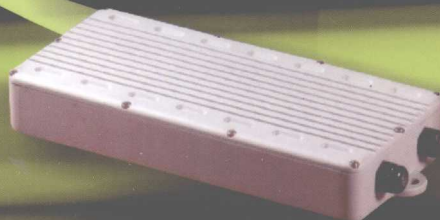


电力电子工程应用技术丛书

LED照明驱动电路 设计与实例精选

杨 恒 编著

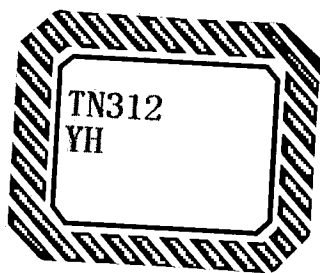


中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力电子工程应用技术丛书

LED照明驱动电路 设计与实例精选

杨 恒 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书概要地分析了 LED 技术的发展和今后的应用方向,以 LED 驱动器的设计与 LED 配合应用为重点,并列举了 LED 在照明上的应用实例。全书共分 6 章,分别介绍了 LED 的发光工作原理、LED 直流变换器原理、LED 直流—直流驱动器(实例)、LED 交流—直流驱动器(实例)、LED 照明产品应用(实例)、白光 LED 的合成与配光应用(实例)。附录 1 给出了国内外 LED 主要生产商,附录 2 给出了 LED 常用名词。LED 直流—直流驱动器和 LED 交流—直流驱动器电路具有很强的参考性,读者完全可根据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更佳的产品。

本书题材新颖,内容丰富,通俗易懂,切合实际,将 LED 工作原理、驱动器理论与实际产品紧密结合,具有很强的实用性。本书可供从事 LED 相关工作的技术人员参考、阅读。

图书在版编目(CIP)数据

LED 照明驱动电路设计与实例精选/杨恒编著.

北京:中国电力出版社,2008

ISBN 978-7-5083-6040-9

I. L… II. 杨… III. 发光二极管—电路设计
IV. TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 133271 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 5 月北京第二次印刷

1000 毫米×1400 毫米 B5 开本 20.25 印张 400 千字

印数 3001—6000 册 定价 35.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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照明驱动电路设计与精选实例

白光 LED 的发光效率正在逐步提高,商品化的器件已达到白炽灯的水平,Nichia 已推出 100lm/W 的白光 LED,发光效率已与荧光灯的水平相当,并在稳步增长之中。白光 LED 还具有无污染、长寿命、耐震动和抗冲击的鲜明特点,是 LED 产业中最被看好的新兴产品。在全球能源短缺的忧虑再度升高的背景下,白光 LED 在照明市场的前景备受全球瞩目,欧、美及日本等先进国家也投入许多人力,并成立专门的机构推动白光 LED 研发工作。它必将成为 21 世纪的新一代光源——第四代电光源,以替代白炽灯、荧光灯和高压气体放电灯等传统光源。白光 LED 孕育着巨大的商机。

高亮度白光 LED 的终极目标是实现新世纪照明。过去,LED 主要在产品上充当指示灯,现在随着技术进步、亮度提升,高亮度白光 LED 正一步步进军潜力巨大的灯光照明市场。根据 Frost&Sullivan 的统计,当前全球照明市场的年均增长率约为 5.5%,2000 年市场规模达 45 亿美元。若以每年白光 LED 发光效率平均增长 60%的速度开发下去,要达到大型化、低价化、使用寿命长的照明用光源并非不可能。业界一般认为,白光 LED 照明市场可望在 2010 年左右趋于成熟。目前日亚化学、丰田合成、SONY、住友电工等企业都已有初步的照明产品问世,但价格与常规灯泡相比仍有很大的差距。预计未来 10 年内,高亮度 LED 对全球照明工业将造成巨大的冲击。因此,各界都对白光 LED 寄以厚望,有“绿色照明光源”之称。

在照明市场方面,中国的电力不足问题加速了 LED(发光二极管)取代传统的照明设施,2006 年中国大陆的 LED 市场已达到 160 亿元人民币,而到 2010 年我们预计这个市场将达 300 亿元。目前中国 LED 市场每年的增长速度是 30%,欧盟、韩国、北美等照明大举投资中国 LED 产业,业内人士表示,国内政府节能、环保政策的相继出台,成为包括飞利浦、通用电气、首尔半导体在内的跨国企业的机遇和未来。在白光 LED 成本进一步降低、照明应用领域陆续开发的情形下,预计白光 LED 还会有更为可观的市场规模,显示出此产品相当大的市场爆发力。

