



LED驱动与控制电路技术

主编 余振标

天津出版传媒集团



天津科学技术出版社

LED 驱动与控制技术

主 编 余振标

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

LED驱动与控制电路设计 / 余振标主编. —天津:
天津科学技术出版社, 2018. 6
ISBN 978-7-5576-5524-2

I. ①L… II. ①余… III. ①发光二极管—控制电路
—电路设计 IV. ①TN383. 02

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第160790号

责任编辑: 李荔薇

责任印制: 王莹

天津出版传媒集团
 天津科学技术出版社 出版

出版人: 蔡颢

天津市西康路35号 邮编 300051

电话 (022) 23332397

网址: www.tjkjcbbs.com.cn

新华书店经销

天津午阳印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 10.875 字数 270 000

2018年6月第1版第1次印刷

定价: 39.00元

前 言

随着半导体材料的突破与白光二极管的问世，LED 已逐步走进我们的日常生活当中，它已成为现代科技与社会经济发展的一大亮点。LED 是一种可将电能转变为光能的半导体发光器件，属于固态光源。它具有无污染、耐振动、抗冲击、寿命长、能耗低、控制方便等特点，属于真正的绿色照明光源。LED 已经广泛应用于照明、显示、指示、背光、交通、医疗、通讯、农业等领域。

近年来，整个社会节能环保意识逐步增强，环保节能型社会人才越来越受到重视，LED 产品需求急剧增长，使得 LED 相关产业对具备一定理论基础和较高实践技能的工程技术型人才的需要也大增。为此，根据《高等职业学校专业教学标准》编写了本教材，适用于电子信息类专业相关课程的教学。

本教材紧紧围绕职业教育的特点，注重“做中学、做中教”，重视理论实践一体化教学，采用项目驱动、实践导向的职业教育课程构建模式。在编写的过程中，力求使知识内容更贴近职业技能的需要，本书除第 1 章外，在每一章中都围绕 LED 项目展开，而在每个 LED 项目中融入了相关知识和应用技能。

第 1 章介绍了 LED 的工作原理、LED 的特性参数、LED 的特点及应用等基础知识；第 2 章介绍了 LED 小夜灯电路，具体分析了分立元件恒流电路、集成器件线性恒流电路，以及 LED 负载连接形式等；第 3 章介绍了 LED 日光灯电路，具体分析了非隔离变换电路、辅助电路、无源功率因数补偿电路，以及关键器件参数的计算与选择；第 4 章介绍了 LED 吸顶灯电路，具体分析了隔离变换电路、常用 LED 恒流控制电路，以及高频变压器的设计；第 5 章介绍了 LED 调光灯电路，具体分析了可控硅调光电路、PWM 调光电路，以及触摸调光电路的设计；第 6 章介绍了 LED 过道灯电路，具体分析了声控电路、应急灯控制电路，以及基于单片机控制的 LED 路灯设计；第 7 章介绍了 LED 显示屏及其制作组装过程，具体分析了 LED 显示屏单元板电路、LED 显示屏的检修方法等。

通过学习，学生不仅能够掌握一定的理论知识，而且还具备一定的电路设计、电路安装、故障检修的能力。

本书可以作为高职高专、中专学校、技工学校、职业培训学校的电子类专业的电子 CAD 课程教材，也可作为电子设计爱好者的参考用书。

本书在编写的过程中参考了许多图书和网站上的资料，引用了其中有关章节的内容，在此表示感谢！

本书由余振标主编，参与本书编写工作的还有李良钰、蔡教武等。由于编者的水平有限，教材中的错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 LED 基础知识	1
1.1 LED 概况	1
1.1.1 LED 的发展历史	1
1.1.2 LED 的工作原理	2
1.1.3 白光 LED 的实现方法	5
1.1.4 LED 的分类	8
1.1.5 LED 的封装	9
1.2 LED 的特性参数	12
1.2.1 LED 的电学参数	12
1.2.2 LED 的光学参数	14
1.2.3 LED 的热学参数	17
1.3 LED 的特点及应用	17
1.3.1 LED 光源的优点	17
1.3.2 LED 的应用领域	19
1.4 LED 芯片品牌及产品认证	21
1.4.1 LED 芯片品牌	21
1.4.2 LED 照明产品认证	23
1.5 技能拓展	26
1.5.1 LED 灯具选购注意事项	26
第 2 章 LED 小夜灯电路设计	28
2.1 为什么 LED 要使用恒流源	28
2.2 分立元件恒流电路	29
2.2.1 电阻限流电路	29
2.2.2 阻容降压电路	31
2.2.3 恒流二极管电路	33
2.2.4 三极管串联恒流电路	35
2.3 集成器件线性恒流电路	38
2.3.1 稳压模块恒流电路	38
2.3.2 TL431 恒流源	39
2.4 LED 负载连接方式	41
2.4.1 全部串联方式	41
2.4.2 全部并联方式	42
2.4.3 混联方式	43
2.4.4 交叉阵列形式	44

