

LED/OLED
技术与应用丛书



LED

照明产品质量控制 与国际认证

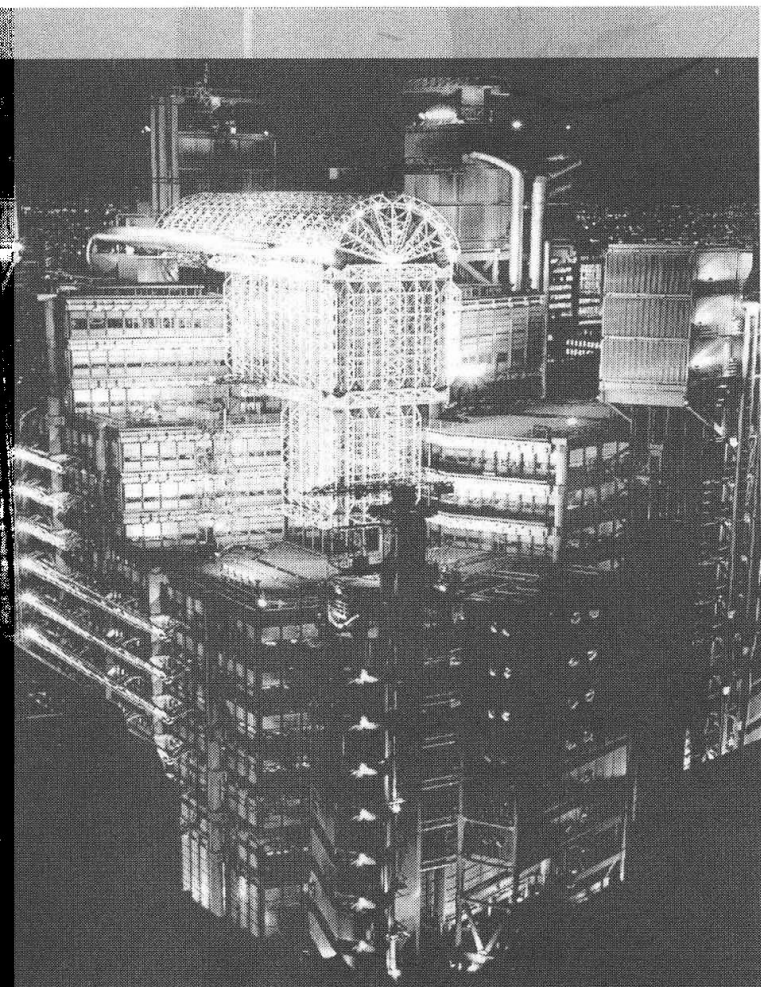
俞建峰 顾高浪 陶宏锦 编著

钱建明 审



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

**LED/OLED
技术与应用丛书**



LED

照明产品质量控制 与国际认证

俞建峰 顾高浪 陶宏锦 编著

**人民邮电出版社
北京**

前 言

LED 是一种新型绿色光源，具有节能、可靠、寿命长等优点。LED 产业链包括 LED 芯片制造、封装等诸多环节。在国家节能环保战略下，LED 产业风起云涌，逐渐渗透到照明领域，前景广阔。目前，我国 LED 产业年产值已达到 1000 亿元，2015 年预计达到 5000 亿元。

LED 产品质量在欧美发达国家得到重视。从节能角度，欧盟 ErP 指令、美国能源之星均对 LED 产品的节能性提出要求；从产品的寿命角度，有 LM-79、LM-80；从光辐射安全来看，有 IEC62471。国际标准化组织，如 IEC、CIE 制定了一系列标准来规范 LED 产品的质量。我国规定了 6 类 LED 灯具必须经过 CCC 认证。LED 行业把质量作为重要课题，为此，作者结合第三方检测机构在 LED 产品测试、认证领域的经验编著此书。

本书分为 8 章，主要介绍：LED 产业发展概况、LED 产品电气安全、电磁兼容、光度学和色度学、光生物安全、产品可靠性、影响 LED 产品质量的关键因素、国际认证要求以及测试实例等内容。尽管本书力图比较全面地介绍 LED 产品质量检测、认证的要求，但是 LED 产业尚在发展之中，随着新标准的不断发展，LED 产品质量要求会越来越完善。

作者要感谢郭志军、李辉、张颖、扈罗全、饶丰、江维、祝嘉均、蒋科、茅铭明、黄正标、张敏、戴军、陈永国、邱初暄对本书出版的关心、支持、指导。同时，也要感谢中国 CQC 南京分中心、法国必维国际检验集团、江苏出入境检验检疫局、苏州出入境检验检疫局、镇江出入境检验检疫局、无锡出入境检验检疫局、广东出入境检验检疫局、圣介技术商务有限公司、杭州远方光电信息股份有限公司等单位领导的大力支持。

作者的研究工作先后得到科技部质检公益性项目（10-61）、江苏省科技创新与成果转化专项引导资金资助项目（BM2009818）、国家质检总局科研基金（2008IK260）、江苏出入境检验检疫局科研基金（2011KJ24）的资助。

本书的部分内容已在《光学仪器》杂志上发表。希望本书的出版能为推动我国 LED 产品质量控制和国际认证、提高 LED 产品检测和认证人员的能力、促进 LED 技术标准领域的技术交流起到一定作用。由于作者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

