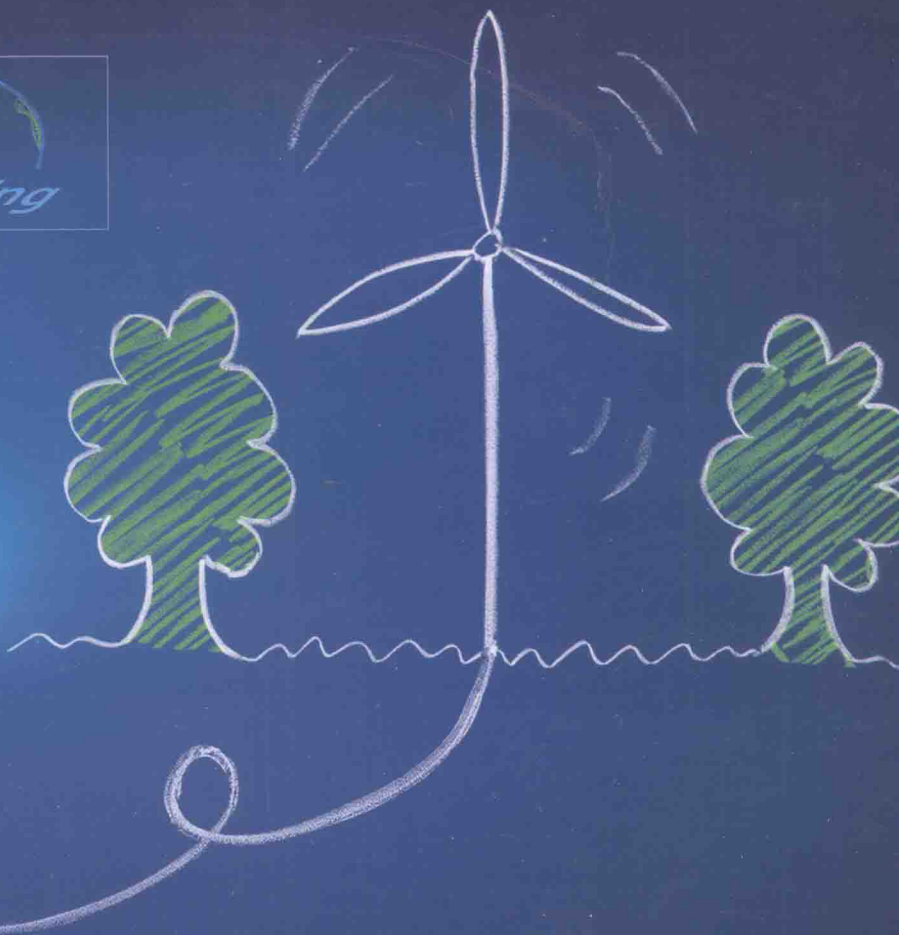
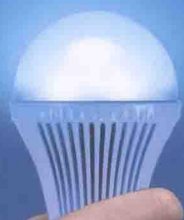


