



Led

轻松学

照明设计

张亮 主编

- LED 驱动电源设计基础
- LED 照明灯具设计基础
- 民用 LED 照明灯具设计
- LED 路灯和隧道灯设计

系统设计



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

Lead

轻松学

照明设计



张亮 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书系统地讲解了 LED 光源的性能特点、各种照明灯具的设计,以及 LED 照明系统的设计等。

本书共 10 章,主要包括初识 LED 光源、LED 光源的驱动技术基础、LED 驱动电源的功率因数校正(PFC)电路、LED 驱动电源的调光电路和保护电路、LED 照明灯具设计基础、民用 LED 照明灯具设计、LED 路灯和隧道灯设计、LED 景观照明驱动电路设计、汽车 LED 照明设计、智能照明控制系统。

本书收集了大量的灯具结构图、驱动电路原理图以及大量的新型驱动芯片资料,并配以详尽的文字讲解。在编写过程中,避开了大量的理论公式,力求通俗易懂。本书适合从事 LED 照明灯具厂家的技术人员以及新型光源照明系统的设计人员阅读,并可作为相关专业在校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

轻松学 LED 照明设计/张亮主编. —北京:中国电力出版社,
2016.2

ISBN 978-7-5123-8476-7

I. ①轻… II. ①张… III. ①发光二极管-照明设计
IV. ①TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 252385 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 2 月第一版 2016 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 33 印张 866 千字

印数 0001—2000 册 定价 65.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

LED 被称为第四代照明光源或绿色光源，具有节能、环保、寿命长、体积小等特点，广泛应用于各种指示、显示、装饰、背光源、普通照明和城市景观照明等领域。世界上围绕 LED 的研制从未间断。美国从 2000 年起投资 5 亿美元实施“国家半导体照明计划”，欧盟在 2000 年 7 月宣布启动类似的“彩虹计划”。我国科技部在“863”计划的支持下，2003 年 6 月首次提出发展半导体照明计划，各地则出台相关政策和举措加快 LED 灯具的发展。

虽然 LED 行业快速发展，企业对 LED 人才需求激增，然而高等院校对这方面的人才培养却跟不上 LED 行业发展的速度，LED 照明行业出现人才结构性缺失，人才频频“跳槽”及企业高薪“挖墙脚”等现象。LED 行业缺乏懂技术的销售人员和高端技术人才。鉴于这些情况，为了提升我国 LED 技术人员整体业务水平，使之能够适应 LED 产业的飞速发展，作者根据自身从事十余年电子硬件工程的工作经验，并联合了一些 LED 照明厂家的专业技术人员，根据我国 LED 光源应用情况及技术走向，特编写本书。

本书首先讲解了 LED 光源的基础知识。然后从 LED 驱动电路知识讲起，详尽地讲解了各种 LED 照明的设计，其中包括了各种民用照明灯具，如 LED 日光灯、LED 台灯、LED 射灯等，以及 LED 汽车照明、景观亮化和 LED 路灯、隧道灯的详细设计。最后，利用一章的内容讲解了 LED 智能控制系统。

本书在编著过程中，作者力求通俗易懂，图文并茂，使读者能够迅速上手，在短时间内技术方面能够有较大的提高。

本书由张亮主编，寇海军、赵保全任副主编，参加编写的人员还有王继芳、荆树春、王加兴、赵岩、王志永、吴亚男、陈彩学、张雪娇、车正凯、孙金楠、王芳、张晔、王光、王金侠、刘伟娜、齐悦、张华、张校珩等。

由于时间仓促，并且作者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请广大读者谅解。

编 者

前 言

第1章 初识 LED 光源	1
1.1 概述	1
1.1.1 LED 光源的优势	1
1.1.2 LED 与低碳	3
1.1.3 LED 光源的应用领域	4
1.2 LED 基础知识	5
1.2.1 物体光辐射原理	5
1.2.2 LED 发光原理	5
1.2.3 LED 的基本结构	6
1.2.4 LED 的种类	9
1.2.5 LED 的主要特性及参数	12
1.2.6 LED 的封装	19
1.3 大功率白光 LED	26
1.3.1 LED 白光的发光原理	26
1.3.2 白光 LED 的主要特性及相关技术指标	28
1.3.3 大功率白光 LED 的基本结构	29
1.3.4 大功率白光 LED 型号举例	31
1.4 高压 LED 与 AC LED 光源	36
1.4.1 高压 LED 光源	36
1.4.2 市电电源直接驱动的 AC LED 光源	37
1.5 白光 OLED 固态光源	46
1.5.1 OLED 的基本结构和发光原理	46
1.5.2 白光 OLED 的制备方法	46
1.5.3 OLED 照明技术	47