作者

2011 年 10 月于无锡

目 录

第 1 章 LED 照明产品概论	1
1.1 LED 产业现状	1
1.1.1 LED 的发展历史	1
1.1.2 LED 产业链	3
1.1.3 全球 LED 产业前景	4
1.1.4 LED 的应用	5
1.2 LED 的工作原理	7
1.2.1 光的产生与 LED 发光原理	7
1.2.2 LED 白光的产生	9
1.2.3 LED 发光效率分析	10
1.3 LED 照明	11
1.3.1 照明的发展历史	11
1.3.2 LED 照明优点	13
1.3.3 各国和地区 LED 照明的发展计划	13
1.3.4 我国 LED 照明技术现状	15
1.4 LED 照明法规、标准、认证	17
1.4.1 LED 照明标准	17
1.4.2 LED 照明标准组织	18
1.4.3 标准化组织制定的 LED 标准	19
1.4.4 LED 产品认证	22
第 2 章 LED 灯具安全要求	24
2.1 电气安全概论	24
2.1.1 国内外电气安全标准化组织	24
2.1.2 电气设备中的几个电气安全重要概念	26
2.1.3 电气产品安全防护设计	29
2.2 LED 照明产品分类	30
2.2.1 触电保护形式分类	30
2.2.2 按防尘、防固体异物和防水等级分类	33
2.2.3 其他分类方式	34
2.3 灯具安全的一般要求	34
2.3.1 灯具安全标准	34
2.3.2 灯具安全检测的主要内容	34
2.4 自镇流 LED 灯的安全要求	38

2.5 LED 控制装置电气安全	38
2.5.1 LED 控制装置安全标准	38
2.5.2 LED 控制装置的分类	39
第3章 LED 产品电磁兼容要求	41
3.1 电磁兼容的基本概念	41
3.1.1 电磁兼容的定义	41
3.1.2 电磁骚扰	42
3.1.3 电磁抗干扰	43
3.1.4 电磁兼容设计	43
3.1.5 电磁兼容测试的分类	43
3.2 电磁兼容标准	44
3.2.1 IEC/CISPR 标准	44
3.2.2 FCC 法规	44
3.2.3 GB 标准	46
3.3 电磁骚扰测量	47
3.3.1 传导骚扰测量	47
3.3.2 辐射骚扰测量	48
3.3.3 谐波测试	50
3.3.4 骚扰电压	51
3.4 电磁抗干扰测量	51
3.4.1 静电放电抗扰度试验	52
3.4.2 射频辐射电磁场抗扰度试验	52
3.4.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	53
3.4.4 雷击浪涌抗扰度试验	54
3.4.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度	54
3.4.6 工频磁场抗扰度试验	55
3.4.7 电压跌落和短时中断的抗扰度试验	55
3.5 电磁兼容检测设备	56
3.5.1 常用测试场地	56
3.5.2 频谱分析仪	57
3.5.3 线性阻抗稳定网络	57
3.5.4 测试天线	58
3.5.5 电磁干扰测试所需仪器基本配备需求	58
3.5.6 电磁抗扰度测试仪器基本配置	58
3.6 欧美等国对 LED 产品的电磁兼容要求	58
3.6.1 欧洲对 LED 产品的电磁兼容要求	58
3.6.2 美国对 LED 产品的电磁兼容要求	59
3.6.3 我国对 LED 产品的电磁兼容要求	59
3.6.4 日本对 LED 产品的电磁兼容要求	59

3.7 LED 产品电磁兼容检测实例	60
3.7.1 LED 电磁兼容测量的几个主要方面	60
3.7.2 LED 产品 CCC 电磁兼容测量举例	61
第 4 章 LED 产品光度和色度指标测量	66
4.1 视觉科学	66
4.1.1 光的本质	66
4.1.2 人眼特征	67
4.2 辐射度学理论	70
4.3 光度学理论	71
4.3.1 视见函数	71
4.3.2 光通量	71
4.3.3 发光强度	72
4.3.4 照度	72
4.3.5 亮度	73
4.4 照明法则	73
4.4.1 距离平方反比法则	73
4.4.2 余弦法则	74
4.5 色度学理论	74
4.5.1 表示颜色参改的方法	74
4.5.2 色品坐标	75
4.5.3 色温及相关色温	76
4.5.4 显色性	77
4.6 光度测试方法	79
4.6.1 积分球法	79
4.6.2 总光通量的基准测量方法	81
4.6.3 分布光度计	82
4.6.4 分布光度计检测装置比较	88
4.6.5 影响分布光度计测量精度的因素	89
4.6.6 光度探头及光谱辐射计	89
4.6.7 光度学测试实例	91
4.7 色度测试方法	91
4.7.1 光谱辐射计	91
4.7.2 色度学测试步骤	92
4.8 光度学和色度学的最新发展	93
4.9 国内外研究进展的分析比较	94
4.9.1 光谱测量技术	94
4.9.2 成像亮度计技术	95
4.9.3 新型分布光度计技术	95
第 5 章 LED 产品的光生物安全	97
5.1 光生物安全的背景	97

5.2 LED 产品光辐射	98
5.2.1 LED 光辐射的危害	98
5.2.2 光辐射安全国际标准化组织	100
5.3 光辐射安全标准 IEC 62471	102
5.3.1 IEC 62471 的发展历史	102
5.3.2 使用范围	104
5.3.3 IEC/EN 62471:2008 对于曝辐量限值的规定	104
5.4 LED 光生物安全检测	105
5.4.1 光谱辐照度	106
5.4.2 光谱辐亮度	107
5.4.3 危害评估方法	108
5.4.4 表观光源测试	110
5.4.5 光生物安全测试设备	110
第 6 章 LED 产品可靠性与寿命检测	112
6.1 产品可靠性问题	112
6.1.1 可靠性理论	112
6.1.2 寿命试验	113
6.1.3 加速寿命试验	114
6.2 LED 产品的失效机理及改善措施	116
6.2.1 失效的表现	116
6.2.2 LED 寿命指标的规定	117
6.3 LED 产品寿命试验	119
6.3.1 LED 光输出寿命预测模型	119
6.3.2 LED 加速老化和寿命测试	120
6.4 试验方法	122
6.4.1 气候环境试验	122
6.4.2 力学环境试验	123
6.4.3 化学环境试验	124
6.4.4 综合环境试验	125
6.4.5 可靠性试验	125
6.5 可靠性试验设备	126
6.5.1 国际知名的可靠性设备供应商	127
6.5.2 气候环境试验设备	127
6.5.3 力学环境试验设备	129
6.5.4 化学环境试验设备	129
6.5.5 高加速寿命试验设备	130
第 7 章 影响 LED 产品质量的关键因素分析	132
7.1 LED 驱动器设计	132
7.1.1 LED 驱动要求	133
7.1.2 直流驱动	133

