。对于长距离大容量的光纤通信系统来说,要求LD具有足够窄的谱线宽度和足够宽的调制特性。美国GTE实验室在这方面的研究有较大的突破。他们通过有源层的重掺杂( $2 \times 10^{18}/cm$ )研制出InGaAsP/InP的LD,调制带宽可达12.5GHz。第二,提高输出功率的研究。为了提高LD的线性光输出,主要致力于器件的结构设计和腔体的改进。近年来主要在大光腔结构、量子阱结构、激光阵列、带激励窗口等方面进行了广泛深入的研究,并且取得了较大的进展。例如,日本松下公司使用隐埋条形结构,在端面采取保护措施后,LD可达200mW的单模连续输出;美国塞罗克斯公司采用锁相量子阱LD阵列(含40个LD),得到2.6W的连续输出。第三,光源集成化的研究。这是LD研究的一个重要发展趋势,集成的结果不但简化了光电线路,而且提高了光纤通信系统的可靠性。第四,新型光源的研究。这里需要特别提出的是激光晶体管、光放大器、多波长输出的LD等方面的研究。这些研究均为现代光纤通信展示出可

喜的前景。例如,目前日、美等国正在研究增益高于30dB、带宽高于10GHz的半导体光放大器。它的研制成功将可能取代现行的中继站,给光纤通信带来革命性变化。除此之外,新工艺的研究也是引人注目的。

## 二、光纤通信中的探测器

原则上讲,任何光电器件,如光电管、光导管、光电池、光电倍增管等均可用来作光纤通信中的探测器。但符合光纤通信要求的理想器件只有光电二极管(包括本征光电二极管——pin管和雪崩光电二极管——APD)。它具有灵敏度高,噪声小,频响高,与光纤窗口波长匹配,整个器件小,不需高压源等大型设备以及可以直接解调等一系列优点,而其它器件还不能同时具有上述这些特性,因此在当今的光纤通信中,人们无一例外地选择光电二极管(pin或APD)作探测器。

pin管和APD的工作原理均为结型光电效应<sup>[11]</sup>。如图6所示,当二极管处于反向偏置时(注意,这和LD,LED情况恰好相反,在那里用的是正向偏置),p-n结的特点是有一个高场强的耗尽区及其俘获光子的吸收区。耗尽区的宽度主要取决于掺杂浓度,并与其成反比关系。而吸收区的位置与宽度还和入射光的波长与材料有关。例如,材料对光的吸收越强,吸收区的宽度越窄;反之,如吸收很弱,则吸收区会展宽,甚至会展宽到整个二极管。受到光照后,光子将价带中的电子激励跃迁到导带,从而

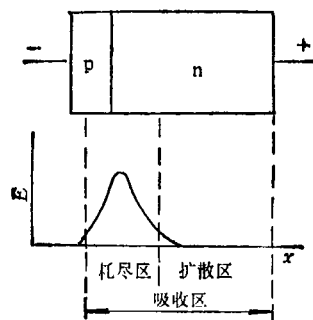


图 6

产生一个电子-空穴对。如果这一过程发生在耗尽区,则这个电子-空穴对会在高电场作用下沿不同方向分别迁移,通过耗尽区,形成光电流;如果发生在吸收区的其它部位,产生的电子-空穴对则只能靠扩散运动形成光电流。但扩散运动与迁移运动相比要慢得多,因此人们总是希望光电效应发生在耗尽区。

### 1. pin 光电二极管

如上所述,可以通过大幅度地减低 n 层掺杂浓度的方法来提高耗尽区的宽度,以便改善光电效应的效率。当 n 层掺杂浓度极低时,可以认为它是本征层,这样一来 p-n 结就成了 pi 层。为了与外电路连接还需要在 pi 结外再加上一层重掺杂的 n 层,即 n<sup>+</sup> 层,以便得到一个低阻的欧姆接触,如图 7(a) 所示。这种结构就是 pin 型光电二极管。pin 管的显著优点是响应频率高,原因是它输运电子(或空穴)的形式是迁移运动;另外,还因 p-n 结中夹着一个很厚的 i 层,故结电容大大降低,频率特性也随之得到改善。