LED



Lighting



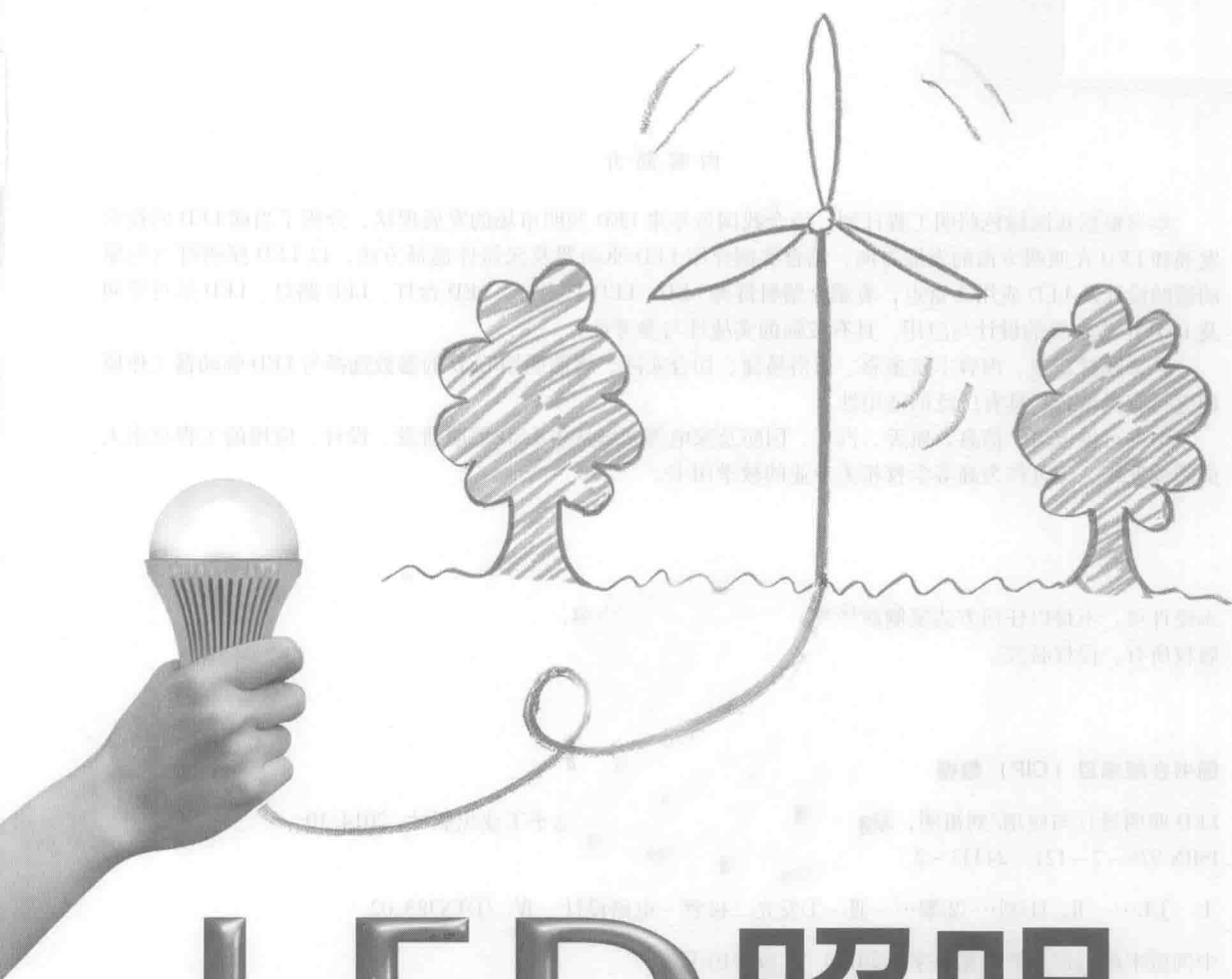
LED 照明

设计与应用 (第2版)

■ 刘祖明 黎小桃 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



LED 照明 设计与应用 (第2版)

■ 刘祖明 黎小桃 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书根据我国绿色照明工程计划,结合我国近年来LED照明市场的发展现状,分析了当前LED的技术发展和LED在照明方面的发展方向,结合实例介绍LED驱动器及元器件选择方法,以LED照明灯具与驱动器的设计及LED应用为重点,着重介绍射灯类LED、LED日光灯、LED台灯、LED路灯、LED景观照明及LED广告灯等的设计与应用,具有较强的实战性与参考性。

本书题材新颖、内容丰富多彩、通俗易懂、切合实际,将照明用LED的参数选择与LED驱动器工作原理进行有机结合,具有广泛的适用性。

本书可供电信、信息、航天、汽车、国防及家电等领域从事LED照明研发、设计、应用的工程技术人员阅读使用,也可作为高等学校相关专业的教学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

LED照明设计与应用/刘祖明,黎小桃编著.—2版.—北京:电子工业出版社,2014.10
ISBN 978-7-121-24333-2

I. ①L… II. ①刘… ②黎… III. ①发光二极管-电路设计 IV. ①TN383.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第211910号

策划编辑:张 剑 (zhang@phei.com.cn)

责任编辑:刘真平

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:505.6千字

版 次:2011年6月第1版

2014年10月第2版

印 次:2014年10月第1次印刷

印 数:3000册 定价:49.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前言

..... PREFACE

我国是世界上人口最多的国家，电力资源相当贫乏。近 20 年来，每年的用电量增长率均超过 15%，能源危机已十分紧迫。节约资源、减少能耗是关系到当今人类社会可持续发展的重大现实问题，同时节能减排已成为我国各级政府的发展战略。加强节能减排工作，也是应对全球气候变化的迫切需要。绿色照明作为节约电能、保护环境的重要措施，是人类现代文明的标志之一。1993 年，我国把照明节电提升到资源节约工作的优先位置，大力推广高效照明灯具，建立优质长寿、安全可靠、经济适用、减少环境污染的绿色照明系统。

我国政府正在以科学发展观为指导，加快发展现代能源产业，坚持节约资源和保护环境的基本国策，把可持续发展能力、建设创新型国家作为发展战略，继续为世界经济发展和繁荣做出更大贡献。在全球能源短缺、环保要求不断提高的情况下，2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会都不约而同地以“绿色节能”为主题，这给中国 LED 照明产业的发展带来了巨大的历史机遇。在“零碳照明”与“零碳建筑”的推动下，LED 又迎来了新的发展机遇。随着节能环保、低碳社会意识的普及和深入，LED 照明技术的应用已活跃于商业、家居、户外、景观照明领域。

目前，国际社会上普遍认为光电技术是 21 世纪的尖端科技之一。如果对 21 世纪具有代表意义的主导产业进行排序，第一产业无疑是光电子产业，而 LED 正是光电子产业中最重要光电子材料和器件，是整个产业的基础。国际上大功率白光 LED 产业化的光效水平已经达到 130lm/W，实验室光效已达 231lm/W；小功率白光 LED 的实验室光效已达 249lm/W。

我国是电子制造业大国，国内的手机、汽车等产业是 LED 发展的巨大推动力，而且随着国家半导体照明工程的发展，国内 LED 产业具有广阔的发展前景。未来 5 年，我国也将把半导体照明作为一项重大工程进行推动；而科技部也已批准上海、大连、南昌、厦门、深圳 5 地作为 LED 产业化基地。

本书结合作者多年来在 LED 行业工作的经验，综合目前 LED 照明产业现况，主要介绍 LED 照明领域的室内照明产品，如 LED 日光灯、LED 射灯、LED 台灯、LED 吸顶灯、LED 球泡灯等的设计与应用，以及户外与景观照明的产品，如 LED 路灯、LED 景观灯、LED 隧道灯、LED 庭院灯等的设计与应用。