7.1.3 交流驱动	135
7.1.4 电解电容	136
7.2 LED 芯片	136
7.2.1 芯片结构	136
7.2.2 材料	139
7.3 LED 散热设计	140
7.3.1 LED 散热问题的重要性	140
7.3.2 LED 结温	141
7.3.3 LED 热阻	142
7.3.4 LED 散热装置	143
第 8 章 LED 产品国际认证	146
8.1 产品认证在贸易中的作用	146
8.2 欧盟	147
8.2.1 CE 认证	147
8.2.2 ENEC 认证	149
8.2.3 CB 认证	150
8.2.4 GS 认证	151
8.2.5 ErP 指令	151
8.2.6 WEEE 指令和 RoHS 指令	151
8.3 美国	151
8.3.1 美国能源之星认证	152
8.3.2 UL 认证	154
8.3.3 ETL 认证	154
8.3.4 FCC 认证	155
8.4 日本	156
8.4.1 日本 PSE	156
8.4.2 日本 S 标志	157
8.5 中国	158
8.5.1 CCC 认证	158
8.5.2 CQC 节能认证	159
8.6 CCC 认证、欧盟 CE 认证和美国 UL 认证的区别	159
附录 1 IEC 60598 项目分包	160
附录 2 温度/热量对人体和材料产生的效应	162
附录 3 EMC 实验室测试设备基本清单	163
参考文献	164

第 1 章 LED 照明产品概论

自从 1879 年爱迪生发明电灯以来，电灯与人类相伴至今，带来无尽光明。照明在我们的现代生活中是那么重要，夜晚没有灯光的城市充斥黑暗，缺乏生机。茫茫大海中的灯塔在航海中是航路的导向，它指示着礁石、浅滩、港口，电子导航仍然代替不了它。LED 照明是继钨丝灯、荧光灯、气体放电灯之后出现的人类第四代照明产品。由于 LED 照明产品具有光效高、寿命长、节能环保等显著优点，在照明领域的应用前景广阔。我国照明光源如有 1/3 采用 LED 照明，每年将可节电 800 亿度，相当于一个三峡电站的年发电量。LED 已经逐渐在道路照明灯具、车辆照明灯具、液晶电视背光源中得到应用。可以预见的是，在节能环保发展战略下，LED 照明大有潜力。产业的发展，离不开产品标准和产品认证，本章将为读者介绍 LED 产业发展的历史、产业链，同时概括介绍 LED 照明产品质量标准和认证要求。

1.1 LED 产业现状

1.1.1 LED 的发展历史

1907 年，Henry Joseph Round（1881—1966）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，再由于碳化硅与电致发光不能很好地适应，因此，研究被摒弃了。20 世纪 20 年代晚期，Bernhard Gudden 和 Robert Wichard 在德国发现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继续研究。1936 年，George Destiau 出版了一个关于硫化锌粉末发射光的报告。随着电流的应用和认识的广泛，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发明了第一个具有现代意义的 LED，并于 60 年代面世。

1962 年，“发光二极管之父”——通用电气公司的科学家 Nick Holonyak 发明了第一款实用的磷砷化镓（GaAsP）发光二极管，该二极管能在可见光谱的红色部分工作。Nick Holonyak 与 Bevacqua 合著的论文发表在美国《应用物理杂志》（1962）上，首次宣告了可见光 LED 的诞生。1963 年，Nick Holonyak 在《读者文摘》上预言，LED 照明将逐渐替代爱迪生发明的白炽灯。在发展初期，采用砷化镓（GaAs）的发光二极管只能发出红外线或红光。随着材料科学的进步，人们已经制造出可发出波长更短的各种颜色的发光二极管。在 20 世纪 60 年代末到 70 年代，更多发明和进展产生更多的颜色，并能够使得 LED 在商业领域应用。

以下是传统发光二极管所使用的无机半导体物料和它们所发光的颜色。

- ① 铝砷化镓（AlGaAs）——红色及红外线。
- ② 铝磷化镓（AlGaP）——绿色。
- ③ 磷化铝镓铟（AlGaInP）——高亮度的橘红色、橙色、黄色、绿色。
- ④ 磷砷化镓（GaAsP）——红色、橘红色、黄色。
- ⑤ 磷化镓（GaP）——红色、黄色、绿色。

- ⑥ 氮化镓 (GaN) ——绿色、翠绿色、蓝色。
- ⑦ 铟氮化镓 (InGaN) ——近紫外线、蓝绿色、蓝色。
- ⑧ 碳化硅 (SiC, 用作衬底) ——蓝色。
- ⑨ 硅 (Si, 用作衬底) ——蓝色 (开发中)。
- ⑩ 蓝宝石 (Al_2O_3 , 用作衬底) ——蓝色。
- ⑪ 硒化锌 (ZnSe) ——蓝色。
- ⑫ 钻石 (C) ——紫外线。
- ⑬ 氮化铝 (AlN)、铝氮化镓 (AlGaN) ——波长为远至近的紫外线。

