



国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



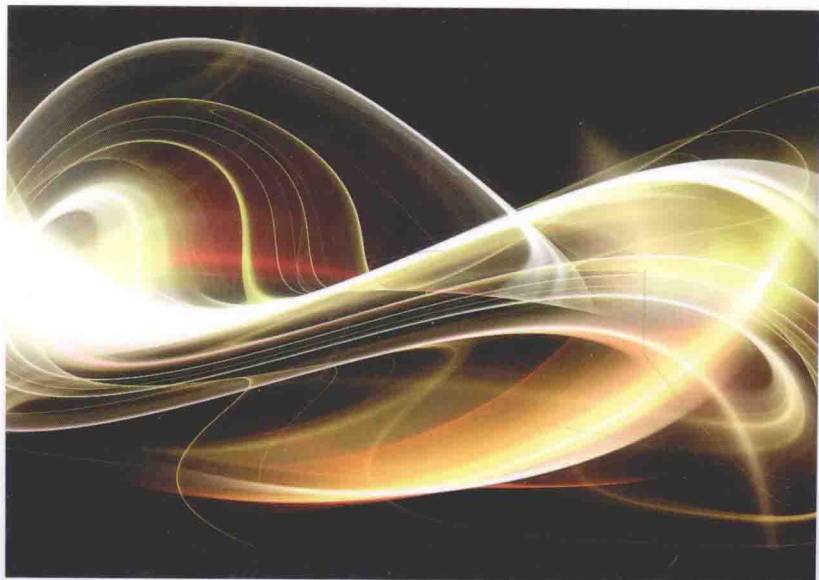
新兴产业和高新技术现状与前景研究丛书  
总主编 金 碚 李京文

# 半导体照明技术

## 现状与应用前景

梅 霆 章 勇 王金林 郭志友 尹以安 编著

BANDAOTI ZHAOMING JISHU  
XIANZHUANG YU YINGYONG QIANJING



**SPM**

南方出版传媒  
广东经济出版社



新兴产业和高新技术现状与前景研究丛书

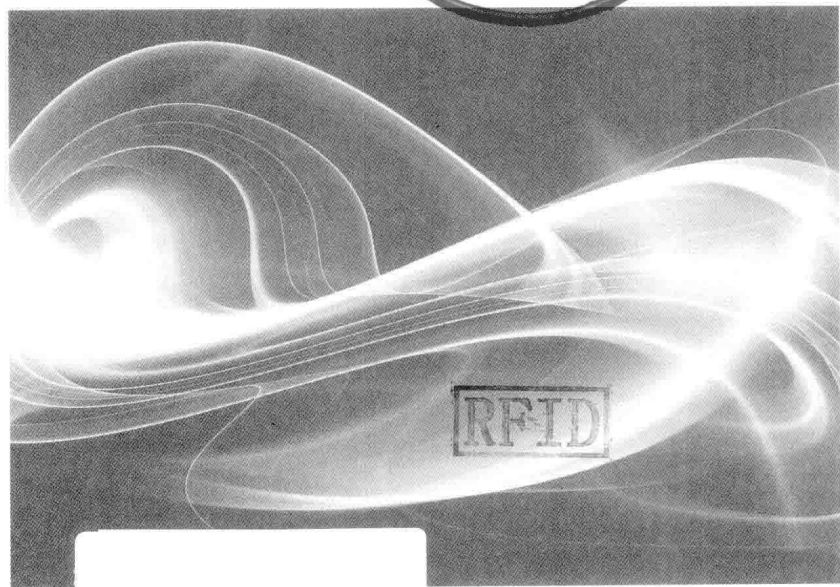
总主编 金 碚 李京文

# 半导体照明技术 现状与应用前景

梅 霆 章 勇 王金林 郭志友 尹以安 编著



BANDAOTI ZHAOMING JISHU  
XIANZHUANG YU YINGYONG QIANJING



**SPM**

南方出版传媒

广东经济出版社

· 广州 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

半导体照明技术现状与应用前景 / 梅霆等编著. —广州: 广东经济出版社, 2015. 5

(新兴产业和高新技术现状与前景研究丛书)