2.5 技能拓展	45
2.5.1 光控 LED 小夜灯电路设计	45
2.5.2 LED 灯关后发微光的解决方法	46
第 3 章 LED 日光灯电路设计	48
3.1 LED 日光灯的性能	48
3.1.1 两种日光灯的性能比较	48
3.1.2 LED 日光灯的优点	49
3.1.3 LED 日光灯驱动器隔离问题	50
3.2 BUCK 电路	50
3.2.1 基本工作原理	51
3.2.2 电路特点	52
3.2.3 Buck 改进电路	52
3.3 基于 PT4017 的 LED 日光灯驱动电路	53
3.3.1 驱动芯片简介	53
3.3.2 电路方案与分析	54
3.3.3 元器件选择	56
3.3.4 电路测试	57
3.4 辅助电路设计	59
3.4.1 输入保护电路	59
3.4.2 电磁干扰滤波电路	61
3.4 功率因数补偿电路	62
3.4.1 整理滤波电路存在的问题	62
3.4.2 填谷式无源 PFC	63
3.5 功率电感设计	64
3.5.1 电感参数计算	64
3.5.2 功率电感选择	65
3.6 基于 BP2808 的 LED 日光灯驱动电路	66
3.6.1 驱动芯片简介	66
3.6.2 电路方案与分析	67
3.7 基于 BP2822 的 LED 日光灯驱动电路	69
3.7.1 驱动芯片简介	69
3.7.2 电路方案与分析	69
3.7.3 电路制作与测试	71
3.8 技能拓展	75
3.8.1 LED 日光灯驱动器的放置	75
3.8.2 如何选购 LED 日光灯电源	75
3.8.3 LED 日光灯替换传统日光灯	77
第 4 章 LED 吸顶灯电路设计	79
4.1 LED 吸顶灯的性能	79

4.1.1 传统吸顶灯的特性	79
4.1.2 LED 吸顶灯的特性	80
4.1.3 LED 吸顶灯的构成	81
4.1.4 LED 吸顶灯驱动电源	82
4.2 电气隔离的 DC/DC 变换器	83
4.2.1 反激式变换器	83
4.2.2 隔离型反激式变换器	84
4.3 基于 NCP1014 的厨房 LED 吸顶灯	85
4.3.1 驱动芯片 NCP101X 简介	86
4.4.2 电路方案与分析	87
4.4.3 元器件的选择	90
4.4 高频变压器设计	93
4.4.1 高频变压器的设计难点	93
4.4.2 高频变压器的设计步骤	93
4.4.3 高频变压器的性能测试	97
4.5 常用 LED 恒流控制方式	97
4.5.1 电阻采样直接控制光耦	97
4.5.2 电阻采样三极管控制光耦	98
4.5.3 电阻采样运算放大器控制光耦	99
4.5.4 反馈绕组采样控制	100
4.6 基于 VIPer12A 的卫生间 LED 吸顶灯	100
4.6.1 驱动芯片 VIPer12A 简介	100
4.6.2 电路方案与分析	102
4.6.3 变压器制作	103
4.7 技能拓展	103
4.7.1 LED 驱动电源选择技巧	103
4.7.2 吸顶灯常见故障及解决方法	105
第 5 章 LED 调光灯电路设计	107
5.1 调光技术	107
5.1.1 可控硅调光	107
5.1.2 模拟量调光	108
5.1.3 数字调光	109
5.1.4 分段式开关调光	112
5.2 基于 LM3445 的 LED 落地灯	113
5.2.1 驱动芯片 LM3445 简介	113
5.2.2 电路方案与分析	114
5.2.3 变换器设计	116
5.3 基于 PT4115 的 LED 台灯	117
5.3.1 台灯的使用要求	117

5.3.2 电路方案与分析	118
5.3.3 旋钮调光电路设计	120
5.3.4 触摸调光电路设计	121
5.4 技能拓展	124
5.4.1 LED 台灯选购要点	124
5.4.2 电容式触摸按键设计	125
第 6 章 LED 过道灯电路设计	127
6.1 基于 XLT604 的声控 LED 过道灯	127
6.1.1 驱动芯片 XLT604 简介	127
6.1.2 电路方案与分析	128
6.2 基于 UND4001 的 LED 应急灯	129
6.2.1 简易 LED 应急灯控制电路	129
6.2.2 基于 NUD4001 的 LED 应急灯	132
6.3 技能拓展	134
6.3.1 基于单片机的 LED 过道灯设计	134
6.3.2 太阳能 LED 路灯设计	137
第 7 章 LED 显示屏	143
7.1 LED 显示屏概述	143
7.1.1 LED 显示屏的构成	143
7.1.2 LED 显示屏的分类	144
7.1.3 LED 显示屏的应用	144
7.2 LED 显示屏单元板	145
7.2.1 LED 点阵显示器的结构	145
7.2.2 LED 点阵图文屏工作原理	148
7.2.3 LED 单元板电路分析	150
7.2.4 LED 单元板控制卡	154
7.3 LED 显示屏的制作	155
7.3.1 LED 单元板的制作	155
7.3.2 LED 显示屏的组装	156
7.4 技能拓展	158
7.4.1 学做 LED 工程	158
7.4.2 单元板的检修	163
参考文献	166