本书结合国内外 LED 技术的发展方向,系统地介绍了 LED 的发展情况、基本理论基础及驱动器的设计、应用要点。本书还结合作者在开发 LED 灯具与驱动器产品的实际经验,力求做到通俗易懂,并与实际产品相联系,使其对从事 LED 照明驱动电路的开发、设计与应用的读者有参考性,并从中受益。

本书在编写过程中得到了许多专家、学者与 LED 生产厂家的大力支持,在此表示由衷感谢。

由于编者水平有限,书中或许有疏漏与不当之处,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

LED照明驱动电路设计与精选实例

前言

第一章 LED 的发光工作原理 1

- 第一节 白光 LED 的发展过程 1
- 第二节 LED 的应用 4
- 第三节 半导体发光二极管 (LED) 工作原理 9
- 第四节 LED 的特性 15
- 第五节 LED 的静电防护 27

第二章 DC-DC 变换电路 35

- 第一节 非隔离功率变换电路 35
- 第二节 隔离功率变换电路 48
- 第三节 功率变换电路的实践选用 58
- 第四节 LED 驱动电路结构 62

第三章 LED 直流一直流驱动器设计实例 67

- 第一节 用 LM2623 构成的低压高效 LED 驱动电源 67
- 第二节 基于 DM137 构成的 16 位 LED 恒流驱动器 71
- 第三节 基于 LM317 组成的 LED 恒流驱动器 77
- 第四节 基于 LT3783 实现大调光比例的 LED 驱动器 79
- 第五节 基于 MAX5033 为高亮度 LED 提供高效电流驱动 85
- 第六节 基于 NCP3063 构成的降—升压式 CC/CV 10WLED 驱动器 ... 91
- 第七节 基于 ZXSC310 组成的 LED 驱动器 95
- 第八节 基于 CS700 实现三路高功率 LED 驱动器 100
- 第九节 基于 NCP1400A 实现太阳能充电式小夜灯 102
- 第十节 基于 PT4105 构成的 1W 可调光台灯电路 106
- 第十一节 基于 TPS61042 构成的 LED 驱动电路 110
- 第十二节 白光 LED 的恒流驱动 114
- 第十三节 手机 LED 背光照明设计新思路 118
- 第十四节 基于 SP6648 的手电筒 LED 照明电路的设计 120
- 第十五节 使用定电流控制 IC 做 LED 过温度保护线路 123
- 第十六节 由 BL8532 组成的 PFM 升压恒流白光 LED 驱动器 126

第十七节	超低工作电压白光 LED 驱动电路	131
第十八节	基于 MAX6970 构成的 8 端口、36V 恒流 LED 驱动器	133
第十九节	白光 LED 电荷泵电路板布局指南	138
第二十节	基于 PIC12F675 构成的 MR16 灯杯驱动器	140

第四章 LED 交流—直流驱动器设计实例 145

第一节	1000W LED 可调输出电压驱动电源	145
第二节	基于 HV9931 组成单级 PFC 高亮度 LED 驱动器	152
第三节	基于 HL4929 组成的 LED RGB 七彩灯杯电路	160
第四节	基于 IR2153D 构成的 5W CCFL 驱动器	163
第五节	基于 IRIS4011 构成的 60W LED 恒压恒流驱动电源	169
第六节	基于 iW1688 一次控制模式实现 5W 恒流电源	179
第七节	基于 LD7552 构成的 10W 模拟调光 LED 驱动器	187
第八节	基于 NCP1200 非隔离大功率 LED 恒流驱动器	191
第九节	用 FSDM311 构成的 10W LED 恒流电源	195
第十节	用 NCP1027 构成的 15W 恒流电源	199
第十一节	由 HV9921 构成的 LED 灯串驱动器	203
第十二节	由 L6562 组成的单级高功率因数 LED 驱动器	208
第十三节	由 LNK306 构成的非隔离 LED 的恒流驱动电源	213
第十四节	由 NCP1014 构成的 LED RGB 控制电路	216
第十五节	由 TOP243R 构成的高功率因数 LED 恒流驱动器	220
第十六节	六种 LED 恒流电路恒流精度的比较	224
第十七节	基于 MAX16801A/B 构成的 30W LED 洗墙灯驱动器	231
第十八节	基于 HL0558-1 构成的装饰花瓶	236
第十九节	基于 MSP1131 构成的 10W LED 驱动器	239
第二十节	HA22004P 新型 LED 高压驱动器	242
第二十一节	最简单化的 LED 灯串驱动器	244
第二十二节	基于 NCP1216 构成的三种 LED 驱动器	247
第二十三节	基于 NCP1651 构成的 90W 通用输入单段 PFC 转换器	250
第二十四节	基于 HV9925 构成的可变电流 LED 驱动器	256

