

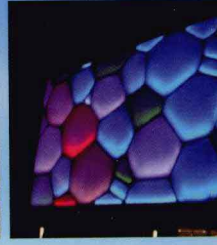
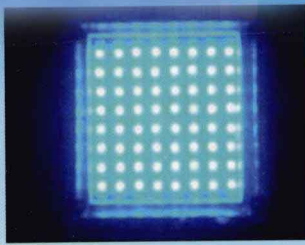


新能源系列 —— 光伏应用专业规划教材

LED封装技术与应用

LED
FENGZHUANG
JISHU YU YINGYONG

沈 洁 主编
刘 靖 主审



化学工业出版社



新能源系列 —— 光伏应用专业规划教材

LED封装技术与应用

LED
FENGZHUANG
JISHU YU YINGYONG

沈洁 主编
王春媚 洪诚 余海晨 副主编
刘靖 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从 LED 芯片制作、LED 封装和 LED 应用等方面介绍了 LED 的基本概念与相关技术,详细讲解了 LED 封装过程中和开发应用产品时应该注意的一些技术问题,并以引脚式 LED 封装为基础,进一步介绍了平面发光式、SMD、大功率 LED 的三种不同封装形式及其相应的产品在实际生产中的操作技术。本书还讨论了 LED 在不同领域的应用技术,最后以太阳能 LED 路灯的光伏系统为应用实例,分析了典型 LED 系统的应用技术。

本书可作为光伏发电技术及应用专业、光电子专业、电子信息工程专业、节能工程专业等相关专业的教材,也可供相关专业技术人员参考使用,或作为自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

LED 封装技术与应用/沈洁主编. —北京:化学工业出版社, 2012.8
新能源系列——
光伏应用专业规划教材
ISBN 978-7-122-14980-0

I. ①L… II. ①沈… III. ①发光二极管-封装工艺
教材 IV. ①TN383.059.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 172016 号

责任编辑:刘哲 张建茹
责任校对:宋玮

文字编辑:云雷
装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张16¼ 字数433千字 2012年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

近年来,随着LED生产技术发展一日千里、发光二极管(LED)制造工艺的进步、新材料的开发,各种颜色的超高亮度LED取得了突破性进展,令其发光亮度提高和寿命延长,加上生产成本大幅降低,LED成为第四代光源已指日可待,LED应用市场的需求日益加大。

本书涉及领域广泛,主要包括LED封装技术及LED应用技术两方面内容。全书共分为三篇。第一篇LED封装,包括LED概述、LED封装简介、LED生产流程、单管LED生产规程、数码管简介五个方面的内容。第二篇LED应用,包括LED照明、LED屏幕显示、LED景观工程、LED标准四个方面的内容。第三篇太阳能LED路灯的设计,包括太阳能LED路灯控制技术、太阳能LED路灯的设计、太阳能LED路灯安装与维护几方面的内容。

本书以“充分体现高职高专教育的特点,提高学生实际动手能力,提高分析解决实际问题的能力”为原则,从LED芯片制作、LED封装和LED应用等方面介绍了LED的基本概念与相关技术,详细讲解了LED封装过程中和开发应用产品时应该注意的一些技术问题,特别是LED应用的驱动问题、散热问题等,并以引脚式LED封装为基础,进一步介绍了平面发光式、SMD、大功率LED三种不同封装形式及其相应的产品在实际生产中的操作技术。本书还讨论了LED在不同领域的应用技术,最后以太阳能LED路灯的光伏系统为应用实例,分析典型LED系统的应用技术。

本书可以作为光伏发电技术及应用专业、光电子专业、电子信息工程技术专业、节能工程专业等相关专业的教材,也可供其他专业学生和相关专业技术人员参考使用,或作为自学用书。

本书由沈洁主编,王春媚、洪诚、余海晨副主编。其中第一篇由沈洁、林火养编写,第二篇由王春媚编写,第三篇由洪诚、余海晨编写。龚人欢、张毅也参与了部分编写工作。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,殷切希望广大读者对本书提出宝贵意见。

编者

2012年6月

目 录

第一篇 LED 封装

第 1 章	LED 概述	1
1.1	LED 的基本概念	1
1.1.1	LED 的基本结构与发光原理	1
1.1.2	LED 的特点及常用性能指标	5
1.2	LED 芯片分类	9
1.3	大功率 LED 芯片	13
1.3.1	大功率 LED 芯片和小功率 LED	13
1.3.2	大功率 LED 芯片的分类	14
1.3.3	大功率 LED 芯片制造技术的发展趋势	15
	复习思考题	20
第 2 章	LED 封装简介	21
2.1	LED 封装基础知识	21
2.1.1	LED 封装必要性	21
2.1.2	LED 封装原则	21
2.2	LED 封装的分类及工艺简介	22
2.2.1	LED 封装方式分类	22
2.2.2	LED 封装设备简介	26
2.2.3	各类 LED 封装工艺简介	30
	复习思考题	36
第 3 章	LED 生产流程概述	37
3.1	工艺说明	37
3.1.1	LED 芯片检验	37
3.1.2	LED 扩片	37
3.1.3	LED 点胶	37
3.1.4	LED 备胶	37
3.1.5	LED 手工刺片	38
3.1.6	LED 自动装架	40