1.6	世界上主要的 LED 芯片企业	51
1.7	LED 的标准化及安全要求	51
1.7.1	国际上 LED 标准的制定情况	52
1.7.2	我国 LED 的相关标准	56
1.7.3	LED 产品的安全性要求	58
第2章	LED 光源的驱动技术基础	63
2.1	概述	63
2.1.1	高亮度 LED 驱动电路的特点	63
2.1.2	高亮度 LED 驱动电路的主要技术	64
2.1.3	LED 驱动技术的发展方向	64
2.2	LED 驱动电路分类	65
2.2.1	按输入电源电压分类	65
2.2.2	按负载连接方式分类	66
2.2.3	按驱动方式分类	67
2.3	开关电源基础知识	68
2.3.1	开关电源工作原理	68
2.3.2	常见的几种开关电源类型	69
2.3.3	开关电源的主要优势	74
2.4	LED 驱动电路的实现	74
2.4.1	恒压驱动和恒流驱动	74
2.4.2	恒流驱动原理	75
2.4.3	LED 驱动芯片的控制	80
2.4.4	交流供电驱动电路结构 (AC/DC 驱动)	81
2.4.5	LED 驱动电路的架构	83
2.5	LED 驱动器主要器件选型	84
2.5.1	开关管的选型	85
2.5.2	LED 驱动电源芯片的选型	88
2.5.3	LED 驱动电源电感/变压器的选型	93
2.5.4	LED 驱动电源电容器的选型	97
2.5.5	LED 驱动电源续流二极管的选型	99
2.5.6	LED 驱动电源运算放大器的选型	100
2.5.7	LED 驱动电源电路板布线	101
2.6	LED 驱动器的设计流程	101
第3章	LED 驱动电源的功率因数校正 (PFC) 电路	105
3.1	为什么要进行功率因数校正	105
3.2	LED 驱动电源 PFC 的主要策略	106

3.2.1	无源填谷式 PFC 电路	106
3.2.2	低成本高次谐波抑制电路	107
3.2.3	单级 PFC 电路	108
3.2.4	两级架构的有源 PFC 电路	111
3.2.5	数字控制 PFC 电路	112
3.3	实际电路举例	113
3.3.1	由 TNY279PN 构成的带填谷式无源 PFC 的驱动电路	113
3.3.2	由 TOP250YN 构成的单级 PFC 驱动电路	114
3.3.3	由 NCL30000 构成的单级 PFC 反激式驱动电路	118
3.3.4	由 iW2202 构成的数字单级 PFC 驱动电路	126
3.3.5	带有源 PFC 的两级或多架构驱动电源	131
第4章	LED 驱动电源的调光电路和保护电路	140
4.1	LED 驱动电源的调光电路	140
4.1.1	调光基本概念	140
4.1.2	LED 调光的基本要求	140
4.1.3	模拟调光	141
4.1.4	PWM 调光	144
4.1.5	可控硅 (TRIAC) 调光	146
4.1.6	调光方案的选择	149
4.1.7	实际电路举例	149
4.2	LED 驱动电源的保护及补偿电路	160
4.2.1	LED 驱动电源的保护电路	160
4.2.2	温度补偿电路	170
第5章	LED 照明灯具设计基础	174
5.1	灯具与 LED 灯具	174
5.1.1	灯具的基本概念	174
5.1.2	LED 灯具的特点	174
5.2	LED 模块及其控制装置	176
5.2.1	照明用 LED 模块	176
5.2.2	LED 模块电子控制装置	178
5.2.3	自镇流 LED 灯	180
5.3	普通照明 LED 驱动电源的基本要求	181
5.3.1	性能要求	181
5.3.2	安全要求	182
5.4	LED 光源模块设计	185
5.4.1	LED 阵列的连接	185