ISBN 978-7-5454-3706-5

I. ①半… II. ①梅… III. ①半导体发光灯-照明技术-研究  
IV. ①TM923.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 294237 号

出版发行	广东经济出版社 (广州市环市东路水荫路 11 号 11~12 楼)
经销	全国新华书店
印刷	中山市国彩印刷有限公司 (中山市坦洲镇彩虹路 3 号第一层)
开本	730 毫米 × 1020 毫米 1/16
印张	15
字数	253 000 字
版次	2015 年 5 月第 1 版
印次	2015 年 5 月第 1 次
书号	ISBN 978-7-5454-3706-5
定价	35.00 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与承印厂联系调换。

发行部地址: 广州市环市东路水荫路 11 号 11 楼

电话: (020) 38306055 37601950 邮政编码: 510075

邮购地址: 广州市环市东路水荫路 11 号 11 楼

电话: (020) 37601980 邮政编码: 510075

营销网址: <http://www.gebook.com>

广东经济出版社常年法律顾问: 何剑桥律师

· 版权所有 翻印必究 ·

## “新兴产业和高新技术现状与前景研究”丛书编委会

- 总 主 编：**金 碚 中国社会科学院工业经济研究所原所长、  
学部委员
- 李京文 北京工业大学经济与管理学院名誉院长、  
中国社会科学院学部委员、中国工程院院士
- 副 主 编：**向晓梅 广东省社会科学院产业经济研究所所长、  
研究员
- 阎秋生 广东工业大学研究生处处长、教授
- 编 委：**
- 张其仔 中国社会科学院工业经济研究所研究员
- 赵 英 中国社会科学院工业经济研究所工业发展  
研究室主任、研究员
- 刘戒骄 中国社会科学院工业经济研究所产业组织  
研究室主任、研究员
- 李 钢 中国社会科学院工业经济研究所副研究员
- 朱 彤 中国社会科学院工业经济研究所能源经济  
研究室主任、副研究员
- 白 玫 中国社会科学院工业经济研究所副研究员
- 王燕梅 中国社会科学院工业经济研究所副研究员
- 陈晓东 中国社会科学院工业经济研究所副研究员
- 李鹏飞 中国社会科学院工业经济研究所资源与环境  
研究室副主任、副研究员

- 原 磊 中国社会科学院工业经济研究所工业运行研究室主任、副研究员
- 陈 志 中国科学技术发展战略研究院副研究员
- 史岸冰 华中科技大学基础医学院教授
- 吴伟萍 广东省社会科学院产业经济研究所副所长、研究员
- 燕雨林 广东省社会科学院产业经济研究所研究员
- 张栓虎 广东省社会科学院产业经济研究所副研究员
- 邓江年 广东省社会科学院产业经济研究所副研究员
- 杨 娟 广东省社会科学院产业经济研究所副研究员
- 柴国荣 兰州大学管理学院教授
- 梅 霆 西北工业大学理学院教授
- 刘贵杰 中国海洋大学工程学院机电工程系主任、教授
- 杨 光 北京航空航天大学机械工程及自动化学院工业设计系副教授
- 迟远英 北京工业大学经济与管理学院教授
- 王 江 北京工业大学经济与管理学院副教授
- 张大坤 天津工业大学计算机科学系教授
- 朱郑州 北京大学软件与微电子学院副教授
- 杨 军 西北民族大学现代教育技术学院副教授
- 赵肃清 广东工业大学轻工化工学院教授
- 袁清珂 广东工业大学机电工程学院副院长、教授
- 黄 金 广东工业大学材料与能源学院副院长、教授
- 莫松平 广东工业大学材料与能源学院副教授
- 王长宏 广东工业大学材料与能源学院副教授

## 总序

人类数百万年的进化过程，主要依赖于自然条件和自然物质，直到五六千年之前，由人类所创造的物质产品和物质财富都非常有限。即使进入近数千年的“文明史”阶段，由于除了采掘和狩猎之外人类尚缺少创造物质产品和物质财富的手段，后来即使产生了以种植和驯养为主要方式的农业生产活动，但由于缺乏有效的技术手段，人类基本上没有将“无用”物质转变为“有用”物质的能力，而只能向自然界获取天然的对人类“有用”之物来维持低水平的生存。而在缺乏科学技术的条件下，自然界中对于人类“有用”的物质是非常稀少的。因此，据史学家们估算，直到人类进入工业化时代之前，几千年来全球年人均经济增长率最多只有0.05%。只有到了18世纪从英国开始发生的工业革命，人类发展才如同插上了翅膀。此后，全球的人均产出（收入）增长率比工业化之前高10多倍，其中进入工业化进程的国家和地区，经济增长和人均收入增长速度数十倍于工业化之前的数千年。人类今天所拥有的除自然物质之外的物质财富几乎都是在200多年的时期中创造的。这一时期的最大特点就是：以持续不断的技术创新和技术革命，尤其是数十年至近百年发生一次的“产业革命”的方式推动经济社会的发展。<sup>①</sup>新产业和新技术层出不穷，人类发展获得了强大的创造能力。