第五章 LED 照明产品实例 260

第一节	LED 技术发展现况	260
第二节	LED 灯杯产品	261
第三节	LED PAR 灯产品	263
第四节	LED 台灯	267
第五节	LED 射灯	272

第六节	LED 户外照明灯具	274
第七节	LED 在 LCD 背光照明中的应用	279
第八节	LED 控制系统最新技术	281
第九节	LED 安全标准探讨: 界定激光还是灯具	284
第六章	白光 LED 的合成与配光应用	287
第一节	RGB 合成白光原则	287
第二节	人眼的视觉特点	295
第三节	LED 的配光应用	301
附录 1	国内外 LED 主要生产商	309
附录 2	LED 辞典	312
参考文献		316



LED 的发光工作原理

LED 照明驱动电路设计与精选实例

第一节 白光 LED 的发展过程

一、LED “大蛋糕” 的市场份额

2005 年 8 月, 飞利浦公司宣布以 9.5 亿美元的代价取得了安捷伦持有的 Lumileds 公司 47% 的股份, 加上原来持有的股份, 飞利浦取得了 Lumileds 公司 96.5% 的绝对控股权。作为世界 3 大照明器材供应商之一, 飞利浦增持 Lumileds 公司的股份, 也表达了对 LED 进入照明领域前景的信心。在交易完成后的 9 月 28 日, 就有消息说飞利浦联合 Lumileds 公司开发汽车照明模块, 以推动汽车制造商采用固态照明解决方案的进程。在 LED 应用的另一个重要领域——LCD 背光源部分, 飞利浦也以 15 亿美元的代价取得了 LG LCD 半数股份。这样, 飞利浦在 LED 时下增长最快的两个领域——汽车照明和 LCD 背光源部分, 都能形成良好的整合关系。

2005 年 10 月 20 日, 世界领先的 LED 制造商 Cree 公司 2006 财年第一季度获利 2170 万美元, 合每股 28 美分, 超过预期的 23 美分。销售收入由 9590 万美元增至 1.039 亿, 也超过预期的 1.028 亿。

相比之下, 年产 60 亿个白光 LED 的日亚化学成绩更加突出, 其产量几乎是 Cree 公司的 2 倍, 2004 年 LED 销售额接近 20 亿美元, 税前利润超过 50%。

二、LED 专利纷争

日亚化学先在 1988 年资助中村修二到美国佛罗里达州立大学研究有机金属气象法 (MOCVD), 1989 年又从日本酸素制造购买了一台 MOCVD 设备供中村修二研究。其实整个产业界对蓝绿光 LED 都束手无策, 而作为今天 LED 最主要材料的氮化镓 (GaN), 当时很难找到与之晶格常数相匹配的衬底, 这样生长的外延片原子排列不规则, 发光效率无法提升。技术的突破首先从赤崎勇教授开始, 他利用金属有机物化学气相淀积 (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD) 在低温下生成了氮化铝缓冲层, 而后在高温下生成氮化镓。随后, 中村修二在 1991 年利用低温生成非结晶氮化镓缓冲层, 再以高温生成氮化镓结晶。1989 年, 赤崎勇教授利用电子束照射得到 P 型氮化镓, 中村修二直接利用热退火完成 P 型氮化镓的制作。这样, 困扰氮化物半导体的两个重大问题先后被赤崎勇和中村修二攻克, 从此开创了今天氮化物半导体在白光 LED 中的核心地位。

而日亚化学也因中村修二“诺贝尔奖级别”的发明奠定了世界领先地位: 1993 年首先开发出蓝色 LED, 1997 年开发出紫外 LED, 1999 年蓝紫色 LED 样

受挫的日亚化学在 2002 年改变了策略,先后与丰田合成达成了和解合约,与 Cree 和 Lumileds 签署了相互进出口许可合同。随后日亚化学又与丰田合成和 Cree 以及 Lumileds 公司之间达成了一系列的专利交叉许可协议。巨头之间的竞争开始走向合作的一面。最新的授权发生在 2005 年 5 月,日亚化学和 Cree 就白光 LED 的交叉授权达成了协议,老冤家合作的程度越来越深入。

