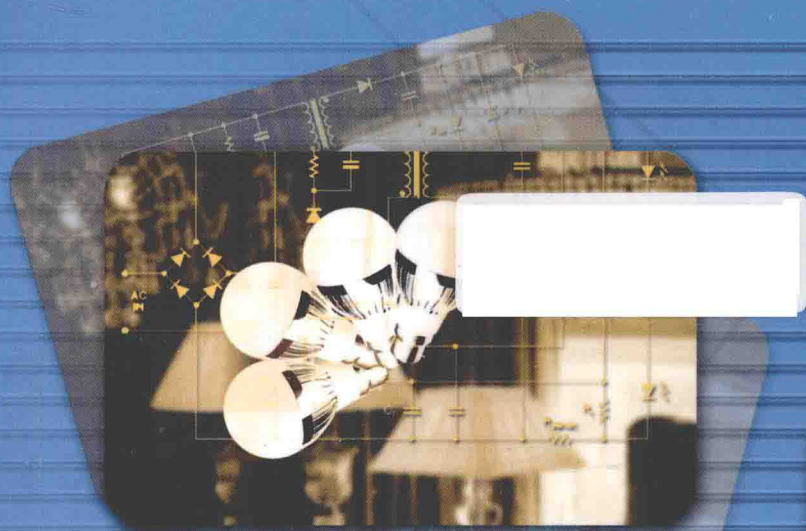


LED 灯具设计 与案例详解

房海明 编著



- 结合工程，详解最新应用实例，提升设计能力
- 经验分享，融入作者多年LED领域工程实践心得
- 答疑解惑，加入作者答疑环节，即时解答读者问题

电气信息工程丛书

LED 灯具设计与案例详解

房海明 编著



机械工业出版社

本书是为适应我国 LED 照明技术推广应用的需要,快速提高广大照明技术人员的设计能力和效率而编写的。

本书共分 10 章,内容包括 LED 照明产业的发展、LED 芯片封装知识、灯具的设计原则、相关标准和检测、风光互补 LED 路灯设计及市电路灯设计、LED 防爆灯设计、LED 投光灯设计、LED 球泡灯设计、LED 灯具模拟分析、LED 照明产品认证、LED 工程案例分析和附录“LED 技术问答”。本书内容以灯具设计和工程案例解析为主,同时也介绍了有关 LED 照明的基础知识。

本书既适合从事 LED 照明设计和应用的工程技术人员学习和参考,也适合高等院校相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

LED 灯具设计与案例详解 / 房海明编著. —北京:机械工业出版社, 2013.12
(电气信息工程丛书)

ISBN 978-7-111-45950-7

I. ①L… II. ①房… III. ①发光二极管—灯具—设计 IV. ①TN383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 002674 号



机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 尚 晨

责任印制: 乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2014 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·15 印张·368 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-45950-7

定价: 39.80 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

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着国家对绿色节能照明技术的大力提倡，近年来 LED 照明技术得到了飞速发展。市场需求正在驱动 LED 向家居照明、背光源和景观灯等领域发展。

LED 即发光二极管，是一种可将电能转换为光能的半导体发光器件，属于固态光源。在通用照明领域，LED 照明灯具具有体积小、重量轻、节能、寿命长、容易控制及适应各种恶劣环境等优点，是典型的绿色照明光源。随着大功率白光 LED 的研发成功，使它在照明领域的应用更加广泛。

本书共分 10 章，内容包括 LED 照明产业的发展、LED 芯片封装知识、灯具的设计原则、相关标准和检测、风光互补 LED 路灯设计及市电路灯设计、LED 防爆灯设计、LED 投光灯设计、LED 球泡灯设计、LED 灯具模拟分析、LED 照明产品认证、LED 工程案例分析和附录“LED 技术问答”。本书内容以设计和工程案例解析为主，同时也介绍了有关 LED 照明的基础知识。

本书在编写过程中得到了国内外专业学者和同行的大力支持，在此表示真诚的感谢！

本书由房海明编著，特别感谢为本书提供技术支持的肖旭华、文林、白运辉、罗强、邵洪飞、曾聪等同志。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏或错误之处，诚望各位读者提出宝贵意见。作者的电子邮箱：mark0819@126.com。

