

国内外半导体光电器件实用手册目录

国内型号索引.....	(1)
国外型号索引	(19)
第一章 半导体光电器件基础知识.....	(1)
第一节 半导体光电器件发展简史	(1)
第二节 半导体光电器件基本原理	(3)
第三节 半导体光电器件制造工艺流程	(7)
第四节 半导体光电器件的分类	(13)
第二章 发光灯	(14)
第一节 器件简介和应用指南	(14)
2.1.1 产品分类	(14)
2.1.2 参数	(15)
2.1.3 特性曲线	(17)
2.1.4 应用指南	(19)
2.1.5 主要参数测试原理和方法	(23)
第二节 国内发光灯	(26)
2.2.1 镓铝砷红色发光灯	(26)
2.2.2 磷砷化镓红色发光灯	(28)
2.2.3 磷化镓红色发光灯	(31)
2.2.4 磷砷化镓橙色发光灯	(53)
2.2.5 磷砷化镓黄色发光灯	(65)
2.2.6 磷化镓绿色发光灯	(80)
2.2.7 花色发光灯	(101)
2.2.8 双色发光灯	(116)
2.2.9 面发光灯	(120)
第三节 国外发光灯	(136)
2.3.1 镓铝砷发光灯	(136)
2.3.2 磷砷化镓发光灯	(144)
2.3.3 磷化镓发光灯	(158)
2.3.4 其他材料发光灯	(169)
2.3.5 花色发光灯	(170)
2.3.6 双色发光灯	(194)
2.3.7 面发光灯	(200)
2.3.8 闪烁发光灯	(210)
2.3.9 电压型发光灯	(216)

2.3.10	低电流发光灯	(225)
2.3.11	轴型和表面安装发光灯	(230)
2.3.12	灯泡型和蜂窝状结构型发光灯	(246)
2.3.13	带状发光灯	(253)
第三章	发光显示器	(300)
第一节	器件简介和应用指南	(300)
3.1.1	产品分类	(300)
3.1.2	结构特点	(300)
3.1.3	参数和特性	(303)
3.1.4	应用指南	(303)
第二节	国内发光显示器	(314)
3.2.1	单位数码显示器	(314)
3.2.2	多位数码显示器	(375)
3.2.3	单位字符显示器	(395)
3.2.4	多位字符显示器	(412)
3.2.5	钟用显示器	(415)
3.2.6	电平显示器	(423)
第三节	国外发光显示器	(432)
3.3.1	单位数码显示器	(432)
3.3.2	多位数码显示器	(450)
3.3.3	单位字符显示器	(468)
3.3.4	多位字符显示器	(479)
3.3.5	电平显示器	(486)
3.3.6	四位显示器	(502)
3.3.7	其他显示器	(514)
第四章	光传感器	(606)
第一节	器件简介和应用指南	(606)
4.1.1	产品分类	(606)
4.1.2	红外发光二极管	(607)
4.1.3	光敏器件	(607)
4.1.4	组合型光传感器	(610)
4.1.5	极限参数和光电参数	(612)
4.1.6	光传感器的线路设计步骤和注意事项	(614)
4.1.7	光传感器应用指南	(620)
4.1.8	主要参数测试原理和方法	(631)
第二节	国内光传感器	(636)
4.2.1	红外发光二极管	(636)
4.2.2	光敏二极管和光敏三极管	(647)
4.2.3	光断续器	(674)
4.2.4	光电模块	(678)
4.2.5	光敏管阵列	(681)
4.2.6	光控晶闸管	(683)

第三节 国外光传感器	(684)
4.3.1 红外发光二极管	(684)
4.3.2 光敏二极管	(690)
4.3.3 光敏三极管	(697)
4.3.4 槽隙式光断续器	(703)
4.3.5 反射式光断续器	(711)
4.3.6 光敏集成电路	(715)
4.3.7 光敏器件阵列	(717)
4.3.8 颜色传感器	(721)
第五章 光电耦合器	(741)
第一节 器件简介和应用指南	(741)
5.1.1 产品分类	(741)
5.1.2 三极管型光电耦合器	(742)
5.1.3 集成电路型光电耦合器	(748)
5.1.4 光控晶闸管型光电耦合器	(752)
5.1.5 主要参数测试原理和方法	(756)
第二节 国内光电耦合器	(760)
5.2.1 同轴型光电耦合器	(760)
5.2.2 TO型光电耦合器	(772)
5.2.3 陶瓷封装双列直插式光电耦合器	(780)
5.2.4 塑料封装双列直插式光电耦合器	(794)
第三节 国外光电耦合器	(806)
5.3.1 三极管型光电耦合器	(806)
5.3.2 集成电路型光电耦合器	(824)
5.3.3 光控晶闸管型光电耦合器	(836)
第六章 智能显示器	(853)
第一节 国内光电组合显示器件	(853)
6.1.1 产品分类	(853)
6.1.2 应用指南	(854)
6.1.3 BCD码输入七段显示器	(859)
6.1.4 十进计数显示器	(861)
6.1.5 可予置、可逆计数显示器	(864)
6.1.6 十六进制显示器	(866)
6.1.7 可逆计数显示器	(868)
6.1.8 符号显示器	(869)
6.1.9 多位光电组合显示器件	(871)
6.1.10 CMOS—LED系列组合显示器件	(874)
第二节 国外智能显示器	(875)
6.2.1 结构	(875)
6.2.2 逻辑框图	(875)
6.2.3 显示形式	(876)
6.2.4 智能显示系统	(877)