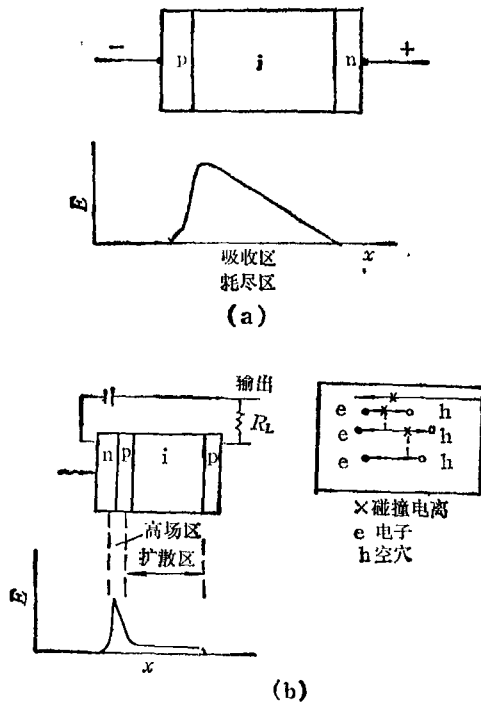


图 7

### 2. APD 的增益特性

当二极管施加较高的反向偏压时,载流子通过耗尽区时将会因碰撞电离而产生新的载流子,新的载流子又可进一步通过碰撞电离产生新的载流子,这样便形成了一个载流子雪崩过程,一个光电子-空穴对因雪崩过程将可产生几十、几百甚至更多的二次电子-空穴对。如令低压下不发生雪崩过程的光电流为  $I_{L0}$ , 在高压下发生雪崩过程后的光电流为  $I_L$ , 则定义

$$M = I_L / I_{L0}$$

为倍增因子,有经验公式

$$M = \frac{1}{1 - (V/V_B)^n}, \quad (13)$$

式中  $V, V_B$  分别为外加电压和击穿电压,  $n$  是一个与半导体材料和入射波长有关的常数。目前, APD 的增益(即倍增因子)可达几百以上,这对目前的光纤通信系统来说已经足够了。

为了提高 APD 的响应频率,应该象 pin 管那样,使初级电子-空穴对在高电场区(迁移区)产生。因此,实际的雪崩二极管结构如图 7(b) 所示,它兼顾了增益和带宽,增益带宽积一般可达 100GHz 以上。

pin 管与 APD 相比,前者的优点是制造简单,工作电压低,响应速度快,温度稳定性好;而后者的优点则是有较高的内部增益,暗电流也较低。因此在实际光纤通信系统中,可根据具体要求选择 pin 管或 APD<sup>[12]</sup>。

### 3. 光电探测器的主要特性

表示 pin 管和 APD 探测能力大小的主要特性参数是信噪比 (SNR)。SNR 用探测器的输出功率与输入功率的比值来描述。对于 pin 管,有<sup>[13]</sup>

$$[SNR]_{pin} = \frac{I_p^2}{2e(I_p + I_d) \cdot \Delta f + 4kT \cdot \Delta f / R_e}, \quad (14)$$

式中  $\Delta f$  为光通道的有效带宽,  $I_d$  为 pin 管的暗电流,  $R_e$  为接续放大器的等效输入阻抗,  $I_p = e\eta P_0 / h\nu$ , 是输入光功率  $P_0$  引起的光电流,  $\eta$  是量子效率,  $\nu$  是光频率。对于 APD, 有

$$[\text{SNR}]_{\text{APD}} = I_p^2 / 2e(I_p + I_d) \cdot \Delta f \cdot F + 2eI_p \cdot \Delta f / M^2 + 4kT \cdot \Delta f / M^2 R_e, \quad (15)$$

其中  $M$  为倍增因子;  $F$  为附加噪声因子, 大小为  $F = M\{1 - (1 - K) \cdot (M - 1)^2 / M^2\}$ ;  $K$  为碰撞离化系数比, 它和 APD 材料有关(例如 Ge,  $K \geq 0.5$ ; Si,  $K = 0.02$ ; InGaAs/InP,  $K = 0.25$  等)。知道了器件的 SNR 值就可以求出噪声等效功率 NEP 值(令  $\text{SNR} = 1$ , 即可求得)和探测器的探测度  $D(D = 1/\text{NEP})$  等, 因此 SNR 是光电探测器的基本特性参数。

