

Open

LED ZHAOMING QUDONG DIANLU SHEJI
YINGYONG SHILI

LED照明驱动电路设计 应用实例

来清民 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

LED ZHAOMING QUDONG DIANLU SHEJI
YINGYONG SHILI

LED照明驱动电路设计 应用实例

来清民 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书阐述了LED发光的机理和特性,介绍了LED灯具设计的新理念和新技术,论述了LED驱动器设计的基本理论,集合最近两年的LED照明驱动器的发展,系统地介绍了LED照明驱动器在室内照明、室外道路照明、车用照明和太阳能照明的具体应用实例。

全书题材新颖、通俗易懂、图文并茂,涉及的LED驱动器既有利于家用照明的楼道灯、壁灯、客厅灯、吸顶灯和餐厅灯等,用于办公照明的射灯、筒灯、日光灯等;还有用于室外照明的路灯、防爆灯、隧道灯、景观灯和太阳能LED照明灯以及用于车用照明的前照灯、刹车灯、装饰灯和内照灯等,将LED驱动器理论与实际产品紧密结合,具有很强的实用性。

本书可供家电、照明、汽车、消防、信息、国防、航天、电信等领域从事LED驱动电源开发、设计和应用的工程技术人员参考,也可供电子技术类、电气工程类专业本科生及研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

LED照明驱动电路设计应用实例/来清民编著. —北京:中国电力出版社,2015.4

ISBN 978-7-5123-6124-9

I. ① L… II. ① 来… III. ① 发光二极管—电源电路—电路设计 IV. ① TN383.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第144805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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015年4月第一版 2015年4月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 443千字

印数 0001—3000册 定价 49.00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



LED照明驱动电路设计应用实例

前言

LED 照明对环境没有污染，是一种难得的绿色光源。LED 由固态的半导体器件组成，可以实现电能到光能的转化。与普通的白炽灯、荧光灯相比，LED 具有体积小、耗电量低、使用寿命长、色彩丰富、环保且具有良好的抗震性等优良性能，这些优良性能决定了 LED 在现代照明市场上处于领先地位，逐步成为现代生活中的理想光源，具有远大的市场前景。

目前，我国 LED 市场已经在其明显优势的驱动下一步步地形成，加上政府的支持及相关政策的颁布实施，使 LED 在照明市场上的地位不断提高。现在 LED 照明已经逐渐向住宅、道路和汽车等领域发展。随着标准、产品认证和检测、工程应用设计和示范、相关政策等产业环境的完善，毫无疑问 LED 照明的应用将在未来几年内保持较高的增长速度。根据灯具数据的不完全统计，在 2015 年，LED 将成为照明市场最具竞争实力的照明光源之一。

LED 灯具的可靠性主要取决于 LED 驱动电路的可靠性，因此驱动技术是 LED 照明的核心技术。近年来，LED 驱动技术发展特别迅速，新的驱动芯片层出不穷，国内外在 LED 照明驱动领域的竞争日益激烈。为了让读者能尽快进入 LED 照明驱动设计领域，本书结合了近年来 LED 驱动技术的发展成果，介绍了 LED 驱动芯片应用的最新实例，为读者呈现全方位的 LED 驱动电路发展全景。

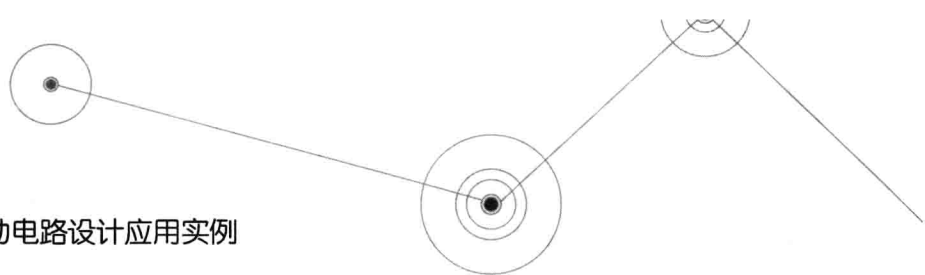
全书共分 6 章，第 1 章介绍了 LED 概论，LED 灯的发光机理及 LED 在光、色、电方面的特性，介绍了 LED 照明灯具的设计理念和 LED 灯具的发展、分类和应用；第 2 章阐述了 LED 照明驱动电路工作原理和驱动电路设计的要点、方法和疑难问题；第 3 章介绍了室内 LED 照明驱动器的设计，给出了用于家用 LED 照明的楼道灯、壁灯、客厅灯、吸顶灯和餐厅灯等驱动器设计实例以及用于办公 LED 照明的射灯、筒灯、荧光灯等驱动器设计实例；第 4 章介绍了室外 LED 照明驱动电路设计，给出了用于室外 LED 照明的路灯、防爆灯、隧道灯、景观灯驱动器设计实例；第 5 章主要介绍汽车前灯、刹车灯和内照灯等 LED 照明驱动器的设计实例；第 6 章详细介绍了太阳能 LED 照明设计实例。