从 20 世纪 60 年代到 80 年代的 20 年时间里, 红光 LED、绿光 LED、黄光 LED 的技术已经非常成熟, 但是其应用范围狭窄。当时, 开发一种蓝光 LED 被认为是不可能的, 只有蓝光 LED 的制造技术获得突破后, 由红、绿、蓝三种基色混合得到白光, LED 在照明领域的应用才能得以实现。

日本日亚化学公司先在 1988、1989 年资助中村修二 (Shuji Nakamura) 到美国佛罗里达州立大学研究有机金属气相法 (MOCVD)。当时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, 当时很难找到与其晶格常数相匹配的衬底, 导致在衬底生长的外延片原子排列不规则, 发光效率无法提升。同时, 发光二极管中不可缺少的部分 P 型 GaN 成长不易。技术的突破首先从被称为氮化物之父的名古屋大学的赤崎勇教授开始, 他利用 MOCVD 在低温下成长了氮化铝缓冲层, 而后在高温下成长氮化镓。随后, 中村修二在 1991 年利用低温成长非结晶氮化镓缓冲层, 再以高温成长氮化镓结晶。1989 年, 赤崎勇教授利用电子束照射得到 P 型氮化镓。1991, 中村修二直接利用热退火完成 P 型氮化镓的制作。1993 年, 基于 GaN 开发了蓝光 LED。这样, 困扰氮化物半导体的两个重大问题先后被赤崎勇教授和中村修二教授攻克, 从此奠定了今天氮化物半导体在白光 LED 中的核心地位。中村修二教授的创新使得 LED 生产商能够生产三原色 (红、绿和蓝) LED, LED 行业利用这种新技术来开始白光 LED (半导体生态光源) 的商业化生产。

自蓝、绿光 LED 技术于 20 世纪 90 年代开始发展至今, 目前市场上出售的产品主要基于日本企业所拥有的蓝宝石衬底技术。但由于蓝宝石衬底所固有的缺陷, 如异常坚硬、不导电、导热性能差、成本高昂等, 这种基于蓝宝石衬底的蓝、绿光 LED 技术被认为是一种过渡性质的技术。

硅是有望替代蓝宝石衬底的材料之一。硅和目前 LED 行业流行的蓝宝石相比, 具有尺寸大、价格低、导电性能良好、较容易切割、适合与硅基电子器件在同一衬底上集成等多种优点, 预计在不久的将来必然会取代蓝宝石成为氮化镓基蓝、绿光 LED 芯片的主流衬底材料。但是因为硅基 LED 技术进入门槛高、研发投入巨大, 目前全球仅有美、日、德、法、新加坡的极少数机构在进行研发。其中, 美国的 Cree (科锐) 公司利用碳化硅作衬底虽然已经取得成果, 但是碳化硅的成本甚至比蓝宝石更高昂, 更不利于蓝、绿光 LED 的大规模普及应用。

有机 LED 又称 OLED (Organic Light-emitting Diode), 其基本结构是: 由一薄而透明的具有半导体特性的铟锡氧化物 (ITO) 与电力正极相连, 再加上另一个金属阴极, 包成如三明治的结构。OLED 作为一种新型的漫射光源, 与 LED 相比, 互有特点, 在各自不同的领域担当不同的角色。2011 年, 德国欧司朗公司宣布开发出了照明效率达 87lm/W 的 OLED 技术, 创造了 OLED 照明效率的新记录。根据欧司朗公司的介绍, 其实验样品照明效率达 87lm/W , 峰值效率提高了约 40%, 照明亮度达 1000cd/m^2 , 色温为 4000K, 已非常类似于普通荧光灯。

1.1.2 LED 产业链

LED 产品的生产过程可以分为五个阶段，形成“衬底制造——外延片制作——芯片制造——芯片封装——应用”的 LED 产业链，如图 1-1 所示。上游外延片和芯片环节目前占到了整个产业链产值的 70%。相比较而言，LED 芯片制造、外延片制作要比单纯封装、做下游应用产品难得多，这涉及包括技术、工艺在内的诸多要求。

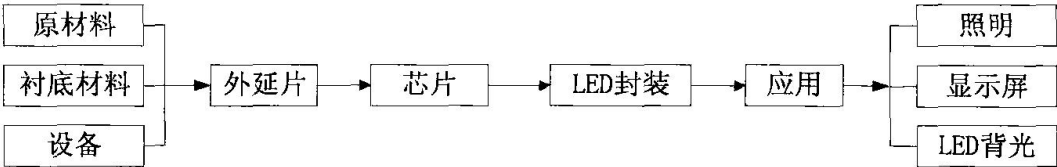


图 1-1 LED 产业链

① 衬底是 LED 芯片的承载部分。为了有效支撑 LED 芯片，衬底通常都必须具备一定的机械强度、与外延部分相匹配的热膨胀系数。良好的导电、导热性能对于衬底来说也十分有利。LED 衬底材料的主要种类有：蓝宝石（ Al_2O_3 ）、碳化硅（ SiC ）、硅（ Si ）、氮化镓（ GaN ）、砷化镓（ GaAs ）、氧化锌（ ZnO ）。良好的透光性对于倒装型 LED 芯片封装来说是必需的。不同的衬底材料会采用不同的外延生长技术，并且延续到后续芯片加工和封装。衬底难题如下：用来制作衬底的蓝宝石的硬度只比钻石差点，加工起来对工艺要求很高。另一种制作衬底的原材料碳化硅就更“苛刻”，价格高于蓝宝石，并且稍不注意就容易出现龟裂、发光效率不合格、可靠性差等问题，因此尽管做出来的 LED 芯片性能好过蓝宝石，但目前占据主流的却是前者。

②外延片制作是 LED 芯片制造的核心部分。外延的目的是在衬底（基片）上向外拓延生长一定厚度的半导体薄层（膜）。外延层（膜）与衬底（基片）材料可以相同也可以不同。LED 的发光部位 PN 结就在这个步骤中形成，因此对于掺杂的控制至关重要。常见 LED 发光材料的特点及其外延生长技术见表 1-1。

