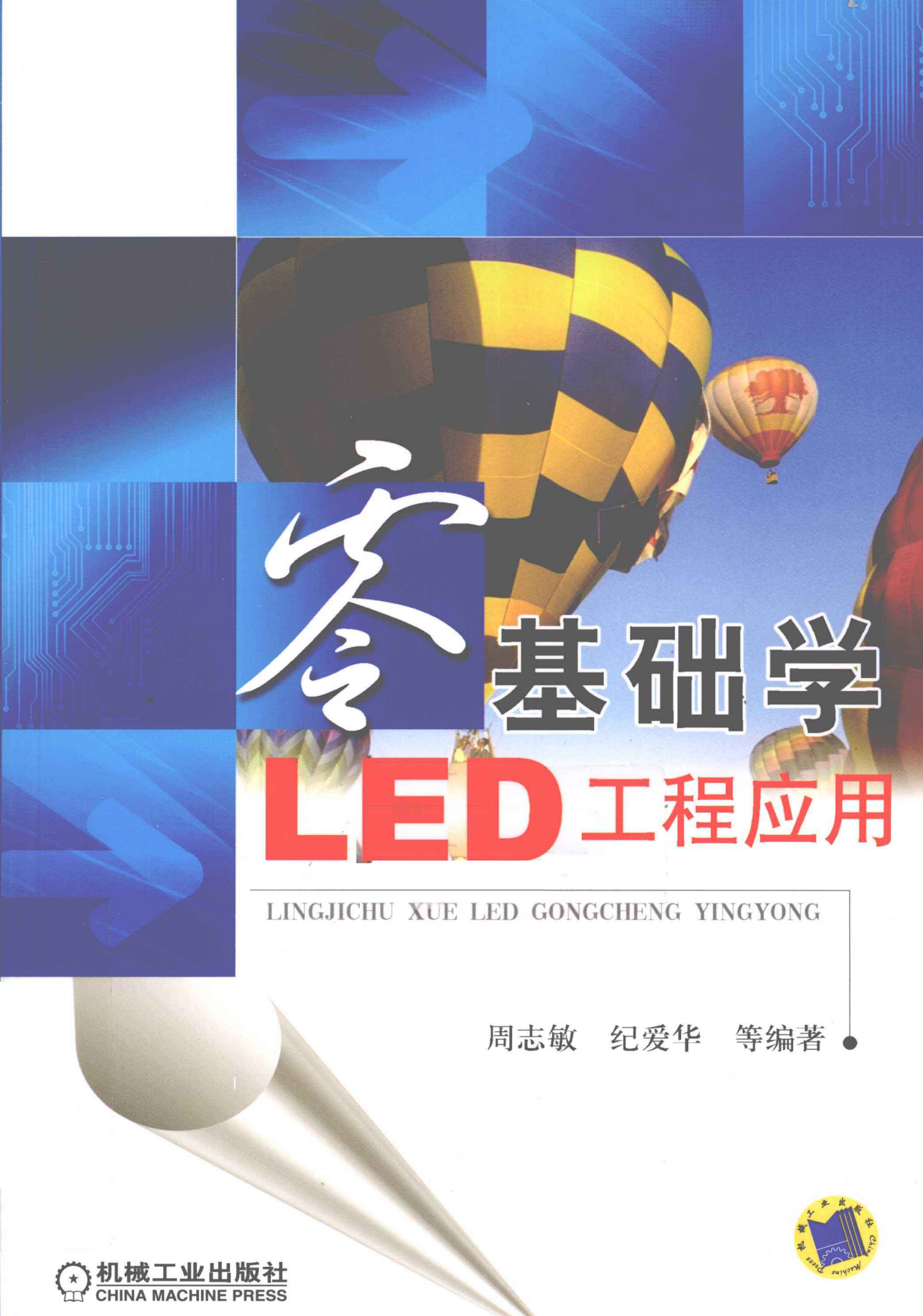




# 零基础学 LED工程应用

LINGJICHU XUE LED GONGCHENG YINGYONG

周志敏 纪爱华 等编著

# 零基础学 LED 工程应用

周志敏 纪爱华 等编著



机械工业出版社

本书结合国内外 LED 技术的应用和发展,全面系统地阐述了 LED 的基础知识和最新应用技术。全书共分为 6 章,在概述 LED 的发展历程及应用领域的基础上,系统地介绍了照明基础知识、LED 基础知识、LED 驱动电路、LED 照明灯具及应用特性、LED 工程应用技术等内容。本书题材新颖实用、内容丰富、深入浅出、文字通俗,具有很高的实用价值。

本书可供电信、信息、航天、汽车、国防及家电等领域即将从事或已初步涉及 LED 工程应用领域的工程技术人员和高等院校及职业技术学院的师生阅读参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

零基础学 LED 工程应用/周志敏等编著 一北京:  
机械工业出版社, 2011. 6  
ISBN 978 - 7 - 111 - 34898 - 6

I. ①零… II. ①周… III. ①发光二极管  
IV ①TN312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 100421 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 牛新国 责任编辑: 牛新国 罗 莉

版式设计: 霍永明 责任校对: 任秀丽

封面设计: 陈 沛 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2011 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18 25 印张·446 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 34898 - 6

定价: 48.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

LED 优点众多,除了寿命长、耗能低之外,LED 还具有应用非常灵活,可以做成点、线、面各种形式的轻薄短小产品;环保效益更佳,由于光谱中没有紫外线和红外线,属于典型的绿色照明光源,而且废弃物可回收,没有污染;控制极为方便,只要调整电流,就可以随意调光,不同光色的组合变化多端,利用时序控制电路,更能达到丰富多彩的动态变化效果。LED 不仅可用于大型广告显示屏、建筑和交通照明、城市重点建筑的夜景照明,LED 照明正在迅速成为非豪华汽车的标准配置,白光 LED 已经成为便携式电子产品显示屏的主要背光源,LED 技术的发展引起了国内外光源界的普遍关注,现已成为具有发展前景和影响力的一项高新技术产品。

随着 LED 这一绿色环保固态照明光源在效率、成本、散热等技术瓶颈的不断突破,LED 产品的开发研制生产及应用已成为发展前景十分诱人的朝阳产业。目前,随着 LED 技术的广泛应用及潜在的市场,LED 显示出了强大的发展潜力。为此,编写本书有助于即将从事或已初步涉及 LED 工程应用领域的工程技术人员系统全面地了解和掌握 LED 照明基础知识及最新应用技术。以此推动 LED 这一绿色照明技术的推广应用。