5.4.2	LED阵列的参数匹配问题	187
5.4.3	分布式恒流架构	188
5.4.4	LED模块的散热	189
5.5	LED灯具的散热及光学设计	192
5.5.1	LED灯具的散热设计	192
5.5.2	LED灯具的光学设计	196
5.5.3	光学透镜	200
第6章	民用LED照明灯具设计	203
6.1	LED荧光灯的设计	203
6.1.1	传统荧光灯与LED荧光灯的对比	203
6.1.2	LED荧光灯的优点	204
6.1.3	荧光灯用LED灯珠的选择	205
6.1.4	LED荧光灯驱动电源设计指导	206
6.1.5	由PT4107构成的LED荧光灯驱动设计	208
6.1.6	由PT4207构成的LED荧光灯驱动设计	214
6.1.7	由FT880构成的LED荧光灯驱动设计	217
6.1.8	由BP2808构成的LED荧光灯驱动设计	222
6.1.9	由NU501构成的LED集中式荧光灯驱动设计	226
6.2	LED灯杯(射灯)设计	229
6.2.1	LED灯杯概述	229
6.2.2	MR16灯杯驱动电源的设计	231
6.2.3	E27/GU10 LED射灯驱动电源设计	243
6.2.4	PAR38 LED射灯驱动电源设计	252
6.2.5	多通道LED射灯驱动电源设计	268
6.3	LED走廊灯驱动电源设计	272
6.3.1	由恒流二极管构成的LED走廊灯驱动电源	272
6.3.2	声控LED走廊灯驱动电源设计	274
6.4	LED台灯驱动电源的设计	277
6.4.1	台灯的性能需求	277
6.4.2	LED台灯概述	278
6.4.3	触摸开关式LED台灯驱动电源设计	282
6.4.4	触摸调光式LED台灯驱动电源设计	295
6.4.5	带待机辅助光源的LED台灯驱动电源设计	297
6.5	其他民用LED照明灯具驱动电源设计	307
6.5.1	LED橱柜灯驱动电源设计	307
6.5.2	LED冷柜灯驱动电源设计	322
6.5.3	无电解电容式LED驱动电源	333

第7章 LED路灯和隧道灯设计	337
7.1 LED路灯的现状	337
7.1.1 我国道路照明的现状	337
7.1.2 LED路灯的优势和目前的主要问题	338
7.2 LED路灯相关的主要指标及标准	341
7.2.1 道路照明相关指标	341
7.2.2 道路照明的相关标准	342
7.2.3 LED路灯相关标准	346
7.3 LED路灯的光学设计	350
7.3.1 道路照明灯具的现状和不足	350
7.3.2 LED路灯的光学要求	351
7.3.3 LED路灯的配光策略	352
7.4 LED路灯的散热设计	358
7.4.1 LED光源为什么需要散热	358
7.4.2 LED路灯散热设计原则	360
7.4.3 LED路灯的散热策略	363
7.5 LED路灯的主要技术指标	367
7.6 LED路灯驱动电源	368
7.6.1 LED路灯驱动电源的基本要求	368
7.6.2 LED路灯的驱动方案	369
7.7 LED路灯驱动电源举例	371
7.7.1 由FAN7554构成的30W LED路灯驱动电源	371
7.7.2 由NCP1652构成的90W LED路灯驱动电源	377
7.7.3 由PLC810PG构成的150W LED路灯驱动电源	388
7.7.4 由FAN6961和FSFR2100构成的6通道LED驱动电源	397
7.8 太阳能LED路灯设计	410
7.8.1 LED路灯的组成及各部分工作原理	410
7.8.2 由STM32F101RXT6构成的太阳能LED路灯	416
7.8.3 太阳能LED路灯目前的现状	418
7.8.4 风光互补型LED路灯	419
7.9 LED隧道灯设计	420
7.9.1 隧道照明	420
7.9.2 隧道照明的标准	421
7.9.3 LED隧道灯的优势	424
7.9.4 LED隧道灯的配光设计	426
7.9.5 LED隧道照明的现状	427