6.2.5	四位串行输入5×7点阵智能显示器	(878)
6.2.6	四位笔划智能显示器	(885)
6.2.7	八位笔划智能显示器	(890)
6.2.8	单位5×7点阵智能显示器	(898)
6.2.9	四位5×7点阵智能显示器	(901)
6.2.10	8×8以上点阵智能显示器	(909)
6.2.11	多位智能显示器系统	(915)
第七章 光电池		(927)
第一节 器件简介和应用指南		(927)
7.1.1	产品分类和简介	(927)
7.1.2	特性和参数	(928)
7.1.3	应用指南	(931)
第二节 国内光电池		(937)
7.2.1	硅测量电池	(937)
7.2.2	硅太阳电池	(944)
第三节 国外光电池		(940)
7.3.1	典型产品介绍	(950)
7.3.2	同类产品介绍表	(952)
第八章 CCD 摄像器件		(974)
第一节 器件简介和应用指南		(974)
8.1.1	产品分类和简介	(974)
8.1.2	芯片结构特点	(976)
8.1.3	参数和特性	(977)
8.1.4	红外 CCD	(979)
8.1.5	应用指南	(980)
第二节 国内 CCD 摄像器件		(983)
8.2.1	线阵 CCD 摄像器件	(983)
8.2.2	面阵 CCD 摄像器件	(985)
第三节 国外 CCD 摄像器件		(990)
8.3.1	线阵 CCD 摄像器件	(990)
8.3.2	面阵 CCD 摄像器件	(999)
第九章 激光二极管		(1006)
第一节 器件简介和应用指南		(1006)
9.1.1	分类	(1007)
9.1.2	材料和特性	(1007)
9.1.3	双异质结激光二极管	(1009)
9.1.4	长波长双异质结激光二极管	(1015)
9.1.5	可见光激光二极管	(1016)
9.1.6	应用指南	(1017)
9.1.7	主要参数测试原理和方法	(1020)
第二节 国内激光二极管		(1024)
9.2.1	镓铝砷双异质结激光二极管	(1024)

9.2.2 镉镓砷磷双异质结激光二极管	(1026)
9.2.3 激光二极管组件(模块)	(1027)
9.2.4 新型激光二极管和组件	(1030)
第三节 国外激光二极管	(1031)
9.3.1 短波长激光二极管	(1031)
9.3.2 长波长激光二极管	(1037)
9.3.3 可见光激光二极管	(1044)
附录一、外形和外引线取向图	(1054)
附录二、国内外主要厂家(公司)产品型号命名方法	(1065)
附录三、国外产品代用表	(1085)
附录四、主要生产厂家(公司)名录	(1104)
(一) 国内主要生产厂家(公司)名录	(1104)
(二) 国外主要厂家(公司)名录	(1108)

第一章 半导体光电器件基础知识

第一节 半导体光电器件发展简史

半导体发光现象的研究始于本世纪初,1907年H·J·Round发现金刚砂晶体通以电流可以发光。可是在此以后的近五十年中,半导体发光器件的研究并没有得到多大的进展。直到1955年G·A·Wolff发现磷化镓(GaP)的发光现象,引起了科学界的极大重视,从此以后对发光二极管的研究活跃起来了,1961年前后,不少研究者发表了用Ⅲ-V族半导体材料制成的发光二极管(Light Emitting Diode)的研究成果,同时,人们对固体激光器特别是半导体激光器的研究也出现了高潮。

根据受激辐射理论,粒子数反转条件和量子放大器等基础研究工作,人们看清了研究激光器的方向。

当入射波的波长与受入射波照射的发射器件的发射波长相同时,该发射器件的发射几率急剧增大,这就是受激发射。在受激发射时,发射波的相位与入射波的相位一致,为了产生激光,必须要有这样一种物质,它的原子、分子或离子(统称为粒子)可以激发到比正常能级高的能级,如果物质中受激态粒子数多于未激发的粒子数,就产生了粒子数的反转分布。一旦发生了粒子数反转分布,而且为发射波提供存贮能量的光学谐振腔,在谐振腔内形成很强的磁场后,再发射出去,这种发射波就是激光。1960年美国休斯研究所的T·梅曼,根据上述原理发明了红宝石固体激光器。

LED和固体激光器的诞生对光电子学领域的发展起了巨大的推动作用。特别是固体激光器的出现,使人类得到了高转换效率的相干光源,使电能向光能转换的领域中产生一次质的飞跃。

LED是一种直接注入电流的发射器件,是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,所以其调制速率比白炽光源高得多,加上它体积小、坚固耐用、使用电压低、寿命长等特点,能够在今天不仅成为短距离小容量光纤通信的重要光源,而且还作为显示器件渗透到国民经济各个领域,深入到千家万户。但是LED的发射光是非相干的,强度较弱,方向性在某些应用场合也不十分理想。如果把LED的发射原理与红宝石激光器中的谐振腔和粒子数反转分布的原理相结合,并应用到半导体材料中去,半导体激光器的制成是可能的。