本书系统地介绍了 LED 照明基础知识、LED 照明驱动电路设计的基础上,系统地把 LED 照明技术与工程应用有机地结合起来,系统地分析和讲解了 LED 照明工程应用实例。读者可把书中的 LED 照明驱动电路和灯具的设计及工程应用案例,直接或结合实践要求作部分修改应用到 LED 照明工程设计实践中。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、刘淑芬、纪达安、纪和平等,在本书写作过程中,无论从资料的收集和技术信息交流上都得到了国内外的专业学者和同行的大力支持。在此表示衷心的感谢。

由于时间短,水平有限,难免有错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

# 目 录

## 前言

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第1章 概述</b> .....      | 1   |
| 1.1 LED的发展历程及应用领域 .....  | 1   |
| 1.1.1 LED的发展历程 .....     | 1   |
| 1.1.2 LED的应用领域 .....     | 4   |
| 1.2 LED发展及应用前景 .....     | 8   |
| 1.2.1 绿色照明工程 .....       | 8   |
| 1.2.2 绿色照明系统 .....       | 15  |
| <b>第2章 照明基础知识</b> .....  | 19  |
| 2.1 光的基本知识 .....         | 19  |
| 2.1.1 光的特性 .....         | 19  |
| 2.1.2 光的质量 .....         | 25  |
| 2.2 光电技术的半导体基础 .....     | 30  |
| 2.2.1 半导体的特性 .....       | 30  |
| 2.2.2 半导体的导电机理 .....     | 33  |
| 2.3 光源 .....             | 35  |
| 2.3.1 电光源 .....          | 35  |
| 2.3.2 LED固态光源 .....      | 39  |
| <b>第3章 LED基础知识</b> ..... | 42  |
| 3.1 LED的结构及特性 .....      | 42  |
| 3.1.1 LED结构及发光原理 .....   | 42  |
| 3.1.2 LED的主要参数与特性 .....  | 44  |
| 3.2 LED封装结构 .....        | 52  |
| 3.2.1 LED封装结构的特殊性 .....  | 52  |
| 3.2.2 大功率LED的封装技术 .....  | 58  |
| 3.3 大功率LED结构与特性 .....    | 67  |
| 3.3.1 大功率LED的结构 .....    | 67  |
| 3.3.2 大功率LED技术发展 .....   | 71  |
| 3.3.3 大功率LED的散热 .....    | 81  |
| 3.4 白光LED特性 .....        | 91  |
| 3.4.1 白光LED的技术概况 .....   | 91  |
| 3.4.2 白光LED的实现方法 .....   | 96  |
| <b>第4章 LED驱动电路</b> ..... | 106 |
| 4.1 LED驱动技术 .....        | 106 |
| 4.1.1 LED驱动方案 .....      | 106 |
| 4.1.2 LED与驱动器的匹配 .....   | 108 |
| 4.1.3 白光LED工作电流的匹配 ..... | 112 |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| 4.2 LED驱动器 .....                             | 117 |
| 4.2.1 LED驱动器电路拓扑 .....                       | 117 |
| 4.2.2 LED驱动器设计要素 .....                       | 140 |
| 4.2.3 白光LED的并联和串联驱动 .....                    | 143 |
| 4.3 LED典型驱动电路设计实例 .....                      | 156 |
| 4.3.1 基于低压差线性DC/DC变换器的<br>LED驱动电路设计实例 .....  | 156 |
| 4.3.2 基于升压式DC/DC变换器的<br>LED驱动电路设计实例 .....    | 161 |
| 4.3.3 基于降压式DC/DC变换器的<br>LED驱动电路设计实例 .....    | 165 |
| 4.3.4 基于升压-降压式DC/DC变换器<br>的LED驱动电路设计实例 ..... | 166 |
| 4.3.5 基于电荷泵的LED驱动电路<br>设计实例 .....            | 169 |
| <b>第5章 LED照明灯具及应用特性</b> .....                | 173 |
| 5.1 LED照明灯具 .....                            | 173 |
| 5.1.1 LED灯具标准体系 .....                        | 173 |
| 5.1.2 LED灯具特性与设计趋势 .....                     | 175 |
| 5.1.3 LED照明灯具的集成设计 .....                     | 184 |
| 5.2 LED照明灯具的特点及技术特性 .....                    | 200 |
| 5.2.1 LED照明灯具的特点 .....                       | 200 |
| 5.2.2 LED道路照明灯具 .....                        | 202 |
| 5.2.3 LED隧道灯具 .....                          | 209 |
| 5.2.4 LED景观照明灯具特性 .....                      | 213 |
| 5.2.5 LED景观照明灯具 .....                        | 216 |
| <b>第6章 LED工程应用技术</b> .....                   | 237 |
| 6.1 LED照明系统设计步骤 .....                        | 237 |
| 6.2 LED应用于LCD背光照明系统 .....                    | 242 |
| 6.2.1 LED背光源技术 .....                         | 242 |
| 6.2.2 多显示屏白光LED背光照明<br>驱动 .....              | 248 |
| 6.2.3 用电荷泵实现低功耗移动电话<br>LCD背光驱动 .....         | 252 |
| 6.2.4 移动电话闪光LED驱动器 .....                     | 254 |
| 6.2.5 LCD-HDTV的LED背光<br>照明驱动 .....           | 257 |

---

|                                      |     |                            |     |
|--------------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 6.3 LED 应用于闪光照明系统 .....              | 260 | 6.4.2 LED 应用汽车尾灯/制动灯 ..... | 271 |
| 6.3.1 移动电话相机 LED 闪光灯驱动<br>电路 .....   | 260 | 6.4.3 LED 应用于汽车尾灯 .....    | 273 |
| 6.3.2 电荷泵驱动 Flash-LED 典型<br>电路 ..... | 264 | 6.5 LED 应用于通用照明 .....      | 275 |
| 6.4 LED 应用于信号及汽车照明 .....             | 266 | 6.5.1 LED 应用于太阳能路灯 .....   | 275 |
| 6.4.1 LED 信号指示灯设计 .....              | 266 | 6.5.2 15W 通用 LED 照明灯 ..... | 277 |
|                                      |     | 6.5.3 20W LED 通用照明灯 .....  | 279 |
|                                      |     | 参考文献 .....                 | 283 |

# 第 1 章 概 述

## 1.1 LED 的发展历程及应用领域

### 1.1.1 LED 的发展历程

LED 是 Light Emitting Diode 三个英语单词的缩写，即“发光二极管”，顾名思义，这是一种会发光的半导体器件，且具有二极管的电子特性。LED 属于半导体光电组件，除了具有发光的特性之外，它完全具备半导体二极管整流管的特性，如果取它的整流特性，它不但可以完全符合需求，而且在外加正偏压的情况下，会发出具有某种波长的光。LED 虽然具有整流二极管的功能，但通常利用的是 LED 的发光特性而非整流特性。

