

济南大学出版基金资助

LED 封装技术

苏永道 吉爱华 赵 超 编著
姜 琳 主审



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

济南大学出版基金资助

要 录 表

LED 封装技术

苏永道 吉爱华 赵超 编著
姜琳 主审

上海交通大学出版社

内 容 提 要

上海交通大学出版社

随着发光二极管(LED)制造工艺的进步,新材料的开发,各种颜色的超高亮度 LED 取得了突破性发展,LED 成为第四代光源已指日可待。本书介绍 LED 的基础知识,详细叙述了 LED 的原材料、封装制程、封装形式与技术、封装的配光基础、性能指标与测试,以及 LED 封装防静电的知识和行业标准等,本书可作为大学相关专业的教材,也可作为 LED 生产企业技术人员、管理人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

LED 封装技术/苏永道,吉爱华,赵超编著. —上海:
上海交通大学出版社,2010
ISBN 978 - 7 - 313 - 06641 - 1

I. ①L… II. ①苏…②吉…③赵… III. ①发光二
极管 - 封装工艺 IV. ①TN383.059.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 131521 号

LED 封装技术

苏永道 吉爱华 赵超 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 21 字数: 516 千字

2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 3030

ISBN 978 - 7 - 313 - 06641 - 1/TN 定价: 36.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

自从爱迪生发明了灯泡之后,人类就进入了用电进行照明的新时代。而在白炽灯发明近100年后,人类又迎来了照明史上的又一次革命,而引领这次革命的正是LED的发明。LED具有高效低耗、绿色环保、响应快、寿命长等优点,其对照明产业带来的冲击胜过当年白炽灯的发明。

第一只LED由通用电气公司的研究人员于1962年发明,是一种能够产生低亮度红光的低功耗器件,但在当时价格较高。1968年,LED价格瓶颈被打破,美国孟山都公司和惠普公司开始使用性价比高的砷化镓磷化物大批量生产红色LED。这种红色LED最初大量用于替代白炽灯和氖管指示灯,随后很快又用于数码显示器。现在的LED产品系列可以提供宽泛的颜色选择空间,单个器件还可以具有多种颜色、亮度和功耗等级,并且可以提供各种独特的封装类型。除了常见的可见光LED之外,还有许许多多、各种各样的LED器件能够发出红外线、紫外线的一系列不可见光。

LED器件类型的快速发展通常都会导致革命性的应用。可见光LED不再只是用作指示灯,也用于代替几乎所有照明和标识性应用中的白炽灯和荧光灯。近年来由于LED材料科技的突飞猛进,使得LED亮度不断升高、多彩化及价格降低,故其应用领域也愈来愈广。

除了单个器件外,其他通用LED还包括数码显示器、双色和三色LED、红绿蓝LED和闪光LED。这些LED产品的一个显著优点是寿命长,一般可以达到5万小时以上。大功率LED的亮度可以达到105 lm/W以上,LED通过精心的系统设计,可以提供与3000 K、75 W等级,相当于BR-30灯泡的光线输出,功耗比白炽灯低78%。2009年12月Cree公司的LED就达到了186 lm/W,2010年1月Cree公司又突破了208 lm/W。目前,在芯片制作和封装技术上科学工作者们正在朝着白光电光当量的360 lm/W冲刺。

在光谱的另外两端,人们研制出了一系列红外和紫外线LED。红外LED具有850 nm、880 nm和940 nm等多种波长,采用工业标准基座和多种发光角度,可以在完全黑暗的环境中实现图像捕获,这种LED灯可以抵御环境光线和电磁干扰。紫外LED具有385 nm、405 nm和415 nm等多种波长,与其他类似器件相比,这种LED寿命长10倍,并且提供更严格的光束角度、更高的耐用性和更低的成本。紫外LED应用包括医疗卫生杀菌、泄漏和生物危害检测控制、赝品检测和体液流动分析辨析以及荧光墨水等。

进入21世纪后,LED的高效化、超高亮度化、全色化不断发展创新。LED芯片和封装不

再沿袭传统的设计理念与制造生产模式,在增加芯片的光输出方面,研发不再局限于改变材料内杂质数量、晶格缺陷和位错来提高内部效率,改善管芯及封装内部结构,增强 LED 内部产生光子出射几率,提高光效、解决散热、取光和热沉优化设计、改进光学性能,加速表面贴 SMD 进程,已是业界研发的主流方向,也是封装研究的热点。近年来业界已很好地解决了 SMD 封装的亮度、视角、平整度、可靠性、一致性问题,采用更轻的 PCB 板和反射层材料,去除较重的碳钢材料引脚,通过缩小尺寸、降低重量使产品更趋完善。SMD 封装更加适合户内、户外全彩显示屏应用。