全书共分 10 章，分别介绍了 LED 基础知识、LED 器件的封装及使用 LED 时的注意事项、国内照明市场分析及 LED 技术参数；对大功率 LED 驱动器及常用元器件选择进行了深入讨论，着重介绍射灯类 LED 照明灯具、LED 日光灯、LED 台灯、LED 路灯、LED 景观照明及 LED 广告灯等的设计与应用。

本书列出了大量 LED 照明灯具与 LED 驱动器电路，读者完全可以根据书中给出的电路原理图直接应用，或结合具体的使用条件设计出性价比最优的产品。

笔者长期从事 LED 照明技术的研究和开发工作，积累了丰富的实践经验，并且编写了数本关于 LED 照明方面的图书，在业界产生了一定的影响。特别是笔者在前几年出版的《LED 照明设计与应用》一书，深受读者的关注，很多读者发来邮件或打来电话与笔者交流 LED 技术，并提出了宝贵的意见。笔者经过长期考虑，在吸取读者意见的基础上，并结合这几年 LED 发展的新技术，决定对《LED 照明设计与应用》一书进行修订，增加了很多切合当前实际的 LED 设计实例与新技术，使本书内容更加全面和实用。

全书由刘祖明、黎小桃编著，黎小桃编写了第 1~5 章、附录，刘祖明编写了第 6~10 章，并负责全书的统稿工作。参加本书资料收集或整理的还有刘文沁、钟柳青、钟勇、张安若、祝建孙、刘国柱、刘艳生、刘艳明、邱寿华等。在此，对以上人员致以诚挚的谢意。

本书在写作过程中参考了大量书籍，同时也引用了互联网上的资料，在此向这些书籍和资料的原作者表示衷心的感谢；同时，在资料收集和技术交流方面得到了国内外专家学者和同行的支持，在此也向他们表示衷心的感谢。有些引用资料的出处，基于各种原因可能未能出现在参考文献中，在此表示歉意与感谢！

本书的所有实例都经过编著者的实际应用，但由于 LED 照明设计涉及面广，实用性强，加之编著时间仓促，以及作者水平有限，书中存在不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。同时感谢读者选择了本书，希望我们的努力能对您的工作和学习有所帮助，也希望广大读者不吝赐教，以便我们在再版时做到精益求精。

编 著 者

目录

CONTENTS

第1章 LED 基础知识	1
1.1 LED 的基本概念	2
1.1.1 LED 的基本结构与发光原理	2
1.1.2 LED 的特点	5
1.2 LED 芯片的类型	7
1.2.1 LED 芯片介绍	7
1.2.2 LED 的分类	10
1.3 LED 光参数定义及其详解	11
1.3.1 可见光谱	11
1.3.2 LED 发光器件光度学参数	12
1.3.3 LED 光通量	13
1.3.4 LED 发光强度	14
1.3.5 LED 相对光谱能量分布 $P(\lambda)$	15
1.3.6 LED 的峰值波长 λ_p 和光谱半波宽 $\Delta\lambda$	15
1.4 LED 外延片简介	16
1.5 LED 封装工艺流程和发展	19
1.6 LED 的基本特性与使用注意事项	22
1.6.1 常见的 LED 电性能参数	22
1.6.2 LED 防静电知识	24
1.7 LED 灯珠的测试	27
第2章 光与照明基础知识	31
2.1 光的基本知识	32
2.1.1 光的基本概念	32
2.1.2 光的基本度量	32
2.2 光源颜色、色温与显色性	33
2.3 光与视觉	35
2.4 光源、照明电器附件和灯具	38
2.5 灯具销售必须掌握的光源知识	42
2.6 LED 照明灯具选用原则	46
第3章 LED 照明市场分析及 LED 技术参数	49
3.1 LED 照明市场的现状与前景	50

3.2	LED 照明灯具系统组合	52
3.3	LED 灯具设计需要注意的几个问题	52
3.4	LED 照明设计需要注意的技术细节	54
3.5	LED 散热器的选择	55
3.6	LED 光学透镜的选择	59
3.7	LED 封装与规格书	61
3.7.1	LED 封装	61
3.7.2	LED 规格书	63
3.8	LED 死灯现象分析	73
第 4 章	射灯类 LED 的设计与组装	77
4.1	LED 灯具的开发前景与目前存在的主要问题	78
4.2	MR16 灯杯的设计与组装	80
4.2.1	MR16 灯杯简介	80
4.2.2	MR16 灯杯的驱动电源	82
4.2.3	MR16 灯杯 3×1W 的组装工具和材料	87
4.2.4	MR16 灯杯 3×1W 的组装	89
4.2.5	MR16 灯杯的检验要求	93
4.3	E27/GU10 3W 射灯的设计与组装	95
4.3.1	E27/GU10 3W 射灯的驱动电源	95
4.3.2	E27/GU10 3W 射灯的组装	98
4.3.3	LED 射灯的检验要求	102
4.4	PAR LED 灯的设计与组装	104
4.4.1	PAR LED 灯简介	104
4.4.2	5W/7W PAR30 LED 灯的设计与组装	106
4.4.3	PAR LED 灯的检验要求	110
4.5	LED 球泡灯的设计与组装	111
4.5.1	LED 球泡灯简介	111
4.5.2	球泡灯的设计与组装	114
4.5.3	LED 球泡灯的检验要求	117
4.6	LED 灯杯的设计与组装	119
4.6.1	LED 财神灯的设计与组装	119
4.6.2	LED 节能灯的设计	124
4.6.3	LED 植物生长灯的设计	125
4.6.4	LED 玉米灯的设计	127
4.7	LED 产品老化	129
4.8	LED 灯泡市场分析	129
4.9	LED 应用交流电驱动技术说明	132