3.1.7	LED 烧结	40
3.1.8	LED 压焊	40
3.1.9	LED 封胶	41
3.1.10	LED 固化与后固化	43
3.1.11	LED 切筋和划片	43
3.1.12	LED 测试	43
3.2	案例说明	43
3.3	LED 的生产环境	44
3.4	防静电措施	44
	复习思考题	45
第 4 章	单管 LED 生产规程	46
4.1	单管 LED 生产流程	46
4.2	单管 LED 生产步骤规范	46
4.2.1	扩晶	46
4.2.2	反膜	47
4.2.3	银胶和绝缘胶使用	48
4.2.4	排支架	49
4.2.5	固晶	49
4.2.6	固化	51
4.2.7	焊线	52
4.2.8	配胶、抽真空	55
4.2.9	粘胶	56
4.2.10	手动灌胶	57
4.2.11	插支架	58
4.2.12	自动灌胶机灌胶	59
4.2.13	短烤	60
4.2.14	长烤	61
4.2.15	半切(一切)	62
4.2.16	测试	62
4.2.17	全切(二切)	63
4.2.18	分选	64
4.2.19	包装	64
4.3	单管 LED 工艺指导书示例	65
第 5 章	数码管简介	67
5.1	数码管生产流程	67
5.2	数码管生产规程	67
5.2.1	插 PIN、压 PIN	67
5.2.2	清洗	68
5.2.3	背胶	69
5.2.4	固晶	69

5.2.5	烘烤	70
5.2.6	焊线	71
5.2.7	前测	72
5.2.8	全检	73
5.2.9	吹反射盖	73
5.2.10	贴高温胶带	74
5.2.11	反射盖预热	74
5.2.12	配胶	75
5.2.13	灌胶	75
5.2.14	抽真空	76
5.2.15	PCB	76
5.2.16	固化	77
5.2.17	检外观	77
5.2.18	后测	78
5.2.19	打印和包装	78

第二篇 LED 应用

第 6 章 认知 LED 照明 80

6.1	LED 器件的驱动	80
6.2	恒压式驱动电路分析	87
6.2.1	恒压源供电电阻限流电路分析	87
6.2.2	LED 的连接形式	87
6.2.3	设计驱动电路 PCB 板	88
6.3	LED 台灯的制作	89
6.3.1	LED 台灯概述	89
6.3.2	焊接知识与焊接技巧	89
	技能训练一 LED 灯泡的制作	90
	技能训练二 LED 台灯和传统灯具的性能比较	93
	复习思考题	95

第 7 章 LED 屏幕显示 96

7.1	恒流式驱动电路	96
7.1.1	恒流式驱动电路	96
7.1.2	恒流式驱动电路的形式与结构	97
7.1.3	集成恒流源电路的应用	99
7.1.4	LM317 恒流源电路的分析	101
	技能训练三 恒流源驱动电路的制作和安装	102
7.2	点阵显示系统	103
7.2.1	点阵显示系统介绍	103
7.2.2	LED 显示屏	106
	技能训练四 16×16 点阵 LED 显示屏的原理与制作	107

技能训练五 LED 条形屏的组装	113
复习思考题	115
第 8 章 LED 景观工程	116
8.1 认识 LED 夜景工程	116
8.1.1 开关电源驱动电路	116
8.1.2 PWM 调光知识	119
8.1.3 典型 PWM 集成驱动器	120
8.2 变色彩灯的制作	121
8.2.1 LED 变色灯	121
8.2.2 单灯头 LED 变色灯	122
技能训练六 变色 LED 灯的组装	123
复习思考题	124
第 9 章 LED 标准	125
9.1 LED 有关标准识别	125
9.1.1 制定 LED 标准的目的和意义	125
9.1.2 LED 标准体系	125
9.1.3 LED 标准发展概况	125
9.1.4 LED 标准规范	127
9.2 我国照明工程应用的设计标准	128
9.2.1 我国的照明设计标准	128
9.2.2 照明的分类及 LED 的适应性	129
9.2.3 不同照明场所对照明装置的要求	129
9.2.4 《城市道路照明设计标准》(CLL 45—2006)	130
9.3 LED 产品施工要求初析	130
9.3.1 LED 产品施工注意事项	130
9.3.2 LED 工程中的简易计算	130
复习思考题	132

第三篇 太阳能 LED 路灯的设计

第 10 章 太阳能 LED 路灯的光伏技术介绍	133
10.1 太阳能光伏技术	133
10.1.1 太阳能光伏技术概述	133
10.1.2 太阳能光伏发电系统	135
10.2 太阳能路灯	137
10.2.1 太阳能路灯组成	137
10.2.2 太阳能 LED 路灯简介	138
10.3 太阳能电池	139
10.3.1 太阳能电池简介	139
10.3.2 太阳能电池的原理与构造	140