LED 产业在中国快速走热,仅 2009 年上半年,全国各地纷纷上马 LED 项目总投资预算已超过 200 亿元。2010 年,政府将 LED 产业列为国家十大重点发展产业之一,由此导致中国 LED 产业化进程发展到一个新的拐点:产业园遍地开花;民间资本蜂拥而入,LED 企业逆流上市;技术研究成果层出不穷;企业投入和营收环比成倍增长。随着国内外 LED 芯片企业在产业核心区域的强势布局,封装企业在背光应用的带动下,在规模和技术上将会有重大突破。同时,LED 应用企业深入照明细分领域,室外室内照明齐头并进。传统照明向第四代光源 LED 照明的转移,加快了整个照明迈向高效节能、绿色环保的步伐。

虽然 LED 产业在我国欣欣向荣,大有一朝春来腾长空之势,但不可否认的是,相比于国外发达国家,我国的 LED 产业还处在初期发展阶段,市场 LED 产业化过程会有专业化、良率、技术、人才、专利、投资、渠道、标准、成本、政策诸多问题。尽管这些问题通过企业自身的努力大部分会逐步得到解决,但还需要政府部门、民间组织、企业、科研单位、专家学者以及热爱 LED 的朋友结成伙伴关系密切合作,尤其希望学校能够尽快开设 LED 技术专业课程,为国家培养出一批一流的 LED 封装技术人才。人才是振兴 LED 民族产业之本。

在 LED 技术人才的培养中,LED 封装技术应是重中之重。LED 封装的功能主要是:机械保护,以提高可靠性;加强散热,以降低芯片结温,提高 LED 性能;光学控制,提高出光效率,优化光束分布等。LED 封装方法、材料、结构和工艺的选择主要由芯片结构、光电/机械特性、具体应用和成本等因素决定。经过 40 多年的发展,LED 封装先后经历了支架式(lamp-LED)、贴片式(SMD-LED)、功率型 LED(Power-LED)等发展阶段,随着芯片功率的增大,特别是固态照明技术发展的需求,对 LED 封装的光学、热学、电学和机械结构等提出了新的、更高的要求。在各种封装技术中,大功率 LED 封装由于结构和工艺复杂,并直接影响到 LED 的使用性能和寿命,一直是近年来的研究热点。为了有效地降低封装热阻,提高出光效率,必须采用全新的技术思路来进行封装设计。

LED 产业的发展离不开专业人才的培养,而人才培养的一个首要环节是,编写出具有国际先进水平的高质量教材。本书正是顺应 LED 封装技术人才培养的急需而编写的。本书侧重封装技术,并在内容上进行了精心布局,分别涉及小功率 LED 封装、大功率 LED 封装、白光 LED 封装、贴片 LED 封装、多片 LED 集成封装,以及近两年出现的新技术封装和先进的印刷

技术的封装制程、细部流程及所需封装材料。书中 LED 工艺详实具体,通俗易懂,除作 LED 封装技术的专用教材之外,还可作为 LED 封装员工的培训教材,同时也是 LED 研发工程师的必备参考书。

本书由济南大学苏永道教授执笔编著,吉爱华高工最后定稿。吉爱华高工为我国几十家 LED 企业筹建生产线,目睹了中国近三十年的照明产业发展历程,参观了上千家 LED 企业,并与多家企业的研发、技术、工艺、生产负责人进行过探讨。他把多年来建设 LED 封装生产线的实践经验以及国内外新技术、新工艺等集中起来,为本书的形成提供了宝贵的第一手资料。山东宇科同茂新能源技术有限公司的赵超高工参与了部分章节的编写,张鹏工程师为本书提供了部分实验数据。济南大学李学磊同学绘制了部分插图,用 C++ 语言编写了模拟 LED 光学特性的 MFC 程序。本书在编写过程中还得到了有关各方的大力支持,山东魏仕照明科技有限公司魏波董事长、张在忠总经理无偿地赠送给济南大学理学院一条 LED 手动封装生产线;济南大学理学院宋朋博士为编著此书提供了各种测试设备;山东科技大学理学院姜琳教授受托校对了全部书稿,并提出了许多宝贵修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