本书的出版得到了 2010 年河南省科技攻关计划项目（项目编号：102102210060）的资助。在本书的编写过程中，还得到了很多人的支持以及我的部分学生和同事的帮助。他们是胡荷娟、张玉英、岳肖肖、来俊鹏、白云、樊肖红、王裔娜、胡亚峰、张冬、白昭、于瑞娟、白洁、来春辉、张艳红、杨延生、据新刚、张习民，在这里表示衷心感谢。本书在编写过程中参考了国内外一些同仁在 LED 生产及工程应用等方面的文献及资料，在此一并致谢。

由于编者的水平有限，全书完成比较仓促，书中出现疏漏和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正，提出宝贵意见。有兴趣的朋友可发送邮件到：lqm_911@163.com，与作者交流。

编者

2014 年 3 月



目 录

前言

第1章 LED 概论	1
1.1 LED 照明光源的应用现状和发展前景	1
1.1.1 LED 照明光源的提出	1
1.1.2 LED 光源应用现状	1
1.1.3 LED 照明发展前景	2
1.2 LED 的特性	3
1.2.1 LED 发光原理	3
1.2.2 LED 的优点	4
1.2.3 LED 的分类	4
1.3 白色 LED 灯的发光机理及特性	5
1.3.1 白色 LED 灯发光机理	5
1.3.2 白光 LED 芯片的特性	6
1.4 LED 光源光电参数	6
1.4.1 LED 灯具特征参数	7
1.4.2 LED 照明光源照度参数的计算	7
1.4.3 光通量的计算	9
1.5 功率型白光 LED 的封装介绍	10
1.5.1 基本封装要求	10
1.5.2 封装技术的发展方向	12
1.6 LED 灯具散热设计	13
1.6.1 散热器的设计方法	13
1.6.2 LED 铝基板设计选择	14
1.7 LED 灯具设计及实例	14
1.7.1 LED 灯照明设计新理念	14
1.7.2 LED 灯具设计需要考虑的问题	15
1.7.3 LED 灯具光学设计	16
1.7.4 LED 散热器的设计	18
1.7.5 LED 矿灯的设计	19
1.7.6 白光 LED 射灯设计	22
第2章 LED 照明驱动电路设计基础知识	25
2.1 LED 的基本特性和基本工作条件	25
2.1.1 LED 的伏安特性	25

2.1.2	LED 伏安特性的温度特性	26
2.1.3	二极管的主要参数	26
2.1.4	LED 灯具的主要参数	27
2.1.5	LED 的基本特性	27
2.1.6	LED 的基本工作条件	28
2.2	LED 联接方式和供电方式的问题研究	28
2.2.1	恒压供电方式	28
2.2.2	恒流供电方式	29
2.3	常见 LED 驱动电路分类	30
2.3.1	直流型驱动	31
2.3.2	交流驱动型 LED 电路	33
2.3.3	各种驱动方式对比	34
2.4	LED 开关电源工作原理及类型	34
2.4.1	LED 开关电源的拓扑结构和工作原理	34
2.4.2	串联型开关稳压电路工作原理	35
2.4.3	并联型开关稳压电路	35
2.4.4	极性反转型换能电路	36
2.4.5	单端正激式开关电源	36
2.4.6	单端反激式开关电源	36
2.4.7	推挽式换能电路	37
2.4.8	全桥式开关电源	37
2.4.9	半桥式开关电源	37
2.5	LED 驱动电源设计要点	38
2.5.1	LED 驱动电源设计要求	38
2.5.2	LED 日光灯电源设计要点	39
2.6	LED 驱动电路常用元件	40
2.6.1	MOSFET	40
2.6.2	电容器	42
2.6.3	电感	43
2.6.4	变压器	43
2.7	LED 驱动电源 EMC 和可靠性设计	44
2.7.1	LED 兼容性	44
2.7.2	LED 照明的可靠性	46
2.8	隔离型与非隔离型 LED 驱动电源比较	46
2.8.1	电路结构比较	46
2.8.2	市场应用比较	47
2.9	在 LED 驱动电路是否该采用电解电容	47
第 3 章	室内 LED 照明驱动电路设计	49
3.1	室内 LED 照明灯具设计概论	49