第8章 LED 景观照明驱动电路设计	428
8.1 夜景照明相关名词解释	428
8.2 景观照明的种类	430
8.3 LED 地埋灯驱动电源设计	431
8.3.1 LED 地埋灯简介	431
8.3.2 LED 地埋灯驱动器	433
8.3.3 驱动芯片的选型	433
8.3.4 UTC4107 概述	433
8.3.5 实际电路分析	435
8.3.6 电路板设计	437
8.4 LED 洗墙灯驱动电源设计	437
8.4.1 LED 洗墙灯简介	437
8.4.2 SSL1750 简介	441
8.4.3 电路设计	449
8.4.4 改善能效	453
第9章 汽车 LED 照明设计	455
9.1 概述	455
9.1.1 车用 LED 光源的优势	455
9.1.2 车用 LED 照明的主要问题	456
9.2 车用 LED 照明驱动电路	458
9.2.1 驱动电路概述	458
9.2.2 汽车照明对 LED 驱动芯片的要求	459
9.3 汽车前照灯设计	459
9.3.1 设计要领	459
9.3.2 白光 LED 汽车前照灯的光学设计	460
9.3.3 由 LTC3783 构成的 LED 汽车前照灯驱动设计	461
9.3.4 由 MAX16832 构成的 LED 汽车前照灯驱动设计	466
9.4 由 UC1843 构成的车载 LED 驱动电路设计	470
9.4.1 UC184X 系列芯片概述	470
9.4.2 实际电路设计	473
9.5 LED 汽车日行灯驱动电路设计	474
9.5.1 概述	474
9.5.2 由 MAX16831 构成的汽车 LED 日行灯驱动电路	475
9.5.3 由 LM5022 构成的 LED 汽车日行灯驱动电路	477
9.6 LED 汽车尾灯驱动电路设计	480
9.6.1 LED 汽车尾灯概述	480

9.6.2 实际电路设计	481
9.7 LED 汽车转向灯驱动电路设计	485
9.7.1 概述	485
9.7.2 实际电路设计	486
9.8 LT34XX 在车用 LED 照明中的应用	488
9.8.1 车用内外部 LED 照明的驱动方案	489
9.8.2 电路举例	489
第10章 智能照明控制系统	495
10.1 智能照明控制协议与技术	495
10.1.1 智能照明控制系统的协议和标准	495
10.1.2 无线照明控制	498
10.1.3 新一代无线智能照明监控系统	500
10.2 数字控制照明系统	502
10.2.1 数字可寻址接口 (DALI) 技术	502
10.2.2 DALI 照明系统	503
10.3 基于 DMX512 协议的 LED 照明控制系统	508
10.3.1 DMX512 协议的特点	508
10.3.2 系统详解	509
10.4 采用 ZigBee 协议 + GPRS 技术的 LED 路灯监控系统	513
10.4.1 系统特点	513
10.4.2 系统构成	513
参考文献	515

第1章

初识 LED 光源

1.1 概述

发光二极管 (Light-Emitting Diode, LED) 是一种能发光的半导体电子元件。这种电子元件早在 1962 年出现, 早期只能发出低光度的红光, 之后研究出其他单色光的产品, 时至今日, 发光二极管能发出的光已遍及可见光、红外线及紫外线, 光度也提高到相当的程度。

LED 光源在照明领域的应用, 是半导体发光材料技术高速发展及“绿色照明”概念逐步深入人心的产物。LED 作为一种新型的照明技术, 其应用前景举世瞩目, 尤其是高亮度 LED 更被誉为 21 世纪最有价值的光源, 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, 使人类告别延续了 100 多年的爱迪生 (白炽灯) 时代。

1.1.1 LED 光源的优势

LED 和 OLED 是继白炽灯、荧光灯和 HID 灯之后的第四代电光源。白炽灯是一种带钨丝的热辐射光源, 荧光灯和 HID 灯都是气体或弧光放电光源, 而 LED 和 OLED 是一种典型的固态电源。与传统的几类电光源相比, 固态电光源在材料、结构、工艺和发光原理等方面都发生了根本性的变化和质的飞跃, 成为真正的节能环保型绿色电光源。