因作者水平有限,加之编著时间仓促,疏漏乃至错误在所难免,望读者不吝指教。

作者

2010 年 7 月 于济南大学

目 录

第 1 章 LED 的基础知识	1
1.1 LED 的特点	1
1.2 LED 的发光原理	2
1.2.1 LED 简述	2
1.2.2 LED 的基本特性	2
1.2.3 LED 的发光原理	3
1.3 LED 系列产品介绍	7
1.3.1 LED 产业分工	7
1.3.2 LED 封装分类	8
1.4 LED 的发展史和前景分析	9
1.4.1 LED 的发展史	9
1.4.2 可见光 LED 的发展趋势和前景	12
1.4.3 LED 的应用	14
1.4.4 全球光源市场的发展动向	17
第 2 章 LED 的封装原物料	19
2.1 LED 芯片结构	19
2.1.1 LED 单电极芯片	20
2.1.2 LED 双电极芯片	20
2.1.3 LED 晶粒种类简介	21
2.1.4 LED 衬底材料的种类	21
2.1.5 LED 芯片的制作流程	23
2.1.6 制作 LED 垒芯片方法的比较	24
2.1.7 常用芯片简图	25
2.2 lamp-LED 支架介绍	27
2.2.1 lamp-LED 支架结构与相关尺寸	27
2.2.2 常用支架外观图集	29
2.2.3 LED 支架进料检验内容	32
2.3 LED 模条介绍	33
2.3.1 模条的作用与模条简图	33
2.3.2 模条结构说明	34
2.3.3 模条尺寸	34

2.3.4	开模注意事项	35
2.3.5	LED 封装成形	35
2.3.6	模条进料检验内容	36
2.4	银胶和绝缘胶	36
2.4.1	银胶和绝缘胶的包装	37
2.4.2	银胶和绝缘胶成分	37
2.4.3	银胶和绝缘胶作业条件	37
2.4.4	操作标准及注意事项	38
2.4.5	银胶及绝缘胶烘烤注意事项	38
2.4.6	银胶与绝缘胶的区别	39
2.5	焊接线—金线和铝线	39
2.5.1	金线和铝线图样和简介	39
2.5.2	经常使用的焊线规格	40
2.5.3	金线应用相关知识	40
2.5.4	金线的相关特性	41
2.5.5	金线制造商检测金线的几种方法	42
2.5.6	LED 封装厂家检验金线的方法	43
2.6	封装胶水	43
2.6.1	LED 封装经常使用的胶水型号	43
2.6.2	胶水相关知识	44
第 3 章 LED 的封装制程		53
3.1	LED 封装流程简介	54
3.1.1	LED 封装整体流程	54
3.1.2	手动 lamp-LED 封装线流程	55
3.1.3	手动固晶站流程	58
3.2	焊线站制程	69
3.2.1	焊线站总流程	69
3.2.2	焊线站细部流程	70
3.3	灌胶站制程	77
3.3.1	灌胶站总流程	77
3.3.2	灌胶站细部流程	78
3.4	测试站制程	94
3.4.1	测试站总流程	94
3.4.2	测试站细部流程	94
3.5	LED 封装制程指导书	98
3.5.1	T/B 机操作指导书	98
3.5.2	AM 机操作指导书	99
3.5.3	模具定期保养作业指导书	100

