

LED/OLED
技术与应用丛书



LED照明

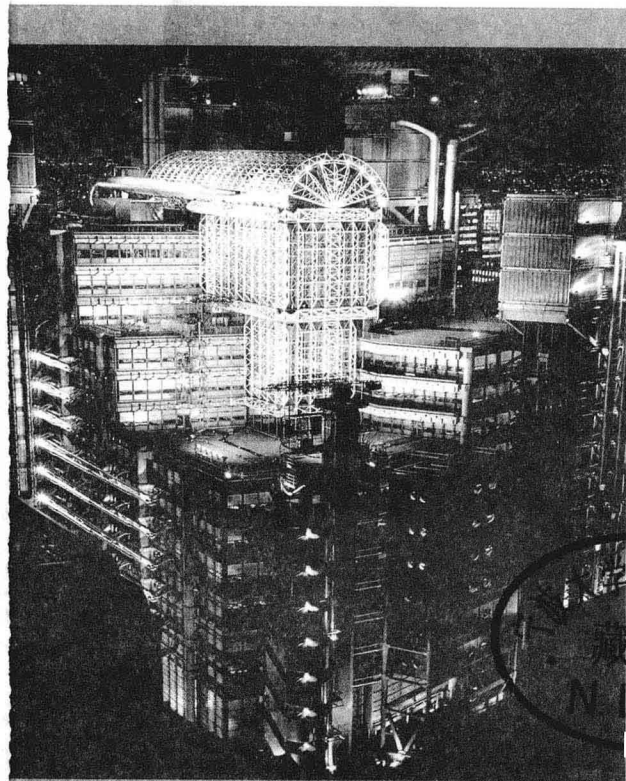
驱动电源 与灯具设计

毛兴武 毛涵月 王佳宁 祝大卫 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

LED/OLED
技术与应用丛书



LED照明

驱动电源 与灯具设计

毛兴武 毛涵月 王佳宁 祝大卫 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

LED照明驱动电源与灯具设计 / 毛兴武等编著. --
北京 : 人民邮电出版社, 2011. 5
(LED/OLED技术与应用丛书)
ISBN 978-7-115-24812-1

I. ①L… II. ①毛… III. ①发光二极管—照明—设计 IV. ①TN383

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第008283号

内 容 提 要

本书结合目前国内外 LED 技术发展和在普通照明及公共照明方面的初步应用情况, 重点介绍了普通照明用 LED 的离线式驱动电源及 LED 灯具设计。全书共分 7 章, 全面系统地介绍了当前国内外 LED 技术与产业发展状况、LED 普通照明解决方案、普通照明用 LED 离线式驱动电路、LED 照明用离线式电源的功率因数校正 (PFC) 电路、可调光 LED 照明用电源电路、LED 路灯及隧道灯技术以及智能照明和无线照明控制技术。

本书所涵盖的内容广泛, 资料翔实, 图文并茂, 具有较强的系统性、实用性、指导性和前瞻性, 适合于从事 LED 照明的工程技术人员阅读, 也可作为高等院校相关专业的参考书。

LED/OLED 技术与应用丛书

LED 照明驱动电源与灯具设计

◆ 编 著 毛兴武 毛涵月 王佳宁 祝大卫
责任编辑 韦 毅 刘 朋

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
中国铁道出版社印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 23

字数: 574 千字

印数: 1—4 000 册

2011 年 5 月第 1 版

2011 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-24812-1

定价: 55.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



前 言

自 2006 年以来,我国陆续出版了一些关于 LED 的专著,但这些书籍涉及 LED 普通照明的内容甚少。人民邮电出版社在 2008 年 8 月出版了我们编写的《新一代绿色光源 LED 及其应用技术》一书,该书得到广大读者的认可,自出版以来,已先后印刷多次。虽然该书介绍 LED 照明的内容接近 3 章,但这方面的内容已不能反映当前 LED 的发展及其应用的现状。事实上,在近几年中,LED 的发展及其应用远超出人们先前的预期,现在 LED 已开始步入普通照明和公共照明领域。针对这一情况,我们编写了本书,专门介绍普通照明用 LED 所涉及的相关技术。

目前世界经济正开始全面向低碳时代转型。低碳是指较低或更低的温室气体排放。低碳经济以低消耗、低排放和低污染为特征。低碳意味着更少的能源消耗、更绿色和谐的生产与生活方式。由于 LED 是省电和环保的,因此是一种低碳型的绿色光源。大力推行半导体照明,是发展低碳经济的必然要求。

我国政府大力支持并积极推进 LED 照明产业的发展。我国在 2003 年正式启动了“国家半导体照明工程”,2008 年 12 月启动了“十城万盏”计划,2009 年 10 月国务院、发展和改革委员会等六部委联合下发了《半导体照明节能产业发展意见》,使我国半导体照明产业快速成长。在 LED 道路照明应用方面,我国已走在世界前列。LED 在北京奥运会、上海世博会及广州亚运会上的出色表现,对推行半导体照明起到示范和表率作用。在举世瞩目的 2008 年北京奥运会上,LED 的广泛应用,充分展示了 LED 的高端应用成果及其美好的发展前景;2010 年的上海世博会是继 2008 年北京奥运会之后在我国举办的又一个国际盛会,LED 照明让上海世博会更加绚丽多彩,衬托出“绿色世博”的理念和“城市,让生活更美好”的主题;LED 在 2010 年 11 月举办的广州亚运会上再次登场亮相,显示出 LED 照明的无穷魅力及其光辉未来。