1907 年，Henry Joseph Round 第一次在一块碳化硅里观察到电致发光现象，由于其发出的黄光太暗，不适合实际应用，并因碳化硅与电致发光不能很好地适应，而使该研究工作被摒弃了。20 世纪 20 年代，Bernhard Gudden 和 Robert Wichard 在德国使用从锌硫化物与铜中提炼的黄磷发光，再一次因发光暗淡而停止研发。

1936 年，George Destiau 出版了一个关于硫化锌粉末发射光的报告，随着电子器件的研发和业界的认识，最终出现了“电致发光”这个术语。20 世纪 50 年代，英国科学家在电致发光的实验中使用半导体砷化镓（GaAsP）发明了第一个具有现代意义的 LED，并于 20 世纪 60 年代面世。在早期的试验中，LED 需要放置在液化氮里，需要进行进一步的研发工作，以使其能在室温下高效工作。第一只商用 LED 仅只能发出不可见的红外光，而被迅速地应用于感应与光电领域。

20 世纪 60 年，在 GaAsP 的基体上使用磷化物发明了第一个可见红光的 LED。全球第一款商用化 LED 是在 1965 年用锗材料作成的，随后不久 Monsanto（孟山都）公司和惠普（Hewlett Packard，HP）公司也推出了用 GaAsP 材料制作的商用化 LED。Monsanto 公司将其作为指示灯，HP 公司则首次用于电子显示设备。早期的 GaAsP-LED 产品性能相当差，在工作电流为 20mA 时，光通量只有千分之几流明。相应的发光效率为 0.1lm/W。而且只有一种 650nm 的红色光。为一般的 60~100W 白炽灯的 15lm 的 1/100。在 1968 年，LED 的研发取得了突破性进展，利用氮掺杂工艺使 GaAsP 器件的光视效能达到了 1lm/W，并且能够发出红光、橙光和黄色光。

20 世纪 70 年代，由于 LED 在家庭与办公设备中的大量应用，拓展了 LED 产品的类型，此后 LED 开始应用于文字点阵显示器、背景图案用的灯栅和条线图阵列。数字显示屏的尺寸和复杂度在不断增长，从 2 位数字到 3 位甚至 4 位数字，从 7 段数字到能够显示复杂的文字与图案相组合的 14 或 16 段阵列。并有少量 LED 显示屏用于钟表和计算器。全球首款采用 LED 的手表最初还是在昂贵的珠宝商店出售的，HP 公司与德州仪器（Texas Instruments）公司也推出了带 7 段红色 LED 显示屏的计算器。

由于应用领域扩展推动 LED 技术的快速发展,使 LED 的发光效率达到  $11\text{lm/W}$ 。颜色也扩大到红色、绿色和黄色。在 20 世纪 70 年代中期,磷化镓 (GaP) 被用作为发光光源,引入元素 In 和 N,使 LED 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  $11\text{lm/W}$ 。在这一时期最早的 GaP、GaAsP 同质桔红、黄、绿色低发光效率的 LED 已开始应用于指示灯、数字和文字显示。从此 LED 开始进入多种应用领域,包括宇航、飞机、汽车、工业应用、通信、消费类产品等。尽管多年以来 LED 一直受到颜色和发光效率的限制,但由于 GaP 和 GaAsP-LED 具有长寿命、高可靠、工作电流小、可与 TTL、CMOS 数字电路兼容等许多优点而得以广泛应用。在 20 世纪 70 年代末,研发出纯绿色光 LED。

20 世纪 80 年代早期的重大技术突破是研发出了铝砷化镓 (AlGaAs) LED,它能以  $10\text{lm/W}$  的光视效能发出红光。这一技术进步使 LED 能够应用于室外各种信息发布以及汽车信号灯。而对砷化镓磷化铝 (Gallium arsenide aluminum phosphide) 的使用使第一代高亮度 LED 的诞生,先是红色,接着就是黄色,最后为绿色。

20 世纪 90 年代初,发红光、黄光的 GaAlInP 和发绿、蓝光的 GaInN 两种新材料的开发成功,使 LED 的光效得到大幅度的提高。1991 年日本东芝 (Toshiban) 公司和美国 HP 公司研制成 InGaAlP620nm 橙色超高亮度 LED,1992 年研发的 InGaAlP590nm 黄色超高亮度 LED 已实用化。同年,东芝公司研制 InGaAlP573nm 黄绿色超高亮度 LED,法向光强达  $2\text{cd}$ 。1994 年日本日亚公司研制成 InGaAlN450nm 蓝 (绿) 色超高亮度 LED。至此,彩色显示所需的三基色红、绿、蓝以及橙、黄多种颜色的 LED 都达到了坎德拉级的发光强度,实现了超高亮度化、全色化,使 LED 的户外全色显示成为现实。

在这一时期,惠普 (Hewlett Packard) 公司光电部、Lumileds Lighting 公司和松下 (Panasonic) 公司就已经掌握了如何用金属有机化学汽相沉积法在 GaAs 衬底上外延生长 AlInGaP 的工艺,AlInGaP 材料在可见光谱区产生红光和橙光。合金有序化、受主原子的氢钝化、PN 结排列,以及把氧掺入含铝器件层都是相当复杂的,这些问题历经近 10 年时间才得以解决。最终实现了内量子效率接近 100% 的 AlInGaP-LED。几乎每个注入到器件中的电子空穴对都产生一个光子,因此如何使在 PN 内形成的光子到达 LED 外就成了一种挑战。首先是如何防止光被窄带隙 ( $0.87\text{nm}$ ) GaAs 衬底吸收。研究中曾经尝试过在布喇格反射镜的外延结构中掺杂并在 GaP 衬底上直接生长技术。但是最成功的还是通过蚀刻法强力除去 GaAs 衬底,采用芯片接合法取代 GaP 技术。采用该技术研制的发光器的发光效率为  $25\text{lm/W}$ ,几乎是带红色滤光灯泡发光效率的 10 倍。每支 LED 的光通量为几个流明,由它们组成的 LED 阵列首先被制成了汽车上的停车灯、红色交通信号灯以及单色室外信号标志。

继 AlInGaP 的发展后,Tokushima Japan Chemical (日本德岛化学) 公司和 Nagoya University (名古屋大学) 的研究人员掌握了使用金属有机化学汽相沉积技术在蓝宝石衬底上外延生长 AlInGaP 的复杂工艺。AlInGaP 材料的带隙比 AlInGaP 的宽,可以覆盖高能级的蓝光和绿光波段。AlInGaP 材料系并不像 AlInGaP 材料系那样为人们所熟悉。AlInGaP 绿光组件在标准的工作电流下内量子效率停留在 40% ~ 50%,而蓝光器件的内量子效率为 60% ~ 80%。通过利用透明的蓝宝石衬底,以及人眼对绿光比对蓝光或红光更敏感的特点,人们已经制造出几个流明的绿光 LED。这种 LED 和红光 AlInGaP-LED、近流明级的蓝光 LED 组合起来,就可完全由固体光源制作大型全色信号标志。蓝光 AlInGaP-LED 产生的光子和荧光