3.1.1	开发 LED 室内照明灯具应用的关注要点	49
3.1.2	室内 LED 照明的要求	50
3.2	基于 AP3766 高功率因数非隔离的 LED 射灯驱动电路	51
3.2.1	AP3766 简介	51
3.2.2	驱动电路原理	52
3.3	基于 OB3340 的 22W LED 客厅灯的设计	53
3.3.1	OB3340 简介	53
3.3.2	电路结构及原理	55
3.3.3	驱动电源设计	55
3.4	基于 TNY277 的大功率 LED 照明驱动电路设计	56
3.4.1	设计思路	56
3.4.2	发光二极管的连接	57
3.4.3	IC - TNY277 芯片介绍	57
3.4.4	驱动电路设计	59
3.5	恒流二极管在 LED 吸顶灯驱动器中的应用	61
3.5.1	恒流二极管介绍	61
3.5.2	恒流二极管作为 LED 的驱动源	64
3.6	小尺寸非隔离恒流 18W LED 日光灯驱动电路设计	65
3.6.1	TRUEC2 控制策略简介	66
3.6.2	DU8623 简介	66
3.6.3	基于 DU8623 的全闭环 18W LED 日光灯恒流控制	67
3.7	基于 SM8013 的 LED 日光灯驱动器设计	68
3.7.1	日光灯设计常见问题	68
3.7.2	驱动器性能指标和芯片选择	68
3.7.3	SM8013 芯片介绍	69
3.7.4	LED 驱动器系统的结构设计	71
3.7.5	硬件电路设计	72
3.8	基于 MT7930 的大功率 LED 餐厅灯驱动器设计	74
3.8.1	大功率 LED 餐厅灯驱动器的电气参数	75
3.8.2	MT7930 简介	75
3.8.3	LED 驱动器电路设计	78
3.9	基于 PT4201 的大功率卧室 LED 照明驱动器设计	81
3.9.1	PT4201 简介	81
3.9.2	驱动器电路设计	84
3.10	基于 BP3105 的 LED 筒灯驱动器设计	87
3.10.1	LED 筒灯设计参数	87
3.10.2	BP3105 芯片简介	87
3.10.3	驱动电路设计	89
3.11	基于 RX5800 低成本高效率 LED 日光灯驱动设计	93

3.11.1	RX5800 简介	93
3.11.2	日光灯管驱动方案	93
3.12	基于 DU1703 的高压 LED 楼道灯驱动电路设计	96
3.12.1	高压 LED 及驱动理念介绍	96
3.12.2	DU1703 简介	97
3.12.3	线性高压 LED 驱动方法	99
3.12.4	高压 LED 楼道灯驱动器设计	100
3.13	基于 BP2822 的 17W 商业 LED 日光灯驱动器设计	101
3.13.1	BP2822 简介	101
3.13.2	基于 BP2822 的 LED 驱动器电路设计	103
3.14	基于 LT3755 的大功率 LED 办公照明驱动器设计	105
3.14.1	集中外置式 LED 照明灯系统结构	105
3.14.2	集中外置式 LED 照明灯调光设计	105
3.14.3	LT3755 芯片介绍	106
3.14.4	LT3755 工作原理	108
3.14.5	LED 驱动器电路设计	108
3.15	基于 TinySwitch-III 的厨房 LED 驱动器设计	111
3.15.1	TinySwitch-III 简介	111
3.15.2	LED 驱动器电路介绍	117
3.16	基于 TK5401 的 5W LED 壁灯驱动器设计	119
3.16.1	TK5401 简介	119
3.16.2	隔离 5W 的 LED 驱动器电路	124
3.17	基于 LR5910 高压恒流源日光灯 LED 驱动器设计	125
3.17.1	LR5910 简介	125
3.17.2	LED 日光灯驱动器电路设计和器件参数选择	127
3.18	基于 LNK456 的带晶闸管调光 LED 台灯驱动器设计	130
3.18.1	LNK456 简介	130
3.18.2	带可控硅调光 LED 台灯驱动器电路设计	134
3.19	基于 NCP5007 的具有调光功能的停电宝 LED 台灯驱动器设计	139
3.19.1	电感升压式变换器工作原理	139
3.19.2	电感升压型变换器的优点及缺点	142
3.19.3	NCP5007 简介	142
3.19.4	用 NCP5007 组成的 LED 台灯驱动器电路	144
3.19.5	NCP5007 实现调光的方法	145
3.20	基于 CL1100 的一次侧恒流反馈方式 LED 驱动电源设计	146
3.20.1	一次侧恒流反馈电路的工作原理	146
3.20.2	CL1100 简介	146
3.20.3	基于 CL1100 控制芯片的一次侧恒流反馈电路的设计	150
3.21	基于 SSL2101 的可调光 LED 驱动电路设计	152

3.21.1	SSL2101 简介	153
3.21.2	基于 SSL2101 的驱动电路方案	157
3.22	基于 PT4205 的离线式 LED 射灯设计方案	159
3.22.1	降压恒流 LED 驱动器 PT4205	159
3.22.2	基于 PT4205 的离线式 LED 射灯电路	163
3.23	基于 LNK409EG 的 T8 LED 驱动器设计	164
3.23.1	LNK409 简介	165
3.23.2	T8 25W LED 日光灯驱动电路	169
第 4 章	室外 LED 照明驱动电路设计	171
4.1	室外 LED 照明灯具设计概论	171
4.1.1	大功率室外 LED 灯照明的优势	171
4.1.2	室外 LED 灯设计关键技术	171
4.1.3	大功率 LED 路灯的发展趋势	173
4.1.4	大功率 LED 道路照明灯具设计步骤	173
4.2	基于 TOP250YN 的 75W 高性能恒压恒流 LED 路灯驱动电源	175
4.2.1	TOP250YN 简介	175
4.2.2	TOP250YN 驱动电路设计	178
4.3	基于 UC3843 (TSM101) 的 100W LED 路灯驱动电源设计	181
4.3.1	设计思想提出	182
4.3.2	UC3843 简介	182
4.3.3	TSM101 简介	185
4.3.4	系统结构	186
4.3.5	设计原理	187
4.4	大功率 LED 防爆灯驱动电源设计	188
4.4.1	LED 防爆灯驱动电源设计思想	189
4.4.2	70W LED 防爆灯驱动电源的设计难点	189
4.4.3	70W LED 防爆灯驱动电源 APFC 电路设计	189
4.4.4	70W LED 防爆灯驱动电源 DC-DC 级设计	196
4.5	基于 CM6807/CM6900 的 350W LED 照明驱动器设计	202
4.5.1	CM6807/CM6900 简介	203
4.5.2	系统技术规格与基本架构	203
4.5.3	驱动电路设计	204
4.5.4	基于 CM6900 的恒压/恒流 (CV-CC) 控制电路	206
4.6	基于 UCC28810 的 LED 公路隧道灯照明电源设计	207
4.6.1	UCC28810 简介	207
4.6.2	基于 UCC28810 的 34W 单级 PFC 反激式 LED 恒流驱动电源	210
4.6.3	采用 UCC28810 的 240W LED 路灯驱动电源	211
4.7	基于 SP6648 的 LED 夜间照明灯驱动器设计	212
4.7.1	SP6648 简介	212