4.10	常用室内照明灯具简介	133
第5章	LED 日光灯的设计与组装	137
5.1	LED 日光灯简介	138
5.2	LED T8 管的设计与组装	145
5.2.1	LED T8 管驱动器设计	145
5.2.2	LED T8 管的组装	150
5.2.3	LED 一体化灯管的设计	158
5.3	LED 日光灯的 UL 认证要求	162
5.4	LED 日光灯的安规要求	163
5.5	LED 日光灯的检验要求	164
第6章	LED 台灯的设计与组装	169
6.1	LED 台灯简介	170
6.2	LED 照明灯具的调光方式	171
6.3	触摸 LED 台灯的设计与组装	174
6.3.1	触摸 LED 台灯参数说明	174
6.3.2	触摸开关芯片	175
6.3.3	5W 触摸 LED 台灯的设计	179
6.3.4	1 键触摸 LED 灯无级调光 ADA01AL 芯片介绍	182
第7章	LED 路灯的设计与组装	189
7.1	LED 路灯的现状与未来	190
7.2	LED 路灯的二次光学设计	191
7.3	LED 路灯的散热技术及技术指标	194
7.4	LED 路灯驱动器的配置	200
7.5	LED 路灯的组装	201
7.6	电源应用于 LED 路灯时的注意事项	210
7.7	风光互补 LED 路灯设计	212
7.8	LED 室外照明灯具简介	218
第8章	LED 景观照明的设计与组装	221
8.1	景观照明的术语	222
8.2	LED 景观照明	223
8.3	LED 模组的设计	224
8.4	LED 埋地灯的设计与组装	232
8.5	LED 洗墙灯的设计与组装	234
8.6	LED 数码管的设计与组装	238
8.7	LED 景观照明灯具简介	245
第9章	LED 广告灯的设计与组装	249
9.1	LED 广告灯箱的设计与组装	250

9.2	LED 广告字	254
9.3	LED 灯带	263
9.4	LED 控制系统	266
9.4.1	LED 控制系统功能分类	268
9.4.2	LED 控制系统的结构与组成	268
9.5	LED 工程设计与安装注意事项	269
第 10 章	LED 驱动电路	273
10.1	LED 驱动技术	274
10.1.1	LED 驱动的技术方案	274
10.1.2	LED 驱动器的特性	277
10.1.3	LED 与驱动器的匹配	280
10.2	白光 LED 驱动技术	284
10.2.1	白光 LED 驱动器	284
10.2.2	白光 LED 驱动电路的设计	286
10.2.3	白光 LED 的并联和串联驱动	286
10.2.4	白光 LED 的驱动电路	287
10.2.5	白光 LED 工作电流的匹配	293
10.3	白光 LED 驱动电路拓扑的选择	296
附录 A	LED 标准或技术文件	299
附录 B	IP 防护等级	303
	参考文献	305

LED
照明设计应用 (第2版)

LED

照明设计与应用(第2版)

LED 照明设计应用 (第2版)

第 1 章

LED 基础知识

LED 是一种新型半导体材料，具有体积小、功耗低、寿命长、光效高、环保等优点。随着 LED 技术的不断发展，LED 照明产品已经广泛应用于家庭、商业、工业等领域。本章主要介绍 LED 的基本原理、分类、特性、应用及设计要点。

LED 的发光原理是基于半导体材料中的电子和空穴复合。当电流通过 LED 时，电子和空穴在 PN 结处复合，释放出能量，以光的形式表现出来。LED 的发光颜色取决于半导体材料的能带结构。目前，LED 照明产品主要分为白光 LED 和单色 LED 两大类。

LED 照明产品具有节能、环保、寿命长等优点，是未来照明行业发展的主要方向。在设计 LED 照明产品时，需要考虑 LED 的选型、散热、驱动电路设计等因素。

LED 照明的作用不仅在于带动 LED 照明产业的快速成长,更重要的是起到了节能减排的表率作用。LED 照明在奥运场馆、城市景观照明上的出色表现,将会促进其他领域对 LED 照明的使用。随着 LED 产品技术的逐步成熟,以及产品价格的逐步下降,LED 产品开始大量应用于项目工程中,LED 照明的应用已呈现出爆炸式的发展。我国 LED 照明产业已迎来新的发展高峰。在全球能源短缺、环保要求不断提高的情况下,2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会都不约而同地以“绿色节能”为主题,这给我国 LED 照明产业的发展带来了巨大的历史机遇。

本章主要介绍 LED 的发光原理、分类、制作的工艺流程、发展趋势及应用等基础知识。



1.1 LED 的基本概念

发光二极管简称 LED。不同材料制成的 LED 能发出不同颜色的光。由镓 (Ga) 与砷 (As)、磷 (P) 的化合物制成的 LED 中,有发红光的磷砷化镓 (GaAsP) LED,有发绿光的磷化镓 (GaP) LED,有发黄光的碳化硅 (SiC) LED。LED 是利用材料中的电子与空穴复合时辐射出可见光这个特性来制成的。LED 在电路及仪器中常常作为指示灯,或者组成矩阵来显示文字或数字。