事实正是这样,在1962年IBM公司的霍尔(R·N·Hall)、内森(M·I·Nathan)以及奎斯特(T·M·Quist)三个研究组分别制作出了半导体激光二极管成为当时世界注意的中心。用电流注入不断补充光发射后高能级上失去的电子,进而实现反转分布,并且借助于砷化镓(GaAs)晶体的解理面,可以形成激光器所必须的发射光贮能器——光学谐振腔,这种谐振腔的尺度与GaAs激光二极管的发射波长正好相容。半导体激光二极管的发明,使人类增加了一种转换效率更高(在50%以上)、体积小、重量轻、使用方便的相干光源(严格地说是部分相干)。通过随后的研究工作,半导体激光二极管的阈值电流有所降

低,工作温度有所提高,但却一直未能实现在室温下连续工作。1970年 I·Hayashi 等人采用液相外延(LPE)工艺和双异质结构终于实现了半导体激光二极管室温下连续工作的目标,使半导体激光二极管进入实用的阶段。

由此可见,半导体激光二极管和 LED 的机理、工艺基本相容,前者是后者的进一步提高、深化、发展的产物,半导体激光二极管的日趋成熟也带动了 LED 的发展。

自 1965 年以后,许多研究者对 LED 的生产工艺和复合发光现象,从基础理论方面继续进行大量研究。到 1968 年,红色 LED 首先在美国 Monsanto 公司和 HP 公司作为商品出售,我国中科院长春物理所于 1970 年也研制成功红色 LED。七十年代开始,人们继续在高亮度、多色化、低电流、多功能、大面积、表面安装等方面取得令人瞩目的发展。这也促使 LED 的工业化生产迅猛发展,1983 年世界 LED 总产量为 40 亿只,1988 年接近 100 亿只。八十年代以来,镓铝砷(GaAlAs)LED 的商品化工作取得很大成绩,使得 LED 从过去只能作室内指示向室外光源(广告牌、交通信号灯、汽车尾灯等)发展。红色 LED 的发光强度从六十年代末的几 mcd(毫坎德拉)发展到 10000 mcd,绿色 LED 已达到 3000 mcd,橙色 LED 已达到了 3000 mcd,蓝色 LED 也出现了少量产品,并迅速向实用化过渡。

七十年代以来,半导体激光二极管继续在单频率窄光谱化、输出大功率化、低阈值电流化、立体化等方向发展。在光纤通信方面,解决了 0.85 μm 、1.3 μm 和 1.55 μm 三个低损耗窗口半导体激光二极管的实用化问题,已能在室温下工作 20 万小时以上,并向短波长和超长波长二个方向发展。目前在激光二极管销售量中占主导地位的可见光激光二极管,已经历了三代,1979 年至 1982 年为第一代,波长为 780nm 所采用的材料是 GaAlAs,1982 年至 1985 年为第二代,采用了 MBE(分子束外延)和 MOCVD(金属有机物化学汽相沉积)工艺后,在输出功率和大生产方面取得了进展,所用的材料是 GaAlAs 和 InGaAsP,1985 年以后为第三代,发射波长为 650nm~690nm,所采用的材料为 InGaAlP,这种材料的选择使可见光激光二极管取得了突破性进展,1988 年投入批量生产。这种可见光激光二极管视觉灵敏度高,利于安全使用,并能提高光盘记录密度,延长再现时间。可见光 LD 主要用于光贮存、激光印刷、条形码读出、测量和医疗方面,进而可代替 He—Ne 激光器。

半导体光电器件的发展,还紧紧地与硅材料为基础的分立器件和集成电路(IC)的发展密切相关。六十年代硅平面器件和中小规模集成电路(MSI、SSI)的发展为硅光敏器件和光电组合显示器件打下了良好基础;七十年代大规模集成电路(LSI)的发展促进了 CCD 固体摄像器件和智能显示器件的诞生;八十年代超大规模集成电路(VLSI)的发展使 CCD 固体摄像器件向集成度更高和立体化方向发展。人们还发现 III—V 族半导体不仅可制造发射器件,还可以用来制造光敏器件,其性能参数有的已超过了硅器件,同时,GaAs 集成电路的崛起,使集成电路的速度大大提高,可靠性水平也上了一个新的台阶,半导体光电器件的发展将进入一个崭新的时代——集成光学和光电集成的时代。

除了占主导地位的以 GaAs、GaAlAs、InGaAsP 等 III—V 族半导体材料制成的发射器件和 Si 材料制成的光敏器件外,其他材料的器件,例如锗、硫化镉、铋化铟、碲镉汞等材料的器件也得到不同程度的发展,它们也是半导体光电器件家族中不可缺少的成员。

发射器件和光敏器件相结合,特别是发射器件、光敏器件和集成电路相结合,以及材料、结构技术的同步协调发展,极大地促进了半导体光电器件的发展,使之门类、品种大幅

度的增加,应用领域不断扩大,促进了整个半导体光电器件产业的形成和发展。

红外发光二极管(IRED)和光敏二、三极管,光控晶闸管相结合,派生出光电耦合器、光断续器和各种专用光传感器。利用集成电路技术,还开发出各种集成电路型光电耦合器。

发光显示器和集成电路相结合,派生出光电组合显示器件,进而开发出多种智能显示器件。

光敏器件和集成电路的结合和发展,出现了光敏集成电路和电荷耦合器件,以及各种光电子模块(Module,也可称为组件),例如:PIN—FET接收模块,APD(雪崩光敏二极管)—FET接收模块、半导体激光二极管组件等。