4.7.2	LED夜间照明灯驱动器设计	214
4.8	基于MAX1576的LED电子灯笼驱动器设计	215
4.8.1	设计思路	215
4.8.2	MAX1576简介	218
4.8.3	基于MAX1576的电子灯笼驱动电路设计	219
4.8.4	输出电压倍增因子的自动切换	221
4.9	基于DW091的1W~5W LED景观灯驱动电源设计	222
4.9.1	DW091简介	222
4.9.2	1W~5W LED景观灯照明驱动电路设计	224
第5章	车用LED驱动电路设计	230
5.1	车用LED灯具概论	230
5.1.1	LED车灯研究现状和发展前景	230
5.1.2	LED在汽车照明中的优势	230
5.1.3	车用LED灯的驱动设计	231
5.2	基于RT8482的LED车用前照灯驱动器设计	232
5.2.1	RT8482简介	233
5.2.2	基于RT8482的恒流驱动电路设计	233
5.2.3	相关模块电路设计	234
5.3	基于MC34063的LED刹车灯驱动设计	236
5.3.1	设计思想	236
5.3.2	基于LED刹车灯的总体框图设计	236
5.3.3	基于MC34063 LED刹车灯的升压电路设计	237
5.3.4	基于ULN2003 LED刹车灯的驱动电路介绍	239
5.4	基于LT3791的LED汽车前灯降压—升压型驱动器设计	240
5.4.1	LED汽车前灯驱动器设计需要解决的困难	240
5.4.2	基于LT3791的LED前灯驱动器设计方案	241
5.5	基于RX5801的LED汽车装饰灯驱动器设计	244
5.5.1	RX5801简介	244
5.5.2	基于RX5801的LED汽车装饰灯驱动器电路	245
5.6	基于CL6808的24V LED汽车内照灯驱动器设计	246
5.6.1	CL6808简介	247
5.6.2	CL6808的结构框图和工作原理	247
5.6.3	基于24V CL6808 LED汽车内照灯驱动器电路介绍	250
5.7	基于NCV系列的汽车LED照明灯驱动设计	251
5.7.1	基于NCV78663的高级LED前照灯双LED驱动器设计	251
5.7.2	基于NCV7680LED组合尾灯线性驱动器	254
5.7.3	基于NCV7430的汽车内部照明LIN RGB LED驱动器	257
5.7.4	基于NCV3065的紧凑型汽车LED照明驱动器	259
5.8	基于XL8002的电动自行车LED前灯驱动电路设计	261

5.8.1	XL8002 简介	262
5.8.2	电动自行车 LED 前大灯驱动电路设计	263
第 6 章	太阳能 LED 灯驱动电路设计	264
6.1	太阳能 LED 照明灯简介	264
6.1.1	太阳能 LED 灯概述	264
6.1.2	太阳能 LED 灯的主要设计参数	265
6.1.3	太阳能 LED 灯系统关键部件	265
6.1.4	太阳能 LED 照明系统设计参数	266
6.2	基于 PAM2842 的太阳能 LED 路灯系统设计	266
6.2.1	太阳能 LED 路灯系统	267
6.2.2	智能控制系统设计	267
6.2.3	太阳能 LED 路灯驱动电路设计	268
6.2.4	太阳能电池板的选择和 LED 灯头设计	270
6.3	基于 SD42560 的太阳能光伏 LED 照明驱动电路设计	271
6.3.1	太阳能 LED 照明驱动电源系统的总体结构	271
6.3.2	太阳能 LED 照明驱动电源设计	271
6.4	基于 LM3423 的太阳能家用 LED 照明驱动器的设计	275
6.4.1	太阳能 LED 照明的电源系统结构	275
6.4.2	传统升压驱动存在的问题	276
6.4.3	适用于家用太阳能 LED 照明的 LM3423 升压驱动电路设计	276
6.5	基于 XL6006 的太阳能 LED 路灯驱动电路设计	278
6.5.1	XL6006 简介	279
6.5.2	XL6006 的内部结构和典型应用	279
6.5.3	太阳能 LED 路灯驱动器电路设计	281
参考文献		283