2004 年 8 月,面对迅速崛起的中国台湾竞争者,日亚化学一改此前不授权、多诉讼的策略,突然授权给台湾光磊科技股份有限公司蓝光专利。日亚化学的善举并非转性,而是迫于欧美等企业授权的压力,努力保持一些收入。

三、后起之秀

2005 年在中国台湾连续发生了两起大的并购,首先是元矽宣布以 1 比 1.36 换股比例并购联铨科技,接着晶元电以 1 比 2.24 的换股比例合并国联光电。经过这两次合并,在蓝光 LED 方面,晶元电与元矽都以月产 2 亿只的产能,排在月产 5 亿只的日亚化学、月产 3.5 亿只的 Cree、月产 2.5 亿只的丰田合成之后,成为世界上蓝色 LED 产量最大的前 5 强。而晶元电也因为这次合并,在四色 LED 产量方面跃居世界首位。

以元矽和晶元电为代表,中国台湾白光 LED 市场占有超过 20%,成为仅次于日本的第二大供应地。而多年来困扰台湾 LED 业界的专利问题也因为开放授权而取得突破。

2005 年,欧系照明及 LED 大厂欧司朗 (Osram) 再度对中国台湾厂商授权,包括此前李洲科技股份有限公司取得日本厂商萤光粉供货权在内,中国台湾共有 5 家厂商可免于白光专利威胁。

不过,取得欧司朗这张入场券代价不低。据了解,欧司朗白光授权首先必须先缴一笔 2 亿元台币授权金,而后在每个产品出货后,抽单价 4%~7% 的专利权金,再加上向欧司朗购买的萤光粉,这个代价并不是每个封装厂都可承受。

2004 年日亚化学宣布,考虑与部分制造蓝色发光二极管 (LED) 等 GaN 系发光二极管的中国台湾厂商进行合作,包括提供授权在内。而此前的 2003 年,日亚化学一直与中国台湾的发光二极管芯片厂商晶元光电以及模块厂商亿光电子等发生专利纠纷。

有自主专利在手的日亚化学、Cree、丰田合成以及 Lumileds 和欧司朗,通过交叉授权提高市场反应能力,同时面对产量增长迅速和有成本优势的中国台湾企业,则采取专利授权的办法尽量获取权利收入。在手机和 LCD 背光源市场,白光 LED 性能已经满足要求,现在的问题是成本仍然过于高昂,而在汽车车前灯甚至普通照明领域,现有的白光 LED 性能还略显不足。这样,在蓝光 LED 领域,专利授权和合作成为主流;而在有望取得更高发光效率的紫外光领域,各家在研发上的竞争正如火如荼地进行。市场短暂的平稳也必然随着紫光 LED 的突破而重新趋于激烈。表 1-2 是各应用领域发光效率需求比较表。

表 1-2 各应用领域发光效率需求比较表

照度	10~15lm/W	20~30lm/W	80~100lm/W
应用	交通信号灯、手持式设备、车用显示及车内照明、建筑物内外局部装饰性照明、导航灯等	路灯、台灯等室内小型灯具、紧急照明等辅助照明等	室内照明、车外头灯照明等

第二节 LED 的应用

一、LED 的应用前景

从 20 世纪 60 年代诞生以来, LED 从红光 LED、绿光 LED, 一路开发到蓝光 LED。凭借着省电、长寿命、开关速度快等优点, LED 大量应用在指示灯、交通信号灯、手电筒、矿灯、显示屏、LCD 背光源、汽车、景观照明等领域中。