编 者

目 录

前言

第 1 章 LED 照明产业的发展	1
1.1 LED 技术发展经历的几个阶段	1
1.2 我国 LED 照明产业的发展概况	3
1.3 LED 灯具设计趋势	7
第 2 章 LED 芯片封装知识	9
2.1 LED 基础知识	9
2.1.1 LED 光学参数介绍	9
2.1.2 LED 白光的发光原理	10
2.1.3 LED 的分类	12
2.2 LED 芯片基础知识	15
2.2.1 LED 芯片的概念	15
2.2.2 LED 芯片制作流程	16
2.2.3 LED 外延生长的概念和原理	21
2.3 LED 封装知识	22
2.3.1 LED 封装定义	22
2.3.2 LED 封装的分类	22
2.3.3 LED 封装的工艺流程介绍	26
第 3 章 灯具的设计原则、相关标准和检测	29
3.1 LED 灯具设计原则	29
3.2 LED 灯具设计程序	29
3.3 半导体照明电子行业标准	34
3.3.1 世界各国的 LED 行业标准	35
3.3.2 我国的 LED 行业标准	39
3.4 LED 灯具的检测设备	41
第 4 章 风光互补 LED 路灯设计及市电路灯设计	45
4.1 风光互补 LED 路灯设计	45
4.2 风光互补 LED 路灯介绍	47
4.3 风光互补 LED 路灯蓄能技术	49
4.3.1 蓄电池的分类及技术指标	49
4.3.2 风光互补 LED 路灯蓄电池组的匹配设计	50
4.3.3 蓄电池及其负载的匹配	51
4.4 小型风力发电机的特性	52
4.5 风光互补 LED 路灯光源选择	56

4.6	太阳能电池板的选择	61
4.6.1	太阳能电池板介绍	61
4.6.2	硅太阳能电池分类	62
4.7	风光互补 LED 路灯灯罩材质的选择	66
4.8	太阳能电池组件支架	67
4.9	风光互补 LED 路灯控制器	68
4.10	太阳能 LED 路灯案例分析	71
4.10.1	太阳能 LED 路灯设计案例一	71
4.10.2	太阳能 LED 路灯设计案例二	73
4.10.3	实拍风光互补 LED 路灯	74
4.11	风光互补 LED 路灯选材	75
4.12	全国太阳辐射总量分布	76
4.13	太阳能 LED 路灯安装	76
4.14	市电 LED 路灯设计	81
4.14.1	LED 路灯设计的前提条件	81
4.14.2	灯具的维护系数	82
4.14.3	LED 路灯的电子部分设计	84
4.15	LED 路灯的结构设计	88
4.16	LED 路灯外观设计	96
4.17	LED 路灯设计时恒流源的选择	98
4.18	LED 路灯的安装	101
第 5 章	LED 防爆灯设计	103
5.1	防爆概述	103
5.1.1	爆炸的定义	103
5.1.2	燃烧与爆炸的充分必要条件	103
5.2	防爆电气设备分类及温度分组	103
5.3	相关标准及适用设备环境	104
5.3.1	规定设备适用环境	104
5.3.2	防爆标志	104
5.3.3	危险区域的等级分类	106
5.4	防爆产品设计要求	106
5.4.1	外壳要求	106
5.4.2	外壳防护等级	107
5.4.3	密封及接合面要求	107
5.4.4	电缆引入要求	110
5.4.5	紧固件要求	111
5.4.6	透明件要求	112
5.4.7	铭牌及外壳标示要求	112
5.5	LED 防爆灯简介	113

5.5.1	防爆电气产品的分类	114
5.5.2	防爆产品的确定	115
5.5.3	防爆材质的确定	115
5.6	防爆设计注意事项	117
第 6 章	LED 投光灯设计	119
6.1	投光灯的分类	119
6.1.1	探照灯	119
6.1.2	聚光灯	120
6.1.3	泛光灯	121
6.2	传统投光灯的结构	122
6.3	LED 投光灯	126
6.3.1	LED 投光灯的类型	126
6.3.2	LED 投光灯的结构	128
6.4	LED 投光灯设计实例	133
第 7 章	LED 球泡灯设计	137
7.1	LED 球泡灯及其优点	137
7.2	LED 球泡灯的应用特点	138
7.3	LED 球泡灯的主要组成部分	138
7.4	LED 球泡灯的结构设计及散热设计	141
7.4.1	结构设计	141
7.4.2	散热模拟	144
7.4.3	电源要求	145
7.5	LED 球泡灯的一般生产流程	146
7.6	LED 球泡灯设计须注意的问题和设计技巧	151
7.7	LED 球泡灯目前所存在的问题	152
7.8	LED 球泡灯的编号方法	152
7.9	LED 球泡灯标准及标识	153
第 8 章	LED 灯具模拟分析	159
8.1	LED 灯具光学设计简介	159
8.2	LED 灯具光学软件设计分析	160
8.3	LED 灯具散热模拟分析介绍	162
8.4	LED 灯具散热软件设计分析	162
第 9 章	LED 照明产品认证	173
9.1	产品认证的意义	173
9.2	欧盟认证内容	175
9.2.1	CE 认证	175
9.2.2	ENEC 认证	177
9.2.3	CB 认证	178
9.2.4	GS 认证	180

9.3 美国认证内容	181
9.3.1 美国能源之星认证	181
9.3.2 UL 认证	181
9.3.3 FCC 认证	183
9.3.4 ETL 认证	184
9.4 日本认证内容	185
9.5 澳大利亚认证内容	185
9.6 中国认证内容	186
9.6.1 3C 认证	186
9.6.2 CQC 认证	186
第 10 章 LED 工程案例分析	188
10.1 深圳商场 LED 照明改造案例	188
10.2 广州植物园 LED 照明改造项目	193
10.3 深圳版画原创基地 LED 照明改造	196
10.4 深圳超市 LED 照明改造工程案例	198
10.5 深圳隧道 LED 改造工程案例分析	202
10.6 城市道路 LED 改造工程案例分析	206
10.7 龙潭度假区节能亮化改造工程案例	214
附录 LED 技术问答	220
参考文献	231