表 1-1 常见 LED 发光材料的特点及其外延生长技术				
材 料	颜 色	带 隙 性 质	发 光 亮 度	外延生长技术
GaP	红、绿	间接带隙	一般亮度	LPE
GaAsP	橙红、黄	混合带隙	一般亮度	VPE
AlGaAs	红	直接带隙	高亮度	LPE-MOCVD
AlInGaP	红、橙、黄、绿	直接带隙	高亮度	MOCVD
AlInGaN	绿、蓝、紫	直接带隙	高亮度	MOCVD

③ 芯片制造旨在对外延工艺形成的 PN 结结构进行引出，形成良好的输入输出接口。这个阶段的工艺与标准集成电路工艺十分相似，但精度要求远低于标准集成电路。随着 MOCVD 外延生长技术和量子阱结构的发展，人们在精确控制外延生长、掺杂浓度和减少位错等方面都取得了突破，外延片的内量子效率已有很大提高。大家知道，LED 的外量子效率取决于外延材料的内量子效率和芯片的出光效率，提高 LED 发光效率的关键是提高芯片的外量子效率，这在很大程度上取决于芯片的出光效率。

④ 封装是形成 LED 产品的又一重要过程。封装结构的出光率是限制 LED 性能提高的重要因素。另外，随着散热问题对 LED 寿命的影响日益明显，封装在 LED 产业链中的重要性更加凸现出来。

⑤ 产品生产是 LED 产品形成的最后环节。该环节技术门槛不高，但与下游市场结构关系密切。由上述 LED 产业链流程可见，衬底和外延片的组合是 LED 发光的工作本质所在。

1.1.3 全球 LED 产业前景

全球照明用电量高居全年总用电量的 20%，其中多达 90% 的电能被转换成热能而白白消耗掉，既不节能也不经济。在节能环保的发展战略下，LED 已快速成为颇受关注的照明技术和产业。世界各国政府积极制定促进 LED 产业发展的政策法规，在政策导向激励下，全球 LED 产业规模呈快速增长之势。

目前全球照明行业年产值约为 800 亿美元（含光源、灯具、镇流器等电子件），LED 半导体照明约占 5%，2015 年期望比例上升至 50% 左右，届时 LED 半导体照明有望成为一个全球逾 500 亿美元的产业。

2010 年，全球 LED 市场规模增长 58%，从 100 亿美元达到 158 亿美元。受到 LED-TV 爆发的驱动，应用在液晶电视背光上的 LED 市场规模暴增，从 9.6 亿美元增加到近 39 亿美元。2010 年全球 LED 照明产值占整体照明市场的比重约为 3.8%，预计 2011 年全球 LED 照明渗透率将超过 10%，而 LED 照明使用颗数也将由 2010 年的 48 亿颗增至 2011 年的 124 亿颗，LED 灯泡取代传统白炽灯的效应开始逐渐显现。

2010 年，中国传统照明行业产值达到 2900 亿元，LED 通用照明产值为 180 亿元，比 2009 年的 75 亿元增长了 140%，占 LED 应用市场规模的 21%，比 2009 年的 14% 增长 7 个百分点，其中 LED 路灯、隧道灯增速超过 100%。国内 LED 路灯目前已超过 160 万盏。2010 年 LED 市场渗透率不到 1%，预计 2015 年将达到 30%。但从严格意义上来讲，通用照明市场还主要是政府在推动，真正的市场还没有启动，但取代传统照明已是大势所趋。

LED 发展路线图如表 1-2 所示。

表 1-2 LED 发展路线图（来源：美国能源部 MYPP）

项 目	单 位	2009 年	2010 年	2012 年	2015 年
效率（2580~3710K，80~90CRI）	lm/W	70	88	128	184
价格（2580~3710K，80~90CRI）	\$/klm	36	25	11	3
效率（4746~7040K，70~80CRI）	lm/W	113	134	173	215
价格（4746~7040K，70~80CRI）	\$/klm	25	13	6	2
OEM 灯具价格	\$/klm	130	101	61	28

目前全球 LED 产业基本格局是美、日、欧三强鼎立，韩国和中国奋起直追。有关 LED 的绝大部分专利被垄断在少数几家大公司手中，最主要的由五大厂商掌控，即日本的日亚化学（Nichia）和丰田合成（Toyoda Gosei）、美国的 Cree 公司、欧洲的飞利浦和欧司朗（OSRAM）。他们利用其在新产品和新技术领域中的创新优势，主要从事高附加价值产品的生产。这 5 家 LED 厂商的 LED 专利形成了“专利池”，他们之间通过专利授权和交叉授权设立的专利壁垒，不仅阻碍了新进入者的产生，某种程度上也增加了企业的生产成本。这五大企业在产品与市场方面各具特色，日亚化学和丰田合成在 LED 发展中占有重要地位，都形成了完整的 LED 产业链，其中日亚化学 1994 年第一个生产出蓝光芯片，并在蓝宝石衬底技术路线专利技术方面具有垄断优势。美国 Cree 公司在碳化硅衬底技术路线上形成了完整的 LED 产业链，在专利技术方面具有垄断优势。美国 Lumileds（飞利浦流明公司）则专注于大功率 LED 的研发，在白光照明领域实力雄厚。德国欧司朗在薄膜芯片和荧光粉方

