

TURING

图灵电子与电气工程丛书

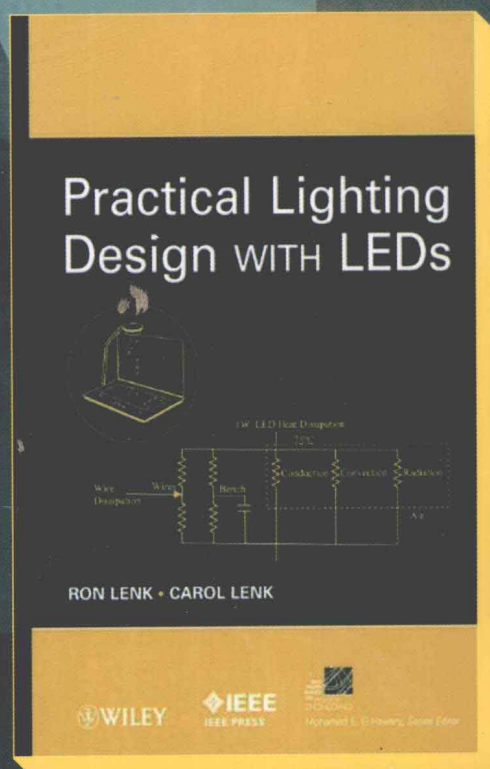
WILEY

IEEE  
IEEE PRESS

# LED电源设计 权威指南

## Practical Lighting Design with LEDs

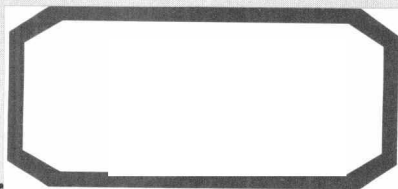
[美] Ron Lenk Carol Lenk 著  
王晓刚 刘华 王佳庆 译



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

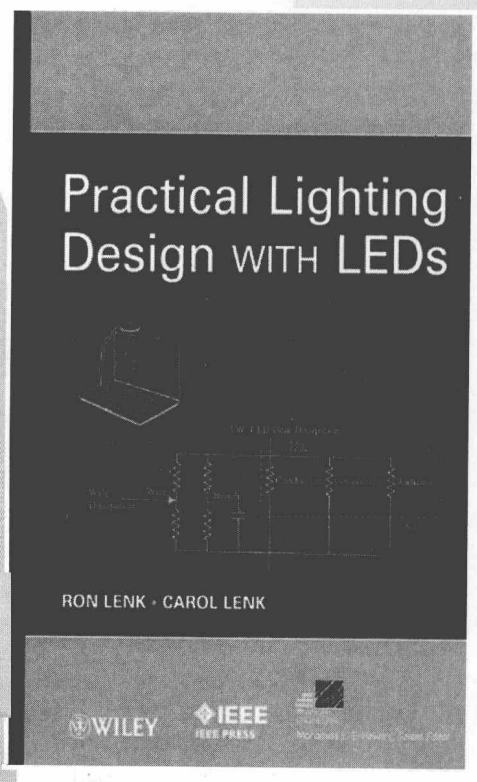
图灵电子与电气工程丛书



# LED电源设计 权威指南

## Practical Lighting Design with LEDs

[美] Ron Lenk Carol Lenk 著  
王晓刚 刘华 王佳庆 译



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目(CIP)数据

LED电源设计权威指南 / (美) 伦克 (Lenk, R.),  
(美) 伦克 (Lenk, C.) 著; 王晓刚, 刘华, 王佳庆译.  
— 北京: 人民邮电出版社, 2012. 8  
(图灵电子与电气工程丛书)  
书名原文: Practical Lighting Design with LEDs  
ISBN 978-7-115-28530-0

I. ①L… II. ①伦… ②伦… ③王… ④刘… ⑤王…  
III. ①发光二极管—电源电路—电路设计—指南 IV.  
①TN383. 02-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第119108号

## 内 容 提 要

LED 因其高效节能环保等诸多优点成为照明领域的未来方向。本书讲述 LED 的各种实践知识, 以及如何根据这些知识进行实际照明设计。书中内容共分为 12 章, 将理论与实践完美结合, 为读者提供 LED 电源设计的必备背景知识以及实战指南。

本书适合 LED 电源设计工程师以及照明行业的相关技术人员。

### 图灵电子与电气工程丛书 LED电源设计权威指南

- 
- ◆ 著 [美] Ron Lenk Carol Lenk  
译 王晓刚 刘 华 王佳庆  
责任编辑 朱 巍
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号  
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京鑫正大印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 11.25 彩插: 2  
字数: 296千字 2012年8月第1版  
印数: 1-4 000册 2012年8月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2012-0972号

ISBN 978-7-115-28530-0

---

定价: 39.00元

读者服务热线: (010)51095186转604 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

# 版权声明

Original edition, entitled *Practical Lighting Design with LEDs*, by Ron Lenk, Carol Lenk, ISBN 978-0-470-61279-8, published by John Wiley & Sons, Inc.

Copyright © 2011 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. This translation published under License.