现在以已经在主流普通照明领域开始普及的 LED 固态电光源为例来具体说明其在照明应用中的优势。

1. 使用寿命长

LED 的发光原理是利用半导体中的正负离子复合而发出光子, 不同于灯泡需要在 3000°C 以上的高温下操作, 也不必像日光灯需使用高电压激发电子束, LED 和一般的电子组件相同, 只需要 $2\sim 3.6\text{V}$ 的电压, 在常温下就可以正常工作, 因此其寿命也比传统光源更长, 理论寿命可达 10 万小时以上 (目前国外的产业化产品可达 3 万~5 万小时)。普通白炽灯的寿命约为 1 千小时, 荧光灯、金属卤化物灯的寿命不超过 1 万小时, 即使是寿命最长的高压钠灯也不过 2 万多小时, 因此传统光源在这方面无法与半导体光源相比, 在一些维护和换灯困难的场合, 使用 LED 作为光源, 也可以大大降低人工费用。

下面就将 LED 光源和节能灯寿命做个比较。节能灯的寿命一般在 1800h, 按照每天 6h 照明计算, 可以工作 300 天。如果按每个节能灯平均 15 元来计算, 10 年内至少要换 10 次灯泡, 10000 个

节能灯在 10 年内要更换 10 万次灯泡，总花费约 150 万元，LED 灯泡的寿命按照最保守的时间来计算，10 年内不用更换灯泡，每个灯泡以 5W 的功率就可取代 15W 的节能灯泡，每个灯泡价格在 70 元，那么 10000 个灯泡的价格是 70 万元，在灯泡花费方面节省了 80 万元的费用。

2. 功耗低

随着人类文明的进步，人们对照明的要求不再是一味地追求明亮。目前，世界上许多国家都重视照明中的环保问题。照明的能量主要来源于电能转换的光能，而电能又来自于石化燃料的燃烧。地球上的煤、石油、天然气等石化燃料的储量是有限的，并且是不可再生的，随着人类的不断开采，其储量日益减少，世界能源状况不容乐观。采用节能高效的光源，能达到节省电力资源的目的。LED 的能耗较小，是一种节能光源。LED 单管功率为 0.03~0.06W，采用直流驱动，单管驱动电压为 1.5~3.5V，电流为 15~18A，其反应速度快，可在高频条件下进行操作。同样照明效果的情况下，耗电量是白炽灯泡的 1/8，荧光灯管的 1/2，目前，白光 LED 的光效已经达到 60lm/W，超过了普通白炽灯的水平，而且现在 LED 的技术发展很快，白炽灯的发光效率是 8~15lm/W，普通 T-8 卤素荧光灯光效可达 40lm/W，T-5 高效荧光灯可以达到 80lm/W，到 2012 年，随着关键技术的突破，白光 LED 的光效已达到 200~300lm/W，大大超过现有照明光源的光效，在照明方面有着诱人的应用前景，如果我国室外照明都采用 LED 光源，则一年节约的电能就相当于三峡水库一年所发的电。

3. LED 光源是真正的绿色照明

现在广泛使用的荧光灯、汞灯等光源中含有危害人体健康的汞，光源的生产过程和废弃的灯管都会对环境产生很大的污染。白炽灯废弃后不易回收，也会造成浪费或环境污染。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。因此，LED 是一种符合绿色照明要求的清洁光源。它的高效舒适、安全经济、有益环境的特点，使它在绿色照明工程中扮演着越来越重要的角色。

LED 非常适合于太阳能光伏供电。太阳能 LED 照明综合了光伏和 LED 两项“绿色技术”，太阳能 LED 路灯、庭院灯、草坪灯、广告霓虹灯、造型景观灯、信号灯、水下灯和地理灯等，其节能和环保等特点逐渐被人们认可。

4. 快速启动

白炽灯是热辐射光源，给人的感觉是一点就亮，但实际上白炽灯启动后会有约零点几秒的上升时间。气体放电光源从启动至光辐射稳定输出，甚至需要几十秒至几十分钟的时间，这是由气体放电光源本身的特性决定的，多数气体放电灯的工作物质在常温下是液体或固体，启动后需要一个加热气化的过程，才能达到稳定的工作状态。而 LED 的响应时间只有几十纳秒，因此在一些需要快速响应或高速运动的场所，很适合使用 LED 作为光源。