面具有优势。表 1-3 给出了 2009~2010 年全球 LED 厂家收入统计结果。

表 1-3 2009~2010 年全球 LED 厂家收入统计（单位：百万美元）

排 名	厂 家	类 型	地 域	2009 年	2010 年	年 增 长 率
1	Nichia	芯片（磊晶）	日本	1282	1859	45%
2	Samsung LED	芯片加封装	韩国	534	1142	113.9%
3	OSRAM	芯片加封装	德国	846	956	13%
4	Cree	芯片加封装	美国	639	926	54.9%
5	LG Innotek	芯片加封装	韩国	292	789	170.3%
6	Seoul Semiconductor	芯片加封装	韩国	374	732	98.5%
7	Toyoda Gosei	芯片加封装	日本	237	567	139.3%
8	Everlight	封装	中国台湾	342	536	56.6%
9	Lumileds	芯片加封装	荷兰	318	529	100.6%
10	Stanley	封装	日本	233	456	95.8%

2010 年全球高亮度 LED 市场产值较 2009 年大幅增长 93%，达 108 亿美元规模，其中前十大 LED 制造商合计营收已占总产值的 75%以上，显见 LED 市场大者恒大态势。市场研究机构 Strategies Unlimited 日前公布的 2010 年十大高亮度 LED 制造商囊括日本、韩国、美国、德国及中国台湾等业者，其中，日本除日亚化学稳居龙头宝座外，还有夏普（Sharp）和丰田合成入榜。而韩国也有三星 LED（Samsung LED）、首尔半导体（Seoul Semiconductor）及 LG Innotek 三家业者跻身前十之列。美国以 Cree 和欧洲飞利浦为代表，德国和中国台湾则分别有欧司朗与亿光（Everlight）进榜。

据 Strategies Unlimited 公司的研究显示，位于排行榜上的韩国厂商，如三星 LED、首尔半导体和 LG Innotek，其主要是以液晶电视和 LED 背光显示器市场为主。欧司朗在中国的高亮度 LED 市场崛起，尤其是在汽车行业。飞利浦 Lumileds 公司的成功在于其大功率背光源产品、手机闪光灯和建筑照明，促成其在很大程度上取得成功。Cree 公司致力于在固态照明的发展上取得突破，以保持其强有力的市场地位。

1.1.4 LED 的应用

1. LED 产品的应用领域

LED 在半导体照明、汽车用灯、信号显示、电视背光源、信息显示屏、生物作用、医疗作用等领域有很广泛的应用。上海世博会场馆的建筑照明、夜景照明设计更是以 LED 作为光源的主力军，或者说是以 LED 光源作为素材的。LED 光源在室内照明方面的进展更是异常迅速。LED 应用领域如表 1-4 和图 1-2 所示。

表 1-4 LED 应用领域

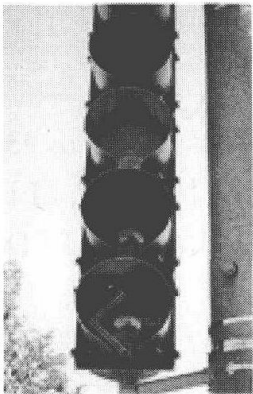
应用 领 域	应用 举 例
LCD 背光	手机
	相机
	便携式多媒体
	笔记本电脑
	显示器
	电视机

续表

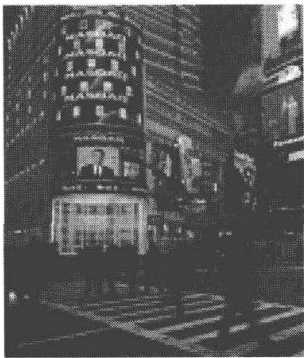
应 用 领 域	应 用 举 例
显示	电子记分牌
	户外广告牌
	信号灯
交通照明	汽车/火车照明
	轮船/飞机照明
通用照明	室内照明
	室外照明
	特殊照明



手机



交通信号灯



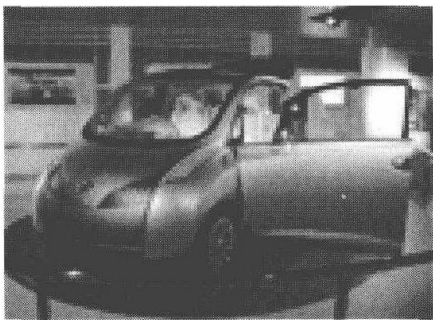
大型显示屏



街道灯



电视机



汽车

图 1-2 LED 在各领域的应用

应该讲 LED 照明最好的领域是景观照明、水下照明、室内下射灯照明、情调照明。在道路照明中，使用在隧道内的效果好于路面，因为高度、配光要求、使用条件、光效都比较适合 LED 照明。路面照明用于杆高不大于 10m、杆距不大于 30m 的场合比较合适。

白炽灯的电光转换效率只有 5%，现在 LED 灯具的电光转换效率一般在 25%~40%，远远高于白炽灯。LED 已经可以在很多场所代替传统光源。由于节能环保意识的增强，各国政府已经开始对高能耗、强污染的白炽灯产品进行限制使用。逐步淘汰白炽灯已经成为共识，全球范围内正在进行着淘汰白炽灯的活动，中国也正在大规模展开。“中国逐步淘汰白炽灯、加快推广节能灯项目”就是一个具体的体现，这是一个为期三年的项目，由国家发改委以及联合国开发计划署共同执行，旨在每年减少大约 440 万吨由于使用白炽灯而产生的碳排放。

室内照明是未来最适合 LED 发展的市场空间。不过，LED 照明市场现阶段还不是很成熟，各个厂家的标准各异，LED 照明灯具的国家标准还未出台，特别是室内照明 LED 灯具

的应用,对 LED 光源的要求是高光效、低热阻、高显色性、长寿命、低成本、集成化设计等,这对开拓室内照明的 LED 企业提出了巨大挑战。

2. LED 照明产品的基本概念

LED 照明产品是一个系统,包括以下组成部分:驱动电路、LED、LED 阵列、LED 模块、LED 光引擎、LED 灯泡。

LED 芯片 (LED Die): 正向偏压时发出非相干光辐射的 PN 结半导体器件。

LED 封装 (LED package): 包括焊线连接件或其他形式电气连接件的一个或多个 LED 晶片的组件,可能带有光学元件以及热学、机械和电气接口。该装置不包括电源和标准灯头,不能直接与分支电路连接。