Simplified Chinese translation edition published by POSTS & TELECOM PRESS Copyright © 2012. Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权人民邮电出版社独家出版。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

本书封底贴有 John Wiley & Sons, Inc. 激光防伪标签，无标签者不得销售。  
版权所有，侵权必究。

# 序

## 照明革命

LED 使照明领域进入了一个新纪元。从使用真空管到使用硅半导体芯片，现代计算机的计算能力有了翻天覆地的变化。与计算机相似，照明设备的效能也即将开始出现指数级增长。从油灯到 100 年前爱迪生发明的电灯泡和 50 年前出现的荧光灯，再到现在的 LED，照明技术终于进入固态技术的现代世界。

LED 照明装置短期内就将取代白炽灯和荧光灯，逐渐成为可供人们选择的高效光源。目前的高效率照明装置因外形、颜色、含有毒物质汞和使用寿命有限等原因使消费者望而却步，但 LED 照明解决了上述的全部问题。

从长远来看，LED 光源要比其他所有光源更好且更廉价，它将真正成为人们的照明选择。LED 光源廉价高效，甚至可以用于无法想象的领域。LED 将使当前产值为 1000 亿美元的照明工业发生巨变，改变的同时带来的是机遇。

## 最后的真空管

照明是最后一个仍使用真空管的领域。因性能和成本的巨大优势，如今所有的电子设备均使用集成电路。但白炽灯和荧光灯除外，它们都是真空管。LED 与其他电子器件一样属于固态器件。在 1W 功率转换为多少光量方面，单颗 LED 已经和最好的荧光灯不相上下。未来的 LED 甚至更亮，因为预计 LED 的性能在接下来的 10 年可提高一倍，并将继续提高直至达到电光转换的物理极限。我们期待在不远的将来看到最后一个安装在天花板上的真空管。

## 绿色照明

使用 LED 进行照明有很多益处，最明显的是它们的效率。目前照明用电占全球总用电量的 20%，使用 LED 后这一比例将缩减至 4% 甚至更低。随着 LED 在未来 10 年成为最主要的光源，能耗和温室气体排放量的减少将惠及每一个人。能耗的减少每年将为每个消费者节省几百美元，为房屋所有人节省更多。公共设施的数量增长也能得到更好的控制。地球温室气体的总量将减少，同时荧光照明排放的有毒物质汞也将减少。

## 照明设备的使用寿命

作为固态器件，LED 具有超长的使用寿命。它们没有会折断的灯丝，由于不使用真空管，

也不用担心空气向真空管内泄漏。事实上，它们根本不会损坏，只会逐渐变暗。想象一下我们在一生之中只需更换一或两次灯泡！

## 用LED照亮世界

正如微处理器变得越来越便宜且功能越来越强大一样，LED 也将因半导体工业的成本降低技术而受益。LED 光源的价格最终将降至与白炽灯相当的水平，连同 LED 耗能的减少，使 LED 照明将在全世界范围内得到广泛应用。甚至在最贫穷的乡村，每个儿童都将拥有一盏用于阅读的 LED 电灯。

LED 照明系统的设计是一个令人激动的领域，而且相当具有技巧性。我们希望读者阅读本书后能在照明领域有所成就，为你、为我、为世界做出应有的贡献。

Ron Lenk

Carrol Lenk

2011 年 2 月于佐治亚州伍德斯托克

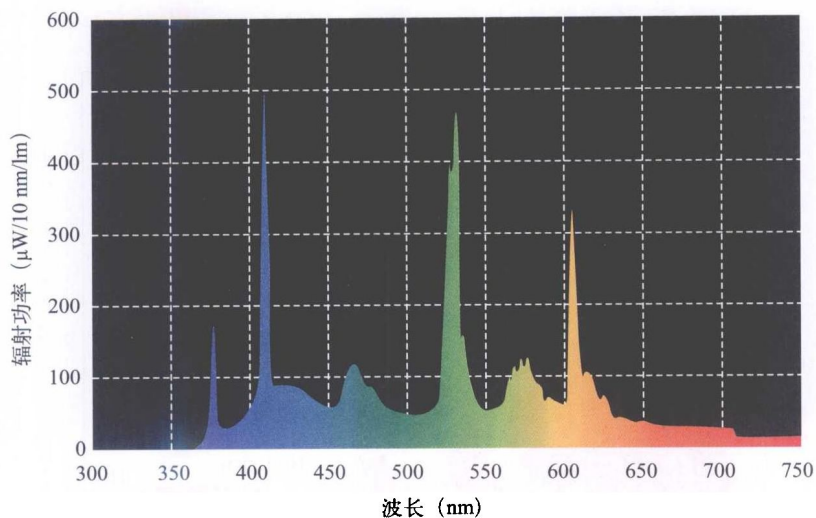


图 1-2 荧光灯的谱功率分布 (来源: [http://www.gelighting.com/na/business\\_lighting/education\\_resources/learn\\_about\\_light/pop\\_curves.htm?1](http://www.gelighting.com/na/business_lighting/education_resources/learn_about_light/pop_curves.htm?1))

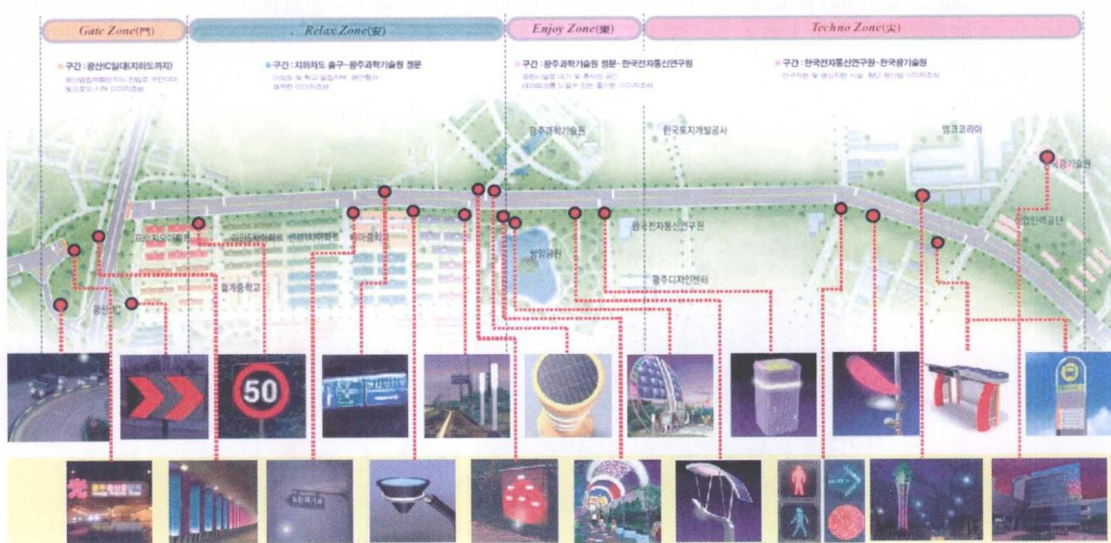


图 1-3 LED 的应用场合 (来源: Kaist, KAPID)