3.5.4	排测机操作指导书	101
3.5.5	电子秤操作指导书	101
3.5.6	搅拌机操作指导书	102
3.5.7	真空机操作指导书	103
3.5.8	封口机操作指导书	104
3.5.9	AM 自动固晶机参数范围作业指导书(一)	104
3.5.10	AB 自动焊线机参数范围作业指导书	105
3.5.11	扩晶机操作指导书	106
3.5.12	AM 自动固晶机易耗品定期更换作业指导书	107
3.5.13	瓷嘴检验作业指导书	107
3.5.14	自动焊线操作指导书	108
3.5.15	自动固晶操作指导书	108
3.5.16	手动焊线机操作指导书	110
3.5.17	AM 自动固晶机参数范围作业指导书(二)	112
3.5.18	AM 自动固晶机参数范围作业指导书(三)	112
3.6	金线(或铝线)的正确使用	113
3.6.1	正确取出金线(或铝线)和 AL-4 卷轴的方法与步骤	114
3.6.2	正确保存剩余金线(或铝线)和 AL-4 卷轴的方法与步骤	115
第 4 章	LED 的封装形式	117
4.1	LED 常见分类	117
4.1.1	根据发光管发光颜色分类	117
4.1.2	根据发光管出光面特征分类	117
4.1.3	根据发光二极管的结构分类	117
4.1.4	根据发光强度和工作电流分类	117
4.2	LED 封装形式简述	118
4.2.1	为什么要对 LED 进行封装	118
4.2.2	LED 封装形式	119
4.3	几种常用 LED 的典型封装形式	121
4.3.1	lamp(引脚)式封装	121
4.3.2	平面封装	124
4.3.3	贴片式(SMD)封装	127
4.3.4	食人鱼封装	129
4.3.5	功率型封装	131
4.4	几种前沿领域的 LED 封装形式	132
4.4.1	高亮度、低衰减、完美配光的红绿蓝直插式椭圆封装	132
4.4.2	高防护等级的户外型 SMD	133
4.4.3	广色域、低衰减、高色温稳定性白色 SMD	133

第 5 章 大功率和白光 LED 封装技术	135
5.1 大功率 LED 封装技术	135
5.1.1 大功率 LED 和普通 LED 技术工艺上的不同	135
5.1.2 大功率 LED 封装的关键技术	136
5.1.3 大功率 LED 封装工艺流程	143
5.1.4 大功率 LED 的晶片装架	144
5.1.5 大功率 LED 的封装固晶	144
5.1.6 提高 LED 固晶品质六大步骤	151
5.1.7 大功率 LED 的封装焊线	152
5.1.8 大功率 LED 封装的未来	156
5.2 大功率 LED 装架、点胶、固晶操作规范工艺卡	159
5.3 白光 LED 封装技术	173
5.3.1 白光 LED 光效飞跃的历程和电光转换效率极限	174
5.3.2 白光 LED 发光原理及技术指标	177
5.3.3 白光 LED 的工艺流程和制作方法	182
5.3.4 大功率白光 LED 的制作	187
5.3.5 白光 LED 的可靠性及使用寿命	190
5.4 大功率和白光 LED 封装材料	192
5.4.1 大功率 LED 支架	192
5.4.2 大功率 LED 散热基板	196
5.4.3 大功率 LED 封装用硅胶	204
5.4.4 大功率芯片	208
5.4.5 白光 LED 荧光粉	210
第 6 章 LED 封装的配光基础	221
6.1 封装配光的几何光学法	221
6.1.1 由折射定律确定 LED 芯片的出光率	221
6.1.2 由几何光学建立 LED 光学模型	225
6.1.3 用光学追迹软件 TracePro 进行计算分析	226
6.2 基于蒙特卡罗 (Monte Carlo) 模拟方法的配光设计*	229
6.2.1 蒙特卡罗方法概述	229
6.2.2 LED 封装前光学模型的建立	230
6.2.3 蒙特卡罗方法的计算机求解过程	232
6.2.4 模拟结果的数值统计和表现	237
6.2.5 LED 封装光学结构的 MC 模拟	238
第 7 章 LED 的性能指标和测试	246
7.1 LED 的电学指标	246
7.1.1 LED 的正向电流 I_F	246

7.1.2	LED 正向电压 V_F	247
7.1.3	LED 电压与相关电性参数的关系	247
7.1.4	反向电压和反向电流的单位和大小	250
7.1.5	电学参数测量	250
7.2	LED 光学特性参数	251
7.2.1	发光角度	251
7.2.2	发光角度测量	251
7.2.3	发光强度 I_v	251
7.2.4	波长(WL)	255
7.3	色度学和 LED 相关色参数	257
7.3.1	CIE 标准色度学系统简介	257
7.3.2	显色指数 CRI	262
7.3.3	色温	262
7.3.4	国际标准色度图	264
7.3.5	什么是 CIE 1931	264
7.3.6	CIE 1931 XY 表色方法	266
7.4	用光色电参数综合测试仪检测 LED	267
7.4.1	光色电参数综合测试仪说明	267
7.4.2	光色电参数综合测试仪的主要原理	268
7.4.3	光色电参数综合测试仪的软件	269
7.5	LED 主要参数的测量	269
7.5.1	LED 光度学测量	269
7.5.2	LED 色度学测量	273
7.5.3	LED 电参数测量	273
第 8 章 LED 封装防静电知识		276
8.1	静电基础知识	276
8.1.1	静电基本概念	276
8.1.2	静电产生原因	277
8.1.3	人体所产生的静电	279
8.1.4	工作场所产生的静电	280
8.2	静电的检测方法与标准	283
8.2.1	静电检测的主要参数	283
8.2.2	静电的检测方法	284
8.3	如何做好防静电措施	287
8.3.1	静电控制系统	287
8.3.2	人体静电的控制	287
8.3.3	针对 LED 控制静电的方法	288
8.3.4	防静电标准工作台和工作椅	289