LED 概 论

1.1 LED 照明光源的应用现状和发展前景

1.1.1 LED 照明光源的提出

随着全球能源价格的飞涨和供应不稳定,世界各国纷纷寻求各种节能方法,以减轻对能源的过度依赖,达到最大限度利用现有能源的结果,其中,占电能终端消费量近 20% 的照明用有很大发掘潜力。随着半导体发光技术的发展,人们将照明节电的希望寄托在一种新型的照明光源——基于 Light Emitting Diode (LED) 的固态照明。以白光 LED 为主的半导体光源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,可以广泛应用于显示、装饰、普通照明和城市夜景等场所。

作为充满希望的新一代照明光源,LED 光源具有很多特点,如依靠灯丝发热来发光,能量转换效率高,理论上仅占白炽灯 10% 的能耗,与荧光灯相比,LED 可达到 50% 的节能效果;LED 灯具为固体封装,结构牢固,使用寿命长达 10 万 h 以上,是荧光灯的 10 倍;废弃物不含汞,不会造成二次污染等。

LED 照明以其节能、环保的优势,受到国家和各级政府的重视。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,各地纷纷出台相关政策和举措来加快 LED 灯具的发展,大众消费者也对这种新型的环保照明产品翘首以待。但由于技术和推广上的成本投入较高,LED 照明产品一直未能得到广泛应用。

随着国内部分厂家技术和生产成本的降低,LED 照明产品叫好而不叫座的局面将得到改善,价廉物美的 LED 照明产品,将给中国照明行业带来冲击。

1.1.2 LED 光源应用现状

纵观我国当前的照明市场,由于国民经济水平以及科技水平等因素限制,和一些欧美国家以及日本相比,虽然规模庞大,但从整体来看,主要以经营传统灯具如白炽灯、荧光灯为主,在技术上还需加强。根据我国照明市场灯具的相关调查,LED 灯具中比例最大的是用来代替白炽灯和节能灯的球泡灯,其比重高达 41%,紧邻其后的是射灯及筒灯。

2012 年,中国大陆 LED 灯具总产值突破 2000 亿,其中,LED 室内照明产值规模为 335 亿元人民币,同比增长 80%,高工 LED 产业研究所预计,2013 年中国 LED 室内照明产值规模依然保持高速增长的态势,达 600 亿元人民币,同比增长 66%。

1.1.3 LED 照明发展前景

随着技术进步和环保理念深入,LED 灯具作为一种低碳、节能、环保的照明设备已逐渐被人们所了解,在智能照明领域成为国家和地方政府大力扶植的战略性新兴产业。它以其丰富的色彩、超长的寿命以及极强的安全性能被业界看好,并将逐渐取代普通的照明灯(如白炽灯)。专家预计在 2015 年前后,LED 照明将实现普及。

国家政策为 LED 照明发展提供了动力,中国市场逐步成为国内外 LED 照明企业的竞争焦点,广州国际照明展作为全球照明行业的晴雨表,其发展也印证了这一点。据广州光亚法兰克福展览有限公司总经理胡忠顺介绍,飞利浦等世界 500 强公司对中国照明市场极为关注,并为抢夺中国市场做准备。

与此同时,不少国内企业也开始由出口转向内销。广州奥迪通用照明有限公司总经理关旭东表示:“欧美市场近年来呈下跌趋势,国内市场日益趋重。”据其介绍,国内市场目前占到全球 70% 的销售额,出口和内销的比例完全逆转。

发改委发布的《半导体照明节能产业规划》提出,截至 2015 年,半导体照明节能产业的关键设备和重要原材料实现国产化,重大技术取得突破,高端应用产品达到国际先进水平,节能效果更加明显。LED 照明节能产业集中度逐步提高,产业集聚区基本确立,一批龙头企业竞争力量明显增强,研发平台和标准、检测、认证体系进一步完善。

具体而言,首先是节能减排效果更加明显,市场份额逐步扩大。截至 2015 年,60W 以上普通照明白炽灯全部淘汰,其市场占有率将下降到 10% 以下;节能灯等传统高效照明产品市场占有率稳定约为 70%;LED 功能性照明产品市场占有率将达 20% 以上;此外,LED 液晶背光源、景观照明市场占有率分别达 70% 和 80% 以上。与传统照明产品相比,LED 道路照明节电 30% 以上,室内照明节电 60% 以上,背光应用节电 50% 以上,景观照明节电 80% 以上,实现年节电 600 亿 kWh,相当于节约标准煤 2100 万吨,减少二氧化碳排放近 6000 万吨。

其次是产业规模稳步增长,重点企业实力增强。LED 照明节能产业大发展目标是产值年均增长 30% 左右,2015 年达到 4500 亿元(其中 LED 照明应用产品占 1800 亿元)。产业结构进一步优化,建成一批特色鲜明的半导体照明产业集聚区,形成 10~15 家掌握核心技术、拥有较多自主知识产权和知名品牌、质量竞争力强的龙头企业。