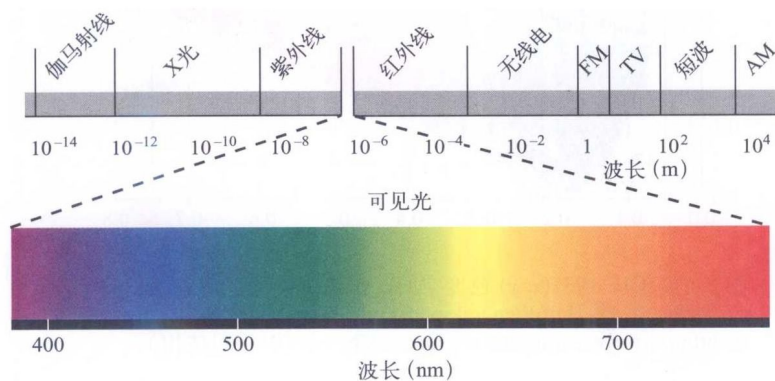


图 3-1 电磁波频谱

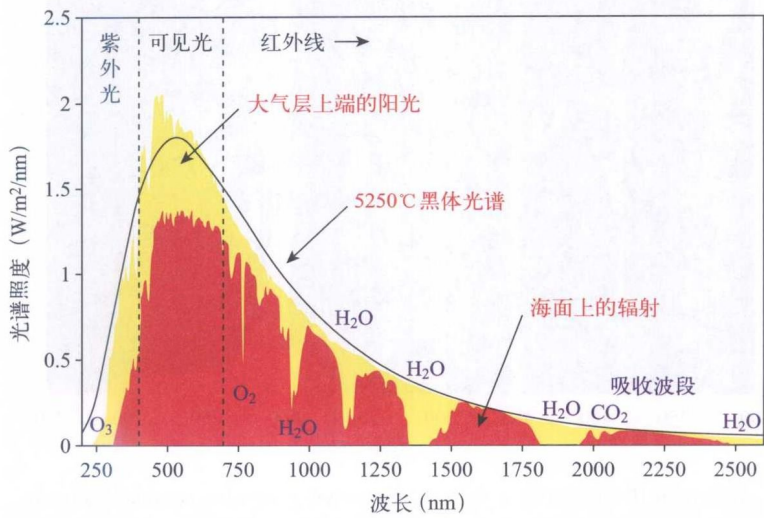


图 3-4 太阳辐射光谱 (来源: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar\\_Spectrum.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png)。由 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/> 许可使用。访问于 2011 年 1 月)

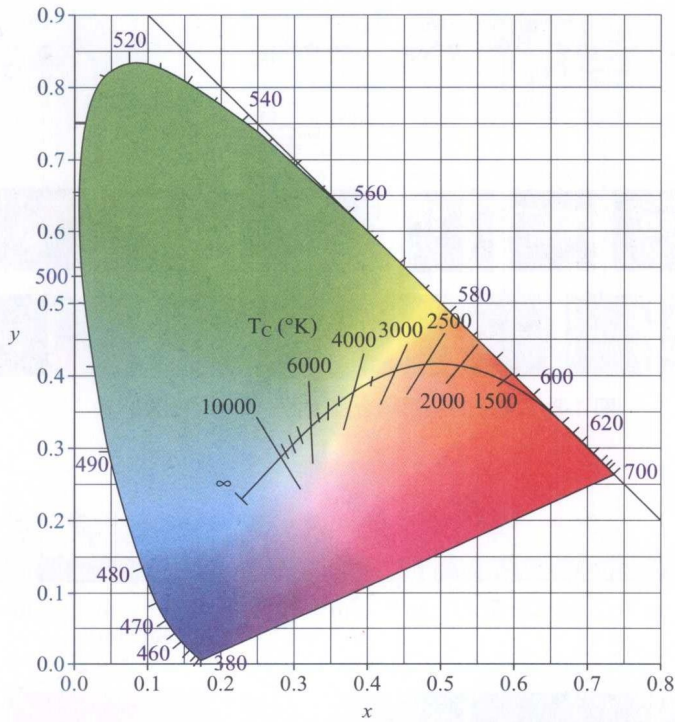


图 3-11 CIE 1931(x, y) 色度空间, 图中画出了普朗克线和等 CCT 线 (来源: [http://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_temperature](http://en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature)。由 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/> 许可使用)