LED 阵列或模块 (LED array or module): 在印制线路板或基板上的 LED 封装(元件)或晶片的组件,可能带有光学元件以及附加的热、机械和打算连接到 LED 驱动器负载侧的电气接口。该装置不含电源和标准灯头,不能直接与分支电路连接。

LED 光引擎 (LED light engine): 包含 LED 封装(元件)或 LED 阵列(模块)、LED 驱动器以及其他光学、热学、机械和电气元件的整体组合。该装置要通过一个与 LED 灯具匹配的常规连接器直接连接到分支电路,该 LED 灯具设计时不使用标准灯座。

非整体式 LED 灯 (LED lamp, non-integrated): 含有 LED 阵列(模块)或者 LED 封装(元件)和标准灯头的组件。该装置打算通过标准灯座连接到灯具的 LED 驱动器,不能直接与分支电路连接。

整体式 LED 灯 (LED lamp, integrated): 包含 LED 封装(元件)或 LED 阵列(模块)、LED 驱动器、标准灯头以及其他光学、热学、机械和电气元件的整体组合。该装置打算通过标准化的灯座直接与分支电路连接。

LED 灯具 (LED luminaire): 包括基于 LED 的发光元件和匹配的驱动器,配光部件、固定和保护发光元件的部件,以及将器具连接到分支电路部件的完整照明器具。基于 LED 的发光元件的可能形式是 LED 封装(元件)、LED 阵列(模块)、LED 光引擎或 LED 灯。LED 灯具打算直接与分支电路连接。

LED 驱动器 (LED driver): 含有电源和 LED 控制电路的装置,目的是使 LED 封装(元件)、LED 阵列(模块)或 LED 灯工作。

1.2 LED 的工作原理

1.2.1 光的产生与 LED 发光原理

光怎么产生的?这个关于光的本性的问题,是个最普通的却可能是最深奥的问题。光从哪里来?我们将错综复杂的发光现象和光源大致归纳成几类:热辐射、激发辐射、韧致辐射、受激辐射、同步辐射、热核反应、物质与反物质湮没、某些粒子衰变、物质运动及真空激发等。光是一种能量,能量大小是由光子的频率决定的。原子获得能量有两种方式:第一种方式是原子与其他的粒子(如原子、电子等)碰撞获得能量,第二种方式就是直接吸收一个光子的能量。原子激发后会跃迁到另一定态或电离,处于激发态。

以激光为例,激光是光学原理的一种应用,但是究竟怎么样才能从普通的光线变成激光?这就得先了解原子发光的原理。一个原子从高能阶降到低能阶时会放出一个光子,叫做自发

放光。原子在 高能阶时受到一个光子的撞击，就会受激而放出另外一个相同的光子，变成两个光子，叫做受激发光。如果受激发光的过程持续产生，则所发出来的光子便会越来越多。只要控制高能阶的原子数量高于低能阶的原子数量，那么受激发光的过程就会持续产生。

光源所发出的光谱称发射光谱。按波长区域不同，光谱可分为红外光谱、可见光谱和紫外光谱；按产生的本质不同，可分为原子光谱、分子光谱；按产生的方式不同，可分为发射光谱、吸收光谱和散射光谱；按光谱表现形态不同，可分为线光谱、带光谱和连续光谱。日常生活采用的照明光源是以照明为目的，辐射出为人眼视觉可见的可见光谱（波长 380~780nm），其规格品种繁多，功率从 0.1W 到 20kW。

电光源按发光形式可分为热辐射光源、气体放电光源和电致发光光源三类，如图 1-3 所示。

①热辐射光源：电流流经导电物体，使之在高温下辐射光能的光源，包括白炽灯和卤钨灯两种。热辐射光源是炽热的辐射体，发射的是连续光谱。

②气体放电光源：电流流经气体或金属蒸气，使之产生气体放电而发光的光源。气体放电有弧光放电和辉光放电两种，放电电压有低气压、高气压和超高气压三种。弧光放电光源包括：荧光灯、低压钠灯等低压气体放电灯，高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯等高强度气体放电灯，超高压汞灯等超高压气体放电灯，以及碳弧灯、氙灯、某些光谱光源等放电气压跨度较大的气体放电灯。辉光放电光源包括利用负辉区辉光放电的辉光指示光源和利用正辉区辉光放电的霓虹灯，二者均为低气压放电灯，此外还包括某些光谱光源。

③ 电致发光光源：在电场作用下，使固体物质发光的光源。它将电能直接转变为光能，包括场致发光光源和发光二极管两种。LED 与传统光源不同，白炽灯是电流加热钨丝，直至发光。荧光灯是电弧激发汞原子，发出紫外线，激发玻璃管内壁的荧光粉涂层，紫外光转化并发出可见光。电磁辐射是一种能量形式，电磁波的波长范围极其宽广。辐射谱提供了能量组成形式。电磁辐射整个能量谱从高能、短波的 X 射线开始到低能、长波结束。可见光仅仅是电磁辐射的一小部分，产生人眼能够感觉到的光和颜色。波长小于 380nm 的电磁辐射叫做紫外线，波长大于 780nm 的电磁辐射叫做红外线。紫外线和红外线均不能引起人的视觉。从 380nm 到 780nm 这个波长范围的光叫做可见光。顾名思义，可见光能引起人的视觉。紫外线、红外线和可见光统称为光。电磁频谱如图 1-4 所示。