LED 是半导体二极管中的一种,可以把电能转化成光能。LED 与普通二极管一样,都是由一个 PN 结组成的,它具有单向导电性。当给 LED 加上正向偏置电压后,从 P 区注入到 N 区的空穴和由 N 区注入到 P 区的自由电子,在 PN 结附近数微米内分别与 N 区的自由电子和 P 区的空穴复合,产生自发辐射的光。在不同的半导体材料中,自由电子和空穴所处的能量状态不同,因此自由电子和空穴复合时释放出的能量多少不同。释放出的能量越多,则发出的光的波长越短。当它处于正向工作状态(即其两端加上正向偏置电压),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,光的强弱与电流的大小有关。

1.1.1 LED 的基本结构与发光原理

1. LED 的基本工作原理

LED 是一种直接注入电流的发光器件,是半导体晶体内部受激电子从高能级回到低能级时发射出光子的结果,这就是通常所说的自发发射跃迁。当 LED 的 PN 结加上正向偏置电压时,注入的少数载流子和多数载流子(自由电子和空穴)复合而发光。

【说明】大量处于高能级的粒子各自分别自发发射一列列的光波,但各列光波之间没有固定的相位关系,可以有不同的偏振方向,并且每个粒子所发射的光沿所有可能的方向传播,这个过程称为自发发射。

2. LED 的基本结构

LED 由支架、银胶、晶片、金线、环氧树脂 5 部分组成。直插式 LED 和大功率 LED 的

基本结构如图 1-1 所示。直插式 LED 芯片被固定在导电、导热的带两根引线的金属支架上，有反射杯（或反光碗）的引线为阴极，另一根引线为阳极。芯片外围封以环氧树脂（帽），一方面起保护芯片的作用，另一方面起（透镜）聚光作用。当 LED 的两根引脚不一样长时，其中较长的一根为阳极。如果 LED 的两根引脚一样长，则通常在其管壳上有一凸起的小舌，靠近小舌的引脚是阳极。

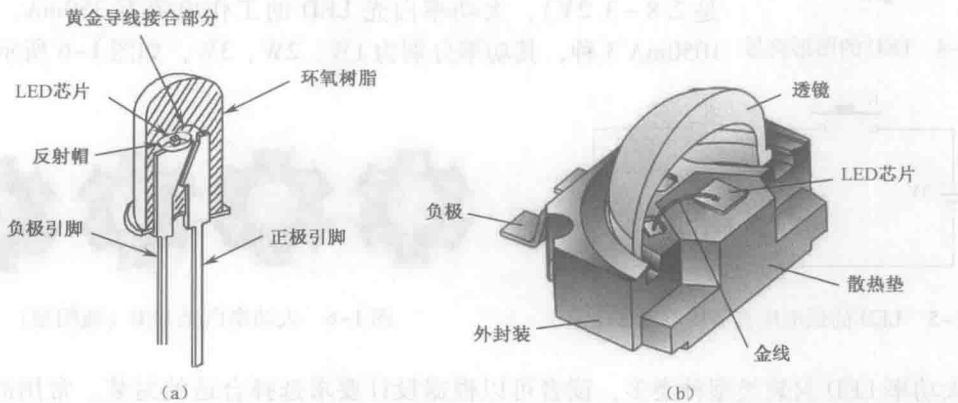


图 1-1 直插式 LED 与大功率 LED 的基本结构

目前，LED 芯片及封装正在向大功率方向发展，其发光效率提升与器件成本降低并重是 LED 核心技术的发展趋势。LED 器件效率已达到 150lm/W，目前 LED 的大功率、集成化是 LED 芯片和光源发展的一种趋势。目前主要有 3 种芯片级模组，即正装芯片模组、垂直芯片模组和倒装芯片模组。芯片模组光源的发展趋势是高亮度和高集成度，在商业照明、道路照明和室内照明等领域，集成的 LED 光源有很大的应用市场。功率型 LED 的热特性直接影响到 LED 的工作温度、发光效率、发光波长和使用寿命等指标，因此它对功率型 LED 芯片的封装设计、制造技术的发展显得尤为重要。

LED 芯片是 LED 器件的核心，其结构如图 1-2 所示。LED 芯片为分层结构，芯片两端是金属电极；底部为衬底材料；当中是由 P 型层和 N 型层构成的 PN 结；发光层被夹在 P 型层和 N 型层之间，是发光的核心区域。P 型层、N 型层和发光层是利用特殊的外延生长工艺在衬底材料上制得的。在芯片工作时，P 型层和 N 型层分别提供发光所需要的空穴和自由电子，它们被注入到发光层发生复合而产生光。LED 的封装示意图如图 1-3 所示。而实际应用中的芯片结构比其要复杂得多。LED 芯片制作技术是 21 世纪的高新技术之一。