景观照明、LCD 背光源、LED 显示屏在北京 2008 年奥运会、2010 年上海世博会召开以及国家对环保问题的重视等多种利好因素的刺激下将保持快速增长, 2010 年市场规模可观。景观照明、LCD 背光源以及 LED 显示屏成为 LED 应用的明星市场。用于整机指示作用的 LED 指示灯是 LED 最早的应用, 虽然用量很大, 但由于其价格十分低廉, 市场早已进入低速发展阶段。随着交通灯替换的逐步完成, 未来几年 LED 在交通灯中的应用将不会出现快速增长, 2006~2010 年交通指示灯用 LED 销售额年均复合增长率为 4.3%。LED 室内装饰灯虽然在未来几年仍将高速增长, 但是鉴于其终端需求以及价格因素的限制, 2010 年市场规模不是很大, 2006~2010 年中国室内装饰灯用 LED 销售额年均复合增长率将达到 22.6%。汽车应用中 LED 除了作为内饰装饰灯外, 最重要的一个应用就是汽车车灯, 这里面包括转向灯、车内阅读灯、汽车大灯以及第三刹车灯等。汽车整机配套体系在一定程度上影响了 LED 汽车车灯在汽车中的广泛使用, 汽车用 LED 在短期内还难以达到很大的市场规模。但凭借 LED 灯响应速度快及寿命长等优点, LED 车灯在第三刹车灯上的应用正在逐步扩大, 2006~2010 年中国汽车用 LED 销售额年均复合增长率将达到 76.7%。受到 2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会的影响, 北京、上海等举办地加快了景观照明的步伐。此外, 受到北京、上海等活动举办城市 LED 景观照明工程样板作用的影响, 二、三级城市也将加快 LED 灯在景观照明工程中的应用比例。随着奥运会、世博会的召开, 各比赛、展览场馆对于 LED 显示屏的需求量出现增长。而这些重大活动的召开必然会吸引大规模游客的到来。为了方便游客, 各重要地区将建立一批信息显示屏, 这将刺激 LED 显示屏的发展。

2006~2010 年显示用 LED 销售额年均复合增长率为 19.2%, 景观照明销售额年均复合增长率将达到 37.2%。环保将推动大尺寸背光源市场发展, LED 作为手机等小尺寸 LCD 背光源已经十分普及, 可以说 LED 已经成功地占领了小尺寸液晶背光源市场。

欧盟新的环保条例的出台表明各国对环保日益重视,这将推动 LED 作为 LCD 背光源市场的发展。传统的背光源主要采用的是 CCFL,但由于 CCFL 含有有害物质易引起环境污染,各国政府都开始探讨新的无污染背光源替代品。LED 无污染、高色域的优势使得 LED 成为下一代液晶产品背光源的首选。液晶电视背光源无疑是 LED 最终的市场。

LED 要进入液晶电视背光源市场还面临价格较高、三基色 LED 波长衰减不一致影响寿命以及需要重新进行电路设计等问题。这些问题都使得 2006 年、2007 年 LED 进入液晶电视背光源市场十分困难,但鉴于 LED 背光源的多种优势,相关厂商都在积极投入资金进行研发,一旦技术成熟达到生产规模化必将带动价格的下降,预计在 2009 年 LED 液晶电视背光源市场将启动。LCD 显示器和笔记本电脑已经面临越来越大的价格压力,特别是 LCD 显示器近年来价格不断下降,利润空间不断被挤压,LED 代替 CCFL 成为背光源,必定会加大厂商的成本压力,同时计算机对显示效果的要求不如液晶电视高,这些都影响了 LED 进入 LCD 显示器和笔记本电脑的步伐,其进入时间可能会晚于液晶电视。2006~2010 年中国 LCD 背光源用 LED 销售额年均复合增长率会达到 31.5%。3G 手机对手机键盘及相机闪光灯市场贡献不大,鉴于 3G 手机仍属高端产品,发展初期还面临很多困难,3G 手机产量增长的同时,GSM、CDMA 手机的产量必然会出现一定幅度的下降,整体市场手机产量不会出现井喷式增长。3G 手机时代的到来对于手机键盘及相机闪光灯市场带来的影响有限。2006~2010 年中国手机键盘及相机闪光灯用 LED 销售额年均复合增长率仅为 0.6%。价格、发光效率、显色性等问题影响了 LED 进入普通照明市场的步伐。

2010 年中国室内照明市场没有真正启动,LED 灯销售量和销售额规模都很小,市场只是处于初期的预热阶段。随着功率型白光 LED 在发光效率等指标参数上达到普通照明光源要求以及经过几年的市场预热,大众对于 LED 灯的认识逐步加深,2012 年室内照明市场将逐步启动。2007~2010 年中国室内照明用 LED 销售额年均复合增长率达到 158.5%。