第三是技术创新能力大幅提升,标准、检测、认证体系进一步完善。LED 芯片国产化率达 80% 以上,硅基 LED 芯片取得重要突破,核心器件的发光效率与应用产品的质量达到国际同期先进水平。大型 MOCVD 设备(LED 外延片生产设备)、关键原材料实现国产化,检测设备国产化率达 70% 以上。

预计到 2025 年全球范围内由于使用 LED 照明将节约 50% 的照明电能,没有任何一种其他的电能消耗行业具有如此大的节能潜力。由于大多数电能来自矿物燃料燃烧,因此节约的电能就相当于每年少向大气中排放几亿吨的碳化物(CO , CO_2 等)等污染物。不仅减轻对环境的压力,还能节约对电站的投资和巨大的照明支出费用。LED 照明将创造一个年产值近 500 亿美元的产业。

LED 未来的发展主要表现在:①LED 募投企业的方向。从目前以及市场行情的发展来看,未来 LED 企业将把目光更多地投向 LED 关键设备及相关配套设备方面,做好照明

产品的封装及应用。②LED 产品快速升级。随着市场的需求及技术的不断进步,LED 的成本将逐步降低,LED 灯具在照明市场更具有竞争实力,成为市场的主流。③应用客户逐渐扩大。目前,LED 显示屏、照明装饰是 LED 的应用主流,随着 LED 技术的不断成熟,LED 应用逐渐会向其他领域扩展,比较有市场潜力的如为建筑物外立面提供不同颜色变换效果的景观照明等。结合前面介绍 LED 照明的现状分析,可知价格是影响其市场份额的主要因素,所以首先要降低 LED 成本,这需要技术的支撑、新材料的研发来带动成本的下降,这样会增加 LED 在路灯、汽车车灯、大尺寸背光源、全彩显示屏等领域的应用。

1.2 LED 的特性

1.2.1 LED 发光原理

发光二极管是由Ⅲ-Ⅳ族化合物(如 GaAs、AlGaInN、GaAsP 等)半导体材料在衬底(蓝宝石、硅或 SiC 等)上外延生长而成,通常采用双异质结和量子阱结构(双异质结即 pn 结在同一块半导体中用掺杂的办法做成两个导电类型不同的部分;量子阱即由两种不同的半导体材料相间排列形成的具有明显量子限制效应的电子或空穴势阱),其核心是 pn 结。pn 结是携带电子的 n 型半导体和携带空穴的 p 型半导体间的过渡层,当 p 区加上正向电压而 n 区加上负向电压时,电子从 n 区流入 p 区,空穴从 p 区迁入 n 区。在 p 区中电子较少而存在大量的空穴,反之在 n 区中,空穴较少存在大量电子。这些电子与空穴的区别是其能量与动量不同,其能量之差称之为半导体材料禁带宽度 E_g 。导带(自由电子形成的能量空间)中的电子与价带(价电子所处的能量空间)中的空穴相互复合时,要释放出多余的能量。放出能量的方式有两类:

(1) 发射光子,成为辐射复合。

(2) 不发射光子,成为非辐射复合,最后转换为热能或激发其他的载流子。

在热平衡状态下存在着热激发与载流子间复合的平衡。由于无论是 p 区还是 n 区中载流子(少数)密度都很小,这种情况下复合作用是很弱的。即使有辐射复合,由于材料本征吸收,从外部观察不到光发射。必须在半导体内激发载流子,形成不平衡载流子,即需正向电流注入,它们的复合才会引起显著的光发射,实现电能向光能的直接转换,如图 1-1 所示。

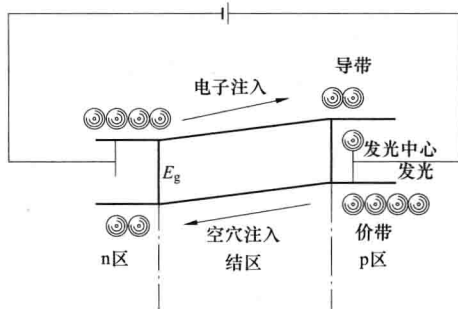


图 1-1 LED 发光原理图

为获得较高的发光效率,需要保证以下两点:①提高少子的密度来保证无辐射复合的寿命长于辐射复合的寿命;②使晶体中的缺陷密度尽可能少而注入的载流子密度尽可能高,一般把带隙宽度小的发光层夹到禁带宽度大的层内,制成双异质结结构,如图 1-2 所示。

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

$$\lambda = 1240/E_g \quad (1-1)$$

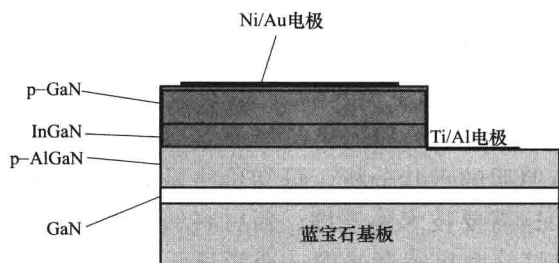


图 1-2 InGaN 蓝绿光 LED 的结构

式中： E_g 的单位为电子伏特，eV。

若要产生可见光（波长在 380nm ~ 780nm），半导体材料的 E_g 应在 1.63 ~ 3.26eV 之间。自 1990 年以来已开发出发射红外线、红、黄、绿及蓝光的发光二极管，其中蓝光二极管是近年来研究的重点，它具有输入功率大、发光亮度高、易转换得到白光等优点，是大功率发光二极管的主要代表。