5. 坚固耐用

LED 十分坚固耐用，使用寿命长。LED 采用环氧树脂封装，内部不存在容易松动的零部件，在结构上没有灯丝，也没有充填气体，更不需要玻璃外壳，机械强度大，抗震动，耐冲击，给 LED 生产、运输和使用的各个环节带来了便利。

LED 的这一特性使它可以应用于条件较为苛刻和恶劣的场合。

6. 发光体接近点光源

LED 的发光体芯片尺寸很小，在进行光源设计时基本上可以把它看作点光源，这样能给光源

设计带来许多方便,白炽灯的发光体是灯丝,有一定的长度,荧光灯管的尺寸更大,这些照明光源都不能看成点光源,在光源设计时首先要建立一个光源辐射模型,处理起来有一定的难度。而点光源的光源辐射模型是最简单的,这有利于LED的光源设计。

表1-1列出了LED光源与传统白炽灯和荧光灯的比较。

表 1-1 LED 与白炽灯和荧光灯的比较

指 标	白炽灯	荧光灯	LED
发光原理	钨丝加热辐射	汞蒸气	半导体,载流子复合
能量转换效率	5%	25%	>60%
极限发光效率 (lm/W)	15~20	80~100	220
寿命 (h)	1000	5000~10000	目前 35000~60000
光线方向性	全方向	全方向	定向
色温 (K)	2500~3000	4000~6000	2600~10000
发光响应时间	<0.5s	<5s	μs 或 ns 级
功耗	高	较高	低
可靠性	低	较高	高
抗震性	差	差	强
易碎性	易破碎	易破碎	坚固,不易破碎
初始购置成本	低	较高	高
照明成本 (初始投资成本+能耗成本+更换新灯具的劳务成本)	高	较高	低
环保性	高污染	高污染	好

与传统电光源相比,尽管LED在照明应用中具有很多优势,但它也并不是完美无缺的。除了LED视角小和目前的价位仍然偏高之外,LED存在的最大不足就是其光电特性参数受温度的影响较大,并且一旦LED结温超过了其极限温度,LED就会被烧毁。因此,解决LED及其灯具的散热问题,是一个技术关键。

1.1.2 LED与低碳

所谓“低碳”(Low Carbon),意指较低(更低)的温室气体(二氧化碳为主)排放。碳是节能减排的核算工具,“低碳经济”以“低消耗、低排放、低污染”为特征,“低碳”意味着更少的能源消耗,更绿色和谐的生产和生活方式。

发展低碳经济涉及国民经济的各个部门和各个行业。对于节能减排来说,每个企业、家庭和个人都责无旁贷。

目前我国超过70%的能源供应为煤炭,而超过一半的煤炭是发电站消耗的。根据中国科学院公布的首份按行业估算的2010年CO₂排放量名单,来源于煤炭消费的CO₂排放量中,排在第一位的是电力、热力的生产和供应业,因煤炭消费而排放的CO₂占总排放量的48.7%。从全球的情况来看,目前世界上绝大多数国家的电力供应仍然是靠火力发电,而每发1度电(即1kW·h)需要约0.4kg的标准煤。煤炭燃烧要排放出大量的粉尘、CO₂、SO₂和氮氧化物,这势必会加剧地球的温室效应和对大气的污染。对于照明来说,只要能省电,就是低碳的,就是绿色的。毫无疑问,半导体照明就是低碳的绿色照明。