第1章 LED 照明产业的发展

随着全球经济的持续发展，资源短缺和环境污染问题日益凸现。世界各国的节能环保意识正逐步增强，节能减排、环境保护已经成为未来全球面临的重大问题。在照明领域，近年各种新型照明技术层出不穷，特别是高亮度白光 LED 的问世，由于它具有发光效率高、节电效果好，体积小并且无污染、寿命长的特点，已成为目前照明市场上的主流产品之一。

1.1 LED 技术发展经历的几个阶段

1. 基础研究阶段

1907 年，Henry Joseph Round 第一次在一块碳化硅里观察到电致发光现象，不过当时由于其发出的光线太暗，不适合实际应用，所以研究被摒弃了。

1936 年，George Destiau 出版了一份关于硫化锌粉末发射光的报告，报告提出了电致发光现象，从而出现了“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，发明了第一个具有现代意义的 LED，并于 60 年代面世。但在早期的实验中，LED 需要放置在液化氮里，环境条件要求比较苛刻，所以需要进一步的研究以便使其在室温下正常工作。

1962 年，GE、Monsanto 和 IBM 的联合实验室开发出了发红光的磷砷化镓（GaAsP）半导体化合物，从此发光二极管步入了商业化发展进程。

1965 年，全球第一款商业化发光二极管诞生，它是用锗材料做成的可发出红外光的 LED，当时的单价约为 45 美元。其后不久，Monsanto 和惠普公司推出了用 GaAsP 材料制作的商业化红色 LED。这种 LED 的效率为大约 0.1lm/W，比一般的 60 至 100 瓦白炽灯的 15lm/W 要低上 100 多倍。

1968 年，LED 的研发取得了突破性进展，利用氮掺杂工艺使 GaAsP 器件的效率达到了 1lm/W，并且能够发出红光、橙光和黄光。

2. 显示应用阶段

到了 20 世纪 70 年代，磷化镓被用于制作 LED。为了改善发光效果，LED 发光材质不断的得到发展，70 年代末期，LED 光源采用双层磷化镓芯片即一个红色，一个绿色，能够发出黄色光。与此同时，苏联科学家利用金刚砂制造出能发出黄光的 LED，尽管它不如欧洲的 LED 高效，但稳定性和寿命要好很多。

随后，业界又推出了具有相同效率的 GaP 绿色芯片 LED。由于 LED 器件在家庭与办公设备中的大量应用，LED 的价格直线下跌。在那个时代 LED 的主要市场是数字与文字显示。

其中，日本日亚化学公司对 LED 技术的发展做出了巨大的贡献，该公司最具有代表性的科学家是中村修二。1988 年日亚公司资助中村修二到美国佛罗里达州立大学研究金属有机化合物化学气相淀积法（MOCVD），1989 年又从日本购买了一台 MOCVD 设备供中村修二

研究。技术的突破首先从被称为氮化物之父的名古屋大学赤崎勇教授开始，他利用 MOCVD 在低温下生长出了氮化铝缓冲层，而后在高温下生长氮化镓。随后，中村修二在 1991 年利用低温生长出了非结晶氮化镓缓冲层，再以高温成长为氮化镓结晶。

1989 年，赤崎勇教授利用电子束照射得到 P 型氮化镓，而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，从此奠定了氮化物半导体在白光 LED 中的核心地位。

1991 年，日亚公司成功研制同质结 GaN 基蓝光 LED，峰值波长为 430nm，光谱半宽 55nm，其光输出功率为当时市场上 SiC 基 LED 的 10 倍，外量子效率约为 0.18%。

1995 年，日亚公司又研制成功 InGaN/AlGaIn 双异质结的烛光级超高亮度蓝光 LED，在 20mA 的正向电流下，输出功率为 1.5mW，外量子效率为 2.7%，波长和半宽分别为 450nm 和 70nm。

1997 年，Schlotter 和 Nakamura 等人先后发明了用蓝光管芯加黄光荧光粉封装成白光 LED 的技术。

在氮化镓 LED 问世之后，科学界随即又制造出能产生高强度的绿光和蓝光的铟氮镓 LED。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粉，然后荧光粉通过吸收来自芯片上的蓝色光源再转化为白光，利用这种技术可以制造出任何颜色的可见光。

3. 照明应用阶段

2006 年，美国 CREE 公司宣布推出一款新的冷白光 LED “XP-G”，该 LED 发光效率和亮度都创下了新的记录，当驱动电流为 350mA 时，光通量达 139lm，光效为 132lm/W，亮度和光效分别比该公司最亮的 XR-E 型 LED 提高 37%和 53%，被称为“业界最亮且具有最高效率的照明级 LED”。

2007 年，日亚公司发布了新型 LED，该实验型产品在正向电流为 350mA 时，光通量可达 145lm，发光效率约为 134lm/W，芯片的大小为 1mm²，色温为 4988K（在正向电流为 20mA 的情况下，发光效率高达 169lm/W）。