10.3.3	太阳能电池的分类及规格	141
10.3.4	晶硅太阳能电池发展及方阵	142
10.4	蓄电池	146
10.4.1	蓄电池的分类	146
10.4.2	蓄电池的工作原理	148
	复习思考题	149
第 11 章	太阳能 LED 路灯控制技术	150
11.1	太阳能 LED 路灯控制器功能	150
11.2	EPDC 型太阳能电源双路输出控制器	158
11.3	EPRC10-ST-MT 型太阳能电源控制器	161
	复习思考题	164
第 12 章	太阳能 LED 路灯设计	165
12.1	太阳能 LED 路灯光伏系统设计	165
12.1.1	太阳能 LED 路灯设计的要点	165
12.1.2	太阳能电池方阵设计	166
12.1.3	太阳能电池方阵设计中必须注意的问题	169
12.1.4	蓄电池组容量设计	172
12.1.5	控制器选择及太阳能电池组件支架的抗风设计	173
12.1.6	太阳能路灯系统设计实例及典型配置	175
12.2	LED 路灯灯头的设计	178
12.2.1	LED 照明设计	178
12.2.2	LED 道路照明灯具设计	181
	复习思考题	189
第 13 章	太阳能 LED 路灯安装与维护	190
13.1	现代道路照明的规划设计与安装	190
13.1.1	道路照明的规划设计	190
13.1.2	道路照明系统的安装	192
13.1.3	太阳能灯具的调试	196
13.2	太阳能路灯的维护及蓄电池故障分析	198
13.2.1	太阳能路灯的维护	198
13.2.2	蓄电池的维护	198
	复习思考题	199
	附录	200
附录 1	LED 封装过程使用仪器技术参数及使用说明	200
附录 2	仪器使用规程	232
附录 3	LED 生产过程中使用到的原料及检验	243
	参考文献	252

第一篇 LED封装

第 1 章

LED概述

1.1 LED 的基本概念

1.1.1 LED 的基本结构与发光原理

(1) LED 的结构

LED 主要由支架、银胶、晶片、金线、环氧树脂五种物料组成。LED 的两根引线中较长的一根为正极，接电源的正极；较短的一根为负极，接电源的负极。LED 结构图如图 1.1 所示。

(2) LED 芯片结构

LED 芯片有单电极芯片结构和双电极芯片结构。芯片是单电极还是双电极，取决于芯片材料。一般来说，二元 (GaAs)、三元 (GaAsP)、四元 (AlGaInP)、SiC 材料的采用单电极结构，上正下负，因为这些衬底材料可导电，仅需在上面做单个电极。如是用蓝宝石作衬底的，因为衬底材料不导电，所以，正负极都做在同一面，所以是双电极。

至于性能上，大部分无可比性，唯一可比的是 SiC 的蓝/绿光 (单电极) 和蓝宝石的蓝/绿光 (双电极)，区别如下：

- ◆因衬底材料不同，导致芯片可靠性不同，单电极好于双电极；
- ◆单电极的 ESD (静电放电) 优于双电极；
- ◆单电极的价格高于双电极，原因是工艺难度不同。