8.3.5 中华人民共和国电子行业防静电标准	291
附录	292
附录 A LED 晶片特性表	292
附录 B 中国大陆 LED 芯片企业大全	293
附录 C 国内外现有 LED 测试标准一览表	295
附录 D ASM-Eagle60 和 k&s1488 机型焊线工艺规范	297
附录 E LED 部分生产设备保养和材料检验标准参考表	303
参考文献	319

第 1 章 LED 的基础知识

1.1 LED 的特点

利用半导体 pn 结作为发光源的二极管(LED)问世于 20 世纪 60 年代初,1964 年首先出现红色 LED,之后出现黄色 LED。直到 1994 年蓝色、绿色 LED 才研制成功。1996 年由日本 Nichia 公司(日亚)成功开发出白色 LED。

LED 以其固有的特点,如省电、寿命长、耐震动,响应速度快、冷光源等特点,广泛应用于指示灯、信号灯、显示屏、景观照明等领域,在我们的日常生活中处处可见,例如家用电器、电话机、仪表照明、汽车防雾灯、交通信号灯等。但由于其亮度差、价格昂贵等条件的限制,无法作为通用光源推广应用。

近几年来,随着人们对半导体发光材料研究的不断深入,LED 制造工艺的不断进步和新材料(氮化物晶体和荧光粉)的开发和应用,各种颜色的超高亮度 LED 取得了突破性进展,其发光效率提高了近 1 000 倍,色度方面已实现了可见光波段的所有颜色,其中最重要的是超高亮度白光 LED 的出现,使 LED 应用领域跨越至高效率照明光源市场成为可能。曾经有人断言,高亮度 LED 将是人类继爱迪生发明白炽灯泡后最伟大的发明之一,LED 将成为第四代照明光源。

LED 的基本特征是:

1. 发光效率高

LED 经过几十年的技术改良,其发光效率有了较大的提升。白炽灯、卤钨灯光效为 12~24 lm/W,荧光灯为 50~70 lm/W,钠灯为 90~140 lm/W,大部分的耗电变成热量损耗。LED 光效经改良后将达到 50~200 lm/W,而且其光的单色性好、光谱窄,无需过滤可直接发出有色可见光。目前,世界各国正加紧提高 LED 光效方面的研究,在不久的将来其发光效率将有更大的提高。

2. 耗电量少

小功率 LED 单管功率为 0.03~0.06 W,采用直流驱动,单管驱动电压 1.5~3.5 V,电流 15~20 mA,反应速度快,可在高频操作。同样照明效果的前提下,耗电量是白炽灯泡的八分之一,荧光灯管的二分之一。日本估计,如采用光效比荧光灯还要高两倍的 LED 替代日本一半的白炽灯和荧光灯,相当于每年可节约 60 亿升原油。就桥梁护栏灯为例,同样效果的一支日光灯 40 多瓦,而采用 LED 每支的功率只有 8 W,而且可以变换七彩颜色。

3. 使用寿命长

采用电子光场辐射发光,灯丝具有发光易烧、热沉积、光衰减等缺点。而 LED 灯体积小、重量轻,环氧树脂封装,可承受高强度机械冲击和震动,不易破碎。LED 灯具使用寿命可达 5~10 年,可以大大降低灯具的维护费用,避免经常换灯之苦。

4. 安全可靠性强

发热量低,无热辐射,冷光源,可以精确控制光型及发光角度,光色柔和,无眩光;不含汞、钠元素等可能危害健康的物质。内置微处理系统可以控制发光强度,调整发光方式,实现光与艺术结合。