第 1 章 LED 基础知识

1.1 LED 概况

1.1.1 LED 的发展历史

发光二极管 (Light-Emitting Diode, 简称 LED) 是一种能将电能转化为光能的半导体电子元件。早期只能发出低光度的红光, 之后发展出其他单色光的版本, 时至今日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光度。而它的用途也由初时作为指示灯, 发展到现在被广泛地应用于显示器、采光装饰和照明等领域。下面将简要介绍一下 LED 的几个发展历史阶段。

1. 半导体发光研究阶段

1907 年, 英国的亨利·约瑟夫·兰德 (Henry Joseph Round) 在美国参与的一项基础科学实验后, 记录了碳化硅结晶发光的现象: 在碳化硅结晶表面施加电压, 会发出黄绿、橙色、蓝色的光芒。人类对于半导体发光的研究自此而始。由于其发出的黄光太暗, 不适合实际应用, 而且碳化硅与电致发光不能很好地适应, 研究被摒弃了。

20 世纪 20 年代晚期, 伯恩哈德·古登 (Bernhard Gudden) 和罗伯特·维查德 (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。

1936 年, 法国科学家乔治斯迪什特里奥 (Georges Destriau) 发表了一个关于硫化锌粉末发射光的报告, 提出了今天“电致发光现象”这一术语。

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, 发明了第一个具有现代意义的 LED, 并于 60 年代面世。据说在早期的试验中, LED 需要放置在液化氮里, 更需要进一步的操作与突破以便能高效率地在室温下工作。第一个商用 LED 仅仅只能发出不可视的红外光, 但却迅速应用于感应与光电领域。

2. LED 应用的初级阶段

20 世纪 50 年代初, 半导体物理学的发展为电致发光现象提供了理论基础, 而半导体工业为 LED 研究提供了纯净、掺杂可控的半导体晶片。

1962 年美国 GE 公司的尼克·何伦亚克 (Nick Holonyak) 带领的一个团队使用 GaAsP (磷砷化镓) 材料成功制作出了第一个发光二极管, 这是第一颗可见光 LED, 因这一发现尼克·何伦亚克被称为“LED 之父”。仅 6 年后, 孟山都 (Monsanto) 研发的指示灯以及 Hewlett-Packard 研发的电子显示屏就将商业化 LED 推向了市场。

1965 年的 LED 仅有 0.1lm/W , 只做指示灯。到 1986 年, 人们通过 N 掺杂的工艺, 使掺 GaAsP 的 LED 的发光效率达到 1lm/W , 并出现了橙色光和黄色光, 真正具有了商业价值。

20 世纪 70 年代早期出现 GaP (磷化镓) 绿色 LED 和碳化硅黄色 LED, 新材料的引入提高了 LED 的发光效率, 并将 LED 的发光光谱扩展到橙光、黄光和绿光。70 年代中期后, LED 采用双层磷化镓芯片 (一个红色另一个是绿色) 能够发出黄色光。就在此时, 俄国科学家利用金刚砂制造出发出黄光的 LED, 尽管它不如欧洲的 LED 高效, 但

在 70 年代末，它能发出纯绿色的光。

3. 高亮度 LED 的发展阶段

20 世纪 80 年代，AlGaAs（砷镓化铝）的使用使得第一代高亮度的 LED 的诞生，先是红色，接着就是黄色，最后为绿色。

20 世纪 90 年代早期，日本的东芝公司和美国的 HP 公司，先后研发成功双异质结与多量子阱结构的橙色和黄色 AlGaInP（磷化铝镓铟）组合又被用来生产超亮红色、橘色、黄色及绿色的 LED。

20 世纪 90 年代中期，日本的日亚（NICHIA）化学公司和美国的 CREE 公司，分别在蓝宝石和 SiC 衬底上成功研发了超亮蓝光 GaN（氮化镓）LED，高亮度绿光、紫光及蓝光 InGaP（氮化铟镓）LED 随后也研发成功。