① 单电极 LED 芯片结构 单电极 LED 芯片结构如图 1.2 所示。

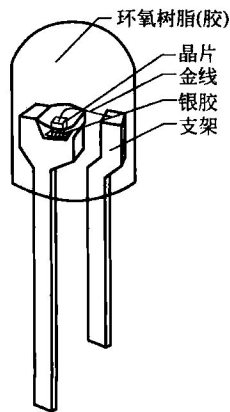


图 1.1 LED 结构图

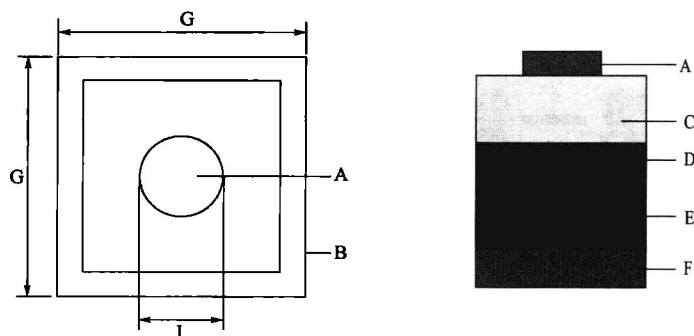


图 1.2 单电极 LED 芯片结构示意图

单电极 LED 芯片结构示意图对应的代码含义如表 1.1 所示。

表 1.1 单电极 LED 芯片结构示意图代码含义

代码	说明	代码	说明
A	P 极金属层	E	N 型结晶基板
B	发光区	G	芯片尺寸
C	P 层	F	N 极金属层
D	N 层	J	电极直径

② 双电极 LED 芯片结构 双电极 LED 芯片结构如图 1.3 所示。

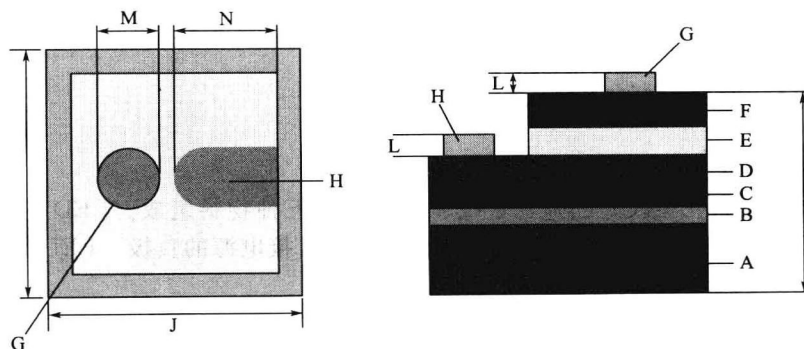


图 1.3 双电极 LED 芯片结构示意图

双电极 LED 芯片结构示意图对应的代码含义如表 1.2 所示。

表 1.2 双电极 LED 芯片结构示意图代码含义

代码	说明	代码	说明
A	蓝宝石基板	G	P 极金属层
B	低温缓冲层	H	N 极金属层
C	N 型接触	J	芯片尺寸(宽)
D	发光层	L	电极厚度
E	P 型接触层	M	P 极电极直径
F	透明导电层	N	N 极电极直径

(3) LED 的工作原理

① 普通二极管工作原理 N型半导体，即自由电子浓度远大于空穴浓度的杂质半导体。在纯净的硅晶体中掺入V族元素（如磷、砷、锑等），使之取代晶格中硅原子的位置，就形成了N型半导体。这类杂质提供了带负电（Negative）的电子载流子，称它们为施主杂质或n型杂质。在N型半导体中，自由电子为多子，空穴为少子，主要靠自由电子导电。自由电子主要由杂质原子提供，空穴由热激发形成。掺入的杂质越多，多子（自由电子）的浓度就越高，导电性能就越强。

P型半导体，也称为空穴型半导体。P型半导体即空穴浓度远大于自由电子浓度的杂质半导体。在纯净的硅晶体中掺入三价元素（如硼），使之取代晶格中硅原子的位子，就形成P型半导体。在P型半导体中，空穴为多子，自由电子为少子，主要靠空穴导电。空穴主要由杂质原子提供，自由电子由热激发形成。掺入的杂质越多，多子（空穴）的浓度就越高，导电性能就越强。

一个二极管由一段P型材料同一段N型材料相连而成，且两端连有电极。这种结构只能沿一个方向传导电流。当二极管两端不加电压时，N型材料中的电子会沿着层间的PN结（junction）运动，去填充P型材料中的空穴，并形成一个耗尽区。在耗尽区内，半导体材料回到它原来的绝缘态——即所有的空穴都被填充，因而耗尽区内既没有自由电子，也没有供电子移动的空间，电荷则不能流动。在PN结（junction）内，N型材料中的自由电子填充了P型材料中的空穴，这样，在二极管的中间就产生了一个绝缘层，称为耗尽区。二极管耗尽区产生原理如图1.4所示。

为了使耗尽区消失，必须使电子从N型区域移往P型区域，同时空穴沿相反的方向移动。因此，可以将二极管N型的一端与电路的负极相连，同时P型的那一端与正极相连。N型材料中的自由电子被负极排斥，又被正极吸引；而P型材料中的空穴会沿反方向移动。如果两电极之间的电压足够高，耗尽区内的电子会被推出空穴，从而再次获得自由移动的能力。此时耗尽区消失，电荷可以通过二极管。

当电路的负极与N型层、正极与P型层相连时，电子和空穴开始迁移，而耗尽区将消失。耗尽区消失原理图如图1.5所示。

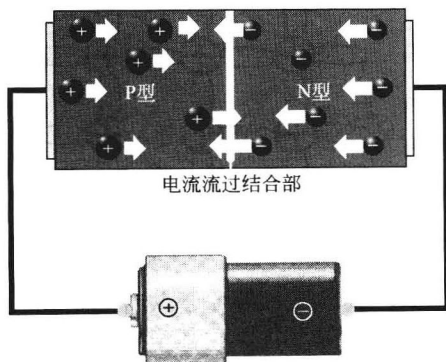


图 1.5 耗尽区消失原理图

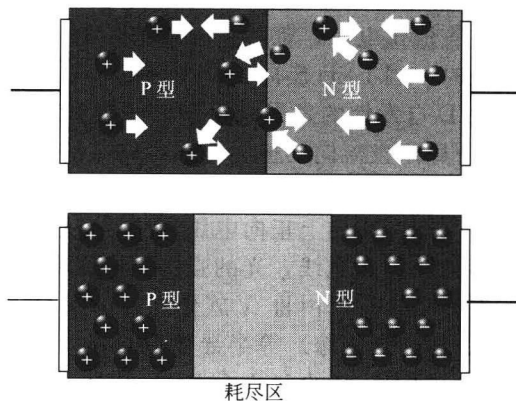


图 1.4 二极管耗尽区产生原理图

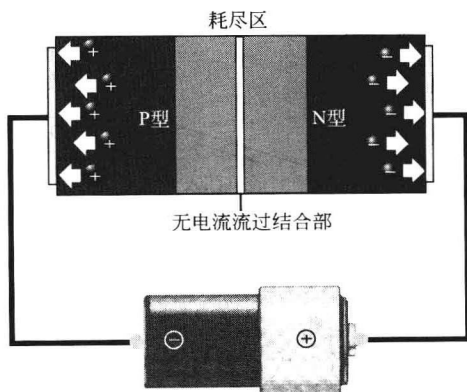


图 1.6 耗尽区扩大原理图



如果试图让电流沿反方向流动，将P型端连接到电路负极，N型端连接到正极，电流将不会流动。N型材料中带负电的电子会被吸引到正极上，P型材料中带正电的空穴则会被吸引到负极上。由于空穴与电子各自沿着错误的方向运动，PN结将不会有电流通过，耗尽区也会扩大。耗尽区扩大原理如图1.6所示。