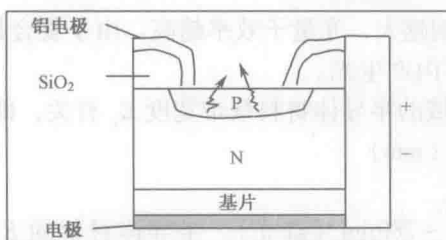


图 1-2 LED 芯片结构

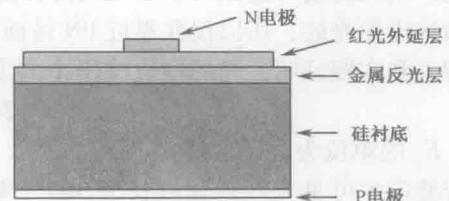


图 1-3 LED 的封装示意图

LED的图形符号如图1-4所示,其文字符号用字母“V”或多字母“ $V_{L(E)}$ ”表示。LED的低电压直流供电(如干电池)工作电路如图1-5所示。LED工作在正向偏置电压时,其发光亮度随正向电流 I_F 的增大而增强。为限制其工作电流,电路中通常需要串联一个限流电阻(也称镇流电阻)R。普通小功率LED工作时的正向电压降 U_F 为1.5~3V,工作电流 I_F 为5~



图1-4 LED的图形符号

20mA。而白光LED的正向电压降范围通常为2.8~3.6V(常用的是2.8~3.2V),大功率白光LED的工作电流有350mA、700mA、

1050mA 3种,其功率分别为1W、2W、3W,如图1-6所示。

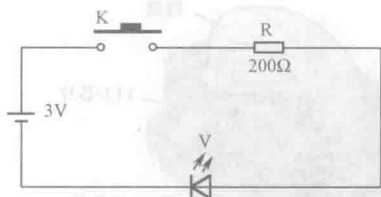


图1-5 LED的低电压直流供电工作电路

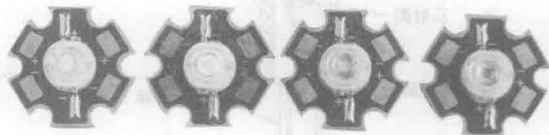


图1-6 大功率白光LED(流明型)

大功率LED封装类型种类多,读者可以根据设计要求选择合适的封装。常用的封装分为流明型与美国科锐公司的封装两种。

3. LED 发光原理

LED的核心部分是由P型半导体和N型半导体组成的晶片,在P型半导体和N型半导体之间有一个过渡层,称为PN结。LED的核心是PN结。因此它具有一般PN结的单向导电特性,即正向导通、反向截止和击穿特性。此外,在一定条件下,它还具有发光特性。在正向偏置电压下,自由电子由N区注入P区,空穴由P区注入N区。进入对方区域的少数载流子(少子)一部分与多数载流子(多子)复合而发光,如图1-7所示。

假设发光是在P区中发生的,那么注入的自由电子与价带空穴直接复合而发光,或者先被发光中心捕获后,再与空穴复合而发光。除了这种发光复合外,还有些自由电子被非发光中心(这个中心介于导带与价带中间附近)捕获,而后再与空穴复合,每次释放的能量不大,不能形成可见光。发光的复合量相对于非发光复合量的比例越大,光量子效率越高。由于复合是在少子扩散区内发光的,所以仅在靠近PN结面数 μm 内产生光。

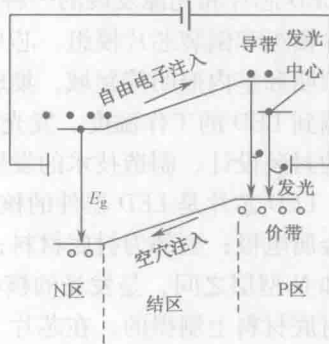


图1-7 LED的发光原理

理论和实践证明,光的峰值波长 λ 与发光区域的半导体材料禁带宽度 E_g 有关,即

$$\lambda \approx 1240/E_g \quad (\text{nm}) \quad (1-1)$$

式中, E_g 的单位为电子伏特(eV)。

若能产生可见光,则其波长为380(紫光)~780nm(红光)。半导体材料的 E_g 应为3.26~1.63eV。比红光波长长的光为红外光。现在已有红外光、红光、黄光、绿光及蓝光LED,但由于蓝光LED的成本和价格很高,其使用并不普遍。

1.1.2 LED 的特点

LED 作为一种出现时间最晚的照明技术,自 20 世纪 60 年代诞生以来,得到了长足的发展和运用。而相对于白炽灯、荧光灯等老一代发光设备,LED 的特点主要体现在以下 9 个方面。

【供电电压低】 LED 使用低电压电源,供电电压为 DC 6~24V,根据产品不同而异,所以它是一个比使用高压电源更安全的电源,特别适用于公共场所。

【效能高】 消耗能量较同光效的白炽灯减少 80%。

【适用性强】 LED 尺寸很小,每个单元 LED 小片是 3~5mm 正方形的,所以可以制备成各种形状的器件,并且适合于易变的环境。

【稳定性好】 工作 10 万小时,光衰为初始的 50%。

【响应时间短】 白炽灯的响应时间为 ms 级,LED 的响应时间为 ns 级。

【对环境污染较小】 无有害金属水银(汞)。

【颜色丰富多样】 可以方便地通过化学修饰方法来调整材料的能带结构和禁带宽度,从而实现红、黄、绿、蓝、橙多色发光。红光 LED 的工作电压较小,颜色不同的红光、橙光、黄光、绿光、蓝光 LED 的工作电压依次升高。

【价格较低】 LED 的价格现在越来越平民化,因 LED 省电的特性,预计在不久的将来,人们都会把白炽灯换成 LED 灯具。现在,我国部分城市的公路、学校、厂区等场所已换装万盏 LED 路灯、LED 荧光灯等。