粉的发光将一部分蓝光光子转变为其互补色（黄色），人眼看到这种蓝光和黄光的混合是一种不鲜明的白色。

在20世纪90年代中期，出现了超亮度的 GaN-LED，随即又制造出能产生高强度的绿光和蓝光的 InGaN-LED。超亮度蓝光芯片是白光 LED 的核心，在这个发光芯片上涂上荧光磷，然后荧光磷通过吸收来自芯片上的蓝色光源再转化为白光。就是利用这种技术制造出任何可见颜色的光。并研发出了第一个基于 GaN 的实用 LED。现在还有许多公司在用不同的基底如蓝宝石和 SiC 生产 GaN-LED，这些 LED 能够发出绿色、蓝光或紫罗兰等颜色。高亮蓝色 LED 的发明使真彩广告显示屏的实现成为可能，这样的显示屏能够显示真彩、全运动的视频图像。

在20世纪90年代末，发红光、黄光的 GaAlInP-LED 在红、橙区（ $\lambda_p = 615\text{nm}$ ）的光效达到  $100\text{lm/W}$ ，而发绿、蓝光的 GaInNLED 在绿色区域（ $\lambda_p = 530\text{nm}$ ）的光效可以达到  $50\text{lm/W}$ 。业界又开发出了能够提高了红色器件性能的 AlInGaP 技术，这比当时标准的 GaAsP 器件性能要高出 10 倍。对高强度蓝光 LED 的不断研发产生了好几代亮度越来越高的器件，推出的基于碳化硅（SiC）裸片材料 LED 的效率大约是  $0.04\text{lm/W}$ ，发出的光强度很少有超过  $15\text{mcd}$  的。

在1991~2001年期间，材料技术、裸片尺寸和外形方面的进一步发展使商用化 LED 的光通量提高了将近 20 倍。蓝光 LED 的出现使人们还能利用倒行转换的磷光材料将较高能量的蓝光部分地转换成其他颜色。将蓝光与转换磷的黄光整合在一起就能得到白光，而整合适当数量的蓝光与红橙磷（reddish orange phosphor）则可以产生略带桃色或紫色的色彩。现在仅用 LED 光源就能完全覆盖 CIE 色度曲线中的所有饱和颜色，并且各种颜色 LED 与磷的有机整合几乎能够毫无限地产生任何颜色。

在可靠性方面，LED 的半衰期（即光输出量减少到最初值一半的时间）大概是 1 万 ~ 10 万 h。相反，小型指示型白炽灯的半衰期（此处的半衰期指的是有一半数量的灯失效的时间）典型值是 10 万到数千小时不等，具体时间取决于灯的额定工作电流。

LED 的发展不单纯是它的颜色还有它的亮度，像计算机一样，其发展遵守摩尔定律的发展。每隔 18 个月它的亮度就会增加一倍。早期的 LED 只能应用于指示灯、早期的计算器显示屏和数码手表。而现在开始出现在超亮度的领域。LED 的产生基于两种需求。其一是 LED 的制造工艺流程较简单，制造成本较低，经常作为雷射的代用光源。其二是因绝大部分的光通信是在红外光谱进行。既然发光组件可以产生光源，即可设计成可见光的型式，应用于信号判别、数字显示，甚至于影像处理或显示屏。由于这两种不同的需求，LED 渐渐独立而自成一体。而且最大的应用领域在于显示器及相关工业，其波长包含了可见光的大部分范围，主要为红、黄、绿以及最近发展出来的蓝色光谱。

Lumileds Lighting 公司在 Philips（新泽西州 Somerset）照明公司的技术指导下生产了一系列大功率 LED，在  $12\text{W}$  输入功率下，Lumileds 公司生产的 Luxeon 型器件比传统的  $\phi 5\text{mm}$  指示型 LED 高 20 倍，发光效率高出 50%，寿命可达几万小时。目前市场上出售的器件不仅有红光和橙光 AlInGaPLED，而且还有绿光、蓝光和白光 AlInGaP-LED。LED 的封装热阻由  $300\Omega/\text{W}$  降到  $15\Omega/\text{W}$  以下。由于热阻的降低使其能应用于 20 倍能量泵浦器中，获得输出为  $55\text{lm}$  红光、 $30\text{lm}$  绿光、 $10\text{lm}$  蓝光与荧光粉转换为  $25\text{lm}$  的白光。单管  $5\text{W}$  封装的  $110\text{lm}$  白光 LED 和  $15\text{W}$  白炽灯的光输出相当，而封装体积仅相当于白炽灯的 1%，功耗仅为  $1/3$ 。12 个

110lm 的器件足以制成一只用于汽车用的前照灯。

采用两只 5W 单色绿光 LED（光通量超过 130lm）即可以替代传统 8~12in 的 150W 交通信号灯，可节约 90% 的能源。由红光、绿光、蓝光组合光源的发光效率可应用于液晶显示屏电视机和监视器背光照明的冷阴极荧光灯相比，而且具有体积小和窄谱带光色的特点。

LED 已有近 50 多年的发展历程。最近 10 年，高亮度化、全色化一直是 LED 材料和器件工艺技术研究的前沿课题。超高亮度（UHB）是指发光强度达到或超过 100mcd 的 LED，又称坎德拉（cd）级 LED。高亮度 AlGaInP 和 InGaN-LED 的研制进展十分迅速，现已达到常规材料 GaAlAs、GaAsP、GaP 不可能达到的性能水平。

### 1.1.2 LED 的应用领域

#### 1. 仪器仪表的指示光源

自从 1968 年第一批 LED 开始进入市场，至今已有 40 多年，随着新材料的开发和工艺的改进，LED 趋于高亮度化、全色化，在氮化镓基底的蓝色 LED 出现后，更是扩展了 LED 的应用领域，LED 的主要应用领域包括：大屏幕彩色显示、照明灯具、激光器、多媒体显像、液晶显示器（LCD）背光源、探测器、交通信号灯、仪器仪表、光纤通信、卫星通信、海洋光通信、图形识别等，但目前还主要是作为照明和显示用。

最初 LED 用作仪器仪表的指示光源，后来各种光色的 LED 在交通信号灯和大面积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。以 12in 的红色交通信号灯为例，若采用长寿命，低光效 140W 白炽灯作为光源，它产生 2000lm 的白光。经红色滤光片后，光损失 90%，只剩下 200lm 的红光。而在新设计的 LED 交通信号灯中，Lumileds 公司采用了 18 个红色 LED 光源，包括电路损失在内，共耗电 14W，即可产生同样的光效。