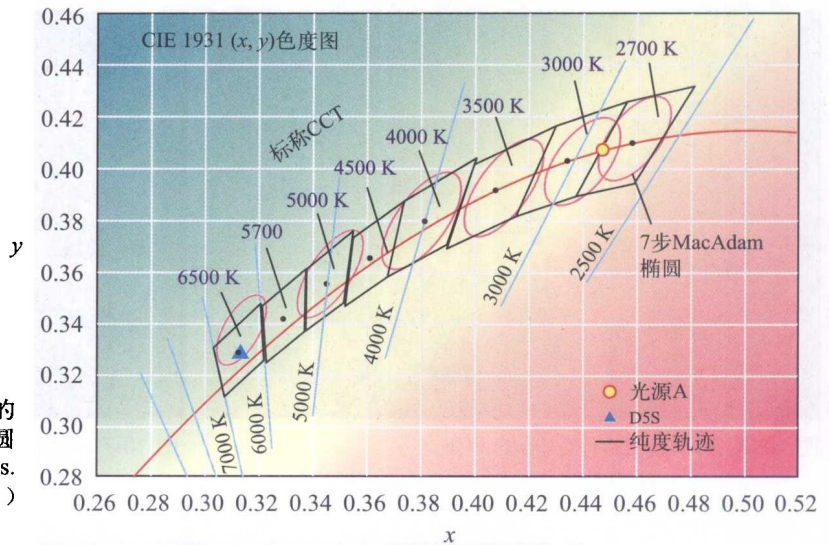


图 3-12 (x, y) 色度图中的 CCT 和 7 步 MacAdam 椭圆 (来源: <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=34311>)



图 3-13 左图: 冷白光荧光灯, 4100K, CRI 60; 中图: 白炽灯, 2800K, CRI 100; 右图: Reveal® 白炽灯, 2800K, CRI 78 (来源: [http://www.gelighting.com/eu/resources/learn\\_about\\_light/pop\\_color\\_booth.html](http://www.gelighting.com/eu/resources/learn_about_light/pop_color_booth.html))

图 3-14 近似的 Munsell 试验色彩样品 (来源: [http://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_rendering\\_index](http://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index)). 由 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/> 许可使用)

名称	近似Munsell色卡	日光下的外貌	样品
TCS01	7,5 R 6/4	淡红豆色	
TCS02	5 Y 6/4	暗灰黄	
TCS03	5 GY 6/8	深黄绿	
TCS04	2,5 G 6/6	中黄绿	
TCS05	10 BG 6/4	玉色	
TCS06	5 PB 6/8	淡蓝	
TCS07	2,5 P 6/8	淡紫	
TCS08	10 P 6/8	绛紫	
TCS09	4,5 R 4/13	深红	
TCS10	5 Y 8/10	深黄	
TCS11	4,5 G 5/8	深绿	
TCS12	3 PB 3/11	深蓝	
TCS13	5 YR 8/4	淡肉色 (皮肤)	
TCS14	5 GY 4/4	中橄榄绿 (叶子)	