2007 年，CREE 公司在 SiC 衬底上生长双异质结，制作的器件同样很出色，为发展其他光电子器件奠定了基础。

同年，日亚公司发布了新一代高功率白光 LED，输入 350mA 电流时，光通量为 145lm，发光效率为 134lm/W。实现白色 LED 高效率化的原因是实现了所用的蓝色 LED 芯片的高效率化。该蓝色 LED 在 350mA 电流时的光功率为 651 mW，波长为 444nm，外部量子效率为 66.5%，WPE（功率转换效率）为 60.3%。

同时，日亚公司还投产了发光效率高达 150 lm/W 的白色 LED。该 LED 的发光效率代表当时业界的最高水平。正向电流为 20mA 时的发光效率为 150 lm/W。

2009 年初，CREE 公司宣布该公司生产的 LED 实现了 161lm/W 的光效，色温为 4689K。该 LED 的标准测试条件是在室温条件，驱动电流为 350mA 的情况下进行的。

同年年底，CREE 公司在 LED 照明领域又取得了新的进展，该公司宣布其白光大功率 LED 的光效已经达到 186lm/W，测试结果表明，当相关色温在 4577K 时，LED 可产生 197lm 的光输出。该测试是在室温条件下，驱动电流为 350mA 的标准测试环境下进行的。

2009 年初，根据日亚公司的实验室结果，LED 发光效率在驱动电流为 20mA 的情况下其光效提高到 249lm/W，不过在一般 LED 产品常用的 350mA 电流情况下，发光效率却降低

到 145lm/W，这引发了业界的关注。

2011 年，欧司朗公司研发工程师通过全面改进与 LED 制造相关的所有技术，在实验室测试中，新研发的白光 LED 刷新了该公司亮度和发光效率的纪录。在工作电流为 350mA 的标准条件下，LED 亮度最高可以达到 155lm，而发光效率更是高达 136lm/W。白光 LED 原型采用的是 1mm^2 芯片，所发射的光线色温为 5000K，色度坐标为 0.349/0.393 (Cx/Cy 为色坐标)。

2012 年，CREE 公司宣布其白光 LED 光效突破 254lm/W，该公司使用了一个单模块组件，在色温 4408K、标准测试室温及 350mA 下，测得白光 LED 光效达 254lm/W。

目前 LED 的各项指标仍在不断发展中，随着应用领域的拓宽，对 LED 灯珠的要求也逐渐多样化。同时，技术的进步也不再单独体现在参数指标上，在成本控制上也在逐年改善。

1.2 我国 LED 照明产业的发展概况

2008 年，随着 LED 技术及其产品大量应用于北京奥运会等国家重点工程，如水立方、鸟巢两座标志性 LED 照明建筑的顺利落成，不仅给人们带来视觉上的冲击，同时也预示着 LED 技术已经结束了“锦上添花”的时代，在国家的一些重点项目中开始崭露头角，扮演着越来越重要的角色。

2009 年 4 月 28 日，国家科技部正式发布 189 号文件，文件同意在上海、成都、天津等 21 个城市开展半导体照明应用工程（简称“十城万盏”）的试点工作。同时早在 2008 年 12 月，中国广东大规模更换 LED 路灯计划和 LED 路灯重大科技专项示范工程也已经开始实施，即两年内在东莞、佛山、惠州、肇庆、中山等 10 个城市实现 1500 公里十万盏 LED 路灯的更换，向世人宣布 LED 照明由传统景观照明走向道路照明，并走向规模化使用。

2012 年 2 月，国家发展改革委、商务部、海关总署、国家工商总局、国家质检总局联合印发了《关于逐步禁止进口和销售普通照明白炽灯的公告》。《公告》决定从 2012 年 10 月 1 日起，按照功率大小分阶段逐步禁止进口和销售普通照明白炽灯。据了解，中国照明用电约占全社会用电量的 12% 左右，采用高效照明产品替代白炽灯，节能减排潜力巨大。逐步淘汰白炽灯，对于促进中国照明电器行业结构优化产业升级、推动实现“十二五”节能减排目标任务、积极应对全球气候变化具有重要意义。

2013 年 2 月，发改委公布《半导体照明节能产业规划》，对近期我国 LED 照明节能产业发展进行指导。根据规划，到 2015 年，60W 以上普通照明用白炽灯全部淘汰，节能灯等传统高效照明产品市场占有率稳定在 70% 左右，相当于节约标准煤 2100 万吨，减少二氧化碳排放近 6000 万吨。

预计到 2015 年，60W 以上普通照明用白炽灯将全部淘汰，市场占有率将降到 10% 以下；节能灯等传统高效照明产品市场占有率稳定在 70% 左右；LED 照明产品市场占有率达 20% 以上。此外，LED 液晶背光源、景观照明市场中 LED 相关产品占有率分别达 70% 和 80% 以上。与传统照明产品相比，LED 道路照明节电 30% 以上，背光应用节电 50% 以上，室内照明节电 60% 以上，景观照明节电 80% 以上，实现年节电 600 亿千瓦时。如图 1.1 所示为中国发布逐步淘汰白炽灯的路线图。