由于政府的推动、法规政策的引导、LED 技术上的进步及 LED 成本的不断降低,LED 光源已开始向普通照明领域渗透。LED MR16 射灯、LED 灯泡、LED 台灯、LED 日光灯、LED 路灯和 LED 隧道灯已经进入到一部分住宅、工厂以及城市道路及公路隧道照明市场。在 5 年前,人们预计 LED 进入主流照明市场至少是在 2030 年乃至 2040 年之后的事情,现在看来 LED 进入普通照明和公共照明领域的时间比先前的预期大为提前。针对这一情况,我们编写了本书。

在本书编写过程中,我们力求内容上的先进性、新颖性、实用性和前瞻性并举,以使广大读者从中受益。

限于时间仓促,编写人员水平有限,本书难免存在欠缺、不当或错误之处,恳请读者批评斧正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 LED 的发光机理及其基本特性	1
1.1.1 LED 的发光机理	1
1.1.2 LED 的基本结构	2
1.1.3 LED 的主要特性及参数	3
1.2 照明用大功率白光 LED	5
1.2.1 LED 白光产生方法	6
1.2.2 大功率白光 LED 的基本结构	6
1.2.3 几种大功率白光 LED	9
1.3 交流 (AC) 市电电源直接驱动的 “AC LED”	15
1.3.1 AC LED 的发明颠覆了传统应用方案	15
1.3.2 AC LED 的工作原理	16
1.3.3 AC LED 的封装及其特性	17
1.3.4 AC LED 的应用	22
1.3.5 AC LED 的新发展	23
1.4 白光 OLED 固态照明光源	24
1.4.1 OLED 的基本结构与发光原理	24
1.4.2 白光 OLED 的制备方法	25
1.4.3 白光 OLED 的特点及其应用于照明的前景	26
1.5 低碳经济给半导体照明带来无限商机和光明的未来	28
1.5.1 固态照明光源的优势	28
1.5.2 推行半导体照明是发展低碳经济的必然要求	30
1.5.3 LED 光源开始进入主流普通照明市场	32
1.6 中国 LED 照明产业快速成长, 面临前所未有的发展机遇	33
1.6.1 中国政府大力支持和推进 LED 照明产业	33
1.6.2 LED 为北京奥运会和上海世博会增光添彩	35
1.6.3 中国 LED 照明产业快速成长	37
1.7 半导体照明产业进入标准化时期	39
1.7.1 国外和国内照明用 LED 标准的制定情况	39
1.7.2 建立健全 LED 标准体系, 任重而道远	45
第 2 章 LED 普通照明解决方案	47
2.1 普通照明用 LED 模块、电子控制装置及自镇流 LED 灯	47
2.1.1 普通照明用 LED 模块	47

2.1.2 LED 模块用直流或交流电子控制装置	48
2.1.3 普通照明用自镇流 LED 灯	50
2.2 普通照明用 LED 对驱动电源的基本要求	51
2.2.1 普通照明用 LED 驱动电源的性能要求	51
2.2.2 普通照明用 LED 驱动电源的安全要求	53
2.3 普通照明用 LED 驱动电源基本架构选择	56
2.3.1 非隔离降压 (Buck) 型拓扑	56
2.3.2 反激式拓扑	57
2.3.3 半桥 LLC 拓扑	60
2.4 普通照明用 LED 离线式电源的功率因数校正	61
2.4.1 功率因数校正 (PFC) 的目的	61
2.4.2 照明用 LED 离线式电源 PFC 主要方案	62
2.5 照明用 LED 的调光解决方案	70
2.5.1 调光基本概念及对 LED 调光的基本要求	70
2.5.2 LED 调光解决方案	71
2.5.3 调光解决方案选择	73
2.6 LED 灯具设计	73
2.6.1 灯具基本概念与 LED 灯具的特殊性	73
2.6.2 国际和国内 LED 灯具相关标准简介	76
2.6.3 LED 灯具的散热解决方案	82
2.6.4 LED 光源模块设计	86
2.6.5 LED 灯具的二次光学设计	94
2.6.6 提高 LED 灯具效率和照明系统光效的途径	96
2.6.7 突破传统灯具概念, 设计现代照明 LED 灯具	99
第 3 章 普通照明用 LED 离线式驱动电路	100
3.1 MR16 LED 灯驱动电路	100
3.1.1 基于降压式拓扑结构的 MR16 LED 灯驱动电路	100
3.1.2 基于降压—升压式拓扑结构的 MR16 LED 灯驱动电路	106
3.2 无需磁性元件和外加整流器的离线式恒流 LED 驱动电路	110
3.2.1 基于 ZD831 的离线式恒流 LED 驱动电路	110
3.2.2 基于 ZD832 的通用 AC 线路输入恒流 LED 驱动电路	114
3.3 离线式降压型大功率 LED 驱动电路	120
3.3.1 基于 MXHV9910 的离线式 LED 驱动电路	120
3.3.2 基于 PT6901 的离线式 LED 驱动电路	123
3.4 基于开关电源反激式拓扑的离线式 LED 驱动电路	124
3.4.1 基于 SSL1523P 的离线式 LED 驱动电路	124
3.4.2 基于控制器 NCP1351 的 AC 通用输入 LED 驱动电路	127
3.4.3 基于 ACT355A/ACT357A/ACT50 的 AC 通用输入 LED 驱动电路	133
3.4.4 基于 LNK605DG 和 TNY279GN 的离线式 LED 驱动电路	137