【抗振性能好】 LED 是一种电致发光光源,其结构特性决定了振动对其影响较小。

1. 单色光 LED 的种类及其发展历史

LED 光源问世于 20 世纪 60 年代初。当时所用的材料是 GaAsP,发红光($\lambda_p = 650\text{nm}$),在驱动电流为 20mA 时,光通量只有千分之几个 lm,相应的发光效率约为 0.1lm/W。

70 年代中期,引入元素 In 和 N,使 LED 可产生绿光($\lambda_p = 555\text{nm}$)、黄光($\lambda_p = 590\text{nm}$)和橙光($\lambda_p = 610\text{nm}$),光效也提高到 1lm/W。

到了 80 年代初,出现了 GaAlAs 的 LED 光源,使得红色 LED 的光效达到 10 lm/W。

90 年代初,发红光、黄光的 GaAlInP 和发绿光、蓝光的 GaInN 两种新材料的问世,使 LED 的光效得到大幅度的提高。在 2000 年,由前者制成的 LED 在红、橙区($\lambda_p = 615\text{nm}$)的光效达到 100 lm/W,而后者制成的 LED 在绿色区域($\lambda_p = 530\text{nm}$)的光效可以达到 50 lm/W。现在的 LED 已能发出红色、黄色、蓝色、绿色、橙色、琥珀色、蓝绿双色、红绿双色、黄绿色、纯绿色、翠绿色、白色等多种光束。

对于一般照明而言,人们更需要白色的光源。1998 年,发白光的 LED 开发成功。这种 LED 是将 GaN 芯片和钇铝石榴石(YAG)封装在一起而制成的。GaN 芯片发蓝光($\lambda_p = 465\text{nm}$, $W_d = 30\text{nm}$),高温烧结制成的含 Ce^{3+} 的 YAG 荧光粉受此蓝光激发后,发出黄色光(λ_p 的峰值为 550nm)。蓝光 LED 基片安装在碗形反射腔中,覆盖以混有 YAG 的树脂薄层,厚 200~500nm。LED 基片发出的蓝光部分被荧光粉吸收,另一部分与荧光粉发出的黄光混合,从而得到白光。现在,对于 InGaN/YAG 白色 LED,通过改变 YAG 荧光粉的化学组成和

调节荧光粉层的厚度, 可以获得 2700 ~ 10 000K 色温的各色白光。

半导体材料的发光机理决定了单一 LED 芯片无法发出连续光谱的白光, 必须以其他的方式合成白光。目前, 产生白光的方式有两种, 一种是用单色光激发荧光粉发出其他颜色的光, 最终混合成白光, 即单芯片型; 另一种是将多种发不同色光的芯片封装在一起, 构成发白光的 LED, 即多芯片型。白光 LED 类型及其原理见表 1-1。

表 1-1 白光 LED 类型及其原理

芯片数	激发源	发光材料	发光原理
1	蓝光 LED	InGaN/YAG	用蓝色光激励 YAG 荧光粉发出黄色光, 从而混合成白光
1	蓝光 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 的蓝光激发红、绿、蓝三基色荧光粉发光
1	蓝光 LED	ZnSe	由薄膜层发出的蓝光和基板上激发的黄光混合成白光
1	紫外 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 发出的紫外光激发红、绿、蓝三基色荧光粉发白光
2	蓝光、黄绿 LED	InGaN、GaP	将具有补色关系的两种芯片封装在一起, 发出白光
3	蓝光、绿光、红光 LED	InGaN、AlInGaP	将发三原色的 3 种芯片封装在一起, 发出白光
多个	多种光色的 LED	InGaN、AlInGaP、GaPN	将遍布可见光区的多种色光芯片封装在一起, 构成白色 LED

单芯片型结构的白光 LED 又可分为以下 3 种。

- ① 将蓝光 LED InGaN 芯片与钇铝石榴石 (YAG) 荧光粉组合成二基色白光 LED, 或者由 InGaN (蓝光峰值为 430nm 或 470nm) 与红色 (650nm) 和绿色 (540nm) 荧光粉组成三基色白光 LED。
- ② 利用蓝色 ZnSe 为基体制成芯片, 与衬基发出的黄光复合成白光。
- ③ 用 InGaN LED 发出的紫外光激励三基色荧光粉发出白光。

2. 单色光 LED 的应用

最初 LED 用作仪器仪表的指示光源, 后来各种光色的 LED 在交通信号灯和大量显示屏中得到了广泛应用, 产生了很好的经济效益和社会效益。LED 的应用领域非常广, 包括通信、消费类电子、汽车、照明、信号灯等, 可大体分为背光源、照明、电子设备、显示屏、汽车等 5 大应用领域。

【背光源】 主要是手机背光光源方面, 这是 SMD 型 LED 产品应用的最大市场。LED 作为背光源已普遍应用于手机、电视、计算机、手持/掌上电子产品及汽车、飞机仪表盘等众多领域。

【照明】 LED 照明已逐渐发展到商品化的初步阶段, 但在使用寿命及价格上仍有改进空间。LED 照明应用包括建筑装饰、室内装饰、旅游景点装饰等, 主要用于重要建筑、街道、商业中心、名胜古迹、桥梁、社区、庭院、草坪、家居、休闲娱乐场所的装饰照明, 以及集装饰与广告于一体的商业照明。