汽车信号灯也是 LED 光源应用的重要领域。1987 年，我国开始在汽车上安装高位制动灯，由于 LED 响应速度快（纳秒级），可以及早让尾随车辆的司机知道前方车辆的行驶状况，减少汽车追尾事故的发生。另外，LED 在室外红、绿、蓝全彩显示屏，微型电筒等领域都得到了应用。

由于 LED 的颜色、尺寸、形状、发光强度及透明情况等不同，所以使用 LED 时应根据实际需要进行恰当选择。LED 具有最大正向电流  $I_{Fm}$ 、最大反向电压  $U_{Rm}$  的限制，使用时，应保证不超过此值。为安全起见，实际电流  $I_F$  应在  $0.6I_{Fm}$  以下；应让可能出现的反向电压  $U_R < 0.6V_{Rm}$ 。

LED 被广泛用于各种电子仪器和电子设备中，可作为电源指示灯、电平指示或微光源用。红外 LED 常被用于电视机、录像机等遥控器中。利用高亮度或超高亮度 LED 制作微型手电筒的电路如图 1-1 所示。在图 1-1 中  $R$  为限流电阻，其值应保证电源电压最高时应使 LED 的电流小于最大允许电流  $I_{Fm}$ 。

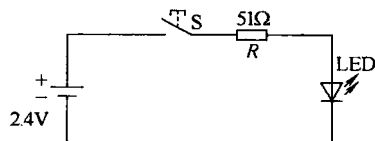


图 1-1 微型手电筒电路

LED 在指示电路中的应用如图 1-2 所示，图 1-2a 为直流电源指示电路；图 1-2b 为整流电源指示电路；图 1-2c 为交流电源指示电路。在图 1-2a 中的电阻  $R \approx (E - U_F) / I_F$ ；在图 1-2b 中的电阻  $R \approx (1.4U_i - U_F) / I_F$ ；在图 1-2c 中的电阻  $R \approx U_i / I_F$ ；式中  $U_i$  为交流电压有效值。

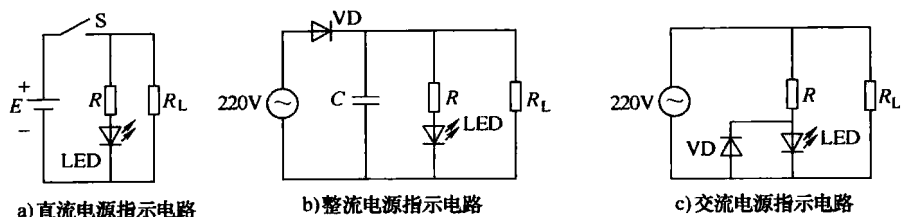


图 1-2 LED 指示电路

在放大器、振荡器或脉冲数字电路的输出端,可用 LED 表示输出信号是否正常,如图 1-3 所示。在图 1-3 中  $R$  为限流电阻。只有当输出电压大于 LED 的阈值电压时,LED 才可能发光。

由于 LED 正向导通后,电流随电压变化非常快,具有普通稳压管的稳压特性。LED 的稳定电压在  $1.4 \sim 3\text{V}$  间,应根据需要进行选择  $U_F$ ,LED 应用于低压稳压电路如图 1-4 所示。

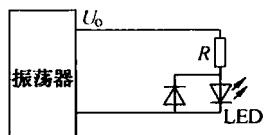


图 1-3 LED 电平指示电路

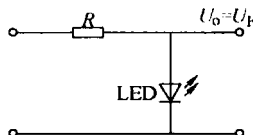


图 1-4 低压稳压电路

## 2. LED 显示屏的应用市场

随着电子工业的快速发展,在 20 世纪 60 年代,显示技术得到迅速发展,人们研究出等离子体显示屏 (PDP),液晶显示器 (LCD),LED、电致变色显示器 ECD,电泳图像显示器 (EPID) 等多种技术。由于半导体的制作和加工工艺逐步成熟和完善,LED 已日趋在固体显示器中占主导地位。LED 之所以受到广泛重视并得到迅速发展,是因为它本身具有很多优点。例如:亮度高、工作电压低、功耗小、易于集成、驱动简单、寿命长、耐冲击且性能稳定,其发展前景极为广阔。目前正朝着更高亮度、更高耐气候性、更高发光强度、发光均匀性和全色化发展。

20 世纪 80 年代初,随着计算机的发展,显示图形阵列 (CGA) 显示方式问世了,其显示精度为  $320 \text{ 像素} \times 200 \text{ 像素}$  的分辨率 (4 种颜色),在短短的 10 年中显示方式已经经历了 CGA、增强图形阵列 (EGA)、高级增强图形阵列 (SEGA)、视频图形阵列 (VGA)、高级视频图形阵列 (SVGA),向超高分辨率发展,显示精度从  $320 \text{ 像素} \times 200 \text{ 像素}$  发展到  $1600 \text{ 像素} \times 1250 \text{ 像素}$ ,由 4 种颜色到 32 位真彩,扫描频率从  $15.7\text{kHz}$  发展到  $150\text{kHz}$ 。随着发展人们需要一种大屏幕的设备,于是有了投影仪,但是其亮度无法在自然光下使用,于是出现了 LED 显示器 (屏),它具有视角大、亮度高、色彩艳丽的特点。LED 显示屏的应用已经十分广泛,在体育场馆,大屏幕显示系统可以实现比赛实况及比赛比分、时间、精彩回放等功能;在交通运输业,可以显示道路运行情况;在金融行业可以实时显示金融信息,如股票、汇率、利率;在商业邮电系统,可以向广大顾客显示通知、消息、广告等。显示技术还应用于工业生产、军事、医疗单位、公安系统乃至宇航事业等国民经济、人们生活和军事领域中,并起着重要作用,显示技术已经成为现代人类社会活动的一项不可缺少的技术。

LED 应用可分为两大类：一是 LED 单管应用，包括背光源 LED，红外线 LED 等；另外就是 LED 显示屏，目前，我国在 LED 基础材料制造方面与国际上还存在着一定的差距，但就 LED 显示屏而言，中国的设计和生产技术水平基本上与国际同步。

我国 LED 显示产业在规模发展的同时，产品技术推陈出新，一直保持比较先进的水平。20 世纪 90 年代初即具备了成熟的 16 级灰度、256 色视频控制技术 & 无线遥控等国际先进水平技术，近年在全彩色 LED 显示屏、256 级灰度视频控制技术、集群无线控制、多级群控技术等方面均达到国际水平；LED 显示屏控制专用大规模集成电路也已由国内企业开发生产，并得到应用。近几年来，LED 显示屏相关技术也取得了较大的发展，主要表现在前端显示器件和后端控制电路两方面：