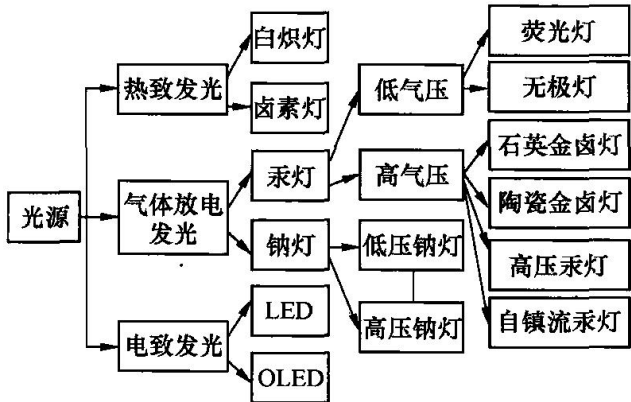


图 1-3 电光源分类

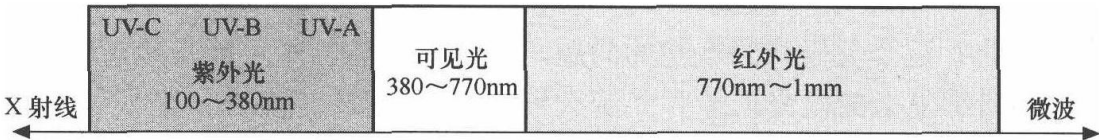


图 1-4 电磁频谱

LED 的伏—安特性是流过芯片 PN 结的电流随施加到 PN 结两端上的电压变化的特性，它是衡量 PN 结性能的主要参数，是衡量 PN 结制作优劣的重要特性。完整的 LED 伏—安特性包含正向和反向特性两个方面。与普通整流二极管一样，LED 同样具有单向导电性和非线性特性。

发光二极管 (LED) 是一种注入电致发光器件, 它是由 III—IV 族化合物 (如砷化镓、磷化镓和磷砷化镓等半导体) 制成, 其核心是 PN 结。它具有一般 PN 结的特性 (正向导通、反向截止、击穿), 此外在一定条件下它具有发光特性。PN 结处于平衡时, 存在一定的势垒区, 其能带如图 1-5 所示。

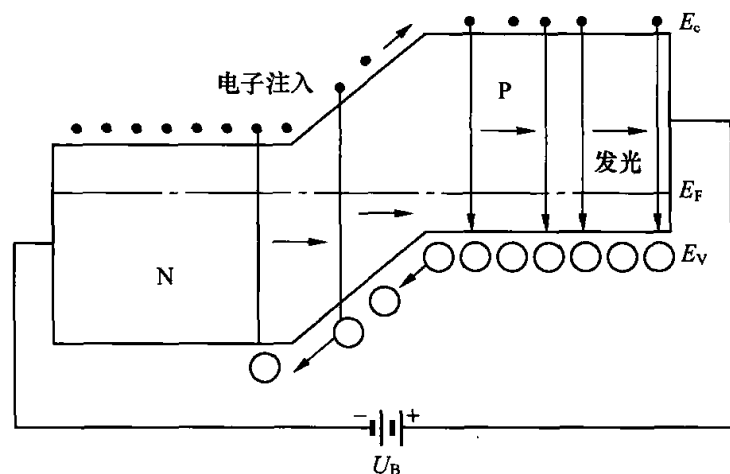


图 1-5 LED 原理

当 PN 结的两端加正偏压时, PN 结区势垒降低, 大量非平衡载流子从 N 区扩散到 P 区, 并与 P 区向 N 区扩散的空穴不断产生复合。复合是电子从高能级跌落到低能级, 以光辐射的形式释放能量而发光的过程。由于空穴的扩散速度远小于电子的扩散速度, 发光主要发生在 P 区。

① LED 是单向导电器件, 因此需要用直流电流或者单向脉冲电流给 LED 供电。

② LED 是一个具有 PN 结结构的半导体器件, 具有势垒电势, 这就形成了导通门限电压, 加在 LED 上的电压值超过这个门限电压时 LED 才会充分导通。LED 的门限电压一般在 2.5V 以上, 正常工作时的管压降为 3~4V。

③ LED 的电流—电压特性是非线性的, 流过 LED 的电流在数值上等于供电电源的电动势减去 LED 的势垒电势后再除以回路的总电阻 (电源内阻、引线电阻和 LED 体电阻之和)。因此, 流过 LED 的电流和加在 LED 两端的电压不成正比。

④ LED 的 PN 结的温度系数为负, 温度升高时 LED 的势垒电势降低, 因此不能直接用电压源供电, 必须采取限流措施, 否则随着 LED 工作时温度的升高, 电流会越来越大, 以致损坏。

⑤ 流过 LED 的电流和 LED 的光通量的比值也是非线性的。LED 的光通量随着流过 LED 的电流增加而增加, 但却不成正比, 越到后来光通量增加得越少。因此, 应该使 LED 在一个发光效率比较高的电流值下工作。

⑥ LED 和其他光源一样, 所能承受的电功率是有限的。如果加在 LED 上的电功率超过一定数值, LED 可能损坏。

⑦ 由于生产工艺和材料特性方面的差异, 同样型号的 LED 的势垒电势以及内阻也不完全一样, 这就导致 LED 工作时的管压降不一致。

1.2.2 LED 白光的产生

与白炽灯、荧光灯、高压钠灯等电光源不一样, LED 光源接近单色光。一种单独的 LED 芯片在特定的波长发出光, 单色 LED 发出的既不是单色光, 也不是宽带光, 而是介于两者之间带宽为几十纳米的准单色光。这就是为什么 LED 在彩色光应用场合效率较高的原因。在交通灯领域, LED 正在大面积取代原先的白炽灯加上滤色片系统。采用滤光镜实际上是效率相