在全能源供应紧张、能源价格高涨的情况下,节能降耗比过去任何时候都更为重要,全球通过

政府政策导向或强制执行的节能目标比过去更为明确和紧迫。鉴于全球发电量的 19% 用于照明，因此节约照明用电成为世界各国应对气候变化的重要举措。近年来，国际上加快淘汰低效照明产品的呼声越来越高。2007 年 2 月 20 日，澳大利亚政府率先宣布，计划将最晚在 2010 年开始逐步禁止使用传统的白炽灯。欧盟于 2009 年 9 月起禁止销售 100W 传统灯泡，2012 起禁用所有瓦数的传统灯泡。2007 年 3 月 12 日，英国政府宣布在 2011 年年底以前，在全英范围内计划逐步淘汰低效白炽灯。2007 年 3~5 月，爱尔兰共和国、葡萄牙、比利时、瑞士和法国政府也做出了类似的决定，2007 年 4 月 25 日，加拿大政府宣布为所有照明灯泡设置性能标准，在 2012 年逐步淘汰低效白炽灯。日本、韩国、巴西、阿根廷、美国等国，分别在 2011~2014 年逐步淘汰白炽灯。表 1-2 为世界上主要国家和地区禁用白炽灯的时间表。

表 1-2 世界主要国家和地区禁用白炽灯时间表

国家/地区	年份												
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
日本						√							
韩国					√								
中国台湾						√							
中国大陆												√	
澳大利亚				√									
新西兰									√				
美国								√					
加拿大						√							
爱尔兰			√										
阿根廷				√									
西班牙					√								
英国					√								
法国				√									
意大利				√									
荷兰					√								
芬兰					√								

用不了几年，1879 年问世的白炽灯将会在照明领域中退出历史舞台，延续了 130 多年之久的爱迪生时代即将结束。白炽灯的淘汰，给前途无限的半导体照明提供了千载难逢的发展机遇。

1.1.3 LED 光源的应用领域

迄今为止，LED 的主要应用领域是手机、平板电脑、数码相机、MP3/MP4 小尺寸彩屏和中大尺寸液晶电视的背光照明，景观照明，汽车内部（如仪表盘、阅读灯）和外部照明（如尾灯、制动灯、方向灯、头灯等），交通信号灯和显示屏等，这些应用领域都是相对成熟的。在安全照明方面，主要 LED 灯具有矿灯、防爆灯、应急灯和安全指示灯等；在专用普通照明方面，LED 的应用产品有手电筒、廊灯、门牌灯、庭园灯和阅读灯（飞机、火车和汽车上的阅读灯）等。事实上，LED 绿色照明光源的发展超过了先前人们的预期，半导体照明时代已经悄然来临。

从 2009 年开始，LED 光源就向主流普通照明领域渗透，LED MR16 射灯、用于替代传统灯泡的螺丝口灯头 LED 灯泡、LED 台灯、LED 日光灯、LED 路灯和 LED 隧道灯已经出现在商家的货

架上,并且进入到部分住宅、企业、办公楼及道路照明领域中。

LED应用产品可分为以下五大类。

(1) 信息显示:电子仪器、设备、家用电器等的指示灯、数码显示管、显示器及LED显示屏(信息显示、广告、记分牌)。

(2) 交通信号灯:城市交通,调整公路、铁路、机场、航海和江河的信号灯。

(3) 背光源:小于10in的背光源,主要用于手机、MP3、MP4、PDA、数码相机等;中等面积背光源(10~20in),主要用于计算机终端显示器及监视器;大面积背光源,大于20in,主要用于彩色电视机显示屏。

(4) 汽车用灯:汽车内外灯、前照灯、车内仪表照明显示。

(5) 半导体照明包括以下几个方面。

1) 室外景观照明:护栏灯、投射灯、LED灯带、LED球泡灯、LED异型灯、地埋灯、草坪灯、水底灯等。

2) 室内装饰照明:壁灯、吊灯、隐形灯、墙角灯、平面发光灯、变幻灯等。

3) 专用普通照明:便携式照明(手电筒、头灯)、低照度照明(廊灯、门牌灯、庭院灯)、阅读照明、显微镜灯、照相机闪光灯、台灯、路灯等。

4) 安全照明:矿灯、防爆灯、安全指示灯、应急灯等。

5) 特种照明:军用照明灯、医用照明灯、治疗灯、农作物灯等。

6) 普通照明:办公室、商店、酒店、家庭用的普通照明灯等。

1.2 LED基础知识

1.2.1 物体光辐射原理

光是一种能量的形态,它可以从一个物体传播到另一个物体,其中无需任何物质作媒介。通常将这种能量的传递方式称为辐射,其含义是能量从能源出发沿直线(在同一介质内)向四面八方传播。可见光的光波只占有很小的空间,其波长范围在380~770nm,包含了人眼可辨别的紫、靛、蓝、绿、黄、橙、红7种颜色。