其中值得一提的是，首个明亮蓝色的氮化镓 LED 是由日亚公司的中村修二等人在 1993 年开发的，随后用 InGaP（氮化铟镓）半导体制造出了超高亮的紫外，蓝色和绿色 LED，用 AlGaInP（磷化铝镓铟）半导体制备出超高亮红色和黄色 LED。1997 年，中村修二和美国人修博特先后研制出了 GaN 蓝色发光二极管激发黄光荧光粉得到白光 LED，但效率不足 10lm/W。凭借这些成就，他获得了 2014 年诺贝尔物理学奖；也因为蓝色 LED 诞生，中村修二也就成了“蓝光之父”。

超亮度蓝光芯片是白光 LED 的核心，在这个发光芯片上抹上荧光磷，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。今天在 LED 市场上就能看到生产出来的新奇颜色，如浅绿色和粉红色。

21 世纪之后，白光 LED 技术得到快速的发展。2000 年，日亚报道了 15lm/W 白光 LED；2003 年，日亚报道的光效达到 60lm/W，2006 年 3 月，其光效达到 100lm/W；2006 年 7 月，Cree 公司报道了 130lm/W 白光 LED；2006 年 11 月，日亚报道的光效达到 150lm/W，其效率已经超过节能灯，实现了真正意义上的照明。2007 年 3 月，美国 CREE 公司光效达到 157lm/W，目前 LED 的效率向 200lm/W 前进。

4. 高亮度 LED 的应用阶段

影响 LED 产业发展最重大的变化，是高亮度白光 LED 的发明。LED 发展历史已经几十年，但在照明领域的应用还是新技术。LED 理论上每瓦的发光效率高达 370lm/W，在目前芯片结构不做任何改变的情况下良好的工艺让 LED 每瓦到达 150lm 没有任何问题，当达到这种亮度的时候，所有的照明领域基本上都可以用 LED 替代了。大功率白光 LED 目前实验室里已经达到 157lm/W 的水平，接近 100lm/W 的大功率白光 LED 即将进入商业化。大功率、高光效、低成本三大瓶颈正在被逐步突破。可以说，白光 LED 进入普通照明领域的曙光已经显现了。

随着 LED 技术的迅猛发展，其发光效率的逐步提高，LED 的应用市场将更加广泛，特别在全球能源短缺的忧虑再度升高的背景下，LED 在照明市场的前景更备受全球瞩目。面对巨大的市场机会，世界各大公司纷纷加快研发创新的步伐。

照明是电力消耗的大户。据统计，美国每年生产的大约 3 万亿度的电力中，照明就使用了 6 千亿度，占总电力的 20%。中国在 2002 年使用的电力约 1.65 万亿度，用于发光照明的达 2 千亿度，占总发电量的 12%。采用“半导体灯”替代传统光源，按节能 45% 计，节省的电力就等于多建一个三峡电站，而且还间接降低了燃煤发电对环境的污染。

正是在这种背景下，近年来，日本、美国、欧盟、韩国等相继推出国家级半导体照明计划。比如日本投资 50 亿日元推行“21 世纪光计划”，提出 2006 年就要用半导体灯大规模替代传统白炽灯；美国能源部设立了有 13 个国家重点实验室、公司和大学参加的“半导体照明国家研究项目”，计划用 10 年时间，耗资 5 亿美元开发半导体照明；欧盟则委托 6 个大公司、2 所大学，于 2000 年 7 月启动了“彩虹计划”；韩国“GaN 半导体开发计划”在 2004 年至 2008 年，由政府投入 4.72 亿美元，企业投入 7.36 亿美元来进行。我国台湾也在组织实施相关计划，设立了有 16 个生产科研和大学参加的“21 世纪照明光源开发计划”。与此同时世界三大照明公司 GE、Philips、Osram 纷纷与半导体公司联合，组建起了半导体照明公司。一场抢占半导体照明新兴产业制高点和世界市场的争夺战已经在全球打响。

我国在 2003 年 6 月 17 日，由中国科技部牵头成立了跨部门、跨地区、跨行业的“国家半导体照明工程协调领导小组”，提出了我国实施半导体照明工程的总体方针，确定从协调领导小组成立之日起，到 2005 年年底前的这段时间，为半导体照明工程项目的紧急启动期，并在“十五”攻关计划中紧急启动半导体照明产业化关键技术重大项目，在此期间要结合制定国家中长期科技发展规划和第十一个科技五年计划，研究提出中国半导体照明产业发展的总体战略和实施方案。从 2006 年的“十一五”开始，国家将把半导体照明工程作为一个重大工程进行推动。