1.2.2 LED 的优点

LED 光源目前广泛用于指示性照明和特殊照明市场上，随着性能的不断提高，已经向通用照明光源的方向发展。与传统人工照明光源相比，LED 照明光源具有很多优点，其发展潜力巨大，LED 照明光源优点如下：

(1) 发光效率高。LED 释放的能量主要集中在可见光范围内，理论上 LED 几乎能把所有的电能都转化为光能，而白炽灯的可见光发光效率仅为 10%~20%。现在商品化的 LED 的发光效率已超过 35lm/W，这几乎达到钨丝灯泡的两倍。

(2) 光线质量高。由于 LED 光源光谱中几乎没有紫外线和红外线，故没有辐射，产生的热量很小，属于典型的绿色照明光源。

(3) 光色纯。与白炽灯全频段光谱不同，典型的 LED 光源光谱狭窄，发出的光色很纯。

(4) 光源颜色丰富。既有白色的 LED，也有各种单色光的 LED，且颜色饱和度高，在需要色光的场合，不再需要用滤色片进行滤光，有利于节约电能。

(5) 能耗小。单体 LED 灯具的功率一般为 0.05~3W，通过集群方式可以满足不同的需要，浪费很少。

(6) 寿命长。目前 LED 灯具光通量衰减到 70% 的标称寿命为 1×10^5 h，远远高于白炽灯 1500h 和荧光灯 1×10^4 h 的寿命。

(7) 可靠耐用。LED 灯具没有钨丝、玻壳等容易损坏的部件，非正常报废的可能性很小，维护费用极为低廉。

(8) 应用灵活。LED 芯片体积小，可平面封装，易开发成轻薄短小产品，目前封装后的 LED 芯片厚度可小于 1mm，易于做成点、线、面等各种形式的具体应用产品。

(9) 绿色环保。废弃物可回收、无污染，不像荧光灯含有汞等有害成分。

1.2.3 LED 的分类

最早应用半导体 pn 结发光原理制成的 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（波长 $\lambda_p = 650\text{nm}$ ），在驱动电流为 20mA 时，光通量只有千分之几流明，相应的发光效率约 0.1lm/W。70 年代中期，引入元素 In 和 N，使 LED 产生了绿光（ $\lambda_p = 555\text{nm}$ ）、黄光（ $\lambda_p = 590\text{nm}$ ）和橙光（ $\lambda_p = 610\text{nm}$ ），发光效率也提高到 1lm/W。80 年代初，出现了 GaAlAs 的 LED 光源，使得红色 LED 的发光效率达到 10lm/W。进入 20 世纪 90 年代，随着氮化物 LED 的发明，LED 的发光效率有了质的飞跃，组成白光的重要原色蓝

光 LED 芯片,也在 1992 年由供职于日本著名 LED 企业日亚化学的中村修二发明。至此可见光波谱内的单色 LED 灯具已经完备,能够满足各种场所单色发光的要求。LED 灯具分类如下:

(1) 按发光颜色分。

从发光颜色上可分成红光、橙光、绿光(又细分黄绿、标准绿和纯绿)、蓝光、白光 LED 等。

(2) 按发光强度分。

按发光强度分有普通亮度的 LED(发光强度小于 100mcd)、高亮度 LED(发光强度大于 100mcd)和超高亮度 LED(发光强度大于 10000mcd)三种。

(3) 按发光管出光面特征分。

按发光管出光面特征分圆形、方形、矩形面发光管、侧向管、微型管等。圆形灯按直径分为 $\phi 2\text{mm}$ 、 $\phi 4.4\text{mm}$ 、 $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 、 $\phi 10\text{mm}$ 及 $\phi 20\text{mm}$ 等;人们通常把 $\phi 3\text{mm}$ 的 LED 记作 T-1,把 $\phi 5\text{mm}$ 的记作 T-1(3/4)。

(4) 按发光强度角来分。

从发光强度角分布图来分有高指向型、标准型和散射型三种。高指向型一般为尖头形环氧封装,或带金属反射腔封装,且不加散射剂,半强度角为 $5^\circ \sim 20^\circ$ [半强度角是光源中心法线方向向四周张开,中心发光强度到周围的 1/2 之间的夹角,单位为 $(^\circ)$] 或更小,具有很高的指向性,可作局部照明光源用;标准型的半强度角为 $20^\circ \sim 45^\circ$,通常作指示灯用;而散射型的半强度角为 $45^\circ \sim 90^\circ$ 或更大,散射剂的量较大。