二、LED 的应用领域

景观灯是 LED 材料在照明领域最重要的应用之一,因为在同等的发光效率条件下,它需要的电能只是普通白炽灯的 1/10,和一些大功率的射灯、气体灯相比,能源节约效果更加明显;另一方面,由于 LED 是硬性的半导体发光材料,不仅使用寿命远远长于普通的照明灯泡,而且受周围的环境影响微乎其微。最重要的,LED 景观灯可以进行电脑程序控制,从而更加富于变化,易于对不同的建筑情况采用不同的设计方案。图 1-1 是厦门中山路步行街 LED 灯光效果图。

目前,LED 在室内照明工程中的应用主要集中在商业照明领域,以装饰性照明为主。



图 1-1 厦门中山路步行街 LED 灯光效果图

(1) 中高档专卖店、商场等室内商业气氛照明。LED 光源节能环保、无紫外线，迎合了某些商家展示个性化光环境的心理，成了一些商家针对某些特殊产品展示的首选光源。它全光谱的色彩范围很适合烘托专卖店的商场的气氛，LED 光源在局部照明、重点照明和区域照明方面的优势，能营造出其他传统照明电光源所无法比拟的高质量光环境，非常适合商业照明领域。这时，价格成了次要考虑的因素。

(2) 娱乐场所、美容院照明。LED 集成光源全彩易控，可以创造静态和动态的照明效果，以及从白光到全光谱的任意颜色，渲染出一种强烈的娱乐气氛，LED 的出现给这类空间环境的装潢设计开启了新的思路。事实证明 LED 光源发出的绚丽多彩灯光效果能调节人的情绪，提高消费欲望。

(3) 酒吧、咖啡厅等休闲场所的气氛照明。LED 光源体积小，固态发光，给了灯具生产商无限的发挥空间，可以专业制作各式不同风格的 LED 灯具，而 LED 全光谱的任意颜色和动静态的照明效果让它的装饰性和制造情调的功能在这一类场所表现得淋漓尽致。图 1-2 是 LED 在酒吧的气氛照明效果。



图 1-2 LED 在酒吧的气氛照明效果

(4) 博物馆、美术陈列馆等专业场所的照明。博物馆、美术陈列馆等场所属于对照明环境要求较高的特殊场合，其展示物品的特殊性要求照明光源不含紫外线，没有热辐射。LED 是冷光源，光线中不含紫外线，完全可以满足博物馆、美术陈列馆对照明的特殊要求。图 1-3 是 LED 在美术陈列馆的照明效果。



图 1-3 LED 在美术陈列馆的照明效果

(5) 商业性剧场、电视演播厅舞蹈和摄影的舞台照明。LED 光源在室内照明的应用，给剧场、演播厅的照明环境诠释了一个新的概念。作为一流的英国电视台，GMTV 去年将演播室的照明改为变色 LED，照明方面的能源利用减少了 60% 以上，演播室的温度也降到更为舒适的程度。iVision 的 Lumos Drive 36 可提供 2.5~4.0kHz 的 LED 脉冲，而不是会产生闪烁电视影像的 50~60Hz，这使得演播室的更改切实可行。变色筒灯、鸟状装饰以及变色带为不同的节目段创造出独特的色彩及标识。荧光配件为 LED 安装提供常规及背光支撑。此套系统预计在 39 周内就可以获得等值回报。

(6) 酒店、宾馆照明。酒店、宾馆的照明运用 LED 产品，在大堂或是在客房，给顾客带来一种不一样的感受，除了节约能源之外，还能尽显豪华和温馨。对业主而言，LED 营造的个性化的光环境可以充分的彰显企业的实力，提升企业的商业形象。

(7) 会议室、多功能厅照明。智能化控制的 LED 灰度可调，可以依据会议内容的不同调整会议室或多功能厅的照明环境，轻松或紧张、严肃或活泼可以自由设定，LED 智能化照明可以满足不同会议主题对光环境的需求。

(8) 展览会、时装表演照明。展览会、时装表演是商家展示其产品和服务

的场地。对商家而言，为了更好的吸引顾客，推销商品并最终达成合作协议，他们需要个性化的光环境来展示其产品和服务，LED 在展览会和时装表演照明领域大有用武之地。

(9) 起居室和家庭影院照明。利用 LED 的灯光色彩来烘托一种温暖、和谐、浪漫的情调，体现舒适、休闲的氛围。LED 的应用为家居照明诠释了另一种意义。

在交通方面，红绿灯大部分是由 LED 制成的，这个应用占到整个 LED 市场的 10%。选择这种材料是因为 LED 不仅亮度高，而且光色纯度好，不容易被空气吸收，所以非常鲜明，易于识别，甚至越来越多的机场也采用这种材料来做标灯、投光灯等专用信号灯。1995 年开始，广大的汽车厂商纷纷采用这种耐震动、省电、反应速度快的光源来做成汽车的刹车灯、尾灯和方向灯，也可以用于仪表照明和车内照明。据 Lumileds 公司称，已有 1500 万辆汽车用上了他们的 LED 产品。