---

<sup>①</sup> 产业革命也称工业革命，一般认为18世纪中叶（70年代）在英国产生了第一次工业革命，逐步扩散到西欧其他国家，其技术代表是蒸汽机的运用。此后对世界所发生的工业革命的分期有多种观点。一般认为，19世纪中叶在欧美等国发生第二次工业革命，其技术代表是内燃机和电力的广泛运用。第二次世界大战结束后的20世纪50年代，发生了第三次工业革命，其技术代表是核技术、计算机、电子信息技术的广泛运用。21世纪以来，世界正在发生又一次新工业革命（也有人称之为“第三次工业革命”，而将上述第二、第三次工业革命归之为第二次工业革命），其技术代表是新能源和互联网的广泛运用。也有人提出，世界正在发生的新工业革命将以制造业的智能化尤其是机器人和生命科学为代表。

当前，世界又一次处于新兴产业崛起和新技术将发生突破性变革的历史时期，国外称之为“新工业革命”或“第三次工业革命”“第四次工业革命”，而中国称之为“新型工业化”“产业转型升级”或者“发展方式转变”。其基本含义都是：在新的科学发现和技术发明的基础上，一批新兴产业的出现和新技术的广泛运用，根本性地改变着整个社会的面貌，改变着人类的生活方式。正如美国作者彼得·戴曼迪斯和史蒂芬·科特勒所说：“人类正在进入一个急剧的转折期，从现在开始，科学技术将会极大地提高生活在这个星球上的每个男人、女人与儿童的基本生活水平。在一代人的时间里，我们将有能力为普通民众提供各种各样的商品和服务，在过去只能提供给极少数富人享用的那些商品和服务，任何一个需要得到它们、渴望得到它们的人，都将能够享用它们。让每个人都生活在富足当中，这个目标实际上几乎已经触手可及了。”“划时代的技术进步，如计算机系统、网络与传感器、人工智能、机器人技术、生物技术、生物信息学、3D 打印技术、纳米技术、人机对接技术、生物医学工程，使生活于今天的绝大多数人能够体验和享受过去只有富人才有机会拥有的生活。”<sup>①</sup>

在世界新产业革命的大背景下，中国也正处于产业发展演化过程中的转折和突变时期。反过来说，必须进行产业转型或“新产业革命”才能适应新的形势和环境，实现绿色化、精致化、高端化、信息化和服务化的产业转型升级任务。这不仅需要大力培育和发展新兴产业，更要实现高新技术在包括传统产业在内的各类产业中的普遍运用。

我们也要清醒地认识到，20 世纪 80 年代以来，中国经济取得了令世界震惊的巨大成就，但是并没有改变仍然属于发展中国家的现实。发展新兴产业和实现产业技术的更大提升并非轻而易举的事情，不可能一蹴而就，而必须拥有长期艰苦努力的决心和意志。中国社会科学院工业经济研究所的一项研究表明：中国工业的主体部分仍处于国际竞争力较弱的水平。这项研究把中国工业制成品按技术含量低、中、高的次序排列，发现国际竞争力大致呈 U 形分布，即两头相对较高，而在统计上分类为“中技术”的行业，例如化工、材料、机械、电子、精密仪器、交通设备等，国际竞争力显著较低，而这类产业恰恰是工业的主体和决定工业技术整体素质的关键基础部门。如果这类产业竞争力不

---

<sup>①</sup> 【美】彼得·戴曼迪斯，史蒂芬·科特勒，富足：改变人类未来的 4 大力量，杭州：浙江大学出版社，2014。

强，技术水平较低，那么“低技术”和“高技术”产业就缺乏坚实的基础。即使从发达国家引入高技术产业的某些环节，也是浅层性和“漂浮性”的，难以长久扎根，而且会在技术上长期受制于人。