高灵敏度光探测器件是现代光纤通信系统中关键性部件之一。对这种物理器件的研究工作基本上与单频 LD 保持了协调发展的步伐。用于  $1.3\mu\text{m}$  长波长光纤通信系统的锗-APD 已进入实用化, 目前研究工作的重点主要是在  $1.55\mu\text{m}$  波段高灵敏度光探测器的开发上, 并且

取得了可喜成果<sup>[4]</sup>。

## 参 考 文 献

- [1] J. M. Senior, *Optical Fiber Communications, Principles and Practice*, Prentice-Hall International Inc., London, (1985), 297.  
J. M. Senior, *Theory and Techniques*, MTT-30 (1982), 121.
- [2] 董孝义, 物理, 15-6(1986), 375.
- [3] H. F. Mallein, *Fiber and Int. Opt.*, 4-4(1983), 339.
- [4] T. V. Muol, OSA/IEEE Conference on Optical Fiber Communication, Tu M 1-2(1985).
- [5] 王家骅等, 半导体器件物理, 科学出版社, (1983).
- [6] M. Kitamura et al., *Elec. Lett.*, 20-14(1984), 295.
- [7] E. Pinkas et al., *J. Appl. Phys.*, 43(1972), 2827.
- [8] H. Kressel et al., *Semiconductor Device for Optical Communication*, New York, (1980).
- [9] 须崎 涉, *O plus E*, No. 1 (1985), 100.
- [10] M. Yano et al., *Appl. Phys. Lett.*, 41-5 (1982), 390.
- [11] RCA 编, 史斯、伍锁译校, 电光手册, 国防工业出版社, (1978).
- [12] M. C. Brain et al., *IEEE Trans. Elect. Devices*, ED-30(1983), 390.
- [13] 董孝义, 光通信物理基础, 南开大学出版社, (1986).

## 中国物理学会召开第四届全国会员代表大会

中国物理学会第四届全国会员代表大会于 1987 年 2 月 26 日至 3 月 2 日在北京隆重举行。来自全国 28 个省、市、自治区和 22 个分科学会 210 余名代表参加了大会。中国科协名誉主席、中国物理学会名誉理事长周培源、严济慈、中国科协书记处书记陈绳武到会并讲了话。中国物理学会名誉理事王淦昌、赵忠尧、张文裕、钱临照、汪德昭、褚圣麟等亦参加了大会。会上, 中国物理学会第三届理事会理事长钱三强代表本届理事会作了工作报告, 副理事长洪朝生作了修改会章报告, 秘书长管惟炎作了财务工作报告, 并宣读了 76 位学会工作积极分子名单, 副秘书长李寿椿作了选举第四届理事会的说明。与会代表经过热烈讨论, 提出了许多宝贵的意见, 最后一致同意并通过了上述各项报告。

会议还举行了 16 个分支学科国内外进展情况的学术报告, 有两位研究生报告了他们获得吴健雄物理奖的工作。中国科学院物理研究所赵忠贤应邀在会上介绍了他们在高临界温度超导体方面的重大成就, 给与会代表以很大的鼓舞。

会议还举行我国物理学界四位前辈胡刚复、饶毓泰、叶企孙、吴有训纪念大会。著名物理学家钱临照、虞福春、钱三强、王淦昌分别在大会上作了四位物理学界前辈生平事迹的报告。与会代表缅怀他们为我国物理学事业的发展所作出的贡献, 对他们表示衷心的敬意和深切的怀念, 决心要在今后的实际工作中, 为我国物理学事业的发展, 为四化建设作出新的贡献。大会还决定设立以胡刚复、饶毓泰、叶企孙、吴有训四位物理学界前辈命名的物理学奖励基金, 以奖励有突出成就的物理学工作者。

会议经过民主协商, 选举了 93 名理事组成第四届理事会, 并推选黄昆为理事长, 谢希德、周光召、李寿椿、沈克琦、管惟炎为副理事长, 杨国楨为秘书长。经代表大会讨论, 会议一致通过钱三强、彭恒武为中国物理学会第四届理事会名誉理事。

最后, 中国物理学会第四届理事会理事长黄昆讲了话, 他希望中国物理学会广大会员与物理学工作者团结奋斗, 为我国物理学事业的发展, 为实现七·五计划, 为我国社会主义两个文明建设作出贡献。

大会在充满团结、民主、热烈的气氛中胜利闭幕。

《物理》第 16 卷第 8、9 两期, 作为大会专刊, 将发表大会的工作报告、讲话、学术报告等全部资料。

(程义慧)