表 1-1 LED 的各个发展阶段简要汇总表

发展阶段	年份	发展进程	发光效率 (lm/w)	应用领域
指示应用	1962	GaAsP 红光 LED（样品）	<0.1	指示灯
	1965	GaAsP 红光 LED	0.1	
	1968	GaAsP 红、橙、黄光 LED	0.2	
	1970~1980	GaAsP 高效红、黄光、GaP 绿、红光	1	指示灯、计算器、数字手表
信号显示	1980~1985	AlGaAs 橙黄、绿、红光 LED	5	室外信号显示、条形码系统、光电传导系统
	1986~1992	InGaAlP 红、绿、橙红、橙黄、橙、黄色 LED	10	室外显示屏、交通信号灯、汽车
全彩应用普通照明	1993~1994	InGaN 绿、蓝光 LED, GaN 蓝光 LED	15	医疗设备、全彩大屏幕显示屏、小尺寸 LCD 背光源、手机背光照明、景观装饰照明、闪光灯、应急灯、警示灯、标志灯
	1997	白光 LED（蓝光芯片+YAG 荧光粉）	10	
	2000	InGaAlPGaAs、InGaNSiC 彩色 LED	>30	
	2005	InGaAlPGaAs、InGaNSiC 彩色 LED	>50	
	2007~2009	功率级白光 LED	>100	

1.1.2 LED 的工作原理

所谓 LED，就是发光二极管（Light Emitting Diode），它是一种可以将电能转化力光能的电子器件，其结构主要由 PN 结芯片、电极和光学系统组成。LED 的心脏为一块电致发光的半导体芯片，芯片的一端固定在支架上，这一端是负极；另一端则连接正极，整个芯片被封装在环氧树脂中。

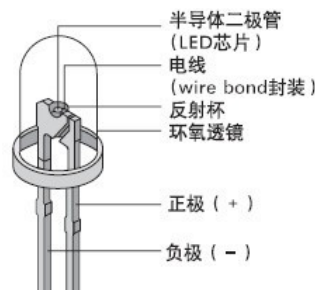


图 1-1 LED 结构

半导体芯片是发光二极管的核心部分，它是由空穴占主导地位的 P 型半导体和电子占主导地位的 N 型半导体组成，是由 III~IV 族化合物，如 GaAs（砷化镓）、GaP（磷化镓）、GaAsP（磷砷化镓）等半导体制成的；当 P 型半导体和 N 型半导体连接在一起时，它们之间形成一个过渡层，称为 PN 结。它具有一般 P-N 结的特性，即正向导通，反向截止、击穿特性。此外，在一定条件下，它还具有发光特性。

LED 发光的基本原理是：电场的作用激发电子由低能态跃迁到高能态，当这些电子从高能态回到低能态的时候，根据能量守恒原理，多余的能量将以光的形式释放出来。即当 PN 结在正向电压下，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。这个发光过程包括三个部分：正向偏压下的载流子注入、复合辐射和光能传输，如图 1-2 所示。

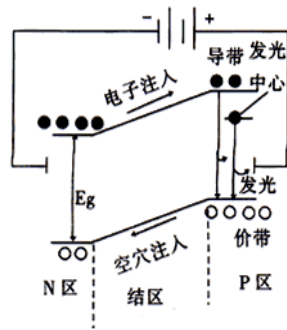


图 1-2 LED 发光原理

假设发光是在 P 区中发生的，那么注入的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，再与空穴复合发光。除了这种发光复合外，还有些电子被非发光中心（这个中心介于导带、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，所以光仅在靠近 PN 结面数 μm 以内产生。

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：

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

式中 E_g 的单位为电子伏特 (eV)。 E_g 越大，所发出的光子波长就越短，颜色就会蓝

移。反之， E_g 越小，所发出的光子波长就越长，颜色就会红移。

若能产生可见光（波长在 380nm 紫光~780nm 红光），半导体材料的 E_g 应在 3.26~1.63eV 之间。比红光波长长的光为红外光。在此能量范围之内，带隙为直接带的 III~IV 族或 III~V 族半导体材料只有 GaN、GaP 等少数材料，也可以利用 III~IV 族或 III~V 族二元化合物组成新的三元或四元 III-IV 族或 III-V 族固溶体，通过改变固溶体的组分来改变禁带宽度与带隙类型。现在已有红外、红、黄、绿及蓝光发光二极管，但其中蓝光二极管成本、价格很高，使用不普遍。

表 1-2 无机半导体材料 LED 及颜色

铝砷化镓 (AlGaAs)	红色及红外线	碳化硅 (SiC) (衬底)	蓝色
铝磷化镓 (AlGaP)	绿色	硅 (Si) (衬底)	蓝色
磷化铟镓铝 (AlGaInP)	高亮橘红色、橙色、黄色、绿色	蓝宝石 (Al ₂ O ₃) (衬底)	蓝色
磷砷化镓 (GaAsP)	红色、橘红色、黄色	硒化锌 (ZnSe)	蓝色
磷化镓 (GaP)	红色、黄色、绿色	钻石 (C) (衬底)	紫外线
氮化镓 (GaN)	绿色、翠绿色、蓝色	氮化铝 (AlN)、铝氮化镓 (AlGaN)	远、近紫外线
铟氮化镓 (InGaN)	近紫外线、蓝绿色、蓝色		