中国社会科学院工业经济研究所专家的另一项研究还表明：中国工业的大多数行业均没有站上世界产业技术制高点。而且，要达到这样的制高点，中国工业还有很长的路要走。即使是一些国际竞争力较强、性价比较高、市场占有率很大的中国产品，其核心元器件、控制技术、关键材料等均须依赖国外。从总体上看，中国工业品的精致化、尖端化、可靠性、稳定性等技术性能同国际先进水平仍有较大差距。有些工业品在发达国家已属“传统产业”，而对于中国来说还是需要大力发展的“新兴产业”，许多重要产品同先进工业国家还有几十年的技术差距，例如数控机床、高端设备、化工材料、飞机制造、造船等，中国尽管已形成相当大的生产规模，而且时有重大技术进步，但是，离世界的产业技术制高点还有非常大的距离。

产业技术进步不仅仅是科技能力和投入资源的问题，攀登产业技术制高点需要专注、耐心、执着、踏实的工业精神，这样的工业精神不是一朝一夕可以形成的。目前，中国企业普遍缺乏攀登产业技术制高点的耐心和意志，往往是急于“做大”和追求短期利益。许多制造业企业过早走向投资化方向，稍有成就的企业家都转而成为赚快钱的“投资家”，大多进入地产业或将“圈地”作为经营策略，一些企业股票上市后企业家急于兑现股份，无意在实业上长期坚持做到极致。在这样的心态下，中国产业综合素质的提高和形成自主技术创新的能力必然面临很大的障碍。这也正是中国产业综合素质不高的突出表现之一。我们不得不承认，中国大多数地区都还没有形成深厚的现代工业文明的社会文化基础，产业技术的进步缺乏持续的支撑力量和社会环境，中国离发达工业国的标准还有相当大的差距。因此，培育新兴产业、发展先进技术是摆在中国产业界以至整个国家面前的艰巨任务，可以说这是一个世纪性的挑战。如果不能真正夯实实体经济的坚实基础，不能实现新技术的产业化和产业的高技术化，不能让追求技术制高点的实业精神融入产业文化和企业愿景，中国就难以成为真正强大的国家。

实体产业是科技进步的物质实现形式，产业技术和产业组织形态随着科技进步而不断演化。从手工生产，到机械化、自动化，现在正向信息化和智能化方向发展。产业组织形态则在从集中控制、科层分权，向分布式、网络化和去中心化方向发展。产业发展的历史体现为以蒸汽机为标志的第一次工业革命、



以电力和自动化为标志的第二次工业革命，到以计算机和互联网为标志的第三次工业革命，再到以人工智能和生命科学为标志的新工业革命（也有人称之为“第四次工业革命”）的不断演进。产业发展是人类知识进步并成功运用于生产性创造的过程。因此，新兴产业的发展实质上是新的科学发现和技术发明以及新科技知识的学习、传播和广泛普及的过程。了解和学习新兴产业和高新技术的知识，不仅是产业界的事情，而且是整个国家全体人民的事情，因为，新兴产业和新技术正在并将进一步深刻地影响每个人的工作、生活和社会交往。因此，编写和出版一套关于新兴产业和新产业技术的知识性丛书是一件非常有意义的工作。正因为这样，我们的这套丛书被列入了2014年的国家出版工程。

我们希望，这套丛书能够有助于读者了解和关注新兴产业发展和高新产业技术进步的现状和前景。当然，新兴产业是正在成长中的产业，其未来发展的技术路线具有很大的不确定性，关于新兴产业的新技术知识也必然具有不完备性，所以，本套丛书所提供的不可能是成熟的知识体系，而只能是形成中的知识体系，更确切地说是有待进一步检验的知识体系，反映了在新产业和新技术的探索上现阶段所能达到的认识水平。特别是，丛书的作者大多数不是技术专家，而是产业经济的观察者和研究者，他们对于专业技术知识的把握和表述未必严谨和准确。我们希望给读者以一定的启发和激励，无论是“砖”还是“玉”，都可以裨益于广大读者。如果我们所编写的这套丛书能够引起更多年轻人对发展新兴产业和新技术的兴趣，进而立志投身于中国的实业发展和推动产业革命，那更是超出我们期望的幸事了！