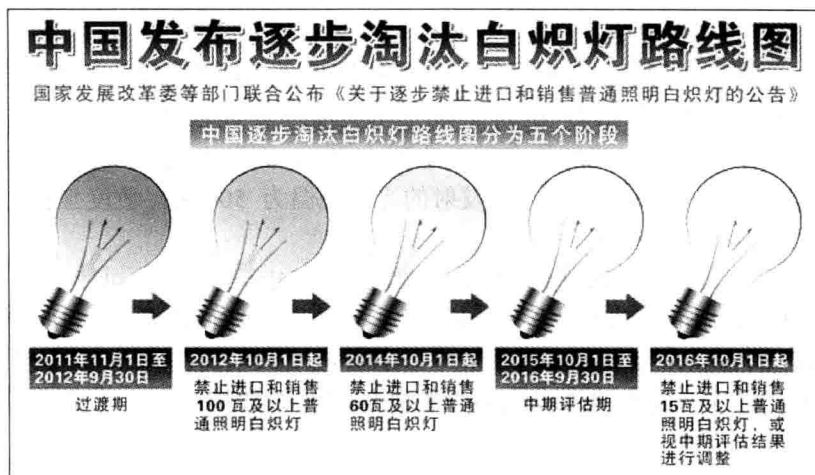


图 1.1 中国发布逐步淘汰白炽灯路线图

在政府部门和诸多企业的努力下，目前我国LED照明产业已经初步形成珠江三角洲、长江三角洲、东南地区、北京与大连等北方地区四大区域，每一区域基本形成了比较完整的产业链。总体而言，我国LED产业的格局为南方产业化程度较高，而北方则依托众多高校和科技研发机构形成了较强的研发实力。在地域分布上，珠三角和长三角是国内LED产业最为集中的地区，产业综合优势比较明显，与LED有关的设备和原材料供应商纷纷在这两个区域落户，其与国际应用市场便捷的联系也为LED产业的发展创造了良好的服务及市场环境，产业集群效应正在逐步显现。

目前中国LED半导体照明的现状是：外延芯片产业发展迅速，封装企业数量众多，但是普遍规模较小，LED应用发展速度也比较快，如太阳能LED路灯等。

目前国产LED芯片的光效已经达到了 110~120lm/W（大规模生产型），研发（实验室）水平已经达到了 140~150lm/W。尤其值得关注的是，拥有自主知识产权的基于硅衬底的LED光效已经达到了 90lm/W 以上。

从数字上看，尽管国产LED芯片性能改善了许多，但仍与国外先进水准差距很大。目前中高端应用方面 50%是采用的国产芯片，但是大功率LED 80%仍然依赖进口。

在封装领域，目前国内封装厂家已经达到了 1000 多家，但规模普遍较小，80%的企业产值低于 1000 万元人民币，产值上亿的企业仅 50 多家。换句话说，中国目前无论在外延芯片，还是在封装方面，均缺乏龙头型企业。

同时还必须指出的是，中国LED产业虽然发展迅速，但产业仍面临着许多的挑战，人才的缺乏，尤其是高端人才的缺乏是目前制约我国LED产业发展的重要问题。据统计，目前国内的LED从业人员超过 80 万，但是预计 2013~2015 年新增人才需求达几十万人，缺口仍然非常大。