第 4 章 带功率因数校正 (PFC) 的 LED 照明用驱动电源	140
4.1 带填谷式无源 PFC 的 LED 照明用驱动电源	140
4.1.1 基于 PT4107 并带填谷式电路的 18W LED 日光灯电源	140
4.1.2 基于 TNY279PN 带填谷式无源 PFC 的 18W LED 照明用电源	141
4.1.3 基于 ACT50 带填谷式无源 PFC 的 12W LED 照明用电源	143
4.2 基于 NCP1014 的 8W 单级 PFC 反激式 LED 照明用电源	146
4.2.1 NCP1014 的主要特点	146
4.2.2 基于 NCP1014 的 8W 单级 PFC 反激式 LED 照明用电源	146
4.3 基于 TOP250YN 的单级 PFC 反激式 75W LED 照明用电源	151
4.3.1 电路拓扑及其工作原理	151
4.3.2 电路中主要元器件的选择	154
4.3.3 性能测试结果及 PCB 参考线路	155
4.4 基于降压—升压和降压式变换器的单级 PFC LED 照明用电源	157
4.4.1 HV9931 的结构及特点	157
4.4.2 基于 HV9931 的单级 PFC LED 照明用电源	158
4.5 基于单级有源 PFC 控制器的 LED 照明用电源	161
4.5.1 基于 AP1661 的单级 PFC 反激式 LED 照明用电源	161
4.5.2 基于 NCL30000 的单级 PFC 反激式 LED 照明用电源	162
4.6 基于 iW2202 数字单级 PFC 控制器的 LED 照明用电源	173
4.6.1 iW2202 的封装、内部结构及引脚功能	173
4.6.2 iW2202 的主要电气特性参数和特点	174
4.6.3 iW2202 的工作原理	174
4.6.4 基于 iW2202 的单级 PFC 70W LED 照明用电源电路与设计	176
4.7 带有源 PFC 的两级或多架构 LED 照明用电源	178
4.7.1 基于 PFC/反激式控制器 SSL1750T 的 LED 照明用电源	178
4.7.2 基于 PFC/PWM 控制器 SPI-9150 的 120W LED 照明用电源	182
4.7.3 基于 UCC28810/UCC28811 带 PFC 的 LED 照明用电源	186
第 5 章 可调光 LED 照明用离线式电源	191
5.1 TRIAC 调光器	191
5.1.1 TRIAC 调光器基本电路	191
5.1.2 TRIAC 调光器在离线式 LED 驱动电源中的连接	192
5.2 恩智浦 (NXP) 半导体照明用 LED 的 TRIAC 调光解决方案	193
5.2.1 基于 SSL1523 的 LED TRIAC 调光解决方案	193
5.2.2 基于 SSL2101/SSL2102 的 LED TRIAC 调光解决方案	193
5.3 基于 LM3445 的 TRIAC 调光离线式 LED 照明用电源	202
5.3.1 LM3445 的引脚功能及特点	202
5.3.2 LM3445 的 TRIAC 调光原理	203
5.3.3 基于 LM3445 的 TRIAC 调光 LED 照明用电源	204

5.3.4 基于 LM3445 的 TRIAC 调光 10W LED 照明用电源解决方案	208
5.4 基于 LinkSwitch-PL 系列 IC 的单级 PFC 非隔离反激式 TRIAC 调光 LED 照明用电源	211
5.4.1 LinkSwitch-PL 的引脚功能及特点	211
5.4.2 LinkSwitch-PL 系列 IC 的选用	213
5.4.3 基于 LinkSwitch-PL 的 TRIAC 调光 LED 驱动电源	214
5.5 基于 LinkSwitch-PH 的 TRIAC 调光单级 PFC 一次侧恒流控制 LED 照明用电源	216
5.5.1 LinkSwitch-PH 的结构及特点	216
5.5.2 LinkSwitch-PH 的功能与工作原理	218
5.5.3 采用 LinkSwitch-PH 的 TRIAC 调光 LED 照明用电源	221
5.6 基于 UCC28810 带 PFC 的 TRIAC 调光 LED 照明用离线式电源	238
5.6.1 基于 UCC28810 的 25W TRIAC 调光 LED 照明用电源拓扑结构框图	238
5.6.2 配合 TRIAC 调光器调光的相关电路	239
5.7 照明用 LED 的数字与无线调光解决方案	241
5.7.1 基于数字控制器 iW3610 的 LED 调光解决方案	241
5.7.2 基于 C8051F3××全数字 PFC 的 LED 调光解决方案	242
5.7.3 一种照明用 LED 无线调光解决方案	243
5.8 基于调光电子镇流器控制器 IRS2530D 的 LED 照明用电源	246
5.8.1 基于 IRS2530D 的 CFL 调光电子镇流器	246
5.8.2 基于 IRS2530D 的照明用 LED 调光解决方案	249
第 6 章 LED 路灯和隧道灯解决方案	252
6.1 LED 路灯的优势及目前存在的问题	252
6.1.1 道路照明的发展现状	252
6.1.2 LED 路灯的优势与目前存在的问题	253
6.2 道路照明和 LED 路灯标准	256
6.2.1 道路照明评价指标	256
6.2.2 道路照明标准	257
6.2.3 LED 路灯标准	261
6.3 LED 路灯配光方案	265
6.3.1 LED 路灯的配光要求	265
6.3.2 LED 路灯的配光方案	267
6.4 LED 路灯散热设计	274
6.4.1 散热对 LED 光源的重要性和必要性	274
6.4.2 LED 路灯灯具的热分析和散热设计的一般原则	276
6.4.3 LED 路灯散热方案	280
6.5 LED 路灯驱动电源	284
6.5.1 对 LED 路灯驱动电源的基本要求	284
6.5.2 LED 路灯驱动电源电路	286
6.6 太阳能 LED 路灯	317