半导体光电器件的试制和生产与一般分立器件、集成电路相比要稍晚些,在我国经历了两个阶段。七十年代属于起步阶段,八十年代开始,国内几家主要光电器件生产厂家,在从国外引进的后道生产线上生产LED单灯和发光显示器,使我国半导体光电器件的产量大幅度的增加,品种也发展很快,生产成本有较大幅度的下降。1989年LED的产量约为5亿只(折合单灯后的数字),IRED和光敏器件的年产量已达数百万只,光电耦合器的年产量接近百万只,光断续器的产量为数十万只,CCD和LD的年产量在一万只以内,随着我国图象技术、光通信技术和激光技术的应用和发展,可望有较快速度的发展。

据有关资料的统计和预测,1987年至1992年,世界集成电路、分立器件、光电器件的市场规模年增长率分别为15.9%、6.7%和10.1%,到1992年至1997年,三者市场规模年增长率分别为13.1%、5.6%和10.1%,就是说光电器件的增长速度已超过了分立器件的增长速度,进一步接近集成电路的发展速度。

第二节 半导体光电器件基本原理

1.2.1 能带结构

由原子构成晶体时,电子不再属于某个原子,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。不允许存在的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能量高出等于带隙宽度 E_g (简称带隙)的能量。

不同半导体材料的能带结构有所区别,GaAs和GaP能带结构示意图如图1-1所示,图中只画出典型的导带底和价带顶, E_g^* 是直接带隙型半导体的带隙宽度, E_g^* 是间接带隙型半导体的带隙宽度。横座标的单位是波矢量,用符号K表示,自由电子波矢量K的值与能量E的关系是

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

式中 m 是电子质量, h 为普朗克常数($h=6.625 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$)。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。

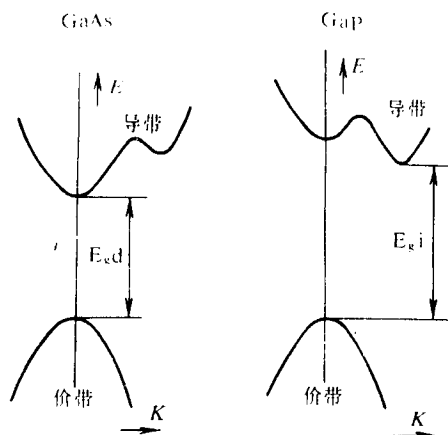


图 1-1 GaAs 和 GaP 晶体的能带结构示意图

我们称价带顶和导带底在同一 K 值处的半导体为直接跃迁半导体或直接带隙半导体,而价带顶和导带底不在同一 K 值处的半导体称为间接带隙半导体,砷化镓(GaAs)晶体为直接带隙型半导体,(图 1-1 中左面的曲线);磷化镓(GaP)晶体为间接带隙型半导体(图 1-1 中右面的曲线)。

1.2.2 发光波长和吸收波长

一、发光波长

当发光二极管的 PN 结加上正向偏压,注入的少数载流子与多数载流子复合发光时释放的光子能量等于或小于带隙宽度,即下式成立:

$$f \cdot h \leq E_g \quad (1-2)$$

式中 f 为发光光波的频率。因为 $c=f \cdot \lambda$,式(1-2)可改写成:

$$\lambda \geq \frac{hc}{E_g} \quad (1-3)$$

式中 λ 为发光波长, c 为光速($c=2.9979 \times 10^8 \text{m/s}$),若长度用微米表示,焦耳换算成电子伏特(eV),式(1-3)可写成:

$$E_g \geq \frac{1.2396}{\lambda} \quad (1-4)$$

可见光的长波限为 760nm,所以可见光发光材料的 E_g 必须大于 1.63eV;可见光的短波限为 380nm(紫光),此时 E_g 最大值应是 3.26eV。这就是说带隙宽度为 1.63eV~3.26eV 的材料,PN 结发出的光为可见光。锗和硅的带隙宽度分别为 0.81eV 和 1.12eV,故不宜做可见光发光二极管。砷化镓的带隙宽度为 1.435eV,故用它可制作红外发光二极管。

二、吸收波长

半导体受光照射后,价带内的电子受一定能量的光子激发后,能进入导带,价带中产生相同数量的空穴,在电场作用下,形成光电流。若受照半导体是光敏三极管的基区,在管子处于工作状态下,光电流就将转化成基极电流。显然在这种情况下光子能量应大于构成光敏三极管材料的带隙宽度,即应有:

$$h \cdot f > E_g \quad (1-5)$$

这时光子能量被半导体吸收,称为本征吸收。与发光类似,可算出硅材料的长波本征吸收限为 1100nm,且在 900nm 处出现吸收峰值;锗的长波本征吸收限为 1530nm;铟镓砷磷(InGaAsP)的带隙宽度的范围为 0.75~1.35eV,相应的本征光吸收波长范围为 1.72~0.92 μm ;砷化镓的本征吸收波长则为 0.86 μm 。在半导体中,光吸收还有杂质吸收和自由载流子吸收等类型,由于杂质能级对应的电离能比 E_g 小,所以这种吸收出现在本征吸收