采用 LED 不仅有经济上的重要意义，还可以用在许多特定的领域，医学上可以用 LED 制成医用灯，日本已经用 LED 灯来促进农作物生长，还可以用紫外 LED 进行消毒和空气净化。由于其安全可靠，用 LED 做成的矿灯，没有火花，不会引起瓦斯爆炸，大大提高了井下作业的安全性，另外，由于其非常省电，所以工人再也不用整天背着又大又重的电源工作了。

不仅如此，我们还应该看到 LED 相关产业从一开始就跟计算机技术紧密结合，以 LED 显示屏为例，它采用了显示缓冲区硬件搬移的数据技术，实现了显示器和 LED 显示屏的同步显示。LED 大屏对应于计算机显示器的不同颜色、灰度、分辨率，可显示出各级灰度、分辨率的图形，大大地提高了 LED 显示屏的可观赏性，同时由于此系统是纯硬件控制，不需要特殊的软件平台，客户只需对显示器（显示缓存）的特定地方编程显示，就可以在大屏幕上得到相同的画面，这样就大大拓展了 LED 显示屏的适用场所，更方便了用户的使用。

关于 LED 照明，不得不提的是它和太阳能技术之间的完美结合。“太阳能是 LED 照明的最佳伙伴”，由于采用了完全不同常规的新材料、新工艺，在相同亮度的条件下太阳电池和蓄电池容量将减少 40%，光源寿命增加 10 倍，可靠性提高 5 倍，系统成本降低 40% 以上，这是对太阳能照明系统的一种突破。使用太阳能 LED 灯具有极高的社会效益和经济效益。它可以免维护、节省能源和利于环保，同时具有高度的可靠性，可以为交通安全提供最佳保障。对于机场滑道边缘的永久照明，使用强度较高的路灯、庭院灯等，太阳能 LED 灯具可以大大降低能源成本、维修成本 and 环境污染成本。而且在道路交通方面避免了因人为或自然原因断电而造成的交通隐患，因为太阳能电池与 LED 灯具之间是由光控开关来控制的，不需要电缆连接和人为控制。

LED 还有许多让人意想不到的妙处，大到景观照明、户外大屏幕，小到玩具、手电筒、圣诞灯，随着技术的不断进步，LED 技术的应用将在更深更广的范围内全面展开，并不断的带动其他如光通信、汽车、广告、室内装潢等行业

的快速发展,面对庞大的市场,相信也会有更多的应用厂商乐于提供丰富的应用产品,从而提高人们的生活质量。

第三节 半导体发光二极管(LED)工作原理

一、LED 发光原理

半导体发光二极管(Light Emitting Diode, LED)和半导体激光器(Laser Diode, LD)都属于发光器件,都采用PN结或异质结的注入式场致发光的方法发光。它们的结构如图1-4所示。它们的发光光谱相当窄,LED发光谱线宽典型值是 $100\sim 500\text{\AA}$,LD的只有 $0.01\sim 0.1\text{nm}$ 宽。它们之间主要区别是:发光二极管靠注入的载流子自发复合的自发辐射,发射的是非相干光;而半导体激光器靠受激辐射,发射的是相干光,光的单色性、方向性和亮度等都比发光二极管好得多。