② 发光二极管(LED)工作原理

在直流供电时，都是正向接到线路中，即P极接电源正端，N极接电源负端。而在交流供电时，因LED反向击穿电压低，需要接阻值较大的限流电阻或串接一只硅二极管。

LED自发性的发光是由于电子与空穴的复合而产生的。当LED两端加上正向电压，电流从LED阳极流向阴极时，半导体中的少数载流子和多数载流子发生复合，放出过剩的能量而引起光子发射，半导体晶体就发出从紫外到红外不同颜色的光。当LED处于正向工作状态时（即两端加上正向电压），电流从LED阳极流向阴极时，半导体晶体就发出从紫外到红外不同颜色的光线，光的强弱与电流有关。半导体能带和复合发光如图1.7所示。

发光二极管是由Ⅲ-V族化合物，如GaAs（砷化镓）、GaP（磷化镓）、GaAsP（磷砷化镓）、GaN（氮化镓）等半导体制成的，属于直接带隙材料。LED的核心是PN结，因此，它具有一般PN结的U-I（伏安）特性，即正向导通、反向截止和击穿特性。

发光二极管正向工作电压 V_F 大于1.5~3.8V（大部分红光和黄光的发光二极管的工作电压是2V左右，其他颜色的发光二极管工作电压都是3V左右）。从发光二极管P区注入到N区的空穴和由N区注入到P区的电子，在PN结附近数微米区域内分别与N区的电子和P区的空穴复合，产生自发辐射的荧光。

一般发光管的反向击穿电压在5V左右，依各厂家及各种芯片的制程不同，其反向击穿电压值也不同。红、黄、黄绿等四元晶片反向电压可做到20~40V，蓝、纯绿、紫色等晶片反向电压只能做到5V左右。

③ 半导体材料的能带

半导体材料的结构，是原子之间以共价键构成的晶体。

• 共价键结构的晶体 在本征半导体材料中掺入3价元素（受主杂质）就会出现一个空穴，掺入5价元素（施主杂质）就会多出一个电子，前者为P型半导体（空穴导电），后者为N型半导体（电子导电）。本征材料晶体结构图如图1.8所示。

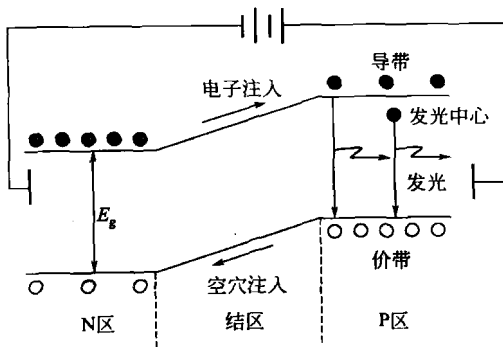


图 1.7 半导体能带和复合发光图

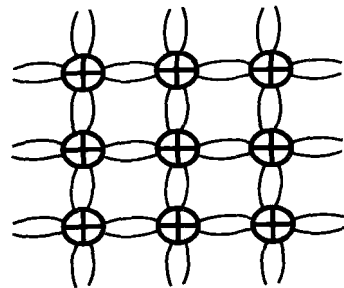


图 1.8 本征材料

• 晶体的能带 因为半导体材料中原子核外电子运动轨道与相邻原子共有化运动，即与相邻原子的轨道发生重叠现象，于是电子不属于某一个原子所占有，它甚至可以扩大到整个晶体中运动（类似金属中的电子），这样原子的能级就变成了能带。有的电子处在带顶，有的电子处在带底，有的电子处在带的中间。能带分为导带和价带。晶体能带图如图1.9所

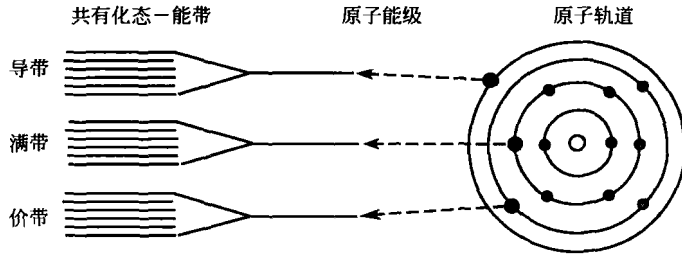


图 1.9 晶体能带图

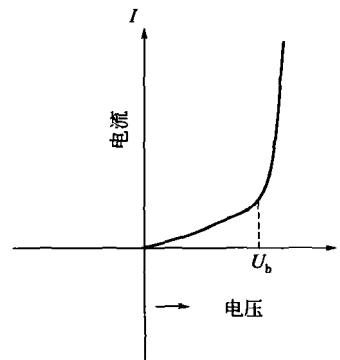
示。导带——原子空带中的跃迁电子形成的能带；价带——原子价电子层的电子形成的能带；满带——被电子填充满了的能带。