6.6.1 太阳能 LED 路灯的组成与工作原理	318
6.6.2 基于微控制器 STM32F101RXT6 的太阳能 LED 路灯解决方案	325
6.6.3 目前太阳能 LED 路灯存在的问题	326
6.6.4 风光互补 LED 路灯	327
6.7 LED 隧道灯	329
6.7.1 隧道照明的特点	329
6.7.2 隧道照明标准	330
6.7.3 LED 光源在隧道照明应用中的优势	332
6.7.4 LED 隧道灯配光设计考虑	334
6.7.5 LED 隧道照明应用存在的问题	336
第 7 章 智能照明和无线照明控制技术	337
7.1 智能照明和无线照明控制协议与技术	337
7.1.1 智能照明控制系统协议和标准	337
7.1.2 无线照明控制技术	340
7.1.3 基于新一代无线通信技术的智能照明监控系统	342
7.2 DALI 数字控制照明系统	344
7.2.1 DALI 的主要功能与特点	344
7.2.2 DALI 照明系统	345
7.3 采用 DMX512 协议的 LED 灯具控制系统	351
7.3.1 DMX512 协议的特点	351
7.3.2 采用 DMX512 协议的 LED 灯具控制系统	351
7.4 基于 ZigBee + GPRS 的 LED 路灯远程监控系统	355
7.4.1 系统特点	355
7.4.2 系统组成与基本功能	355
参考文献	358

第 1 章 概 述

目前世界正开始全面向低碳时代转型。低碳意味着更少的能源消耗和更绿色和谐的生产与生活方式。只要能省电，照明也同样可以是低碳的。一般人认为，与白炽灯相比，节能灯几乎可节能 4/5 是伟大的创举，但 LED 比节能灯还要节能 1/4，而且可靠、耐用。LED 已成为继白炽灯、荧光灯和高强度放电（HID）灯之后的第四次光源革命。低碳、环保的 LED 是一种典型的“绿色光源”，它已开始步入住宅和工业等主流普通照明领域，即将使人类告别延续了 100 多年的爱迪生（白炽灯）时代。

1.1 LED 的发光机理及其基本特性

1.1.1 LED 的发光机理

LED 是“发光二极管”的英文（Light Emitting Diode）缩写，它是利用半导体 PN 结或类似结构把电能转换为光能的固态器件。

LED 通常是由 III-V 族化合物半导体（直接带隙）发光材料（如 GaAs、GaN-InN-AlN 和 GaP 等）制成的。如果在硅（Si）单晶的一半中掺入 III 族元素镓（Ga），就形成 P 型半导体材料；而在硅单晶的另一半掺杂了 V 族元素砷（As），则形成 N 型半导体材料。Ga 被称为是受主杂质，而 As 则被称作施主杂质。两块材料结合在一起，就得到 PN 结。N 型半导体中有余量的电子，P 型半导体中有余量的空穴，如图 1-1 所示。电子会从 N 区扩散到 P 区，空穴则从 P 区扩散到 N 区，电子和空穴相互扩散的结果，是在 PN 结处形成一个耗尽层。耗尽层具有一定的势垒，能阻止电子和空穴的进一步扩散，于是使 PN 结处于平衡状态。

如果给 PN 结外加一个正向偏置电压，PN 结的势垒将会减小，N 型半导体中的电子将会注入到 P 型半导体中，P 型半导体中的空穴将会注入到 N 型半导体中，从而出现非平衡状态。这些注入的电子和空穴在 PN 结处相遇发生复合，复合时将多余的能量以光能的形式释放出来，从而可以观察到 PN 结发光。这就是 PN 结发光的机理，如图 1-2 所示。当电子和空穴发生复合时，还有一些能量以热能的形式散发出来。

图 1-2 中的 E_g 为势垒高度，亦称禁带宽度，单位是电子伏（eV）。光的波长 λ 与选用的半导体材料的 E_g 有关，并可以表示为 $\lambda = 1239/E_g$ 。

可见光的波长一般在 380~780nm，相应的材料 E_g 为 3.26~1.63eV。人眼感受和观察到的可见光分为红、橙、黄、绿、青、蓝和紫 7 种颜色，这些光均为单色光。白光并不是一种单色光，在可见光的光谱中是不存在白光的。白光 LED 发出的白光，是数种颜色的单色光混合而成的一种复合光。

LED 也可以发出不可见光（其波长范围为 850~1550nm），这类 LED 被称为不可见光 LED。像波长在 850~950nm 范围的红外线 LED，就是一种不可见光 LED。

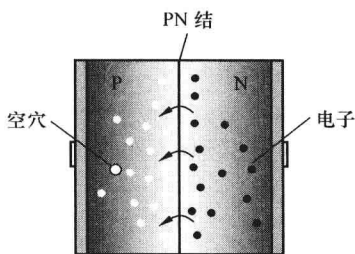


图 1-1 PN 结

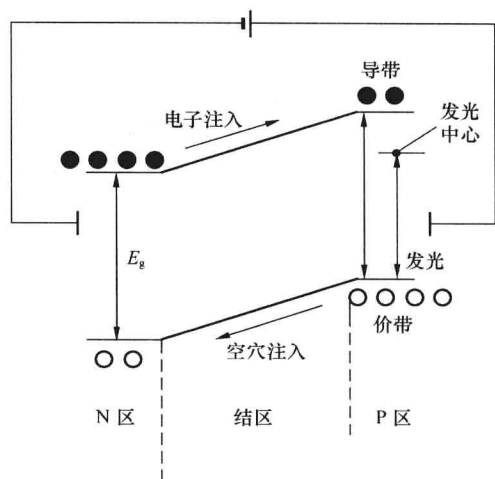


图 1-2 LED 发光机理示意图

1.1.2 LED 的基本结构

1. LED 芯片结构

彩色 LED 芯片的结构如图 1-3 所示。芯片两端是金属电极（阳极和阴极），底部是衬底材料，在基片上通过外延工艺生长一定厚度的 N 型层、发光层和 P 型层。当芯片工作时，P 型半导体和 N 型半导体中的空穴和电子分别注入到发光层并发生复合而产生光。图示中的彩色 LED 芯片结构是一种经简化和抽象的示意图，实际的 LED 芯片因制造工艺不同，结构也存在一些差别。