金 碚

2014年10月1日

## 前 言

半导体照明亦称固态照明，是指用固态发光器件作为光源的照明，其核心器件包括发光二极管（LED）和有机发光二极管（OLED），具有耗电量少、寿命长、色彩丰富、耐震动、可控性强等特点。半导体照明是继白炽灯、荧光灯之后照明光源的又一次革命。半导体照明技术发展迅速、应用领域广泛、产业带动性强、节能潜力大，被各国公认为最有发展前景的高效照明产业。20世纪90年代以来，半导体照明技术不断突破，应用领域日益扩展。在指示及显示领域的技术基本成熟，并广泛应用；在医疗、农业等特殊领域的技术方兴未艾。近几年，半导体照明产业发展迅速，国外及我国台湾地区在不同领域具有较强优势。随着我国产业结构调整、发展方式转变进程的加快，半导体照明节能产业作为节能减排的重要措施迎来了新的发展机遇期。

LED具有节能、环保、寿命长、体积小等特点，是半导体照明的典型代表，被称为第四代照明光源或绿色光源。近年来，世界上一些经济发达国家围绕LED的研制展开了激烈的技术竞赛。美国从2000年起投资5亿美元实施“国家半导体照明计划”，欧盟也在2000年7月宣布启动类似的“彩虹计划”。我国科技部在“863”计划的支持下，2003年6月份首次提出发展半导体照明计划。

本书定位为技术知识读本，面向的读者是从事LED照明行业的技术人员以及领导和管理阶层人员。全书包括概述和正文九章，概括介绍了人类照明进化历程，LED发展的历史，半导体照明产业结构，国内外及广东的发展状况，技术及产业的趋势及前景。第一章介绍照明的基础知识；第二章介绍户外照明；第三章介绍室内照明；第四章介绍LED背光源的基本知识；第五章介绍LED在农业、医疗等方面的应用；第六章介绍晶片的外延，主要是MOCVD外延；

第七章介绍芯片的制作；第八章介绍 LED 的封装；第九章介绍驱动电源的相关知识和标准。

本书是根据作者多年从事半导体这门学科的教学和科研工作，在大量的理论知识和经验的基础上编写的，其中第一章由梅霆和章勇共同执笔；第二、第三章由梅霆和王金林（广州光为照明科技有限公司）共同执笔；第五章由梅霆执笔；第六章由尹以安执笔；第四、第七、第八章由章勇执笔；第九章由郭志友执笔。华南师范大学光电子材料与技术研究所研究生梁永瑞、胡世雄、李豪凯、杨孝东、章敏杰、王乃印、万磊、杨东、王聪、文洁等参与了插图绘制、书稿编排及校稿工作。

本书在写作上尽量注意原理和技术相结合，理论和实践相结合，并适当插入一些前沿研究案例。希望通过这些内容的介绍，让读者熟悉并理解半导体照明技术的基本内容和关键所在，了解半导体照明领域中一些存在的问题和需要研究的前沿课题。

中国科学院院士刘颂豪先生长期以来一直关注本领域的发展，对参与本书编写的人员给予了鼓励和指导，本书的编写工作得到了广州市科技计划项目“广州市 LED 产业服务平台”（项目编号 2010U1 - D00131）的支持，在此一并表示感谢！

梅霆 章勇 王金林 郭志友 尹以安

## 概 述

半导体照明也称固态照明，是第四代新型的照明光源，具有高效、节能、环保、寿命长、易维护等显著特点，是近年来全球最具发展前景的高新技术领域之一，是人类照明史上继白炽灯、荧光灯之后的又一场照明光源的革命。随着全球能源价格高涨，国务院印发《“十二五”节能环保产业发展规划》，半导体照明产业化及应用工程被圈定为八大重点工程之一，具有节能优势的LED成为大众所看好的明星产业，不断有新的厂商跨足LED产业。就整个产业链而言，具有涉及范围广、多学科、多领域交叉融合的特点。它主要包括五个部分：衬底、外延生长、芯片制造、器件封装、应用产品及服务。另外，围绕这五个中心部分还有原材料、配置套件、制造设备、检测仪器以及具体应用产品等。