• 半导体直接带隙材料和间接带隙材料 不是所有的半导体材料都能发光，半导体材料分为直接带隙材料和间接带隙材料，只有直接带隙材料才能发光。

直接带隙材料 电子可在导带带底垂直跃迁到价带带顶，它在导带和价带中具有相同的动量，发光率高。

间接带隙材料 电子不能在导带带底垂直跃迁到价带带顶，它在导带和价带中的动量不相等，因此必须有另一粒子参与后使动量相等，这个粒子的能量为 E_p ，动量为 k_p 。这种间接带隙材料很难发光，即便能发光，效率也很低。发光波长为 $\lambda = \frac{1.24 \times 10^3}{E_g(\text{eV})}$ (nm)。二极管起始电压也就是 LED 电子跃迁的能量。二极管起始电压如图 1.10 所示。

电子在导带和价带中有相同的动量 k ，发光效率高。电子在导带和价带中动量 k 不相等，发光效率低，或不发光。用于发光的直接带隙材料有 GaAs、AlGaAs、InP、InGaAsP 等。直接带隙材料与间接带隙材料的跃迁动量图如图 1.11 所示。

图 1.10 二极管的起始电压 U_b

1.1.2 LED 的特点及常用性能指标

1.1.2.1 LED 的基本特点

LED 的内在特征决定了它是最理想的光源去代替传统的光源，它自身的优势使它有着

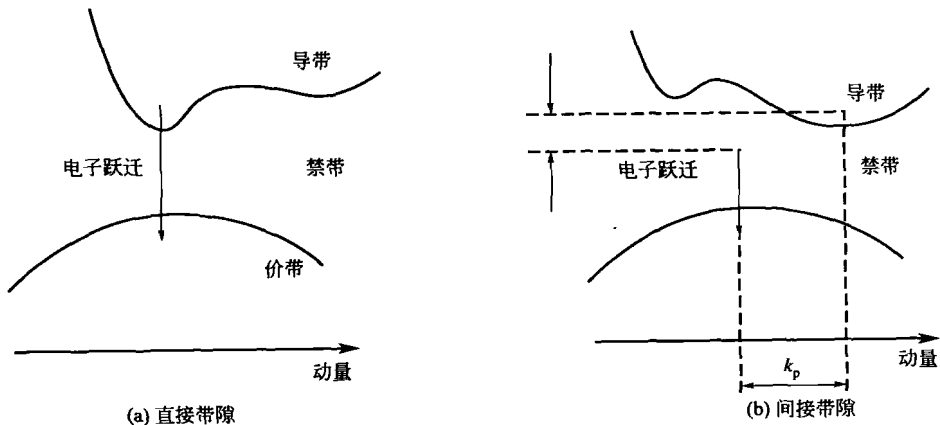


图 1.11 直接带隙材料与间接带隙材料的跃迁动量图



广泛的用途。

① 体积小、耗电量低、发光效率高。LED 是一块很小的晶片，被封装在环氧树脂里面，体积小，重量轻。LED 耗电非常低，一般来说 LED 的工作电压是 2~3.6V。工作电流是 0.02~0.03A，耗电不超过 0.1W。照明效率 70lm/W，今后将达到 200lm/W，超过所有照明光源。一个 10~12W 的 LED 光源发出的光能与一个 35~150W 的白炽灯发出的光能相当。同样照明效果 LED 比传统光源节能 80%~90%。

② 结构牢靠、使用寿命长。LED 利用固态半导体芯片将电能转化为光能，外加环氧树脂封装，可承受高强度机械冲击。在恰当的电流和电压下，LED 单管寿命 10 万小时，光源寿命在 2 万小时以上，按每天工作 12 小时，寿命也在 5 年以上。

③ 安全性高、环保。LED 光源使用低电压驱动，发光稳定，无污染，没有 50Hz 频闪，没有紫外线 B 波段，白色色温 5000K，最接近太阳色温 5500K。LED 是由无毒的材料做成，不像荧光灯含水银会造成污染，同时 LED 也可以回收再利用。

④ 光色多、快速响应。LED 可以选择白色或彩色光，红色、黄色、蓝色、绿色、黄绿色、橙红色等。发光管响应时间很短。采用专用电源给 LED 光源供电时，达到最大照度的时间小于 10ms。

1.1.2.2 LED 常用性能指标

LED 具备 PN 结型器件的电学特性 ($I-U$ 特性、 $C-U$ 特性)、光学特性 (光谱响应特性、发光光强指向特性、时间特性) 以及热学特性。

(1) LED 电学特性

$I-U$ 特性表征 LED 芯片 PN 结制备性能主要参数。LED 的 $I-U$ 特性具有非线性、整流性质 (单向导电性)，即外加正偏压表现为低接触电阻，反之为高接触电阻。