①前端显示器件。LED 显示屏前端显示器件的性能提高很快，在原来红光、绿光和蓝光 LED 的基础上，又出现了纯绿光和高亮度的红光 LED 产品。但目前 LED 显示屏的基础材料还要从国外进口，国内只能生产红色 LED。除此之外，LED 的封装技术也取得了一定的进步。原来采用的是单管或点阵模块，而现在随着全彩色显示技术的不断成熟与完善，普遍采用了表面贴装技术（SMT），采用 SMT 的优势在于：封装密度高，视觉效果好，且增大了 LED 显示屏的视角，可以达到  $120^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 。

②后端控制电路。LED 显示屏后端控制原来使用常规的控制电路，随着控制技术的不断完善和控制芯片的应用，普遍采用 LED 专用集成电路（ASIC），它可根据 LED 显示的特点，对灰度及每个像素进行控制及调节，这就使得显示亮度和色彩效果都有了较大的提高。由于技术水平和造价等方面的原因，目前 LED 控制芯片产品主要掌握在国外公司手中，如 Maxim、Agilent、东芝公司等。

除了 LED 显示技术本身的发展，随着网络技术的不断进步和实际应用的需求，目前，网络型、智能型 LED 控制技术也出现了新的发展势头，这就对传统的一台微机控制一只或多只 LED 显示屏提出了新的挑战。由于 LED 显示屏控制技术与网络技术原先是彼此独立的，现在要把二者结合起来，实现 LED 显示屏的网络控制，就需要从事 LED 控制技术的科研人员能够开发出符合网络系统协议与规范的相关软、硬件。LED 显示屏的发展趋势是：

①高亮度、全彩化。蓝光及纯绿光 LED 产品自出现以来，成本逐年快速降低，已具备成熟的商业化条件。全彩色 LED 显示屏将是 LED 显示屏的重要发展方向。LED 产品性能的提高，使全彩色显示屏的亮度、色彩、白平衡均达到比较理想的效果，完全可以满足户外全天候的环境条件要求，同时，由于全彩色显示屏性价比的优势，预计在未来几年的发展中，全彩色 LED 显示屏在户外广告媒体中会越来越多地代替传统的灯箱、霓虹灯、磁翻板等产品，在体育场馆的显示方面，全彩色 LED 屏更会成为主流产品。

据不完全统计，世界上目前至少有 150 家厂商生产全彩屏，其中产品齐全，规模较大的公司约有 30 家左右，主要分布在美国、欧洲、亚洲 [日本、中国（包括台湾省）]。国内从 1994 ~ 1995 年开始生产全彩色显示屏，到 2001 年底，全国范围内的全彩色 LED 显示屏达到 300 多块。全彩色 LED 显示屏的广泛应用会是 LED 显示屏产业发展的一个新的增长点。

②标准化、规范化。材料、技术的成熟及市场价格的基本均衡之后，LED 显示屏的标准化和规范化将成为 LED 显示屏发展的一个新趋势。近几年业内的 & 发展，市场竞争在传统产品条件下是以价格作为主要的竞争手段，经几番价格回落调整达到基本均衡，产品质量，

系统的可靠性等将成为主要的竞争因素,这就对 LED 显示屏的标准化和规范化有了较高要求。

③产品结构多样化。信息化社会的形成,使 LED 显示屏的应用前景更为广阔。预计大型或超大型 LED 显示屏的主流产品局面将会发生改变,适合于服务行业特点和专业性要求的小型 LED 显示屏会有较大提高,面向信息服务领域的 LED 显示屏产品门类和品种将更加丰富,部分潜在的市场需求和应用领域将会有所突破,如公共交通、停车场、餐饮、医院等综合服务方面的信息显示屏需求量将有更大的增加,大批量、小型化的标准系列 LED 显示屏在 LED 显示屏市场总量中将会占有多数份额。

信息化社会的到来,促进了现代信息显示技术的发展,形成了阴极射线管(CRT)、LCD、PDP、LED、电致发光显示器(ELD)、DLP 等系列的信息显示产品,纵观各类显示产品,各有其所长和适宜的市场应用需求。随着 LED 材料技术和工艺的提升,LED 显示屏以突出的优势成为平板显示的主流产品之一,并在社会经济的许多领域得到广泛应用,主要包括:

- 证券交易、金融信息显示。这一领域的 LED 显示屏占到了前几年国内 LED 显示屏需求量的 50% 以上,目前仍有较大的需求。

- 机场航班动态信息显示。民航机场建设对信息显示的要求非常明确,LED 显示屏是航班信息显示系统 FIDS (Flight Information Display System) 的首选产品。

- 港口、车站旅客引导信息显示。以 LED 显示屏为主体的信息系统和广播系统、轮船和列车到发显示系统、票务信息系统等共同构成客运枢纽的自动化系统,成为国内火车站和港口技术发展和改造的重要内容。

- 体育场馆信息显示。LED 显示屏作为比赛信息显示和比赛实况播放的主要手段已取代了传统的灯光及 CRT 显示屏,成为现代化体育场馆必备的比赛设施。

- 道路交通信息显示。智能交通系统(ITS)的兴起,在城市交通、高速公路等领域,LED 显示屏作为可变信息板、限速标志等,得到普遍采用。

- 调度指挥中心信息显示。电力调度、车辆动态跟踪、车辆调度管理等,也在逐步采用高密度的 LED 显示屏。

- 邮政、电信、商场购物中心等服务领域的业务宣传及信息显示。

- 广告媒体新产品。除单一大型户内、户外显示屏作为广告媒体外,集群 LED 显示屏广告系统、列车 LED 显示屏广告发布系统等也已得到采用并正在推广。

- 演出和集会。大型显示屏越来越普遍地用于公共和政治目的的视频直播,大型显示屏在播放实况信息发布方面发挥了卓越的作用。

- 展览会。大型 LED 显示屏作为展览组织者提供的重要服务内容之一,向参展商提供有偿服务,国外还有一些大型 LED 显示屏专业性租赁公司,也有一些规模较大的制造商提供租赁服务。

我国 LED 显示屏市场起步较早,市场上出现了一批具有很强实力的 LED 显示屏生产厂商。目前 LED 显示屏已经广泛应用到车站、银行、证券、医院。在 LED 需求量上,LED 显示屏仅次于指示型 LED,名列第二,占到 LED 整体销量的 23.1%。由于用于显示屏的 LED 在亮度和寿命上的要求高于指示型 LED,平均价格在指示灯 LED 之上,这就导致 LED 显示屏市场规模达到 32.4 亿元,超过指示型 LED,位居榜首,成为 LED 的主要应用市场。凭借