蓝光或紫外光 LED 芯片需加配 YAG 荧光粉或三基色荧光粉才能获得白光，也可将红（R）、绿（G）、蓝（B）三色或更多颜色的 LED 芯片封装在一起，将它们各自发出的光混合来产生白光。

2. LED 封装结构

传统 LED 功率较小（一般仅几十毫瓦），采用引线式封装，如图 1-4 所示。LED 芯片被粘接固定在导电、导热带两根导线的金属支架上，有反射杯的引线为阴极，另外一根引线为阳极。芯片外围用环氧树脂封装材料封装，对芯片起保护和聚光作用。

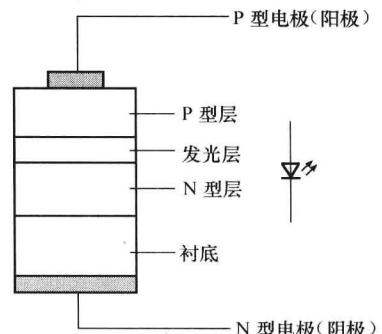


图 1-3 彩色 LED 芯片结构示意图

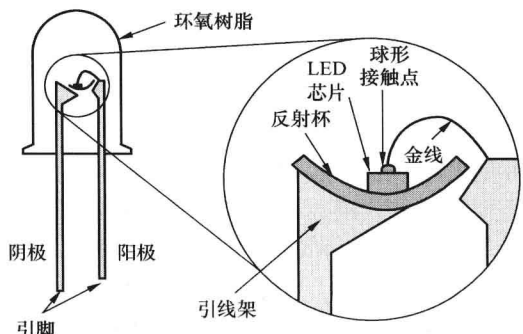


图 1-4 传统 LED 的基本结构

功率型 LED 多采用表面贴装封装，图 1-5 所示为典型 TOPLED® 的封装结构示意图。

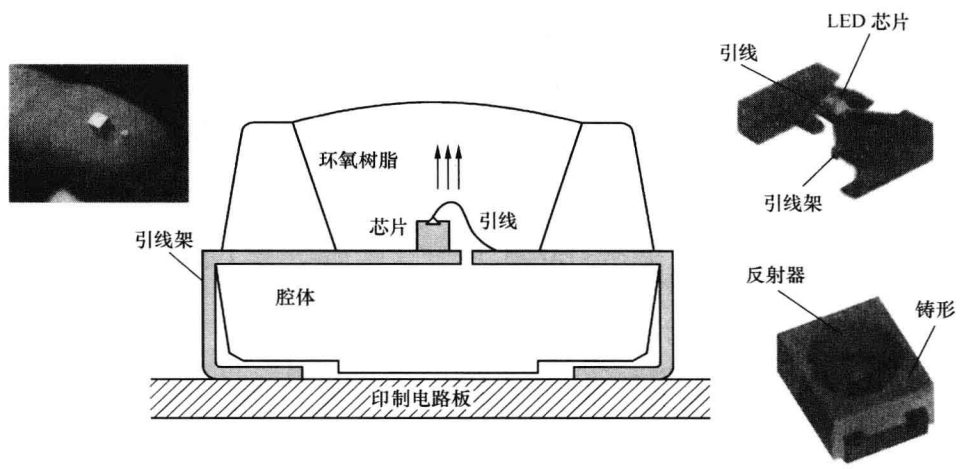


图 1-5 典型 TOPLED® 的封装结构

1.1.3 LED 的主要特性及参数

1. LED 的电气特性

由于 LED 的核心是一个 PN 结，因此它具有半导体二极管的电气特性。图 1-6 所示是 LED 的伏安 ($U-I$) 特性曲线。LED 具有非线性和单向导电性，只有给 LED 外加一个正向偏置电压，LED 才会导通而发光。

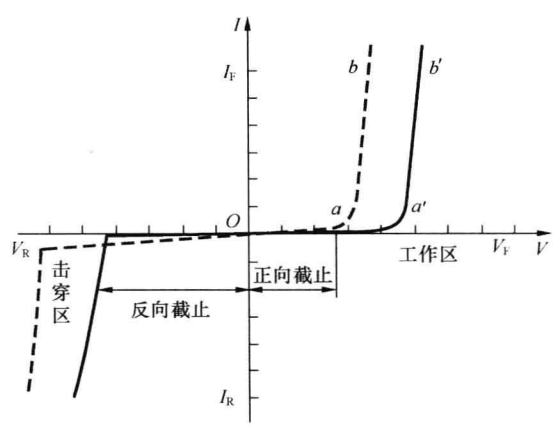


图 1-6 LED 的伏安特性

图 1-6 所示 a 点对应于开启电压（即导通门限电压）。当外加电压 $V < V_a$ 时，LED 呈现高阻抗，不会发光。不同材料制备的不同光色的 LED，其开启电压也不相同。小功率彩色 LED 的开启电压通常为 $1 \sim 2.5V$ ，而白光 LED 的开启电压高于彩色 LED 的开启电压。

当外加电压 $V > V_a$ 时，LED 进入正向工作区，通过 LED 的电流与外加电压呈指数关系。

当 LED 反向偏置时，则进入反向截止区，只有一个很小的反向电流通过 LED，LED 不会发光。在截止区，曲线的反向拐点电压 V_R 被称为反向击穿电压，此时通过 LED 的电流 I_R 即为反向电流。

当外加电压 $V < -V_R$ 时, LED 则进入反向击穿区, 反向电流急剧增大。

根据 LED 的伏安特性, LED 的主要电气特性参数归纳为以下几种。

① 正向(工作)电流 I_F : LED 在正常发光时的正向电流值。普通 LED 的正向电流 I_F 通常仅为 $10 \sim 20\text{mA}$, 而大功率白光 LED 的 I_F 通常为 $0.35 \sim 1.5\text{A}$ 。