① LED 电参数 正向工作电流 I_F 、正向工作电压 U_F 、反向电压 U_R 、反向电流 I_R 。

② LED 极限参数 允许功耗 P_m 、正向极限电流 I_{Fm} 、反向极限电压 U_{Rm} 、工作环境温度 t_{opm} 。

③ LED 的伏安特性 LED 的伏安特性曲线如图 1.12 所示。

• 正向特性 正向截止区，正向电流很小，LED 呈现很大的电阻，不发光；正向工作

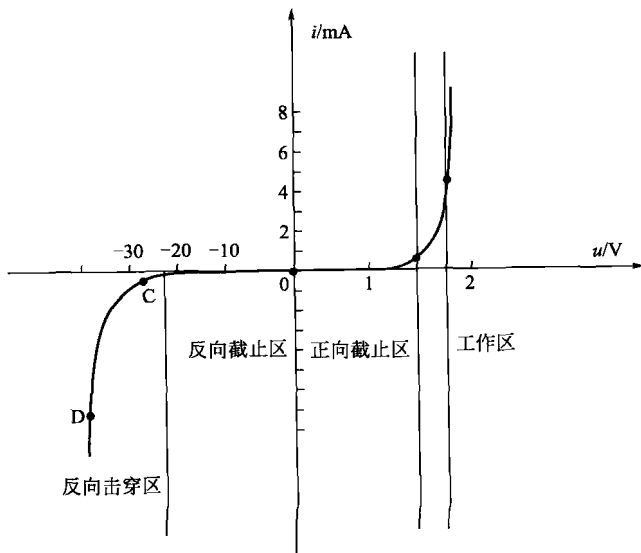


图 1.12 LED 的伏安特性曲线



区, LED 正向导通并发亮。

• 反向特性 反向截止区, LED 加上反向电压时, 呈现很大的电阻; 反向击穿区, 当反向电压增加某一数值时, 出现击穿现象。

(2) LED 光特性分析

发光二极管有红外(非可见)与可见光两个系列, 前者可用辐射度, 后者可用光度学来量度其光学特性。LED 光特性主要包括光通量和发光效率、辐射通量和辐射效率、光强和光强分布特性以及光谱参数等。从测量的角度看, 光通量的测试一般采用积分球法。在测得光通量之后, 配合电参数测试仪, 可以测得 LED 的发光效率。而辐射通量和辐射效率的测试方法类似于光通量和发光效率的测试。光强分布由探测器测试, 光谱功率特性可由光谱功率分布表示。

① 发光强度 发光强度(法向光强)是表征发光器件发光强弱的重要性能。LED 大量应用要求是圆柱、圆球封装, 由于凸透镜的作用, 故都具有很强的指向性: 位于法向方向光强最大, 其与水平面交角为 90° 。当偏离正法向不同 θ 角度, 光强也随之变化。发光强度随着不同封装形状而依赖角方向。

② 光通量 光通量 F 是表征 LED 总光输出的辐射能量, 它标志器件的性能优劣。 F 为 LED 向各个方向发光的能量之和, 它与工作电流直接有关。随着电流增加, LED 光通量随之增大。LED 的光通量单位为流明(lm)。

LED 向外辐射的功率——光通量, 与芯片材料、封装工艺水平及外加恒流源大小有关。目前单色 LED 的光通量最大约为 1lm, 白光 LED 的 $F \approx 1.5 \sim 1.8$ lm (小芯片), 对于 1mm \times 1mm 的功率级芯片制成白光 LED, 其 $F = 18$ lm。

③ 发光效率和视觉灵敏度 光效就是指每瓦电功率能发多少流明的光。通常来说, 光效越高越省电, 亦越节能。LED 理论上最大光效: 683lm/W; 白炽灯光效: 6~12lm/W; 荧灯光效: 60~100lm/W。

a. LED 效率有内部效率(PN 结附近由电能转化成光能的效率)与外部效率(辐射到外部的效率)。前者只是用来分析和评价芯片优劣的特性。LED 光电最重要的特性是辐射出光能量(发光量)与输入电能之比, 即发光效率。

b. 视觉灵敏度是使用照明与光度学中一些参量。人的视觉灵敏度在 $\lambda = 555$ nm 处有一个最大值 680lm/W。若视觉灵敏度记为 K_λ , 则发光能量 P 与可见光通量 F 之间关系为 $P =$

$$\int P_\lambda d\lambda; \text{总光通 } F = \int K_\lambda P_\lambda d\lambda.$$

c. 发光效率: 量子效率 $\eta =$ 发射的光子数/PN 结载流子数。

d. 流明效率: LED 的光通量 F /外加耗电功率 $W = K\eta P$ 。LED 的流明效率高, 指在同样外加电流下辐射可见光的能量较大, 故也叫可见光发光效率。品质优良的 LED 要求向外辐射的光能量大, 向外发出的光尽可能多, 即外部效率要高。事实上, LED 向外发光仅是内部发光的一部分。为了进一步提高外部出光效率, 可采取以下措施: 用折射率较高的透明材料(环氧树脂 $n = 1.55$ 并不理想)覆盖在芯片表面; 把芯片晶体表面加工成半球形; 用其他化合物半导体作衬底以减少晶体内部光吸收。有人曾经用低熔点玻璃[成分 As-S(Se)-Br(I)]且热塑性大的作封帽, 可使红外 GaAs、GaAsP、GaAlAs 的 LED 效率提高 4~6 倍。