### （一）LED 制造技术路径

外延片是LED的核心部分，它决定了LED的波长、亮度、正向电压等主要光电参数。外延片的质量决定了LED产品的性能，其生长是LED产业链中的关键，具有技术难度高、资金投入大、进入壁垒高等特点，是LED产业的核心技术，约占60%的利润，是行业中占比最大的产业。制备晶片外延的技术主要为金属有机物化学气象外延（MOCVD）（MOCVD设备生产企业主要有德国AIXTRON公司和美国VEECO公司，两家公司几乎生产了全球90%以上的产品）。

LED芯片制作是一项非常复杂的系统工程，目的是要保证高载流子注入效率和出光效率。随着MOCVD外延生长技术的发展，GaN基外延片的内量子效率可以达到70%以上，而外量子效率一般在30%左右。提高GaN基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设计与制

备技术。在结构设计上 LED 芯片主要有三种：正装结构、倒装结构、垂直结构。LED 的芯片制备主要有欧姆接触、表面粗化、侧壁出光、倒装焊、激光剥离、AC-LED 器件集成等工艺。目前 LED 芯片制备技术的难点在于降低器件的制造成本、提高器件的电光转换效率和器件的输入功率。为了更快地将 LED 推向普通照明，LED 芯片发展的趋势表现在两个方面：大注入电流技术和大尺寸芯片技术。

LED 封装的任务是将外引线连接到 LED 芯片的电极上，同时保护好 LED 芯片，并且起到提高光萃取效率的作用。经过近 50 年的发展，LED 封装经过了直插式 LED、普通贴片型 LED、普通功率型 LED、大功率 LED 等发展过程。目前，白光 LED 封装技术主要有三种：三基色 LED 混色技术、紫外芯片加红绿蓝荧光粉技术、蓝光芯片加黄色荧光粉技术，其中蓝光芯片加荧光粉技术是目前封装白光 LED 的主流方向。目前制约 LED 封装产业发展的原因，从技术上来说主要包括两个方面：一是关键的封装材料技术；二是大功率 LED 封装的结构与散热问题技术。随着芯片功率的增大，特别是固态照明技术发展的需求，对 LED 封装的光学、热学、电学和机械结构等提出了新的、更高的要求，在以下几个方面还存在技术难点：新型荧光粉的开发、荧光粉的涂覆方式与光色一致性、大电流注入及高效散热结构。随着 LED 日渐向大功率型发展，其封装也呈现出封装集成化、封装材料新型化、封装工艺新型化等发展趋势与特点。LED 封装技术的发展趋势为：集成化封装技术、新的封装材料技术、大面积芯片封装技术、平面模块化封装技术。

## （二）国内外半导体照明技术发展现状

目前各国在开发 LED 技术方面竞争非常激烈。2014 年 3 月 27 日，美国 Cree 公司宣布白光功率型 LED 实验室光效达到 303 lm/W，再度树立 LED 行业里程碑；Cree 公司还宣布推出业界首款 8000lm LMH2 LED 模组，该模组系列实现在同一个光源体系中提供 850 ~ 8000lm 的光输出，为高天花顶应用场所提供高性能、简单易用的解决方案；2013 年 8 月 15 日，德国的欧司朗光电半导体推出 Duris S8，尺寸仅 5.8mm × 5.2mm，在电流为 200 mA 时光通量高达 500 lm，可实现卓越的色彩一致性和高光通量，它主要用在取代型灯泡以及室内照明的 LED 聚光灯中；2013 年 11 月 19 日，欧司朗光电半导体成功推出首款显色指数（CRI）高达 95 且白光色度可调的 LED 产品 OSRAM Ostar Medical，该产品可在 3700 ~ 5000 K 的色温范围内选择 LED 所发射白光的色度，是医疗应用

领域的理想光源；2014年5月26日，韩国的首尔半导体推出能满足所有高亮度、高信赖性、高性价比要求的创新户外照明用LED产品Acrich MJT 5050，Acrich LED采用具有专利的芯片和封装设计，大功率驱动下也能确保较高信赖性，非常适合应用在对高亮度、高信赖性有要求的户外照明上。