【电子设备】LED 以其功耗低、体积小、寿命长的特点，已成为各种电子设备指示灯的首选，目前几乎所有的电子设备上都有 LED 的身影。

【显示屏】随着大规模集成电路和计算机技术的高速发展，LED 显示屏作为一种新兴的显示媒体，得到了飞速发展，并以其亮度高、动态影像显示效果好、故障率低、能耗少、使用寿命长、显示内容多样、显示方式丰富、性能价格比高等优势，广泛应用于各行各业。

【汽车领域】主要包括仪表盘、音箱等的指示灯，以及汽车外部的第三制动灯、左/右尾灯、方向灯等。若再加上前/后车灯、制动灯、交通标志灯等，与交通相关的 LED 的市场商机非常庞大。

【特殊工作照明和军事运用】由于 LED 光源具有抗振性、耐候性、密封性好，以及热辐射低、体积小、便于携带等特点，可广泛应用于防爆、野外作业、矿山、军事行动等特殊工作场所或恶劣工作环境之中。

【其他应用】LED 还可用于玩具、礼品、手电筒、圣诞灯等轻工产品之中。作为全球轻工产品的重要生产基地，我国对 LED 有着巨大的市场需求。

1.2 LED 芯片的类型

1.2.1 LED 芯片介绍

LED 芯片称为 LED 发光芯片，是 LED 灯的核心组件，即 PN 结。其功能是将电能转化为光，芯片的主要材料为单晶硅。LED 芯片是半导体发光器件 LED 的核心部件，它主要由砷 (As)、铝 (Al)、镓 (Ga)、铟 (In)、磷 (P)、氮 (N)、锶 (Sr) 等元素中的若干种组成。

1. 芯片按发光亮度分类

- ☺ 一般亮度：R (红色 GaAsP, 655nm)、HR (高红 GaP, 697nm)、G (绿色 GaP, 565nm)、Y (黄色 GaAsP/GaP, 585nm)、E (橘色 GaAsP/GaP, 635nm) 等。
- ☺ 高亮度：VG (较亮绿色 GaP, 565nm)、VY (较亮黄色 GaAsP/GaP, 585nm)、SR (较亮红色 GaA/AS, 660nm)。
- ☺ 超高亮度：UG、UY、UR、UYS、URF、UE 等。

2. 芯片按组成元素分类

- ☺ 二元芯片 (磷、镓)：H、G 等。
- ☺ 三元芯片 (磷、镓、砷)：SR (较亮红色 GaA/AS, 660nm)、HR (超亮红色 GaAlAs, 660nm)、UR (最亮红色 GaAlAs, 660nm) 等。
- ☺ 四元芯片 (磷、铝、镓、铟)：SRF (较亮红色 AlGaInP)、HRF (超亮红色 AlGaInP)、URF (最亮红色 AlGaInP, 630nm)、VY (较亮黄色 GaAsP/GaP, 585nm)、HY (超亮黄色 AlGaInP, 595nm)、UY (最亮黄色 AlGaInP, 595nm)、UYS (最亮黄

色 AlGaInP, 587nm)、UE (最亮橘色 AlGaInP, 620nm)、HE (超亮橘色 AlGaInP, 620nm)、UG (最亮绿色 AlGaInP, 574nm) LED 等。

3. 芯片按照制作工艺分类

☺ MB (Metal Bonding) 芯片: 金属粘着芯片, 该芯片属于 UEC 的专利产品。其特点如下。

☞ 采用高散热系数的材料 Si 作为衬底, 散热容易。

☞ 通过金属层来接合 (Wafer Bonding) 外延芯层和衬底, 同时反射光子, 避免衬底的吸收。

☞ 用导电的 Si 衬底取代 GaAs 衬底, 具有良好的热传导能力 (二者的导热系数相差 3~4 倍), 更适应于高驱动电流领域。

☞ 底部金属反射层有利于光度的提升及散热。

☞ 尺寸可加大, 应用于大功率领域。

☺ GB (Glue Bonding) 芯片: 粘着结合芯片, 该芯片属于 UEC 的专利产品。其特点如下。

☞ 用透明的蓝宝石衬底取代吸光的 GaAs 衬底, 其出光功率是传统的吸收衬底 (Absorbable Structure, AS) 芯片的 2 倍以上, 蓝宝石衬底类似 TS 芯片中的 GaP 衬底。

☞ 芯片四面发光, 具有出色的花样图。

☞ 其整体亮度已超过 TS 芯片的水平 (8.6mil)。

☞ 双电极结构, 其耐高电流方面要稍差于 TS 单电极芯片。

☺ TS (Transparent Structure) 芯片: 透明衬底芯片, 该芯片属于 HP 的专利产品。其特点如下。

☞ 芯片工艺制作复杂, 远高于 AS LED。

☞ 信赖性卓越。

☞ 透明的 GaP 衬底, 不吸收光, 亮度高。

☞ 应用广泛。

☺ AS (Absorbable Structure) 芯片: 吸收衬底芯片, 这里特指 UEC 的 AS 芯片。其特点如下。

☞ 四元芯片, 采用 MOVPE 工艺制备, 其亮度相对于常规芯片要亮。

☞ 信赖性优良。

☞ 应用广泛。

4. LED 芯片构成材料及制造方法 (见表 1-2)

表 1-2 LED 芯片构成材料及制造方法

序号	复合材料	基座	制作方法	备注
1	GaP	GaP	液相外延 (LPE)	磷化镓
2	GaAsP	GaP	气相外延 (VPE)	磷化砷镓
3	AlGaAs	GaAs	液相外延 (LPE)	砷化镓
		AlGaAs		砷化铝镓