1. 国内 LED 市场的供求分析

(1) 国内 LED 产业链概况

LED 产业链分为上、中和下游，上游是外延片生产和芯片生产，中游是指封装产业，下游是指应用产品。图 1.2 所示为我国 LED 照明销量趋势图。

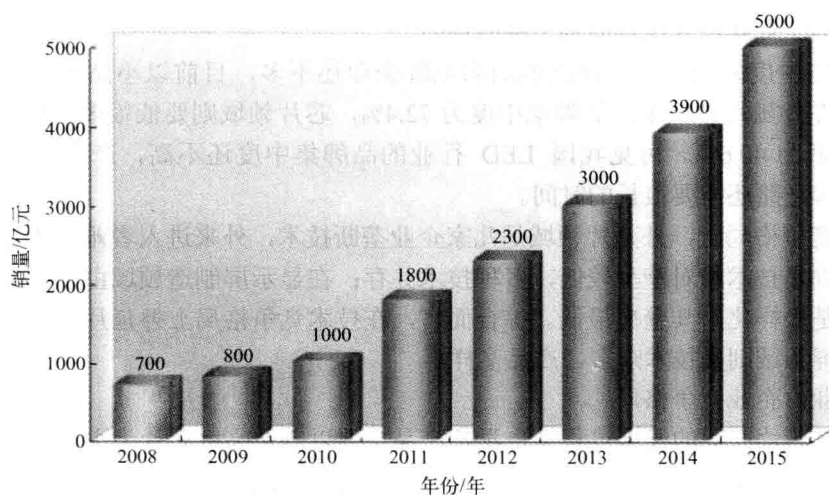


图 1.2 我国 LED 照明销量趋势图

经过多年的发展，中国 LED 产业链已经日趋完善，企业遍布衬底、外延、芯片、封装和应用各产业环节。由于上游产业对于技术和资金要求较高，导致国内企业较少涉足，因此上游产业存在企业数量少，规模小的特点。相比之下，中游封装和下游应用对企业的资金和技术要求相对较低，因此，国内从事这两个环节的企业数量较多。这种企业结构分布不均的局面导致中国 LED 产业多以低端产品为主，企业长期面临严峻的价格压力。随着国家半导体照明工程的启动，中国 LED 产业发展“一头沉”的状态正在发生改变，中国 LED 上游产业得到了较快的发展，其中芯片产业发展最为引人注目。但单从产业规模看，封装产业仍是中国 LED 产业中最大的产业链环节。

(2) 国内 LED 市场的需求分布

1) LED 背光显示。随着电视和计算机等大尺寸液晶显示器背光源的广泛应用，以及汽车、室内照明等需求的不断增加，全球 LED 显示屏市场规模也不断扩大。以成长率而言，2010~2012 年之间该市场的平均成长率高达 14.6%，预计 2013 年，LED 显示屏市场规模将超过 280 亿元。

2) LED 照明。随着 2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会的成功举办，LED 照明的高科技应用被提到了一个新的高度。预计 2013 年，LED 照明和显示元件将占整个 LED 市场的 35%，面临巨大的发展机遇。

3) 基础设施建设扩大大宗需求。在国家“扩大内需、促进增长”的宏观调控政策之下，未来我国将加快建设保障性安居工程，加快农村基础设施建设，加快铁路、公路和机场等重大基础设施建设。这些庞大的投资建设措施必将增加对包括显示屏、特殊照明、普通照明和景观照明等在内的各种 LED 应用产品的大宗需求。

2. 国内 LED 市场的竞争格局

(1) 总体竞争格局

在产能集中度方面，由于国内的大型企业数量还不多，中小型企业占主体，这使得在外延片领域十强企业的产量集中度为 75.4%，芯片领域则要低很多，仅为 56.4%，显示屏领域最低为 45.6%。可见，我国 LED 行业的产业集中度相对不高，上游产业的集中度虽然较高

但是随着众多企业的进入也将面临下降的局面。

在品牌集中度方面，由于国内的知名品牌企业还不多，目前以小品牌企业占据主要位置，这使得在外延片领域十强品牌集中度为 72.4%，芯片领域则要低很多，仅为 52.3%，显示屏领域最低为 40.6%。可见我国 LED 行业的品牌集中度还不高，产业的整体竞争力较低，要走品牌之路还需要很长的时间。

在技术竞争格局上，外延片领域是几家企业垄断技术，外来进入者难以快速发展；在芯片制造领域则是技术相对壁垒较低，多种技术并存；在显示屏制造领域由于产品应用的多样化，技术也是多样化，其壁垒最低。综合而言，在技术竞争格局上外延片、芯片领域比较明晰，而显示屏领域则是技术众多，产品多样。

(2) 产业内企业竞争格局

在 LED 芯片产业的发展过程中，早期产品主要以普通亮度芯片为主，生产厂商也只有南昌欣磊等少数几家。之后以厦门三安、大连路美为代表的芯片生产企业针对芯片市场的需求，纷纷把产品重点集中到高亮度芯片上，直接带动了高亮度芯片产量的快速增长。高亮度芯片成为 LED 芯片产业发展的主要推动力。2012 年中国 LED 芯片产值超过 70 亿元，同比增长 50%。

随着 LED 芯片生产企业的不断增多，LED 芯片产值的增长速度一直高于封装环节，导致芯片产值在我国 LED 产业产值中所占比重不断提升。

由此可见，我国 LED 产业正在由低端走向高端，向附加值更高，更具核心价值的芯片环节迈进。

3. 国内 LED 市场的增长趋势与前景预测

我国现阶段 LED 的应用市场主要在建筑照明、室内外显示屏领域，因此，下一波的发展方向可能还是目前这些市场。但在手机、小尺寸液晶背光、汽车等领域的渗透会加大，另外一些零散市场如特种照明的开拓也会加强（特种照明对成本的要求没有通用照明那么苛刻）。经过近几年的推广普及，LED 交通指示灯已经非常普遍，由于 LED 的使用寿命较长，短期内很难再出现大规模的替换工作，这就使得对于 LED 交通指示灯的需求将出现一段低潮期；国内轿车市场庞大，但相关照明要求较高，认证周期长，但只要有过硬的产品质量，国内车用背光及车灯的 LED 市场需求将非常大，而且这一市场的需求增长比较稳定；而 LED 显示屏以其易拼装，低功耗，高亮度等优点已经广泛应用于银行、广场、车站和体育场馆中，未来这一市场仍有很大的增长潜力；在奥运会、世博会及一些城市夜景工程示范效应的带动以及国家半导体照明工程等众多有利因素的促进下，建筑照明市场前景依然广阔。