1.1.3 白光 LED 的实现方法

在 LED 上最广泛的应用还是在白光领域，照明用白光 LED 不同于传统的 LED 产品，在技术性能指标上有一些特殊要求：光通量一个 $\Phi 5\text{mm}$ 的 LED 光通量仅为 1lm 左右，而用作照明的白光功率 LED 希望达到 1klm。当然，光通量为 0.1klm 和 0.01klm 的功率 LED 也能达到要求较低的照明需求。由于 15W 白炽灯效率较低，仅 8lm/W，所以一个 15W 白炽灯的光通量，与 25lm/W 白光 LED 功率为 5W 的器件相当。

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) 封装在一起做成。GaN 芯片发波长 465nm 的蓝光，此蓝光激发高温烧结制成的含 Ce^{3+} 的 YAG 荧光粉，会发射出波长 550nm 左右的黄色光。

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，约 200~500nm。LED 基片发出的蓝光部分被荧光粉吸收，另一部分蓝光与荧光粉发出的黄光混合，两种光混合在一起实现白光，这种原理叫互补光原理。

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，可以获得色温 3500~10000K 的各色白光。

白光 LED 的获取有单一芯片荧光转换的白光 LED，单一芯片非荧光转换的白光 LED，多芯片组合方式，即光色混合成白光 LED，以及量子阱白光 LED 等几种方式。

1.单一芯片荧光转换白光的三种方法

(1) InGaN (蓝) /YAG 荧光粉

这是一种目前较为成熟的产品，其中 1W 的和 5W 的 Lumileds 已有批量产品。这些产品采用芯片倒装结构，提高发光效率和散热效果。荧光粉涂覆工艺的改进，可将色均匀性提高 10 倍。实验证明，电流和温度的增加使 LED 光谱有些蓝移和红移，但对荧光光谱影响并不大。寿命实验结果也较好， $\Phi 5\text{mm}$ 的白光 LED 在工作 1.2 万小时后，光输出下降 80%，而这种功率 LED 在工作 1.2 万小时后，仅下降 10%，估计工作 5 万小时

后下降 30%。这种称为 Luxeon 的功率 LED 最高效率达到 44.3lm/w, 最高光通量为 187lm, 产业化产品可达 120lm, Ra 为 75~80。

(2) InGaN (蓝)/红荧光粉+绿荧光粉

蓝光 LED 芯片激发黄色荧光粉, 由 LED 蓝光和荧光粉发出的黄绿光合成白光, 为改善显色性能还可以在其中加少量红色荧光粉或同时加适量绿色、红色荧光粉。

优点: 效率高、制备简单、温度稳定性较好、显色性较好。

缺点: 一致性差、色温随角度变化。

Lumileds 公司采用 460nmLED 配以 $\text{SrGa}_2\text{S}_4: \text{Eu}^{2+}$ (绿色) 和 SrS: Eu^{2+} (红色) 荧光粉, 色温可达到 3000~6000K 的较好结果, Ra 达到 82~87, 较前述产品有所提高。

(3) InGaN (紫外)/(红+绿+蓝) 荧光粉

紫外光 LED 芯片激发荧光粉发出三基色合成白光。

优点: 显色性好、制备简单。

缺点: 目前, LED 芯片效率较低, 有紫外。

Cree、日亚、丰田等公司均在大力研制紫外 LED。Cree 公司已生产出 50mW、385~405nm 的紫外 LED; 丰田已生产此类白光 LED, 其 Ra 大于等于 90, 但发光效率还不够理想; 日亚于最近制得 365nm、1mm²、4.6V、500mA 的高功率紫外 LED, 如制成白色 LED, 会有较好效果。

2. 单一芯片非荧光转换的白光 LED

利用 ZnSe 产生白光的技术, 在 ZnSe 单晶基板上形成 CdZnSe 薄膜, 通电后使薄膜发出蓝光, 同时部分蓝光照射到基板上而发出黄光, 最后蓝光黄光混合后形成白光。

优点: 操作电压 2.7V, 低于 GaN 的 3.5V

缺点: 发光效率仅 8lm/W, 寿命只有 8000h

虽然 ZnSe 和 OLED 白光器件有一些进展, 但离产业化生产尚远。

3. 多芯片白光 LED

光色混合型白光 LED 是指多芯片 ($n \geq 2$) 组合复合成的白光 LED 器件。

优点: 能量损耗少、发光效率高; 显色性便于调节和改善, 可以获得高显色指数。

缺点: 设计复杂、电路控制困难、成本较高。

(1) 双芯片

可由蓝 LED+黄 LED、蓝 LED+黄绿 LED 以及蓝绿 LED+黄 LED 制成, 此种器件成本比较便宜, 但由于是两种颜色 LED 形成的白光, 显色性较差, 只能在显色性要求不高的场合使用。