② 正向(工作)电压 V_F : LED 通过正向电流 I_F 时在其两个电极之间产生的电压降。传统小功率彩色 LED 的正向工作电压大多为 $1.4 \sim 2.8\text{V}$ ($I_F = 20\text{mA}$ 时), 而白光 LED 的正向工作电压通常为 $3 \sim 4\text{V}$ 。

③ 反向(击穿)电压 V_R : 被测 LED 通过规定反向电流(如 $10\mu\text{A}$)时在两极间所产生的电压降。由于制作 LED 芯片所使用的半导体材料不同, V_R 值也就不同。例如, InGaN LED 的 $V_R = 7\text{V}$, 而 AlInGaP LED 的 V_R 达 20V 。

④ 反向电流 I_R : 在 LED 两端施加确定的反向电压时, 流过 LED 的反向电流。该电流一般不大于 $10\mu\text{A}$ 。

⑤ 允许功耗 P : 保证 LED 安全工作的最大功率耗散值。在 LED 应用设计时, LED 的实际功耗 ($P = I_F V_F$) 应不大于 LED 的允许功耗。

2. LED 的光学特性

LED 的光学特性涉及光谱、光度和色温等方面的要求。LED 的用途不同, 对其光学特性参数的要求也就不同。例如, 用于显示的 LED, 注重的是视觉的直观效果, 对色温和显色指数并不作要求; 而对于照明用 LED, 这两个参数就非常重要了。

LED 常用的光学特性参数主要分为光度学参数和色度学参数两大类。

(1) 相对光度学与辐射度学参数

① 光通量 Φ_v : 光源在单位时间发出的光量称为光源的光通量, 单位是流明 (lm)。LED 的光通量是指通过 LED 的正向电流为规定值时, 器件光学窗口发射的光通量。

② 发光强度 I_v : 光源在给定方向的单位立体角内发射的光通量, 单位为流明/瓦, 即 lm/W , 可表示为 $I_v = d\Phi/d\Omega$ 。

③ 相对光谱能量(功率)分布 $P(\lambda)$: 在光辐射波长范围内, 各个波长的辐射能量分布情况。

④ 峰值发射波长 λ_p : 光谱辐射功率最大的值所对应的波长。

⑤ 光谱半波宽 $\Delta\lambda$ (FWHM): 峰值发射波长的辐射功率的 $1/2$ 所对应两波长的间隔。

(2) 相对色度学参数

① 主波长 λ_D : 任何一种颜色都可以看作是用某一个光谱色按一定比例与一个参照光源(如 CIE 标准光源 A、B、C 等, 能光源 E, 标准照明体 D65 等)相混合而匹配出来的颜色, 这个光谱色就是颜色的主波长。

② CIE 光谱三刺激值 X 、 Y 、 Z : X 、 Y 、 Z 为颜色的三刺激值, 它们的数值表示了三基色匹配该颜色时相互之间的比例。

③ 色温 T_C : 光源的光辐射所呈现的颜色与在某一温度下黑体辐射的颜色相同时, 称黑体的温度为光源的色温 (T_C)。若光源发出的光与黑体在某一温度下的颜色最接近, 黑体此时的温度称为该光源的相关色温。

④ 显色指数 R_a : 是人造光源显色性的评价指标, 它反映了光源的光照射到物体上所产生的客观效果和对物体真实色彩的显现程度。 R_a 值范围为 $0 \sim 100$, R_a 值越大, 光源的显色性则越好。 $R_a = 80 \sim 100$ 时, 光源的显色性优良。

⑤ 纯度 P : 样品颜色接近主波长光谱色的程度就表示该样品颜色的纯度。

3. LED 的热学特性

(1) LED 的热性能参数

LED 的热性能参数主要是指结温和热阻。

① 结温与最高结温: LED 的 PN 结温度简称结温, LED 的最高结温是指 LED 的 PN 结所能承受的最高临界温度。LED 的最高结温与 LED 所使用的半导体材料和封装结构、封装材料有关, 这个温度通常为 $120\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。一旦 LED 的 PN 结温度超过最高结温这个极限值, 将导致 LED 永久性失效。

② 热阻 (R_{θ} 或 R_{th}): 一般是指 LED 的 PN 结到壳体表面之间的热阻, 它等于 PN 结和壳体表面之间的温度差与产生这个温度差的热耗散功率之比, 单位为 K/W 或 $^{\circ}\text{C/W}$ 。热阻是表征 LED 散热性能好坏的参数。

(2) 温度对 LED 性能的影响

与传统光源一样, LED 在工作时也会产生热量。LED 在外加电场作用下, 电子与空穴大量复合, 除了一小部分能量以光能的形式释放外, 其他大部分的能量以非辐射的形式释放, 于是造成半导体晶格的振动, 并产生热量, 造成 LED 结温的升高。随 LED 芯片结温的升高, PN 结内部的电子和空穴浓度、禁带宽度及电子迁移率等微观参数都会发生变化, 从而影响 LED 的光电参数。例如, LED 随着温度的升高, 光通输出会减少, 如图 1-7 所示。再如, LED 的正向压降会随结温的升高而降低。一旦 LED 芯片温度超过最高结温, 将造成 LED 损坏。