专业研究机构指出，预计 2013 年，中国 LED 产值将超过 2500 亿元人民币。基于以下几点，可以认为我国 LED 产业具有良好的发展前景：

1) 就技术而言，LED 具有技术成长瓶颈高，门槛低的特性，国内在半导体领域长期积累的研究资源都可以用得上，即具备较好的研究基础。尽管国内集成电路制造基础比较薄弱，工艺水平比较低，但国内一些企业通过聘请海外技术人员加盟，在技术上不断取得突破，与国际大厂的整体差距也在不断缩小。

2) LED 的投资额比较小，初始投资 1 亿元就可建厂，国内企业进入门槛低，容易实现滚动发展，这与集成电路制造及液晶面板制造动辄几十亿到上百亿人民币的投资相比是微不足道的。所以国内企业容易进入，形成产业集群。当然，这也可能造成恶性竞争，发展到一

定阶段则需要市场整合。

3) 国内市场巨大, LED 未来主要市场是通用照明市场, 该市场容量大, 且终端消费市场比较分散, 不易形成垄断, 国内企业生存空间广阔。

4) 国内一些企业拥有核心知识产权, 如晶能光电的硅衬底氮化镓蓝光项目, 大连路美的芯片领域核心技术, 都具有全球竞争力, 这些企业在技术发展上容易形成示范效应, 促进国内企业市场健康成长。

5) 技术成熟后, LED 下游封装和器件生产属于劳动密集型, 国内具备发展的劳动力成本优势。

随着节能环保理念的深入人心和政府的大力推广预计到 2013 年底, 国内 LED 产值将超过 2500 亿元, 2015 年产业规模将达到 5000 亿元以上。

1.3 LED 灯具设计趋势

LED 作为一种新型的照明技术, 其应用前景十分广阔, 尤其是高亮度 LED 更被誉为 21 世纪最有价值的光源, 必将引起照明领域一场新的革命。自从白光 LED 出现以来, 无论是在发光原理还是在功能等方面都具有传统光源无法比拟的优势, 因此, LED 照明已成为 21 世纪照明领域的一种趋势, LED 将取代传统的白炽灯和日光灯, 传统照明灯具已面临严峻挑战。LED 新光源促使照明灯具设计开发的创新, 从很大程度上改变了传统照明的观念, 将其从传统的点、线光源局限中解放出来, 灯具设计的语言和概念可以自由发挥和重新确立, 灯具在视觉与形态的创意表现上具有更大的弹性空间, 照明灯具将向更加节能化、健康化、艺术化和人性化方向发展。

(1) 节能化

由于 LED 是冷光源, 因此半导体照明对环境没有任何污染, 与白炽灯、荧光灯相比, 节电效率可达到 90%以上。在同样亮度下, LED 的耗电量仅为普通白炽灯的 1/10, 荧光灯管的 1/2。如果用 LED 取代目前传统照明的 50%, 则每年我国节省的电量就相当于一个三峡电站发电量的总和, 其节能效益十分可观。

(2) 健康化

LED 是一种绿色光源, 采用直流驱动, 没有频闪; 没有红外线和紫外线成分, 没有辐射污染, 显色性高, 并且具有很强的发光方向性; 调光性能好, 色温变化时不会产生视觉误差; 冷光源发热量低, 可以安全触摸。这些都是白炽灯和荧光灯所达不到的。LED 既能提供令人舒服的光照感受, 又能很好地满足人的生理健康需求, 是保护视力且环保的健康光源。

由于目前单只 LED 的功率较小, 光亮度较低, 故不宜单独使用, 而将多个 LED 组装在一起设计出实用的 LED 照明灯具具有广阔的应用前景。灯具设计可根据照明对象和对光能量的需求, 决定灯具光学系统的形状, 如环形光源或面光源等。

(3) 艺术化

光色是构成视觉美的基本要素, 是美化居室的重要手段。光源的选用直接影响灯光的艺术效果, LED 在光色及灰度 (1670 万色) 的选择上具有较大的灵活性。灯具是发光的雕塑, 由材料、结构、形态构造的灯具也是展示艺术的重要手段。LED 技术使灯具将科学性和艺术性更好地有机结合在一起, 打破了传统灯具的条框, 超越了固有的所谓灯具形态的观

念，使灯具设计在视觉与形态的艺术创意表现上，以一个全新的角度去认识、理解和表达光的主题。可以更灵活地利用光学技术中明与暗的搭配、光与色的结合，以及材质、结构设计的优势，提高设计自由度来弱化灯具照明功能，让灯具成为一种视觉艺术，创造舒适优美的灯光艺术效果。例如，用半透明合成材料和铝制成的类似于蜡烛的 LED 灯具，可随意搁置在地上、墙角或桌上，构思简约，形态传达的视觉感受和光的体验让灯具变成充满情趣与生机的生命体。