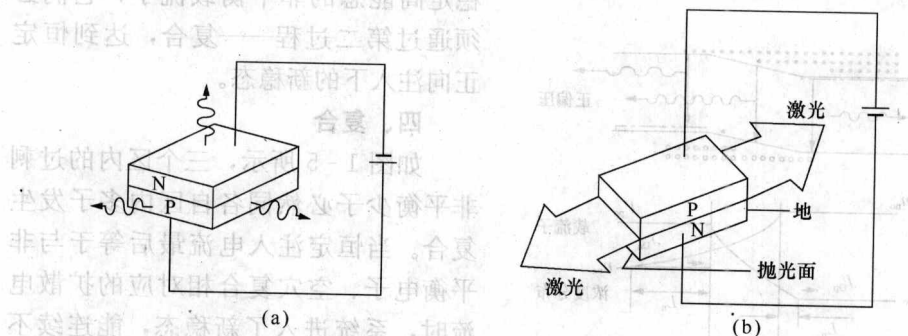


图1-4 半导体发光二极管和半导体激光器结构

(a) 半导体发光二极管; (b) 半导体激光器

从1940年O. W. Lossev推断, SiC的发光是PN结发光引起的。直至1962年,在正向偏置的PN结GaAs LED中发现强辐射的载流子集合,以及研制成PN结GaAs-LD,才对这两种结型发光器件给予真正的注意。此后,在器件的种类、性能、材料以及发光机理的研究方面,人们开展了大量的工作,取得了很大的成绩。异质结的发展对结型发光器件性能的提高起了很大的推动作用。1970年采用GaAs-GsAlAs双异质结的方法实现激光器的室温连续工作。光纤通信的发展又有力地促进高效率、高亮度发光器件的研制。近二十多年来,在半导体科学技术中,半导体发光器件已经成为一个十分活跃的领域。

与其他发光器件相比,半导体发光器件具有体积小、工作电压低、功耗低、机械性能好、调制方便等优点,因而有着广阔的应用前景。目前主要用在信息的传递、处理、存储和显示方面。LED多用于各种仪器仪表的指示器,数字、文字及其他符号的显示,光通信、精密测距及其他物理检测的光源。GaAsLED和硅接受器结合组成的光电耦合器件,在自动控制中的应用也日益广泛。半导

体 Laser 在通信、测距、光集成、信息的存储和处理等方面具有重要的应用。但这两类发光器件，目前还存在发光效率低、成本高、寿命还不够长等缺点，尚待进一步研究解决。

二、PN 结注入式场致发光原理

半导体发光包括激发过程和复合过程。这两个过程前后衔接，是发光必不可少的两个环节。

三、激发

PN 结正向偏置时的扩散电流与辐射复合如图 1-5 所示，在 PN 结上施加正偏压，产生注入效应，使结区及其左右两边各一个少子扩散长度范围内的少子浓度超过其热平衡少子浓度。超过部分就是由电能激发产生的处于不稳定高能态的非平衡载流子，它们必须通过第二过程——复合，达到恒定正向注入下的新稳态。

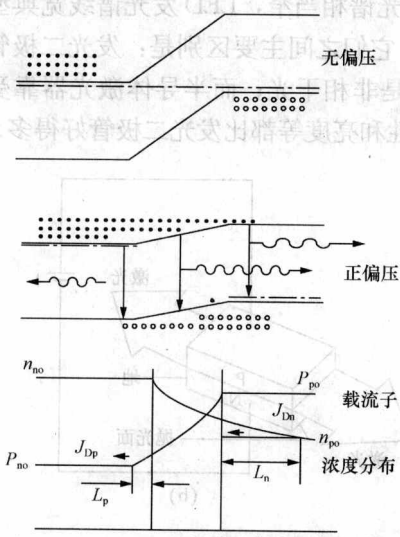


图 1-5 PN 结正向偏置时的扩散电流与辐射复合

四、复合

如图 1-5 所示，三个区内的过剩非平衡少子必然同各自区内多子发生复合。当恒定注入电流最后等于与非平衡电子、空穴复合相对应的扩散电流时，系统进入了新稳态，能连续不断辐射一定能量的光。复合分为辐射复合和非辐射复合。只有辐射复合过程中，非平衡电子与空穴的复合，以光能形式的辐射，才是发光器件所需要的。在非辐射复合过程中，释放的能量将转变为其他形式的能量，如热能。因此，为提高发光效率应尽量避免非辐射复合。

(一) 辐射复合

辐射复合的几条途径如图 1-6 所示，详细阐述如下。

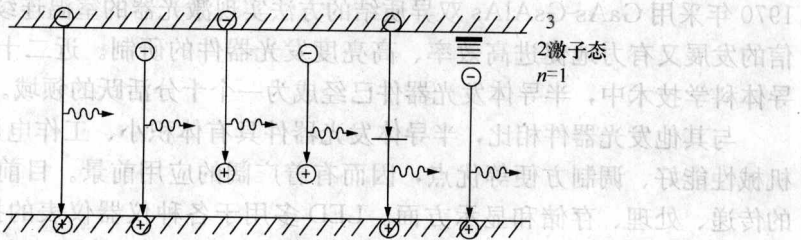


图 1-6 辐射复合的几条途径