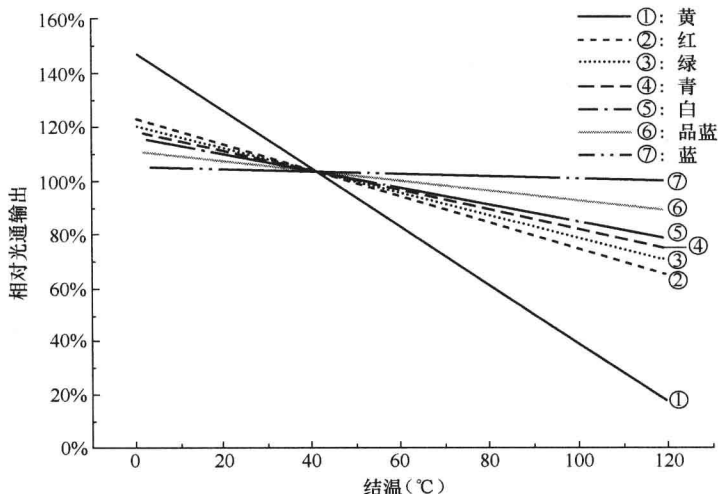


图 1-7 不同光色 LED 结温与光通输出的关系

为了保证 LED 工作时的 PN 结温度在一定的范围之内, 解决 LED 的散热问题极为重要, 它是关系到半导体照明发展的一个关键技术。

LED 还有一些特性, 如辐射安全、可靠性及寿命等。

1.2 照明用大功率白光 LED

1998 年白光 LED 的问世, 对 LED 的发展及应用来说具有划时代的意义。在白光 LED

问世之后的几年中，其主要应用领域是手机、PDA 和数码相机等便携式电子产品彩屏的背光照明。随着白光 LED 由小功率不断向大功率发展，半导体照明成为可能，并逐步变为现实。大功率白光 LED 引领半导体照明开始步入主流普通照明领域，成为 21 世纪新一代绿色照明光源。

1.2.1 LED 白光产生方法

白色并不是一种色彩，而是红（R）、绿（G）、蓝（B）三基色之外的第四色，在可见光的光谱中并不存在白光。但是，就像太阳光是由 7 种单色光合成的白光和彩色电视机的白光是由 R、G、B 三基色合成的复合光一样，通过两种或两种以上的光混合，可以使 LED 发出白光。

目前白光 LED 的实现方法主要有以下 3 种。

1. 蓝光 LED 芯片激发 YAG 荧光粉涂层

蓝光 LED 芯片主要是波长为 460nm 的 InGaN 芯片。在蓝光 LED 芯片上面涂敷一层 YAG 荧光粉，荧光粉被激发后产生 550nm 的黄光，与用于激发的蓝光混合后则发出白光。这种获取白光的方法的优点是装置结构和制作工艺简单，成本较低，而且用于荧光灯的 YAG 荧光粉工艺比较成熟，但由于蓝光 LED 效率较低，白光 LED 的效率也就不高。另外，荧光粉自身存在能量损耗，随时间老化，会出现色温漂移和寿命缩短等问题。

2. 紫外光 LED 芯片激发 R、G、B 三基色荧光粉

利用紫外光（UV）LED 芯片激发可被紫外光辐射激发的 R、G、B 三基色荧光粉，比利用蓝光 LED + YAG 荧光粉获取白光的方法更容易获得颜色一致的白光，这是因为 LED 的光色仅仅由荧光粉的配比决定。另外，利用该法制得的白光 LED 具有高显色性，并且光色和色温可调。选择适当的荧光粉配比，可以使显色指数 R_a 达 90 以上。但是，紫外光 LED+三基色荧光粉获取白光的方法目前也还存在一些不足，比如荧光粉在转换紫外光辐射时的效率还不高，粉体混合较为困难，封装材料在紫外光辐射下易于老化，寿命较短等。

3. 多种颜色的芯片组合在一起产生白光

将 R、G、B 三色 LED 芯片或更多种颜色的 LED 芯片组合封装在一起，将它们发出的光混合在一起，也可以得到白光。利用该法制得的 LED，称为多芯片白光 LED。与采用荧光粉转换方法制得的白光 LED 相比，多芯片白光 LED 不存在荧光粉在转化过程中的能量损耗问题，因此有着较高的光效。此外，通过 LED 波长和强度的选择，可以实现较好的显色性。但是，此法由于不同光色的 LED 芯片的半导体材料不同，量子效率各异，光色随驱动电流和温度的变化不一致，随时间的衰减速度也不相同。同时，散热问题也是困扰多芯片白光 LED 的突出问题。

1.2.2 大功率白光 LED 的基本结构

用蓝光芯片与 YAG 荧光粉制得的小功率白光 LED 的结构示意图如图 1-8 所示。这种采用传统 LED 引线式轴向封装形式的器件，其散热只能通过阳极和阴极两根引线来完成。

大功率白光 LED 在外形和结构上与传统小功率 LED 完全不同。大功率白光 LED 的散热设计有根本性的变化，热量的散发是通过大面积的散热基板来完成的。图 1-9 所示为一种大功率白光 LED 的结构。