以外的长波区,不同的杂质有不同的长波吸收限,利用这种原理可改变某些材料的长波吸收限。自由载流子在吸收一定能量的光子后,其迁移率将改变,因而导致半导体电导率的改变。

吸收波长除与光敏器件芯片材料及其掺杂杂质有关外,还同结深有关,图 1-2 为硅光敏二极管光电转换示意图。图上虚线为空间电荷区界限。无光照时,在偏压的作用下,只有热效应引起的微小暗电流经过 PN 结。光照时,波长小于 $1.1\mu\text{m}$ 的入射光子能激发光生载流子,其中 $0.9\sim 1.1\mu\text{m}$ 的入射光子能透入硅材料几十微米才会被吸收,而在 $0.4\sim 0.5\mu\text{m}$ 的入射光产生的光生载流子只有扩散进入 PN 结势垒区在结电场的作用下漂移才会对光电流有贡献,因此为了得到所要求的吸收波长,结深必须相应改变。浅结可提高光敏二极管的短波响应,另一方面选用电阻率大的硅单晶(例如电阻率大于 500Ω)来制造光敏二极管时,可使 PN 结势垒区在加反向偏压后可拉长到几十微米,以提高对长波的响应。

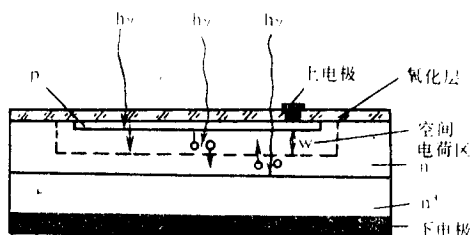


图 1-2 光敏二极管光电转换示意图

在结电场的作用下漂移才会对光电流有贡献,因此为了得到所要求的吸收波长,结深必须相应改变。浅结可提高光敏二极管的短波响应,另一方面选用电阻率大的硅单晶(例如电阻率大于 500Ω)来制造光敏二极管时,可使 PN 结势垒区在加反向偏压后可拉长到几十微米,以提高对长波的响应。

1.2.3 发光器件的效率

一、发光效率 η_0 (亦称视感效率)

η_0 是器件在单位电功率作用下输出的光通量:

$$\eta_0 = \frac{\Phi}{P_I} = \frac{\Phi}{IV} \quad (\text{lm/W}) \quad (1-6)$$

式中 Φ 为光通量, P_I 为输入功率, I 、 V 分别为器件的直流偏置电流和电压。此参数适用于可见光发光二极管。

二、功率效率 η_w

η_w 是器件将输入功率 P_I (瓦)转变成辐射功率 P_o (瓦)的效率,有:

$$\eta_w = \frac{P_o}{P_I} = \frac{P_o}{IV} = \frac{\Phi}{KIV} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 Φ 、 K 分别为器件的总光通量(lm)和光视效能(lm/W)。

三、量子效率 η

η 是器件注入载流子复合产生光量子的效率。由于内吸收和内反射等原因,产生的光子不能全部射出。因此,量子效率又分内量子效率和外量子效率,分别以 η_i 和 η_e 表示。而 η_e 除包含 η_i 外,还包含注入效率 η_j 和光出射效率 η_o (又称光学效率),这些效率间具有如下关系:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_o \cdot \eta_j \quad (1-8)$$

四、外量子效率 η_e

把器件发出的光子数与注入电子数之比定为外量子效率。可以推出：

$$\eta_e = \frac{\lambda_p \cdot q \cdot \Phi}{K \cdot I \cdot c \cdot h} \quad (1-9)$$

当知道器件的峰值波长 λ_p 、光视效能 K 、偏置电流 I 和在此电流下输出的总光通量 Φ 后，即可计算外量子效率 η_e 。式中 c 、 h 、 q 分别是光速、普朗克常数和电子电荷。

五、内量子效率 η_i

η_i 定义为每注入一个电子在 PN 结中产生的光子数。要提高 η_i ，对直接带隙半导体，主要在于提高材料的纯度、完整性和改进 PN 结制作工艺的完善性，以降低非辐射复合中心的浓度。对间接带隙半导体，恰当选择发光中心，使它具有较高的浓度及适当的电离能和大的复合截面，并尽可能提高材料纯度和完整性，以降低猝灭中心浓度。提高 η_i 乃是提高发光器件效率的重要课题。

1.2.4 激光二极管(LD)

激光二极管的芯片结构基本上与侧面发光的 LED 芯片结构基本相同，但要解理出与 PN 结垂直的两个相对平行的光学平面作为光学谐振腔，当 PN 结通以电流并超过阈值时，引起高强度的电致发光，最终在谐振腔内产生了激光。激光的产生是光在半导体内通过时，因受激发射而获得放大的结果。