(2) 三芯片 (蓝色+绿色+红色) LED

通过 LED 红绿蓝的三基色多芯片组和发光合成白光。

Philips 公司用 470nm、540nm 和 610nm 的 LED 芯片制成 Ra 大于 80 的器件, 色温可达 3500K。如用 470nm、525nm 和 635nm 的 LED 芯片, 则缺少黄色调, Ra 只能达到 20 或 30。

采用波长补偿和光通量反馈方法可使色移动降到可接受程度。美国 TIR 公司采用 LuxeonRGB 器件制成用于景观照明的系统产品, 用 Lumileds 制成液晶电视屏幕 (22 英寸), 产品的性能都不错。

(3) 多芯片（蓝色+绿色+红色+黄色）LED

采用 465nm、535nm、590nm 和 625nmLED 芯片可制成 Ra 大于 90 的白光 LED。此外，Norlux 公司用 90 个三色芯片（R、G、B）制成 10W 的白光 LED，每个器件光通量达 130lm，色温为 5500K。

表 1-3 列出了目前白色 LED 的种类及其发光原理。目前已商品化的第一种产品为蓝光单晶片加上 YAG 黄色荧光粉，其最好的发光效率约为 25lm/W，YAG 多为日本日亚公司的进口，价格在 2000 元/千克；第二种是日本住友电工亦开发出以 ZnSe 为材料的白光 LED，不过发光效率较差。

从表中也可以看出某些种类的白色 LED 光源离不开四种荧光粉：即三基色稀土红、绿、蓝粉和石榴石结构的黄色粉，在未来较被看好的是三波长光，即以无机紫外光晶片加 RGB 三基色荧光粉，用于封装 LED 白光，预计三波长白光 LED 今年有商品化的机会。但此处三基色荧光粉的粒度要求比较小，稳定性要求也高，具体应用方面还在探索之中。

表 1-3 白色 LED 的种类

芯片数	激发源	发光材料	发光原理
1	蓝色 LED	InGaN/YAG	InGaN 的蓝光与 YAG 的黄光混合成白光
	蓝色 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 的蓝光激发的红绿蓝三基色荧光粉发白光
	蓝色 LED	ZnSe	由薄膜层发出的蓝光和在基板上激发出的黄光混色成白光
	紫外 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 的紫外激发的红绿蓝三基色荧光粉发白光
2	蓝色 LED 黄绿 LED	InGaN、GaP	将具有补色关系的两种芯片封装在一起，构成白色 LED
3	蓝色 LED 绿色 LED 红色 LED	InGaN AlInGaP	将发三原色的三种小片封装在一起，构成白色 LED
多个	多种光色的 LED	InGaN、GaP AlInGaP	将遍布可见光区的多种光芯片封装在一起，构成白色 LED

4.量子点 LED

量子点（quantum dot）是准零维（quasi-zero-dimensional）的纳米材料。由少量的原子所构成。粗略地说，量子点三个维度的尺寸都在 10nm 以下，外观恰似一极小的点状物，其内部电子在各方向的运动都受到局限。所以量子局限效应（quantum confinement effect）特别显著。量子点，又可称为纳米晶，是一种由Ⅱ～Ⅱ族或Ⅲ～Ⅴ族元素组成的纳米颗粒。量子点的粒径一般介于 1～10nm 之间。由于电子和空穴被量子限域。连续的能带结构变成具有分子特性的分立能级结构，受激后可以发射荧光。

不同尺寸的量子点（1～10nm），电子和空穴被量子限域的程度不一样，分子特性的分立能级结构也因量子点的尺寸不同而不同，因此在收到外来能量激发后。不同尺寸的量子点将发出不同波长的荧光，也就是各种颜色的光。

采用 LED 光源进行照明，首先取代耗电的白炽灯，然后逐步向整个照明市场进军，将会节约大量的电能。近期，白色 LED 已达到单颗用电超过 1W，光输出 25lm，也增大了它的实用性。表 1-4 和表 1-5 列出了白色 LED 的效能进展。