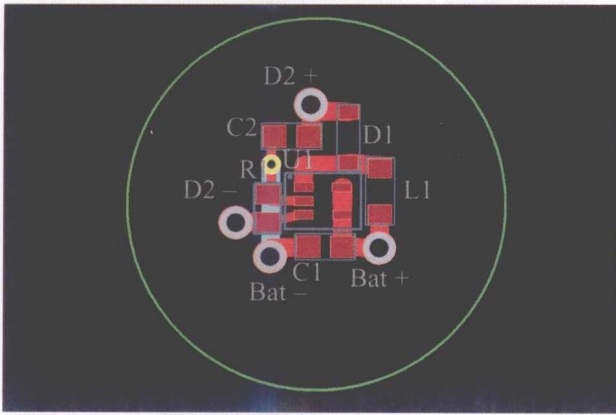


图 10-4 LED 手电筒镇流器的 PCB

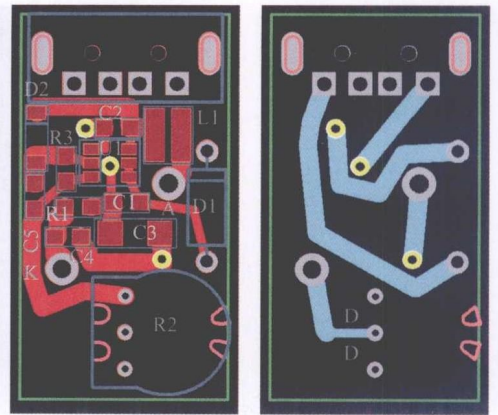


图 10-7 USB 灯 PCB 顶视图和 X 光底视图

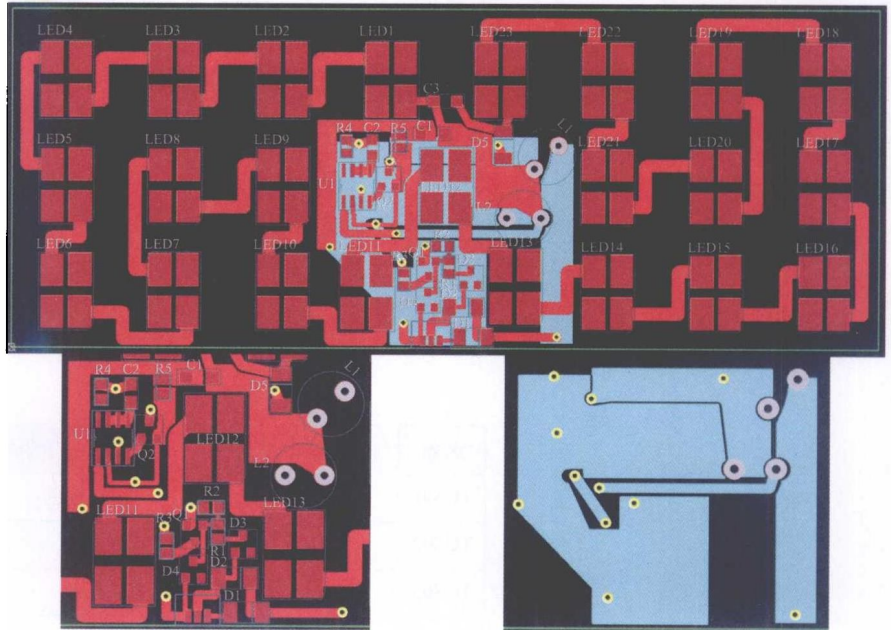


图 10-12 LED 尾灯。  
顶部：完整的电路板。  
底部左：镇流器区域的放大图。  
底部右：镇流器区域的底侧 X 光放大图

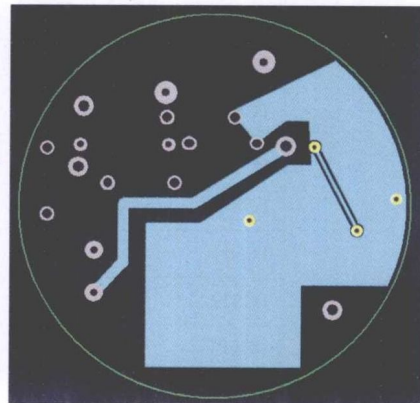
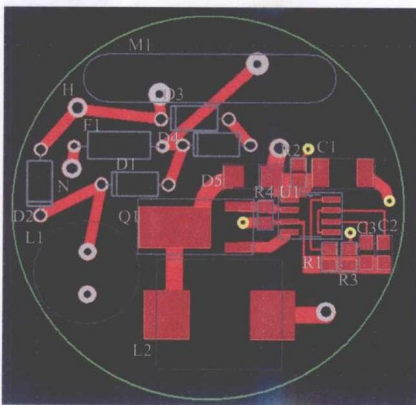


图 10-17 BR40 PCB。  
右图：顶侧。左图：底部 X 光视图

# 目 录

<b>第 1 章 LED 简介</b> ..... 1	
1.1 什么是LED ..... 1	
1.2 小型LED和功率LED ..... 1	
1.3 磷光体和RGB ..... 2	
1.4 LED内部探秘 ..... 3	
1.5 LED适合于我的应用吗 ..... 5	
1.6 Haitz定律 ..... 5	
1.7 无序状态 ..... 7	
1.8 照明的未来 ..... 7	
<b>第 2 章 电灯泡和照明系统</b> ..... 9	
2.1 光源 ..... 9	
2.1.1 白炽灯 ..... 9	
2.1.2 卤素灯 ..... 10	
2.1.3 荧光灯 ..... 10	
2.1.4 感应照明 ..... 10	
2.1.5 高强度放电灯 ..... 10	
2.2 光源的性质 ..... 11	
2.2.1 光质 ..... 11	
2.2.2 效能 ..... 11	
2.2.3 时间 ..... 11	
2.2.4 调光 ..... 12	
2.2.5 老化 ..... 13	
2.3 灯泡的类型 ..... 13	
2.3.1 灯泡的形状 ..... 13	
2.3.2 灯头 ..... 14	
2.3.3 特种灯泡 ..... 15	
2.4 照明的历史 ..... 15	
2.5 政府 ..... 16	
2.6 照明系统 ..... 16	
<b>第 3 章 光学导论</b> ..... 18	
3.1 光的能量 ..... 18	
3.2 辐射度与光度 ..... 19	
3.3 发光强度、照度和亮度 (坎德拉、勒克斯和尼特) ..... 21	
3.3.1 发光强度 ..... 21	
3.3.2 照度 ..... 24	
3.3.3 亮度 ..... 26	
3.3.4 光学物理量小结 ..... 26	
3.4 什么是白色 ..... 26	
3.4.1 MacAdam椭圆 ..... 28	
3.4.2 关于颜色空间标准的注记 ..... 29	
3.5 色彩还原: 光的颜色与物体的颜色 ..... 29	
<b>第 4 章 LED 特性实践</b> ..... 33	
4.1 电流型而非电压型器件 ..... 33	
4.2 正向电压 ..... 34	
4.3 反向击穿 ..... 34	
4.4 是效能, 不是效率 ..... 35	
4.5 LED的光谱 ..... 38	
4.6 过驱动LED ..... 41	
4.7 数据表中的关键参数 ..... 41	
4.8 筛选 ..... 42	
4.9 关于公差的把戏 ..... 43	
<b>第 5 章 LED 热特性实践</b> ..... 44	
5.1 热漂移机理 ..... 44	
5.2 与温度有关的LED电气特性 ..... 44	
5.3 与温度有关的LED光学特性 ..... 45	
5.4 其他特性的温度漂移 ..... 46	
5.5 LED的寿命: 光通量的降低 ..... 47	
5.6 LED的寿命: 突变失效 ..... 48	
5.7 并联LED ..... 48	
<b>第 6 章 LED 热管理实践</b> ..... 50	
6.1 热分析简介 ..... 50	
6.2 热阻的计算 ..... 51	
6.3 环境 ..... 52	
6.4 实用的温度估计法 ..... 53	
6.5 散热片 ..... 54	