5. 有利于环保

LED 为全固体发光体,耐震、耐冲击、不易破碎;废弃物可回收,没有污染;光源体积小,可以随意组合,易开发成轻便、薄短的小型照明产品,也便于安装和维护。

节能是考虑使用 LED 光源的最主要原因。目前虽然 LED 光源要比传统光源昂贵,但只需使用一年时间,从节能成本上就能收回光源的投资,从而获得 4~9 年中每年几倍的节能净收益期。且随着 LED 生产工艺水平的改进和大规模生产,价格将会很快达到人们能接受的程度。

1.2 LED 的发光原理

1.2.1 LED 简述

LED(Light Emitting Diode)是发光二极管的英文简写,是自发辐射的发光器件,可以发射紫外光、可见光及红外光。其发光原理是电激发光,在 p 型和 n 型半导体的体接触面,即在 pn 结上加正向(顺向)电流后,自由价电子与空穴复合而将电能转变为可见辐射能,如图 1.1 所示。



图 1.1 LED 结构示意图

LED 常被用于电子仪器的指示灯,室内或室外显示屏及可见光照明光源,而红外线 LED 常用于光传感、夜视照明、红外线传输和光纤通信等。

1.2.2 LED 的基本特性

LED 的基本特性如表 1.1 所示。

表 1.1 LED 的特性表

序号	特 性	说 明
1	构造坚固,不易破损	经环氧树脂封装,经高温烘烤,硬度极高
2	信赖度好,使用寿命长	电子与空穴结合发光,不易发热,故寿命长
3	操作电流及电压低,消耗功率小,省电	由电转换成光之效率高,故耗电量极低
4	反应速度快,传导性好,容易配合高频驱动	放电性发光,点亮、关灯速度快
5	体积小	可根据客户不同需求采用不同模条封装,甚至可成形极小表面型、薄型及轻量化之产品
6	可回收,产品符合环保要求	产品不易碎,故对环境不会造成影响
7	可选择多种不同的颜色及外观	可配合多种不同色剂并按不同比例调配颜色

1.2.3 LED 的发光原理

1.2.3.1 认识发光二极管(LED)

1. LED 在电子线路中的符号

发光二极管在电子线路中的电路符号如图 1.2 所示。用于发光的二极管,在直流供电时,都是正向接到线路中,即 p 极接电源正极, n 极接电源负极。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。

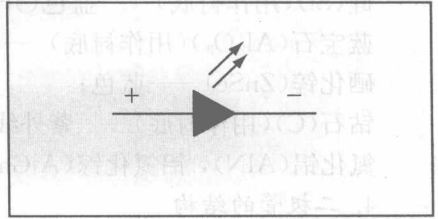


图 1.2 LED 的电路符号图

2. 半导体 pn 结和发光原理

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,其核心是 pn 结。因此,它具有一般 pn 结的 $V-I$ (伏安)特性,即正向导通、反向截止和击穿特性。

当给发光二极管加上正向电压后(p 极加正电压, n 极加负电压),普通硅二极管正向电压大于 0.6 V 时,锗二极管正向工作电压大于 0.3 V 时,而发光二极管正向工作电压 V_F 大于 1.5~3.8 V (V_F 由半导体材料决定。大部分红光和黄光的发光二极管的工作电压是 2 V 左右,其他颜色的发光二极管工作电压都是 3 V 左右),则从发光二极管 p 区注入 n 区的空穴和由 n 区注入 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,如图 1.3 所示(图中 E_g 为禁带宽度)。不同的半导体材料中电子和空穴所处的能量状态不同。当电子和空穴复合时释放出的光子能量大小不同,释放的光子能量越大,则发出的光波长越短。常用的是发红光、绿光、蓝光和黄光的二极管。若在二极管两端加反向电压(p 极负电压, n 极加正电压),其电流很小,几乎为零,称为反向漏电流。但所加反向电压超过耐压值时,便有很大的反向电流,此电压称为二极管的反向击穿电压,在无限流措施时便会损坏二极管。一般发光管的反向击穿电压在 5 V 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 20~40 V,蓝、纯绿、紫色等晶片反向电压只能做到 5 V 左右。