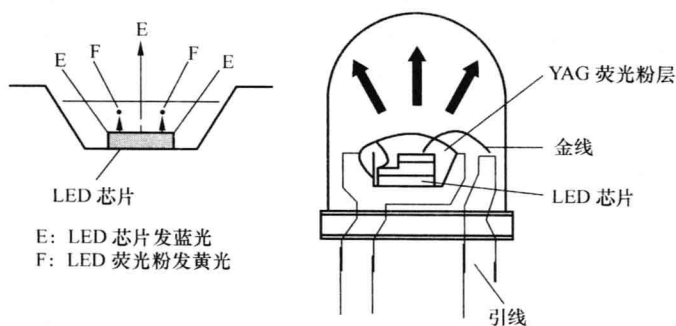


图 1-8 小功率白光 LED 结构示意图

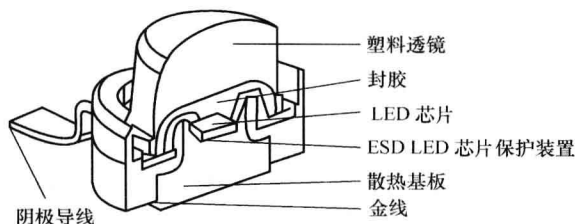


图 1-9 大功率白光 LED 结构示意图

为了解决大功率白光 LED 的散热问题，人们创造性地设计了一些不同散热方式的芯片结构，图 1-10 所示的倒装芯片结构就是最常用的一种。采用芯片倒装结构后，热量可以通过芯片下面的散热片散发。LED 芯片被焊接在表面绝缘的散热片上，散热片四周用塑料材料封装，芯片外部用具有热稳定性、绝缘性和光学透明的树脂材料密封，再将整个 LED 器件贴在基板上，然后外接散热肋片以提高散热效果。这种结构只有少部分热量通过密封材料散发到周围环境中，大部分热量从发光层→衬底→芯片键合层→基板→散热肋片这条途径散发到周围环境中。封装材料对散热效果影响很大，因此要采用散热性能优良的封装材料。采用倒装芯片结构，光线从蓝宝石衬底射出，避开了电极遮光问题，同时也解决了蓝宝石衬底散热不良问题。在散热良好的硅衬底上，还设置了两个背靠背的稳压二极管，用作静电放电（ESD）保护。

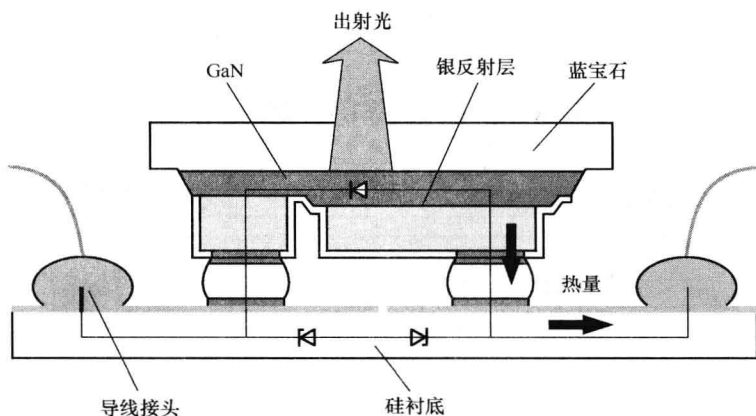
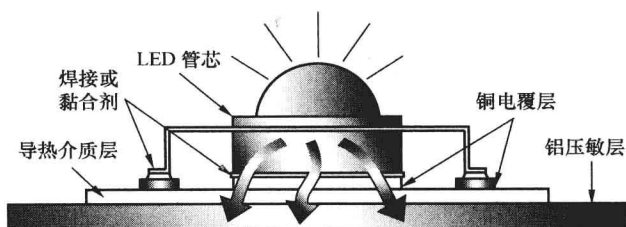


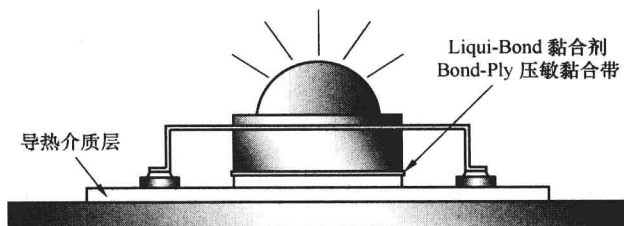
图 1-10 倒装芯片 LED 结构示意图

目前已大批量投放市场的照明用白光 LED 的功率有 1W、3W、5W、10W、20W、30W、50W 和 100W 等。1~5W 的 LED 灯在家庭中只能作为壁灯和辅助照明用，还不能作为书写阅读照明灯使用。住宅照明用白光 LED 灯功率要求达 10W 以上，这就要求将多个 LED 管芯经串并联排列组合在一起，形成阵列封装在同一单元中，外形看起来与单芯片 LED 几乎没有差别。多芯片阵列式封装的大功率 LED，对散热设计更加苛求。

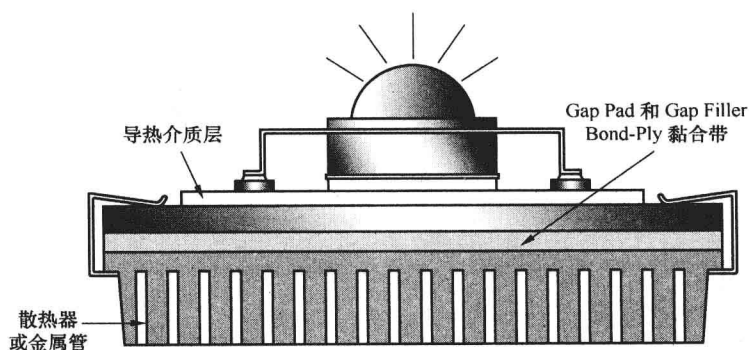
选择优良的导热绝缘金属衬底（Insulated Metal Substrat, IMS），是大功率 LED 系统散热设计的重要环节。图 1-11 所示为几种 LED 应用的 IMS 示意图。图 1-11(a)所示是 Bergquist 公司新近研发的用来替代常规 LED 应用电路板的 IMS。这种 IMS 是一种黏合在铝或铜基板上具有电隔离的高导热性薄导热层，其金属基板又可与电路板上的铜箔结合为一体。LED 采用 IMS 后，热量处理能力更佳，能够流经更大的正向电流并维持芯片温度基本恒定，意味着达到预期光辐射时单个 LED 将能发出更多的光，阵列式封装需要的 LED 管芯数量就可以减少。



(a) LED 应用 IMS 的示意图



(b) Liqui-Bond 黏合剂和 Bond-Ply 压敏黏合带 IMS 的示意图



(c) Gap Pad 和 Gap Filler IMS 的示意图

图 1-11 几种 IMS 示意图

在图 1-11 (b) 中，Liqui-Bond 是一种导热液体硅树脂黏合剂，固化后可形成坚实的