6.6 风扇	55	9.7.3 802.15.4和ZigBee开放标准 技术	102
6.7 增强辐射	56	9.7.4 电力线通信	102
6.8 驱动电路的散热	56		
<b>第7章 LED 直流驱动电路设计实践</b>	<b>57</b>	<b>第10章 设计实例</b>	<b>103</b>
7.1 基本思路	57	10.1 实例: LED手电筒的设计	103
7.2 电池基础知识	57	10.1.1 市场部门的初步要求	103
7.3 开关电源概述	60	10.1.2 初步分析	103
7.4 降压变换器	61	10.1.3 技术指标	105
7.5 升压变换器	62	10.1.4 功率变换	107
7.6 升-降压变换器	63	10.1.5 热模型	110
7.7 输入电压的限制	64	10.1.6 PCB	111
7.8 调光	65	10.1.7 最终设计	112
7.9 镇流器(驱动电路)的寿命	66	10.2 实例: USB灯的设计	112
7.10 阵列	67	10.2.1 市场部门的初步要求	112
<b>第8章 LED 交流驱动电路设计实践</b>	<b>69</b>	10.2.2 初步分析	112
8.1 安全	69	10.2.3 技术指标	113
8.2 哪一个交流	70	10.2.4 功率变换	114
8.3 整流	72	10.2.5 热模型	116
8.4 拓扑结构的选择	74	10.2.6 PCB	117
8.5 非隔离电路	76	10.2.7 最终设计	118
8.6 隔离	77	10.3 实例: 汽车尾灯的设计	118
8.7 元器件的选择	79	10.3.1 销售部门的初步要求	118
8.8 EMI	80	10.3.2 初步分析	119
8.9 功率因数校正	82	10.3.3 技术指标	120
8.10 雷击	84	10.3.4 功率变换	121
8.11 调光器	85	10.3.5 热模型	125
8.12 纹波电流对LED的影响	86	10.3.6 PCB	125
8.13 寿命	89	10.3.7 最终设计	126
8.14 UL、能源之星等诸如此类的 标准	90	10.4 实例: LED灯泡的设计	127
<b>第9章 LED 系统设计实践</b>	<b>93</b>	10.4.1 市场部门的初步要求	127
9.1 PCB设计	93	10.4.2 初步分析	127
9.2 接地	95	10.4.3 技术指标	130
9.3 其他连接	96	10.4.4 功率变换	131
9.4 实现发光	97	10.4.5 PCB	135
9.5 恶劣环境中的LED	99	<b>第11章 LED 和光测量实践</b>	<b>137</b>
9.6 考虑到下一代LED的设计	100	11.1 光输出测量	137
9.7 照明控制	101	11.1.1 照度计	137
9.7.1 DALI协议	101	11.1.2 积分球	138
9.7.2 DMX512协议	102	11.1.3 测角光度计	140
		11.1.4 测量LED光输出时的特殊 事项	140

---

11.2 LED测量标准.....	141	第 12 章 LED 建模实践.....	151
11.2.1 灯具的光输出 (LM-79) .....	141	12.1 预备知识.....	151
11.2.2 LED使用寿命 (LM-80) .....	141	12.2 Spice建模实践概述 .....	153
11.2.3 ASSIST.....	141	12.3 不该做什么 .....	154
11.3 测量LED的温度.....	142	12.4 该做什么 .....	155
11.4 测量热阻 .....	143	12.5 正向电压建模 .....	156
11.5 测量功率、功率因数和效率.....	144	12.6 反向击穿 .....	160
11.5.1 准确度和精确度.....	144	12.7 光输出建模 .....	162
11.5.2 测量直流功率 .....	144	12.8 温度效应建模 .....	164
11.5.3 测量交流功率 .....	146	12.9 热环境建模 .....	166
11.5.4 测量功率因数 .....	147	12.10 热瞬态 .....	167
11.5.5 测量镇流器效率.....	147	12.11 关于建模的几点探讨 .....	168
11.5.6 EMI和雷击 .....	147	参考文献.....	169
11.6 加速寿命试验 .....	148		

# 第 1 章 LED 简介

电灯泡无处不在。目前全世界正在使用的电灯泡超过 200 亿个，人均 3 个！作者预计未来 10 年内 LED (Light Emitting Diode, 发光二极管) 将在电灯中占有相当大的比例，因为 LED 的效率比白炽灯高许多倍，甚至可接近电能至光能转换效率的物理极限。本书的内容包括 LED 的各种实践知识以及如何根据这些知识进行实际照明设计。

## 1.1 什么是 LED

本书意在讲述 LED 的实践知识，因此不会介绍如“直接能带隙 GaInP/GaP 应变量子阱”等各种行业术语。让我们首先解答最基本的问题：什么是 LED？

“发光二极管”这个名称本身已经向你透露了很多信息。首先，它告诉你这种器件是二极管，即单向导电二极管，而不是其他器件；其次，它还反映出了 LED 的作用。第 4 章将详细介绍 LED 的电气特性，目前读者只需知道 LED 的正向电压要比常用于电子电路的二极管高许多。1N4148 的正向压降为 700mV，而 LED 的正向压降可达 3.6V，原因在于 LED 不是用硅而是用其他半导体制造的。除此之外，LED 的电气特性与其他二极管极为相似。

“发光”这个词反映出更多信息。目前所有的二极管都能发出哪怕是一点点的光。用检测装置检测集成电路 (IC) 中的哪些器件会发光，从而可以知道哪些器件是导电的。IC 设计者用这种方法调试它们设计的 IC。不过 IC 的发光量十分微弱。由于 LED 的作用是发光，它们的发光性能经过精心设计得到了优化。这正是它们的正向电压比普通整流二极管高得多的原因。整流二极管经优化后具有非常低的正向电压和非常高的反向击穿电压。LED 经优化后能够以最低的功率发出最多的期望颜色的光，而自身的正向电压等因素则并不关键。当然，正向电压影响着 LED 消耗功率的大小，第 5 章将介绍发光与功率消耗的关系。

## 1.2 小型 LED 和功率 LED

目前的 LED 分为两类：小型和功率型。小型 LED 在 20 世纪 70 年代得到广泛应用。它们能发出各种颜色的光，例如红色、橙色、绿色、黄色和蓝色。它们属于小型 T1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> (5mm) 器件，如图 1-1 所示。目前，LED 的年销售量可达几百亿个。它们已经在移动电话背光、电梯按钮、手电筒、路标、卡车尾灯、交通灯、汽车仪表板等装置中得到应用，并成为白炽灯和荧光灯的替代品。