④ LED 发光强度的角分布 发光强度的角分布 I_θ 是描述 LED 发光在空间各个方向上的光强分布。它主要取决于封装的工艺(包括支架、模粒头、环氧树脂中添加散射剂与否)。

a. 为获得高指向性的角分布, LED 管芯位置离模粒头远些; 使用圆锥状(子弹头)的



模粒头；封装的环氧树脂中勿加散射剂。采取这些措施可使 LED 大大提高指向性。

b. 当前几种常用封装的散射角，圆形 LED：5°、10°、30°、45°。

⑤ 发光峰值波长及其光谱分布

a. LED 发光强度或光功率输出随着波长变化而不同，绘成一条分布曲线——光谱分布曲线。当此曲线确定之后，器件的有关主波长、纯度等相关色度学参数亦随之而定。LED 的光谱分布与制备所用的化合物半导体种类、性质及 PN 结结构（外延层厚度、掺杂杂质）等有关，而与器件的几何形状、封装方式无关。

图 1.13 绘出几种由不同化合物半导体及掺杂制得 LED 的光谱响应曲线。

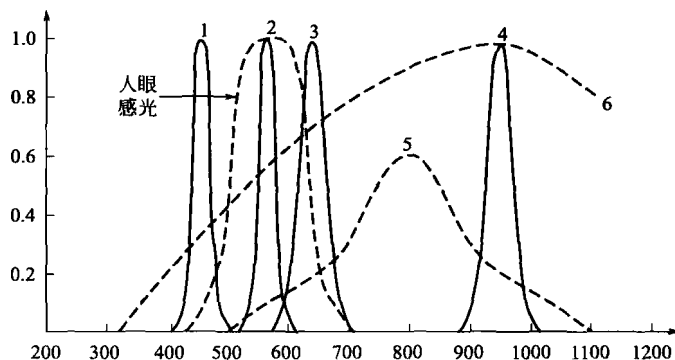


图 1.13 LED 光谱分布曲线

1—蓝光 InGaN/GaN；2—绿光 GaP：N；3—红光 GaP：Zn-O；
4—红外 GaAs；5—Si 光敏光电管；6—标准钨丝灯

图 1.13 中 1~6 分别是蓝色 InGaN/GaN 发光二极管，发光谱峰 $\lambda_p = 460 \sim 465 \text{nm}$ ；绿色 GaP：N 的 LED，发光谱峰 $\lambda_p = 550 \text{nm}$ ；红色 GaP：Zn-O 的 LED，发光谱峰 $\lambda_p = 680 \sim 700 \text{nm}$ ；红外 LED 使用 GaAs 材料，发光谱峰 $\lambda_p = 910 \text{nm}$ ；Si 光电二极管，通常作光电接收用。由图可见，无论什么材料制成的 LED，都有一个相对光强度最强处（光输出最大），与之相对应有一个波长，此波长叫峰值波长，用 λ_p 表示。只有单色光才有 λ_p 波长。

b. 谱线宽度。在 LED 谱线的峰值两侧 $\pm \Delta \lambda$ 处，存在两个光强等于峰值（最大光强度）一半的点，此两点分别对应 $\lambda_p - \Delta \lambda$ ， $\lambda_p + \Delta \lambda$ ，之间宽度叫谱线宽度，也称半功率宽度或半高宽度。半高宽度反映谱线宽窄，即 LED 单色性的参数，LED 半宽小于 40 nm。

c. 主波长。有的 LED 发光不单是单一色，即不仅有一个峰值波长，甚至有多个峰值，并非单色光。为此，描述 LED 色度特性引入主波长。主波长就是人眼所能观察到的，由 LED 发出的主要单色光的波长。单色性越好，则 λ_p 也就是主波长。

如 GaP 材料可发出多个峰值波长，而主波长只有一个，它会随着 LED 长期工作，结温升高而偏向长波。

⑥ 发光亮度 亮度是 LED 发光性能的又一重要参数，具有很强的方向性。其正法线方向的亮度 $BO = IO/A$ ，指定某方向上发光体表面亮度等于发光体表面上单位投射面积在单位立体角内所辐射的光通量，单位为 cd/m^2 或 Nit。

若光源表面是理想漫反射面，亮度 BO 与方向无关，为常数。晴朗的蓝天和荧光灯的表面亮度约为 $7000 \text{cd}/\text{m}^2$ ，从地面看太阳表面亮度约为 $14 \times 10^8 \text{cd}/\text{m}^2$ 。

LED 亮度与外加电流密度有关，一般的 LED， IO （电流密度）增加， BO 也近似增大。另外，亮度还与环境温度有关，环境温度升高，复合效率下降， BO 减小。当环境温度不变，电流增大足以引起 PN 结结温升高，温升后，亮度呈饱和状态。