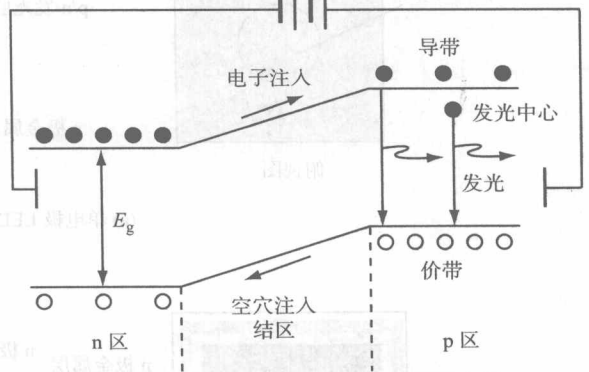


图 1.3 半导体能带和复合发光

3. 无机半导体材料发光二极管及发光颜色

下面是部分无机半导体材料及其对应的发光颜色:

铝砷化镓 (AlGaAs)——红色及红外线;

铝磷化镓 (AlGaP)——绿色;

磷化铟镓铝 (AlGaInP)——高亮度的橘红色、橙色、黄色、黄绿色;

磷砷化镓 (GaAsP)——红色、橘红色、黄色;

- 磷化镓(GaP)——红色、黄色、绿色;
- 氮化镓(GaN)——绿色、翠绿色、蓝色;
- 镓氮化镓(InGaN)——近紫外线、蓝绿色、蓝色;
- 碳化硅(SiC)(用作衬底)——蓝色;
- 硅(Si)(用作衬底)——蓝色(开发中);
- 蓝宝石(Al_2O_3)(用作衬底)——蓝色;
- 硒化锌(ZnSe)——蓝色;
- 钻石(C)(用作衬底)——紫外线;
- 氮化铝(AlN), 铝氮化镓(AlGaIn)——波长为远、近紫外线。

4. 二极管的结构

图 1.4 (a)、(b)分别为单电极和双电极 LED 的基本构造。以图 1.4(a)单电极为例, 结晶基板依次生长 n 型及 p 型层(当结晶基板为 p 型时, 则依次生长 p 型及 n 型层), 晶体的上下方并镀上一层金属层, 焊接引线, 分别加入负电压及正电压于 n 型、p 型结晶基板, 形成 pn 结面后, 导入电子和空穴于半导体中而形成正向电流, 从而在 pn 结区域发光。