小型 LED 分类的依据是它们的功率等级，或者从工业角度来说，是它们的驱动电流。例如，典型的小型红光 LED 驱动电流为 20mA，正向电压为 2.2V，功率是 44mW。（效能过低以至于功率基本上以热的形式消耗掉。）小型白光 LED 具有更高的正向电压（3.6V，72mW 的功率），有些小型 LED 工作电流可高至 100mA。但从根本上讲，这种 LED 只用作指示器，而不用作实

际光源。用14个小型LED才能制作出一个稍有实用价值的1W手电筒，用几百个小型LED才能制造出一个昏暗的荧光灯的替代光源。

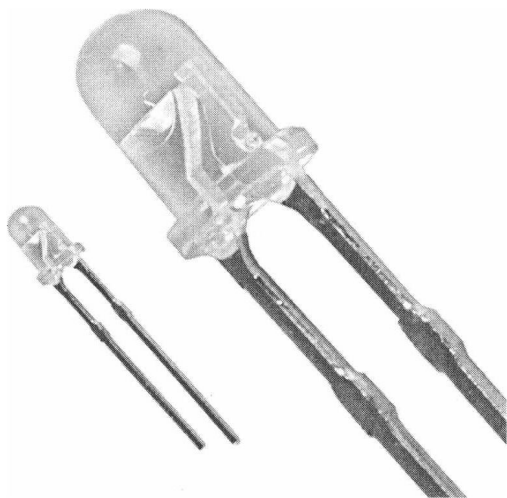


图 1-1 T1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> (5mm) LED

虽然本书内容适用于这些小型LED，但重点是功率型LED。功率型LED通常为1~3W，工作电流为350mA的器件。它们的芯片（实际的半导体，相对于封装而言）要比小型LED大得多，但封装尺寸不一定很大。这些LED通常用于需要照明的场合，而不是用作指示器。例如手电筒、白炽灯替代品、大屏幕电视机、探照灯、汽车头灯、飞机跑道指示灯等几乎所有需要照明的地方。当然，功率LED并非在所有领域中都得到广泛使用，但这一天指日可待。

### 1.3 磷光体和RGB

大多数照明产品都设计为白光型的（包括白炽灯的“黄”光）。因此本书将集中篇幅主要讨论白光LED。不过本书中白光LED的有关内容可直接适用于彩光LED。除了正向电压有所不同之外，彩光LED与白光LED非常相似。正向电压出现差异的原因在于彩光（红光、黄光、蓝光等）是由半导体材料发出的，不同的材料发出不同颜色的光，材料的不同又造成正向电压的不同。

白光无法由单一材料产生（不包括尚未投入生产的特殊改良材料），它是由各种彩光混合而成的。读者应对此有所了解，因为棱镜可将白光分解成各种颜色成分的光。于是可采取一定方法产生白光。目前主要有两种用LED产生白光的方法：第一种采用蓝光LED，用磷光体将蓝光转换为白光；第二种将各种彩光LED组合使用。

第一种方法最为常用。LED产生的蓝光典型波长为435nm。为什么要用蓝光，要明白这一点必须了解产生白光的物理过程。蓝光被吸收后，重新发出接近白光的广谱光。由于磷光体能吸收光并重新发光，输出的光在能量上必然低于进入的光。这一点与任何电子元件相似：能量进入，一部分以热的形式消耗掉，余下的经变换后再次输出。因此，为了获得光谱中人眼能够看见的所有颜色，向磷光体输入的能量必须多于波长最短的颜色的能量（必须含有波长比可见光下限波长还要短的分量）。对于人眼来说，可见光的下限波长为450nm，因此在用磷光体产生

白光时，使用 435nm 的蓝光 LED 效率最高。

在介绍第二种白光产生方法之前，我们先详细地介绍一下磷光体。磷光体有多种类型。经过设计，它能够吸收某一特定波长的光并重新发光，其中可能含有一种波长、多种波长或具有一定光谱波段的光，LED 磷光体通常属于第三种。但是磷光体的颜色波段有限，因此许多 LED 使用双波段或三波段磷光体，目的是更好地覆盖近似白光所需的光谱范围。这种磷光体由两种或三种基本磷光体构成。当需要更好地还原色彩时，通常使用这种更复杂的磷光体（参阅第 3 章关于显色指数[CRI]的讨论）。

另外在此有必要简短评价一下荧光灯。荧光灯在某些方面与 LED 颇为相似，但它发光的基本机理与 LED 不同。荧光灯在灯管内产生高温等离子体，发出紫外（UV）范围（254nm）的光，而不是蓝光。但随后它也利用磷光体将紫外光吸收并重新发出可见光。注意，因为紫外光距可见光谱的距离，比 LED 芯片通电后发出的 435nm 蓝光距可见光谱的距离远得多，因此从本质上讲，荧光灯最终可能达到的效率要低于 LED。（目前荧光灯和 LED 的效率大致相同。）

另一个令人感兴趣的问题是典型荧光灯使用的磷光体类型。这种磷光体只能重新发出一或两个窄波长的光，不能发出一段光谱波段的光。发光波长经仔细选择，使发出的光具有令人满意的 CRI。但发光光谱中的尖峰（如图 1-2 所示）意味着除尖峰波长对应的颜色外，荧光灯对其余颜色的再现能力较差。当然，荧光灯也能具有与 LED 相同的光谱。但目前来说，LED 在颜色还原方面的潜力要远优于荧光灯。