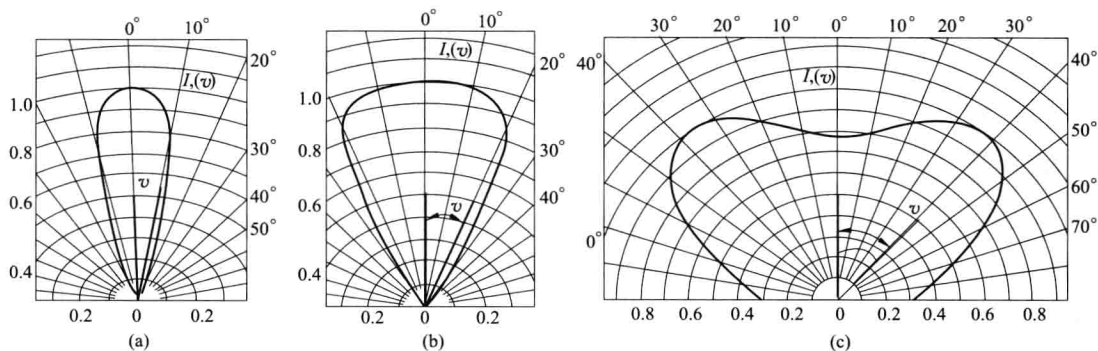


图 1-3 发光强度角分布图

(a) 高指向型; (b) 标准型; (c) 散射型

1.3 白色 LED 灯的发光机理及特性

1.3.1 白色 LED 灯发光机理

单芯片白色 LED 灯是一种含 InGaN 活性层的 GaN 发光二极管,它主要有两种发光机理:一种是蓝色 LED 芯片和黄磷结合,通过蓝光和黄光混合产生白光;另一种是通过紫外光 LED 和红、蓝、绿光混合产生白光。根据组合方式不同可分为单晶型和多晶型。

1.3.1.1 单晶型芯片

(1) 蓝光 LED 芯片+黄磷。

其原理是钇铝石榴石荧光粉(YAG)受到蓝色LED照射后会发出黄光,与未被吸收的蓝光混合后,即可产生被肉眼视为白色的光,这是目前白色LED最为主要的生产方式。因其灯具发光结构与驱动电路的设计较简单、生产容易,且没有多晶型生产普遍存在的各个LED晶粒的光衰减率、温度特性和寿命有差异的缺陷,但是其发光效率较低,目前为25~35lm/W,且在高电流工作下,色温升高问题较为严重。

(2) 紫外光 LED+发红、蓝、绿光的荧光粉。

此发光原理和荧光灯发光原理相似,利用紫外光或近紫外光激发R、G、B三色荧光粉,产生R、G、B三原色的光混合产生白光。其发光光谱与蓝色LED+YAG相比更宽,而且可以利用荧光体的组合,发出白光以外的各色光,但是紫外光转换为黄绿光的过程中,能量损失比蓝光大,因此发光效率较低,紫外光泄漏不安全。单晶型LED灯具最新的技术方向是改变活性层的性质,利用三种单纯的活性层半导体产生R、G、B三色光,而直接产生白光效果,使用的发光材料是多量子阱结构的InGaN。

1.3.1.2 多晶型

(1) 红光 LED+蓝光 LED+绿光 LED。

通过将电流控制在适当的输出功率比下,可将红(AlGaAs)、蓝(InGaN)、绿(AlInGaP)三原色LED所发出的光混合成白光,并可通过电流加以控制调整其频谱特性,具有较高发光效率且色温易调整,但要使用三颗LED晶粒,且个别晶粒材质差异很大,因此在驱动电路设计上较为复杂,整体生产成本较高。

(2) 蓝绿光 LED+琥珀光 LED。

利用InGaN蓝绿光LED和InAlGaP琥珀光LED的互补色关系生产出互补色白光,与发三原色光LED混合成的白光LED具有基本相同的特性,但其显色指数(Ra)较低。

1.3.2 白光 LED 芯片的特性

白光LED芯片的主要特性为:正向压降为3.5V;发光效率大于20lm/W,2004年,发光效率提高到60lm/W,接近荧光灯水平,可大量用于照明市场;光通量为23lm,封装尺寸小。

Nichia公司于2003年推出SMD型白光LED,型号为NSCW215,它是一种侧视SMD型白光LED,厚度为0.8~1mm,电流为20mA时,发光强度达600mcd。ToyodaGosei公司推出SMD型白光LED,尺寸为3.2mm×2.8mm,型号为TGwhite,电流为20mA时,发光强度达100mcd,发光效率为4.5lm/W~5lm/W。Citizen公司采用Nichia公司的白光LED裸片开发出更小的白色LED芯片,其厚度为0.55mm。Nichia公司的非SMD型白光LED的尺寸为11.2mm(宽)×7.2mm(长)×6mm(高),寿命长达5万h以上。白光LED在照明市场上的应用前景广阔,为此,世界各国LED厂商加紧开发大功率白光LED,如Nichia公司开发出大功率InGaN LED,功率达1~2W,是现有常用LED芯片的10倍。

1.4 LED 光源光电参数

照明光源一般倾向于用近似太阳光的白光LED。目前LED发白光的方式较多,每种方