（4）人性化

光和人的关系是一个永恒的话题，“人们看到了灯，我看见了光”，正是这句经典的话语改变了无数人对灯的认识。灯具的最高境界是“无影灯”，也是人性化照明的最高体现，而没有任何常见灯具的踪迹，让人们可以感觉到光亮却找不到光源，体现了把光和人类生活完美结合的人性化设计。不同的光色和亮度对人的生理和心理能产生不同影响，在很多情况下并不需要很亮的白光，可能黄光或其他颜色的光更适合生理和心理的需要。三基色 LED 可以实现亮度、灰度、颜色的连接变换和选择，使得照明从普通意义上的白光扩展为多种颜色的光。

因此，人们可以根据整体照明需要（如颜色、温度、亮度和方向等）来设定照明效果，实现人性化的智能控制，营造不同的室内照明效果。人们也可以根据各自的要求、场景情况以及对环境和生活的不同理解，在不同的空间和时间上选择并控制光的亮度、灰度和颜色的变化，模拟出各种光环境来引导、调节情绪，创造更人性化的照明环境。

鉴于 LED 的自身优势，目前主要应用于以下几个方面。

1) 显示屏、交通信号显示光源。LED 灯具有抗振、耐冲击、光响应速度快、省电和寿命长等特点，广泛应用于各种室内、户外显示屏。显示屏可分为全色、三色和单色显示屏。目前全国共有 100 多个单位在开发生产。交通信号灯主要用超高亮度红、绿和黄色 LED，因为采用 LED 信号灯既节能，可靠性又高，所以在全国范围内，交通信号灯正在逐步更新换代，而且推广速度快，市场需求量很大。

2) 汽车工业上的应用。汽车用灯包含汽车内部的仪表板、音响指示灯、开关的背光源、阅读灯和外部的刹车灯、尾灯、侧灯以及头灯等。由于汽车用白炽灯不耐振动撞击，易损坏，寿命短，需要经常更换，LED 照明在汽车工业应用上具有巨大潜力。

3) LED 背光源。以高效侧发光的背光源最为引人注目，LED 作为 LCD 背光源应用，具有寿命长，发光效率高，无干扰和性价比高等优点，已广泛应用于电子手表、手机、BP 机、电子计算器和刷卡机上，随着便携电子产品日趋小型化，LED 背光源更具优势，因此背光源制作技术将向更薄型、低功耗和均匀一致方向发展。

4) LED 照明光源。目前直接的目标是 LED 光源替代白炽灯和荧光灯，这种替代趋势已从局部应用领域开始发展。

5) 其他应用。例如一种受到儿童欢迎的闪光鞋，走路时内置的 LED 会闪烁发光，仅温州地区制造的产品一年就要用 5 亿只发光二极管。

第2章 LED 芯片封装知识

2.1 LED 基础知识

LED 又称发光二极管 (Light-Emitting Diode, LED), 是一种能发光的半导体电子元件。这种电子元件早在 1962 年出现, 早期只能发出低亮度的红光, 时至今日 LED 能发出的光已遍及可见光、红外线及紫外线等, 其亮度也大幅提高。随着技术的不断进步, LED 的用途也由作为指示灯、显示板等扩展到显示器、采光装饰和照明等诸多领域。本章将对 LED 的基础知识、发光原理和结构特点等作详细讲解。

2.1.1 LED 光学参数介绍

在学习 LED 技术之前, 必须要了解 LED 的几个比较重要的光学参数: 光通量、光照度、发光强度、发光效率、光强分布、光亮度、显色性、色温和光束角。以下分别介绍。

1. 光通量

光通量即点光源或非点光源在单位时间内所发出的光量之总和。光通量的符号为 Φ , 单位为流明 (lm)。

人眼对不同颜色的光的感受是不同的, 这就决定了光通量与光功率的换算关系。对于人眼来说, 最敏感的是 555nm 的黄绿光, 1W 相当于 683lm, 即 1W 的功率全部转换成波长为 555nm 的黄绿光, 为 683lm。这是最大的光转换效率。对于其他颜色的光, 比如 650nm 的红色, 1W 相当于 73lm, 这是因为人眼对红光不敏感的原因。对于白光, 要看情况而定。因为很多不同的光谱结构的光都是白色的。

2. 光照度

光照度可用照度计直接测量。光照度的单位是勒克斯 (lx)。被光均匀照射的物体, 在 1m^2 面积上得到的光通量是 1lm 时, 其光照度是 1lx。

3. 发光强度

发光强度简称光强, 其单位是坎德拉 (cd)。它是指光源在指定方向的单位立体角内发出的光通量。当光源辐射均匀时, 则光强 $I = \Phi / \Omega$, Ω 为立体角, 单位为球面度 (sr), Φ 为光通量, 单位是流明 (lm), 对于点光源有 $I = \Phi / 4\pi$ 。

4. 发光效率

发光效率就是光通量与电功率之比。发光效率表征了光源的节能特性, 这是衡量现代光源性能的一个重要指标。单位: 流明/瓦 (lm/W)。

5. 光强分布

LED 发光强度是表征它在某个方向上的发光强弱, 由于 LED 在不同的空间角度光强相差很多, 所以必须研究 LED 的光强分布特性。这个参数实际意义很大, 直接影响到 LED 显