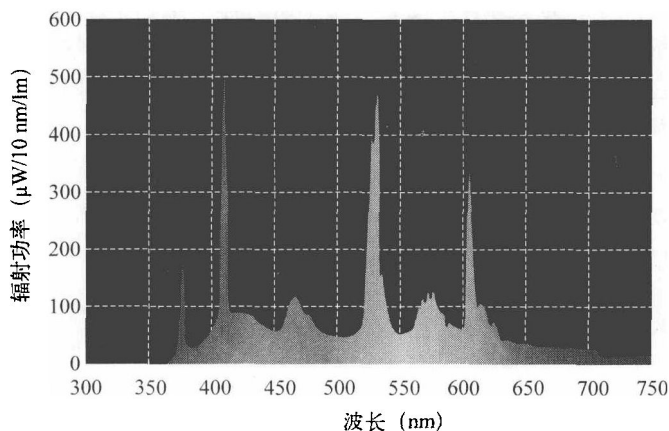


图 1-2 荧光灯的谱功率分布（来源：[http://www.gelighting.com/na/business\\_lighting/education\\_resources/learn\\_about\\_light/pop\\_curves.htm?1](http://www.gelighting.com/na/business_lighting/education_resources/learn_about_light/pop_curves.htm?1)。另见彩插图 1-2）

## 1.4 LED 内部探秘

虽然本书的内容是 LED 照明系统，而不是如何制造 LED，但是对 LED 的结构做一些了解还是有必要的。它有助于读者理解各厂商产品的设计要点，还使读者知道一些厂商提高 LED 寿命的方法。本节讨论的是磷光体型白光 LED，但大部分内容也适用于其他类型的 LED。

首先应知道，虽然目前工程师使用的几乎所有元件（二极管、晶体管、逻辑门电路、微处理器）都是由硅制成，但 LED 不是。（过去曾出现过锗元件，但它们在温度高时无法较好地工作，因此遭到淘汰。）人们曾证明硅是难以发光的，于是使用过各种不同的半导体。虽然没必要



深入了解，读者还是要知道人们曾尝试过多种不同材料。并非所有材料的物理性质都已被人了解，材料的老化过程也还不清楚，不同厂商的不同 LED 使用不同的材料。以上种种表明人们预计未来的变化，现在购买的器件可能与未来的并不一样。

LED 内的基本半导体部件尺寸相对比较大，有几平方毫米。它发出蓝光（对于白光 LED 而言），并且必须有以下两个步骤：将蓝光高效地转换为白光，再令白光不受阻挡地发出。因此 IC 不能采用普通的陶瓷封装，因为任何光都无法穿过陶瓷。

大多数厂商采取的方法是用某种透明的硅有机树脂（一种类似于橡胶的聚合物）罩在芯片的上方。发出的光仅有少量被吸收，颜色变化也不明显，而且可按照要求改变方向，芯片也可得到一定程度的机械保护。随后有一家厂商在硅有机树脂的上方增加了一块玻璃，这种方法的优点尚不明确。

为了实现颜色转换使用磷光体，这种复杂分子吸收 LED 发出的蓝光，并重新发出一定光波段的其他颜色的光。为实现白光输出，要用到两三种磷光体，预计未来磷光体将与更复杂的成分混合。

有些厂商直接将磷光体置于芯片的上方，而硅有机树脂又罩在磷光体的上方。另一些厂商则将磷光体与硅有机树脂混合后再套于芯片上方。前者使被吸收的蓝光光量增加，但由于磷光体的温度与芯片的相同，而使其在高温下更易于分解。事实上，磷光体的分解是 LED 的光输出随使用时间而降低的一个主要原因。后者降低了磷光体的温度使其不再降解，但蓝光被吸收和被转换的光量也有所减少。为了弥补不足，可增加磷光体的量，不过磷光体相当昂贵。

芯片、磷光体和硅有机树脂都位于封装中（每个厂商都有自己的封装和引脚布局方式）。封装包括连接导线，它将芯片与引脚连在一起，从而使电流能够通过 LED。尽管这只是一简单的器件，但为了使其承受大电流而采取多根连接导线并联的方法。

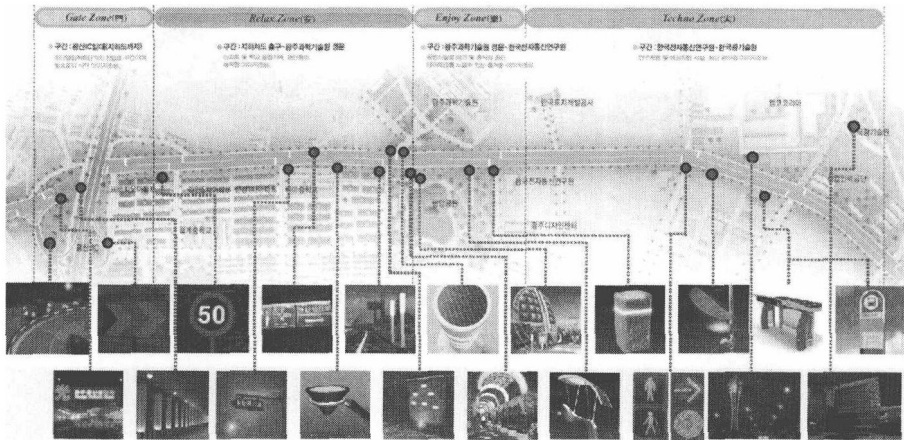


图 1-3 LED 的应用场合（来源：Kaist, KAPID。另见彩插图 1-3）

目前封装也有一定的副作用。由于 LED 发光角度较广，有部分光被封装拦截，使效能受到影响，但被拦截的一部分光经反射后最终还是能输出。这不是最严重的，随着时间的增长（在 85℃ 下工作 5 万小时），封装会变黄，吸收的光会增加，使效能降低。此外，反射后的光也会变黄，使发光出现相关色温（CCT）和 CRI 的偏移。对于某些 LED 而言，达到 70% 光输出所需的时间为 5 万小时而不能更长的主要原因之一是封装老化。