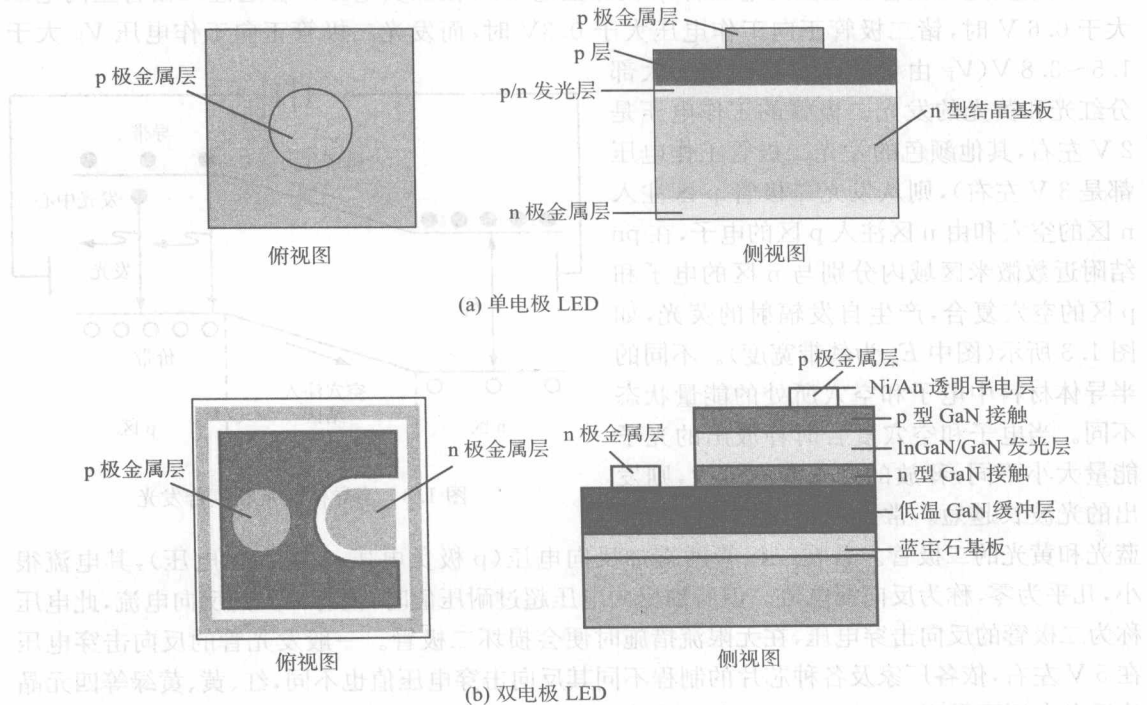


图 1.4 LED 基本构造

1.2.3.2 半导体材料的能带和 LED 的发光条件

1. 半导体的能带

在结晶基板上连续生长半导体 n 型及 p 型层后, 即形成 pn 结, 当 p 型及 n 型层接触时, 即形成不加电压和加正向电压的能带图及费米能级, 如图 1.5 所示。

图 1.5 中, 竖直方向表示能量, 对电子而言, 愈往上表示能量愈高, 对空穴而言, 愈往下表

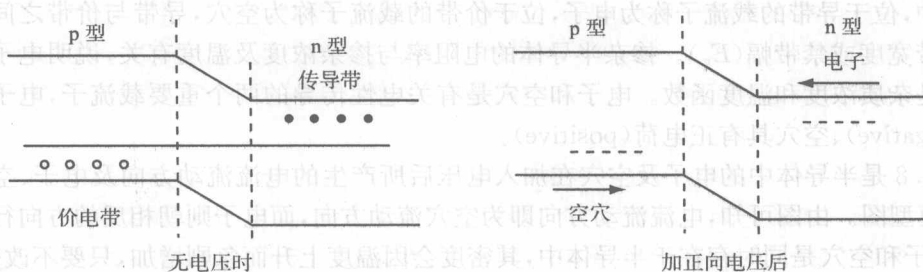


图 1.5 二极管的能带图和费米能级图

示能量愈高。因此,电子要从 n 型领域进入 p 型领域(或空穴要从 p 型领域进入 n 型领域时),必须先越过障碍。而与此障碍之“高度”相当的,就是二极管的起始电压 V_b (built in voltage)——正向压降,如图 1.6 所示。

当正负电压分别加入 pn 结面之 p 型层及 n 型层时,电压超过 V_b , 电流随即急速增加,这表示电子、空穴已越过障碍,分别向 p 区及 n 区移动,这种现象又称为“少数载流子注入”。亦即, p 区由于空穴是多数载流子,因此,当电子进入时,称为少数载流子注入。同样的,注入 n 型领域的是空穴,也称为少数载流子注入。

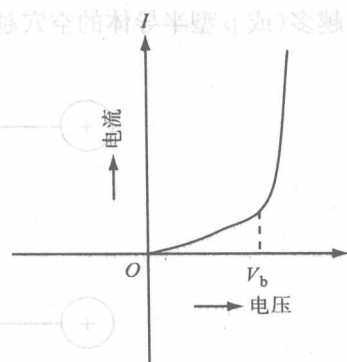


图 1.6 二极管的起始电压 V_b

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,发光效率高。

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,因此发光效率很低,如半导体材料硅(Si)和锗(Ge)。

图 1.7 是半导体直接带隙材料,它说明了半导体电阻率的产生方式,并附有各项专有名词

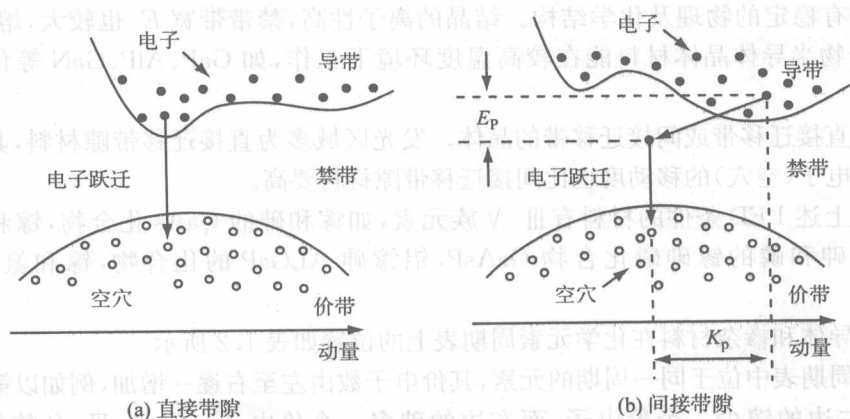


图 1.7 半导体直接和间接带隙材料图