目前高性能的 LD 均采用双异质结结构(DH)，以 GaAlAs LD 为例，采用液相外延生长技术在 n-GaAs 衬底上依次生长 n-GaAs/n-GaAlAs/有源层/p-GaAlAs/p-GaAs 五层结构，其中 n-GaAs 是缓冲层，p-GaAs 是为减小接触电阻而生长的(上电极)。有源区一般采用 GaAs，在这种双异质结结构中(见图 1-3)，因为 GaAs 和 GaAlAs 两种材料的带隙宽度差提供了一个势垒，所以电子不能注入到 p-GaAlAs 内，空穴也不注入到 n-GaAlAs 中，载流子被有效地限制在有源区内，大大地提高了复合几率；同时，晶体组分不同使折射率差别 5% 左右，光子也几乎完全被限制在有源区内，载流子和光的限制是双异质结 LD 阈值电流能大大降低的主要原因。

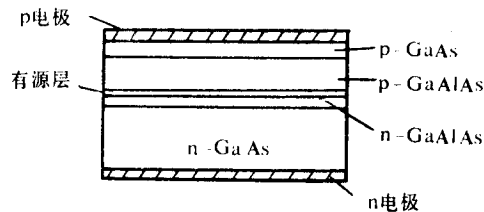


图 1-3 双异质结 LD 结构图

1.2.5 电荷耦合器件(CCD)

电荷耦合器件是一种利用 LSI 和 VLSI 技术制造的半导体光敏器件，它是一种具有光电转换、贮存、自扫描等功能的非平衡半导体器件。

CCD 是在 n 型或 p 型硅衬底上生长一层厚度为 1000 Å 左右的二氧化硅层，再在二氧化硅层上制作排列整齐，相距约为 2.5 μm 的一系列栅电极所组成的 MOS 结构，再加上输入和输出端就构成 CCD 最基本的结构。

通过在导电栅极上施加时钟脉冲电压，在半导体内部形成贮存少数载流子的势阱，用

光注入的方法,代表信号的光子在势阱附近产生少数载流子并引入势阱(通常将势阱中的光生载流子所带的电荷称为电荷包),再通过时钟脉冲的规则变化,使电极下的势阱深度作相应的变化,从而使电荷包在半导体表面内作定向运动,这些电荷包的运动即代表外界输入的光信号。

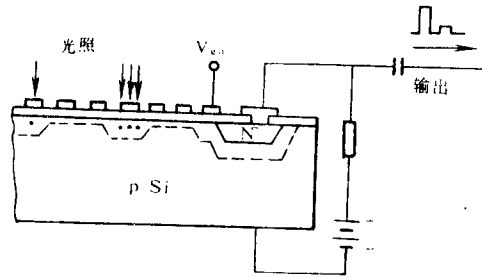


图 1-4 CCD 摄像器件工作原理示意图

图 1-4 是 CCD 摄像器件工作原理示意图,CCD 用作摄像光敏器件时,其信号电荷包则由光注入形成,在 CCD 的不同部位处,入射光的波长与功率不同,产生的光生载流子数目也就不同,于是在不同部位的势阱中收集的光生少数载流子数目也就不同,在一定的时间内,通过时钟脉冲的作用,将电荷包所表征的信号在输出端由输出漏极输出,从而可以得到幅度不同的电脉冲,再经放大及转换处理,还原为图像。

第三节 半导体光电器件制造工艺流程

1.3.1 制造 LED 芯片材料

制造 LED 的材料必须具备下列条件

一、带隙宽度合适

表 1-1 列出了各种 LED 材料的带隙宽度等参数和掺杂的杂质。为了制造可见光 LED,可选用 GaP、AlAs($E_g = 2.16\text{eV}$)等带隙宽度大于 1.63eV 的半导体材料,其中 AlAs 在空气中不稳定,故不能采用。若采用混晶的方法可将带隙宽度扩展到可见光区域。GaAs-GaP 混晶和 GaAs-AlAs 混晶是两种实用的材料,可用 $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ 和 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 表示, x 是小于 1 的数字, x 和 $1-x$ 表示对应二种组份(P 和 As 或 Al 和 Ga)的组成比。 x 值不同对应的带隙宽度也不同。

二、能获得高电导率的 p 型和 n 型半导体,是制造优良的 PN 结的必要条件

I - VI 族半导体带隙宽度虽然适当,但只能制成 n 型(或 p 型)半导体。已研制成功的 ZnS 蓝色 LED,所采用的是 MIS 结构(金属—绝缘体—半导体三层结构),是一种克服上述缺点的新型结构。

三、可获得完美的优质晶体

晶体的不完整性对发光特性有很大影响,杂质和晶格缺陷能缩短少数载流子的寿命并降低发光效率。碳化硅(SiC)满足上述两个条件,但晶体生长温度很高,很难得到完整性好的晶体,成为研制高效 SiC 发光二极管的障碍。

GaAs、GaAsP、GaP 和 GaAlAs 晶体都可以满足优质晶体的要求,这是制作高效率发光二极管的必要条件。GaP 是二元化合物晶体,完整性好,特别适合制作发光二极管。