表 1-4：单颗白色 LED 的效能进展

年份	发光效能 (lm/W)	备注
1998	5	
1999	15	相若白炽灯
2001	25	相若卤钨灯
2005	50	

表 1-5：长远发展目标

单颗白色 LED	
输入功率	10W
发光效能	100lm/W
输出光能	1000lm/W

1.1.4 LED 的分类

LED 产品很多，根据发光管发光颜色、发光管出光面特征、发光管结构、发光强度和工作电流、芯片材料、功能等标准有不同的分类方法。下面简单介绍前六种分类方法。

1.按发光颜色分类

根据发光管发光颜色分类根据发光管发光颜色的不同，可分成红光、橙光、绿光（又细分为黄绿、标准绿和纯绿）、蓝光等。另外，有的发光二极管中包含 2 种或 3 种颜色的芯片。

根据发光二极管出光处掺或不掺散射剂、有色还是无色，上述各种颜色的发光二极管还可分成有色透明、无色透明、有色散射和无色散射四种类型。

2.按光面特征分类

根据发光管出光面特征分类根据发光管出光面特征的不同，可分为圆灯、方灯、矩形、面发光管、侧向管、表面安装用微型管等。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。

3.按二极管结果分类

根据发光二极管的结构分类根据发光二极管的结构，可分为全环氧包封、金属底座环氧封装、陶瓷底座环氧封装及玻璃封装等。

4.按发光角度分类

从发光强度角分布图来分有三类：

高指向性。一般为尖头环氧封装，或是带金属反射腔封装，且不加散射剂。半值角为 $5^\circ \sim 20^\circ$ 或更小，具有很高的指向性。通常作为局部照明光源，或用于与光检测器联用以组成自动检测系统。

标准型。其半值角为 $20^\circ \sim 45^\circ$ 。通常用作指示灯光源。

散射型。这是视角比较大的指示灯，半值角为 $45^\circ \sim 90^\circ$ 或更大，散射剂的量较大。

5.按发光强度分类

普通亮度的 LED（发光强度 $< 10\text{mcd}$ ）；超高亮度的 LED（发光强度 $> 100\text{mcd}$ ）；把发光强度在 $10 \sim 100\text{mcd}$ 间的叫高亮度发光二极管。

6.按工作功率分类

按功率大小可分为小功率和大功率,行业上一般把 1W 以上的灯叫作大功率灯,常用的是 1W。还有进一步细分为:小功率($\leq 0.06\text{W}$)、功率型($0.06\sim 1\text{W}$)、大功率($\geq 1\text{W}$)。

一般地,大功率是指发光强度较高的产品,如常见的 LED 灯管,这类的产品的 LED 芯片都比较大,发光效率较高(亮度较高),所以分类为大功率 LED,常见封装方式为食人鱼、Emitter、SMD、Lamp 等。小功率是指发光强度较低的产品,如常见的指示灯、手机背光等,因为这类的产品的 LED 芯片都比较小,发光效率较低(亮度较低、通常用在指示、显示)。

7.按封装方式分类

按封装方式分,有插件式和贴片两种。

插件式是指此元件是使用时,PCB 基座上需要开孔(钻孔),元件需要穿过 PCB 板才能作焊接的;这类元件通常都有较长的外接引脚,如常见的 Lamp、食人鱼等;而贴片式是指此元件是使用时,PCB 基座上不需要开孔(钻孔),元件直接贴于 PCB 板就能作焊接的;这类元件通常都没有外接引脚(或呈片状金属电极),如常见的 SMT、Emitter 等。

1.1.5 LED 的封装

LED 封装技术大都是在分立器件封装技术基础上发展与演变而来的,但却有很大的特殊性。一般情况下,分立器件的管芯被密封在封装体内,封装的作用主要是保护管芯和完成电气互连。而 LED 封装则是完成输出电信号,保护管芯正常工作,既有电参数,又有光参数的设计及技术要求。

LED 封装的功能主要包括:①机械保护,以提高可靠性;②加强散热,以降低芯片结温,提高 LED 性能;③光学控制,提高出光效率,优化光束分布;④供电管理,包括交流/直流转变,以及电源控制等。

经过 40 多年的发展,LED 封装先后经历了引脚式、贴片式、功率型 LED、板上芯片直装(COB LED)封装等发展阶段。

1.引脚式(Lamp)LED 封装

LED 脚式封装采用引线架作各种封装外形的引脚,是最先研发成功投放市场的封装结构,品种数量繁多,技术成熟度较高,封装内结构与反射层仍在不断改进。常用 3~5mm 封装结构,一般用于电流较小($20\sim 30\text{mA}$),功率较低(小于 0.1W)的 LED 封装。主要用于仪表显示或指示,大规模集成时也可作为显示屏。其缺点在于封装热阻较大(一般高于 100K/W),其 90%的热量是由负极的引脚架散发至 PCB 板,再散发到空气中,寿命较短。

封装材料多采用高温固化环氧树脂,其光性能优良,工艺适应性好,产品可靠性高,可做成有色透明或无色透明和有色散射或无色散射的透镜封装,不同的透镜形状构成多种外形及尺寸,如图所示。