物体的发光方式有热光和冷光,所谓热光又叫热辐射,它的发光原理是指物质在高温下发出的光,如白炽灯,当钨丝在真空或是惰性气体中加热至很高的温度,就会发出白光。冷光的发光原理是某种能源在较低温度时所发出的光。发冷光时,某个原子的一个电子受外力作用从基态激发到较高的能态。由于这种状态是不稳定的,因此该电子通常以光的形式将能量释放出来,回到基态。由于这种发光过程不伴随物体的加热,因此将这种形式的光称为冷光。实际中,产生冷光的有生物发光——萤火虫,化学发光——荧光粉,阴极射线发光——荧光灯、金卤灯,场致发光——无极灯,电致发光——LED等。

1.2.2 LED发光原理

LED是半导体二极管的一种,可以把电能转化成光能。LED与普通二极管一样,它是由一个PN结组成的,也具有单向导电性,即正向导通特性、反向截止特性和击穿特性。在一定条件下,它还具有发光特性。

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

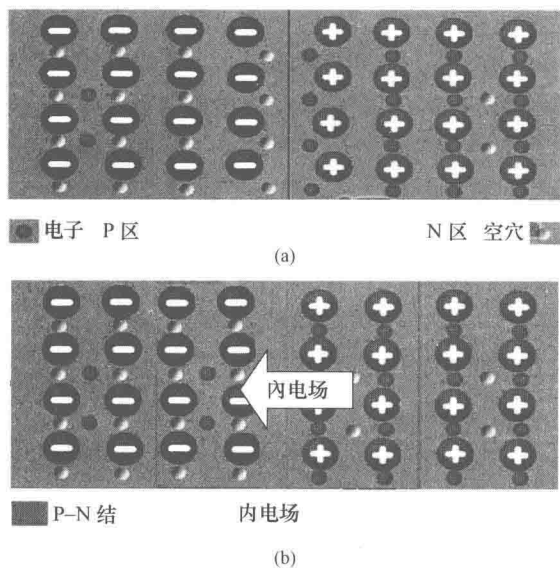


图 1-1 PN 结

(a) 空穴和电子; (b) PN 结和内电场

等)制成的。如果在硅(Si)单晶的一半中渗入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,就形成PN结。N型半导体中有多余的电子,P型半导体中有多余的空穴,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展,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型半导体中的空穴即会注入到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结发光的机制,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。

如果给PN结加反向电压,PN结的内部电场将被增强,电子(负电荷离子)与空穴(正电荷离子)难以注入,故不发光。

通过电子(负电荷离子)与空穴(正电荷离子)复合的发光原理制作的二极管,就是常说的发光二极管,即LED。调节电流,便可以调节光的强度,通过调整材料的能带结构和带隙,可以改变发光颜色。

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 $\lambda=1239/E_g$ 。

可见光的波长一般为380~780nm,相应材料的 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、蓝、靛和紫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,是由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(其波长为850~1550nm)。这类LED被称为不可见光LED。像波长在850~950nm的红外线LED,就是一种不可见光LED。

1.2.3 LED的基本结构

1. LED芯片结构

图1-3所示为彩色LED芯片的结构。芯片两端是金属电极(阳极和阴极),底部是衬底材料,

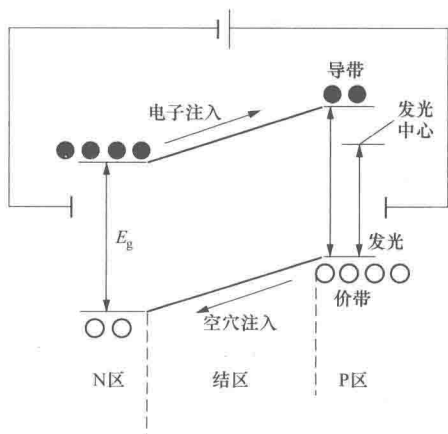


图 1-2 LED 发光机理示意图