表 1-1 各种 LED 材料参数和掺杂剂

材料和芯片结构	颜色	带隙宽度(eV)	带隙类别	峰值发光波长(nm) (能量 eV)	掺杂剂
GaP(Zn-O)/GaP	红	2.26	间接	700(1.77)	Zn、O、Te
GaP(N)/GaP	绿	2.26	间接	565(2.22)	N、Te、Zn
GaP(N)/GaP	黄	2.26	间接	580(2.14)	N、Te、Zn
GaAs _{0.35} P _{0.65} (N)/GaP	红	1.42~2.26	直接	650(1.91)	Zn、Te
GaAs _{0.15} P _{0.85} (N)/GaP	黄	1.42~2.26	直接	590(2.10)	N
Ga _{0.85} Al _{0.15} As/GaAs	红	1.42~2.16	直接	660(1.88)	Zn、Te
GaAs/GaAs	红外	1.435	直接	940	Si

四、应较多地采用复合发光几率大和发光效率高的直接带隙半导体

间接带隙半导体要掺入适当的等电子陷阱杂质,以形成发光几率大的高浓度发光中心。例如 GaP 和 GaAsP 晶体中掺入高浓度发光中心 N, GaP 晶体中掺入 Zn-O 对就是常用提高发光效率的方法。

五、材料的吸收系数要小

例如, GaP 发光时晶体吸收较小,发光二极管各个侧面都可发光,发光效率为 2~4%,最高为 15%。

近年来,各种制造发光二极管的材料、工艺进一步发展和改进,其参数特性也进一步提高。表 1-2 是各种发光二极管的材料、工艺、参数一览表。表中还列出用 ZnSe 的 MIS 结构蓝色发光二极管,以及用 In_{0.75}Ga_{0.25}As_{0.55}P_{0.45} 作外延层,衬底为 InP 的长波长双异质结 IRED。

表 1-2 各种 LED 的材料、工艺和参数

材料和芯片结构		制造方法	发光颜色	发光波长 (nm)	视感度 (lm/W)	外量子效率		视感效率	
外延层	衬底					商品 (%)	最高值 (%)	商品 (lm/W)	最高值 (lm/W)
GaP(Zn-O)	GaP	LPE(液相外延)	红	700	20	2~4	15	0.4~0.8	3.0
Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAs	LPE(SH(单异质结))	红	660	40	~3	7	~1.2	2.1
Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAlAs	LPE(DH(双异质结))	红	660	40	~9	12	~3.6	5.3
GaAs _{0.6} P _{0.4}	GaAs	VPE(气相外延)+扩散	红	650	70	0.2	0.5	0.14	0.35
GaAs _{0.35} P _{0.65} (N)	GaP	VPE+扩散	橙	630	190	0.3	0.65	0.6	1.2
GaAs _{0.15} P _{0.85} (N)	GaP	VPE+扩散	黄	590	450	0.12	0.25	0.5	1.1
GaP(N)	GaP	VPE+扩散	黄	590	150	0.1		0.45	
GaP(N)	GaP	LPE	黄绿	565	610	~0.3	0.7	~1.8	4.3
GaP	GaP	LPE	纯绿	555	680	0.08	0.2	0.54	1.36
GaN	Al ₂ O ₃	VPE(MIS)	蓝	490	142	0.03	0.1	0.04	0.14
SiC	SiC	LPE	蓝	480	95	0.004	0.02	0.004	0.019
ZnSe		(MIS)	蓝	480	95		0.05		0.048
ZnS		(MIS)	蓝	460	26		0.03		0.008
GaAs(Si)	GaAs	LPE	IR	940		8~12	~16		
GaAs(Zn)	GaAs	扩散	IR	900		1~2	~3		

材料和芯片结构		制造方法	发光颜色	发光波长 (nm)	视感度 (m/W)	外量子效率		视感效率	
外延层	衬底					商品 (%)	最高值 (%)	商品 (lm/W)	最高值 (lm/W)
Ga _{0.15} Al _{0.25} As (Si)	GaAs	LPE(SH)	IR	880		12~16	~20		
Ga _{0.97} Al _{0.03} As	GaAs	LPE(DH)	IR	850		3~5			
In _{0.75} Ga _{0.25} As _{0.55} P _{0.45}	InP	LPE(DH)	IR	1300		1~2			

1.3.2 各类光电器件工艺流程

一、LED 芯片工艺流程

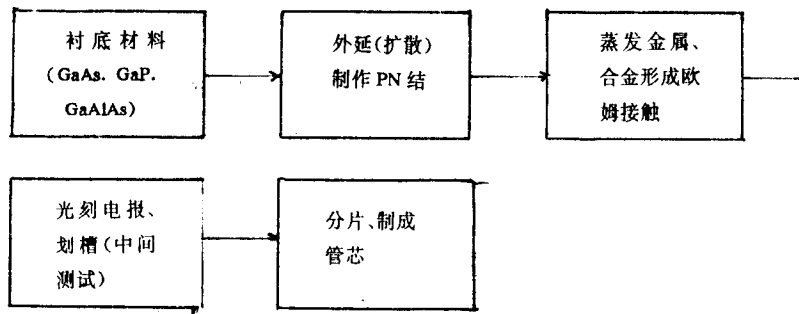


图 1-5 LED 芯片工艺流程

LED 芯片工艺流程如图 1-5 所示,用 III - V 族半导体 GaAs、GaP 或 GaAlAs 作为衬底材料,在其上进行外延(液相外延或汽相外延)和扩散,形成 PN 结,然后蒸发金属、合金形成欧姆接触,再进行光刻电极,划槽(把经中间测试,废芯片点上记号的大片经绷片、分片)制成合格管芯。