着独特优势,LED 全彩显示屏广泛应用在体育场馆、市政广场、演唱会、车站、机场等场所。

### 3. 中大尺寸、小尺寸背光源市场

LED 早已应用在以手机为主的小尺寸液晶面板背光源市场中,手机产量的持续增长带动了背光源市场的快速发展。特别是 2003 年彩屏手机的出现更是推动白光 LED 市场的快速发展。但随着手机产量进入平稳增长阶段以及技术提升,导致用于手机液晶面板背光源的 LED 数量减少,使得 LED 在手机背光源中用量增速放缓,2005 年背光源用 LED 数量超过 12 亿只,2005 年背光源市场规模超过 15 亿元。中大尺寸背光源市场虽为厂商新宠,但目前还不能形成规模。

### 4. 汽车车灯市场

从整个 LED 应用市场看,汽车应用市场还处于萌芽状态,市场规模很小。LED 作为汽车车灯主要得益于低功耗、长寿命和响应速度快的特点。虽然 LED 目前还面临着单位瓦数流明低以及相关政策的限制,在进入汽车尾灯及前灯市场还需要一定的时间,但是随着性价比的下降以及光视效能的提升,最终 LED 将逐步实现从汽车内部、后部到前部应用的转移,最终占据整个汽车车灯市场。凭借着汽车的巨大产能,LED 车灯市场面临着巨大的发展潜力。

### 5. 室内装饰灯市场

室内装饰灯市场是 LED 的另一个新兴市场。通过电流的控制,LED 可以实现几百种甚至上千种颜色的变化。在现阶段讲究个性化的时代中,LED 颜色多样化有助于 LED 装饰灯市场的发展。LED 已经开始做成小型装饰灯,装饰幕墙应用在酒店、居室中。

### 6. 景观照明市场

景观照明市场主要是以街道、广场等公共场所装饰照明为主,由于 LED 功耗低,在用电量巨大的景观照明市场中具有很强的市场竞争力。目前,LED 已经越来越多地应用到景观照明市场中,2005 年中国景观照明市场规模超过 7 亿元,景观照明市场在 2007 年达到 72% 的高增长率。北京、上海等地将建成一批 LED 景观照明工程,这些工程在装饰街道的同时还将起到示范作用,将会使 LED 景观照明从一级城市快速向二级、三级城市扩展。

### 7. 通用照明市场

对于 LED 进入通用照明市场,功率白光 LED 除面临着诸如发光效率低、散热不好、成本过高等问题外,还将面临到光学、结构与电控等的整合以及 LED 照明产品通用标准的制定。解决上述问题需要很长的一段时间。

## 1.2 LED 发展及应用前景

### 1.2.1 绿色照明工程

“绿色照明”是 20 世纪 90 年代初提出的照明领域的新方针,它是从节约能源、保护环境的角度提出来的。美国环保局于 1991 年初提出了绿色照明和有关计划,并积极付诸实施,几年来取得了显著成效。随后得到了联合国和世界上众多国家的关注,并制定了相关的计划。

我国对节约能源十分重视,在照明领域开展了多项节能工作。国家经贸委 1993 年开始把照明节能提到了能源、环境与经济协调发展的战略高度,放在资源节约工作的优先位置,并于 1994 年开始组织制订中国绿色照明工程计划,于 1996 年正式制订了《中国绿色照明工程实施方案》,正式组织试点和实施。

实施绿色照明的宗旨是要在我国发展和推广高效照明器具,节约照明用电,建立优质高效、经济、舒适、安全可靠、有益环境和改善人们生活质量、提高工作效率、保护人民身心健康的照明环境,以满足国民经济各部门和人民群众的日益增长的对照明质量、照明环境的更高要求和减少环境污染的需要。

### 1. 全面认识绿色照明的内涵和意义

不论是由美国提出的“绿色照明计划”,或者我国制订的《绿色照明工程实施方案》,都有其明确的宗旨和目标,具有丰富的内涵。要实施我国的绿色照明工程方案,达到预期的目标,必须使照明工程的设计、科研、生产维护专业人员,各行业、各地区、各企事业单位的管理者,对绿色照明工程有比较全面的认识 and 正确的理解,懂得它是一项综合性的系统工程,需要从多方面采取政策手段和技术措施,才能得以奏效。

绿色照明工程要求人们不要简单地认为只是节能,而要从更高层次去认识,提高到节约能源、保护环境的高度对待,这样意义更广泛、更深远。绿色照明工程要求照明节能,已经不完全是传统意义上的节能,这在我国《绿色照明工程实施方案》中提出的宗旨已经有清楚的描述,就是要满足对照明质量和视觉环境条件的更高要求,因此不能靠降低照明标准来实现节能,而是要充分运用现代科技手段提高照明工程设计水平和方法,提高照明器材效率来实现。

实施绿色照明工程,不能简单地理解为提供高效节能照明器材,高效的器材是重要的物质基础,但是还应有正确合理的照明工程设计。设计是统管全局的,对能否实施绿色照明要求起着决定性作用;此外,运行维护管理也不能忽视,没有这一因素,照明节能的实施也不完整。

高效照明器材是照明节能的重要基础,但照明器材不只是光源,光源是首要因素,已经为人们认识,但不是唯一的,灯具和电气附件(如 LED 驱动器)的效率,对于照明节能的影响是不可忽视的,这点往往不为人们所注意,比如一台带漫射罩的灯具,或一台带格栅的直管形荧光灯具,高效优质产品比低质产品的效率可以高出 50% ~ 100%,足见其节能效果。

高效光源是照明节能的首要因素,必须重视推广应用高效光源。但是有人把推广高效光源简单地理解为推广节能灯(而这里的节能灯是专指紧凑型荧光灯),这是很不全面的、很有害的,因为光源种类很多,有不少高效光源应予推广。就能量转换效率而言,有和紧凑型荧光灯光效相当的(如直管荧光灯),有比其光效更高的(如高压钠灯,金属卤化物灯、LED 灯),这些高效光源各有其特点和优点,各有其适用场所,决非简单地用一类节能光源能代替的。

电光源的选择应以实施绿色照明工程为基点,绿色照明工程旨在节约能源,保护环境。其具体内容是:采用高光效、低污染的电光源,提高照明质量,保护视力,提高劳动生产率和能源有效利用率,达到节约能源,减少照明费用,减少水电工程建设,减少有害物质的排放和逸出,达到保护人类生存环境的目的。真正的绿色照明的理想境界应从以下诸多方面考

察:

①无汞。汞有毒,污染环境后患无穷。

②节能。不仅照明要节电运行,而且光源和灯具从原材料至成品的生产过程也应有利于节能。

③节材。光源及其附件要节约耗用黑色金属、有色金属、稀有金属和非金属材料。

④环保的制造工艺。排放无污染和绿色生产工艺,包括采用无毒、无溶剂树脂与密封材料,提倡采用水溶性树脂。

⑤无有害的射线。光源无紫外线成分等。

⑥长寿命,耐用性好。

⑦对环境无电磁干扰,运行时无高次谐波分量泄漏。

⑧对电网无污染,电抗分量小,功率因数高,启动时浪涌小。

⑨失效后废弃物可回收,无环境污染后患。

按以上 9 项来分析,绝大部分气体放电光源(无汞荧光灯除外),包括第三代高强度放电(HID)灯或更先进的 HID 灯,评分都比 LED 要低得多,但 LED 也不能得满分。由此可见,绿色照明的理念不能只停留在节能和高光效上,应该有一个综合性的全面评估的观点。因此,真正实现绿色照明,研究和开发的征途还很长,这是一种挑战。

20 世纪末,白光 LED 的出现吸引各国政府及企业的广泛关注,成为光电子、照明工程科技领域中的一个热门。短短的 5~6 年来,白光 LED 的研发和应用取得举世瞩目的成绩。人们期望白光 LED 成为第四代新照明光源,以实现绿色照明的目的,其两个战略发展目标是:白光 LED 的光视效能达到 50lm/W 以上,开始部分取代白炽灯,进入商业照明;若白光 LED 的光视效能达到 100lm/W 以上,就可开始进入家庭照明。目前,某些材料、器件和制造工艺还存在一些关键性问题有待人们攻克。

为了实现白光 LED 照明目标,针对白光 LED 存在问题和发展方向,需在大功率高效蓝光和紫外 LED 芯片、高效荧光粉、先进 LED 封装工艺、LED 灯具、价格、标准、知识产权等方面加大研发力度,以研发用于照明色温区域内,高光通量、高光发光效率、高显色指数、低成本、均匀色的白光 LED 作为主要的研发方向。

由于白光 LED 光源的特殊结构,LED 照明光源与其他光源的原理、器件和灯具的结构、性能等完全不同。多 LED 芯片组合成的“二次光源”的配光分布及构成 LED 灯具的光学系统设计是一个复杂的系统工程,这是 LED 灯具设计要解决的课题。为了更好地适应固体照明光源的发展,应尽快地成立白光 LED 光源标准委员会,制定相关的标准。

## 2. 国内 LED 技术的进展

近几年,LED 的光视效能增长 100 倍,成本下降为原来的 1/10,广泛用于大面积图文显示全彩屏,状态指示、标志照明、信号显示、液晶显示器的背光源、汽车组合尾灯及车内照明等方面,在 LED 光源及市场开发中,极具发展与应用前景的是白光 LED,用作固体照明器件的经济性显著,且有利环保,正逐步取代传统的白炽灯,世界上年增长率在 20% 以上,美、日、欧及中国台湾省均推出了半导体照明计划。功率型白光 LED 优异的散热特性与光学特性更能适应普通照明领域,若替代荧光灯,白光 LED 必须具有 150~200lm/W 的发光效率,且每 1m 的价格应明显低于 0.015 美元/lm(现价约 0.25 美元/lm,红 LED 为 0.065 美元/lm),要实现这一目标仍有很多技术问题需要研究,按固体发光物理学原理,

LED 的发光效率近似 100%，因此，LED 被誉为 21 世纪新光源，有望成为继白炽灯、荧光灯、高强度气体放电灯之后的第四代光源。要实现白色 LED 具有 150 ~ 200lm/W 发光效率的目标必须从以下两方面努力：

- ①不断改进工艺。
- ②开发新材料，改进产品结构。

### 3. 国外 LED 技术的进展

美国波士顿的 Photonics 研究中心，报道了 LED 技术方面的进展，声称发光效率要达到 330lm/W，发出蓝、黄两种波长的光，所发出的光能使人感到是白色的光，这种发光效率与目前市场上的 LED 比要高 10 倍甚至更高。

欧司朗光电 OSRAMOS 公司已经开发出一种薄型 LED，称作 Market LED。这款产品只有 6mm 高，沿边安装的 LED 将光射入一个导光材料，而将光均匀地分布在表面。采用这种模块可以生产出作为走廊、剧场或影院的座位号的定向照明。模块的能耗从 1W 到几瓦不等，取决于模块的大小，这种模块基本上不发热。

随着新材料及半导体工业技术的发展，自 1994 年起，以新型可见光材料 InGaAlP 和 In-GaN 为主流，实现了 LED 的高亮度、多色化，加之封装技术的改进，出现了 LED 产品新的应用领域，带来了更多的市场商机，这些产品使得 LED 应用由室内使用提升到室外使用，能在强烈阳光下清晰显示，发光效率极高，发光强度超过 1000mcd，同时满足了全彩色显示和便携产品低功耗要求，这些先进的 LED 包括：

①蓝光、绿光 LED。蓝光 LED 材料有碳化硅 (SiC)、氮化镓 (GaN) 及铟氮镓 (In-GaN) 三元材料等，采用 InGaN/AlGaN 结构制成的蓝光 LED 峰值波长为 470nm，法向发光强度达到 2000mcd，绿光 LED 峰值波长为 520nm，法向发光强度可达 5000mcd，其中还有峰值波长 500nm 的蓝绿光 (交通绿) LED，在蓝色发光的基础上，包封时在其芯片上添加几毫克的荧光物质转换成白光，白光 LED 是微型白炽灯的最佳替代品，价格虽比白炽灯贵，但不易破碎，更加省电，工作时几乎不发热，可以连续照明 10 多年，这些产品已在日本、德国、美国及中国台湾地区等著名的光电子公司生产，并推向市场。

②新颖的四次元 LED。20 世纪 80 年代后期开发上市的 GaAlAs 材料，制成发红色光的 LED，首先实现超高亮度的要求，发光强度超过 1000mcd，但是光衰较大，因此应用范围受到限制，20 世纪 90 年代开发成功的 InGaAlP 四次元材料，制成的 LED 产品可以获得红、橙、黄、琥珀四种颜色，发光效率高，并且高温性能很好，是户外使用的理想产品。

③开发的 LED 新产品主要有：

- 工作电流为 70mA 的功率型 LED，能发出极强的光束，视角较大，一般为 40° ~ 70°，用于汽车标志灯。

- 贴片式 (SMD) LED 在小电流下工作，1 ~ 2mA 的工作电流，可发出足够亮度的光，可节省便携式产品的耗电量。

- 恒压 LED，在 LED 封装时将电阻封装在内部，使用时不需另附限流电阻，一般工作在 12V 以下，使用十分方便，同样在封装时将一块集成电路封装在内部，一般工作电压在 5V 以下，工作时闪烁发光，可以作为状态显示，使用也很方便。

- 多 LED 芯片封装于一体的 LED 发光模块，可实现特定的功能要求，利用 LED 多芯片的集群组成多彩色灯具，典型的红、绿、蓝三色光可以组成全色灯，在三色光中间交合处呈