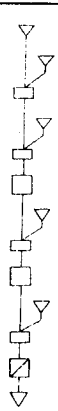
表 1-1 中也列出了制作不同种类 LED 芯片所需采用的材料,掺杂剂。表 1-2 列出了芯片结构(单、双异质结构)和采用的工艺方法,在材料和芯片结构括号内表示对发光有贡献的杂质。为了较为具体的了解工艺过程,可作如下说明:在很多情况下,外延生长和 PN 结的形成实际上是在一道工序中连续进行的。GaP 和 GaAlAs 采用了多层外延生长工艺。表 1-1 中碲(Te)为 n 型杂质,Zn 为 P 型杂质,Si 为两性杂质。

接下来是制作欧姆接触电极,这时需把已做好 PN 结的大圆片背面研磨,减薄至适当厚度,背面蒸 Au-Sn-Sb(金-锡-锑)或 Au-Ge-Ni(金-锗-镍)合金;正面采用蒸发 Au-Be、Au-Zn 或 Al。

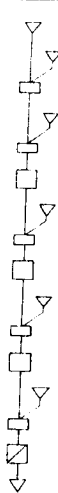
二 LED 芯片(包括受光器件芯片)至成品的工艺流程

首先用导电胶把合格芯片固定在引出线(条)的一端,通过金丝球焊方法(加温、加超声、加压)把 $\Phi 25\mu\text{m}$ 的金丝键合在芯片上,金丝的另一端键合到另一引出线(条)的一端。以下分别列出光电器件各大类产品芯片至成品的工艺流程。

(一)发光灯制造工艺流程

制造工艺流程		检查项目
流程图	说明	
	芯片 管座 安装 键合引线 键合 外观检查 树脂 浇铸 检查和测试 包装材料 包装 批量确认检查 装运	温度、压力、功率 安装和键合强度 温度、时间 光电参数、外观、光学形貌 电参数测试、外观、光学形貌、寿命试验

(二)发光显示器制造工艺流程

制造工艺流程		检查项目
流程图	说明	
	芯片 管座 安装 键合引线 键合 外观检验 反射腔、光散射膜、外壳 密封 检查和测试 标记油墨 做标记 检查 包装材料 包装 批量确认检查 装运	温度、压力、功率 安装和键合强度 电参数、外观、光学形貌 温度、时间 外观 电参数测试、外观、光学形貌、寿命试验

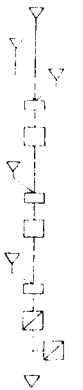
(三)光敏三极管制造工艺流程

制造工艺流程		检查项目
流程图	说明	
	芯片 框架 安装材料 芯片安装 键合引线 键合 外观的检验 模制材料(环氧树脂) 模制 引线切割 检验和测试 包装材料 包装 批质量保证试验 可靠性试验 装运	芯片粘结强度、目视检查 安装和键合外观 电参数和光参数、外观 电参数和光参数、外观 寿命试验、机械试验

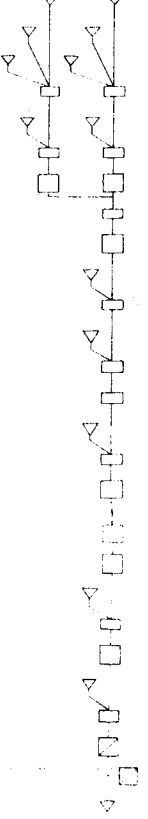
(四)红外发光二极管制造工艺流程

制造工艺流程		检查项目
流程图	说明	
	芯片 框架 安装材料 芯片安装 键合引线 键合 外观检验 密封材料 密封 模制材料(环氧树脂) 模制 引线切割 检验 包装材料 包装 批量质量保证试验 可靠性试验 装运	芯片粘结强度、目视检查 温度、键合强度 安装和键合的外观 温度 电参数和光参数、外观 寿命试验、机械试验

(五)光断续器制造工艺流程

制造工艺流程		检查项目
流程图	说明	
	发射器 (IRED 灯) 检出器 (光敏三极管) 粘结材料 配合 检验 标记材料 标记 电试验 包装材料 包装 批量质量保证试验 可靠性试验 装运	温度 电参数 电参数 电参数测试和外观 寿命试验、机械试验

(六)光电耦合器制造工艺流程

工艺流程图		检查项目
	芯片 框架 安装材料 芯片安装 键合引线 键合 目视预耦合 耦合 目视预模制 密封材料(有机硅酮) 密封 模制材料(环氧树脂) 模制 引线切割、弯曲 镀层材料 镀层工艺 测试 稳定化退火 温度循环 标志材料 做标志 最终电测试 包装材料 包装 批量质量保证试验 可靠性试验 装运	氧化层厚度,击穿电压等检查确定批质量 芯片粘结强度和目视检查 温度,键合强度 安装和键合外貌 键合强度、形状、引线触碰等检查 温度 电参数测试 外观、寿命试验、电参数测试 寿命试验、机械试验