我国在LED开发方面也进步显著。2012年3月26日，福建省万邦光电科技有限公司推出在输入电流为20mA、COB封装模式下高达177lm/W的LED光源，该LED光源采用COB封装技术，并使用三安光电股份有限公司制备的高光效芯片以及四川新力光源有限公司制备的高效荧光粉；2013年美国Strategies in Light会议上，晶能光电赵汉明博士报告目前晶能光电45mil的硅基大功率LED芯片发光效率已经提高到130lm/W，产品封装后蓝光功率最高可达615m/W，白光光通量最高可达145lm，而55mil的硅基大功率LED芯片发光效率可达140lm/W；2014年中国台湾国际照明科技展中，晶元光电展出最新的G9豆灯，它是晶电PEC（Pad Extension Chip）覆晶与高压（HV LED）技术相结合的产品，可解决过去狭小空间的散热问题，在光效70lm/W下，达到整灯光通量200lm，CRI为80，晶电采用PEC，具有运用介面热阻低、热传导快速的优势，加上HV LED晶片效率的提升，达到提高光效的同时能解决散热疑虑。

目前国内LED较为成熟的应用领域为建筑景观照明、大屏幕显示、交通信号灯、指示灯、手机及数码相机等用小尺寸背光源、太阳能LED照明、汽车照明、特种照明及军用照明等，其中建筑景观照明是我国LED最大的应用领域。在我国LED的未来市场，应用领域将向中大尺寸LCD背光源、道路照明、室内普通白光照明以及农业生产用人工光源、医疗用光源、LED液晶投影机、DLP背投用LED光源、航空照明光源、博物馆文物展示照明等新兴领域扩展。

### （三）中国内地LED产业现状

中国内地LED产业起步于20世纪70年代，经过40多年的发展，已经形成了外延片生产、芯片制备、封装以及系统应用产品等完整的产业链。同时，我国半导体照明产业分布比较集中，已经初步形成珠江三角洲、长江三角洲、闽三角洲、环渤海湾四大区域，各区域产业链已初步形成，85%以上的LED企业分布在这些地区。其中中游封装厂商数量众多，且主要分布在长江三角洲和珠江三角洲。

近年来，内地半导体照明产业保持了良好的发展势头，外延芯片企业的产能有了一定的提升，封装企业自动化水平提升较快，以道路照明为主的照明应

用与产业有了突破性的发展。在产业规模迅速增长的同时，产业结构也有了较大的提升，龙头企业的带动作用继续扩大，产业集中度有所提升。

2013年，我国半导体照明产业整体规模达到了2576亿元，较2012年的1920亿元增长34%，成为2010年以后国内半导体照明产业发展速度较快的年份。其中上游外延芯片规模达到105亿元，中游封装规模达到403亿元，下游应用规模则高达2068亿元。

2013年，我国芯片环节产值达到105亿元，增幅31.5%。其中GaN芯片的产量占比达65%，而以InGaAlP芯片为主的四元系芯片的产量占比为25%，GaAs等其他芯片占比为10%左右。自2009年开始的大规模的MOCVD投资潮在2012年降温后，2013年进入理性增长阶段。截至2013年12月底，国内的MOCVD总数达到1090台左右，较2012年约增加110台，在新增加的MOCVD设备中已有国产MOCVD的身影。区域分布上主要集中在江苏和安徽，占到了我国MOCVD保有量总数的44%。

2013年，我国LED封装厂商崛起，LED封装产业规模达到403亿元，较2012年的320亿元增长了26%。其中SMD产量占总产量的51.9%，成为最主流的封装形式，其次是Lamp，占比为38.4%，而COB占比约为7.7%。2013年封装环节的发展除了表现在产值产量的增长上，还表现在封装技术也逐渐成熟，COB封装、共晶EMC封装、无金线封装等工艺和技术迅速发展，成为继续降低成本和提高可靠性的突破口。另外，在产品规格上，封装企业由以往的向大功率看齐，因应用户需求的导向，转变为加大了中功率器件的比重。

2013年，我国半导体照明应用领域的整体规模达到2068亿元，虽然也受到价格不断降低的影响，但仍然是半导体照明产业链增长最快的环节，整体增长率达到36%。其中通用照明市场在2013年启动迅速，增长率达65%，产值达696亿元，占应用市场的份额也由2012年的28%增加到2013年的34%。2013年由于平板电脑的快速发展，以及LED背光液晶电视的渗透率继续提高，背光应用也保持了较快增长，增长率约35%，产值达到390亿元。此外，LED汽车照明、医疗、农业等新兴照明领域的应用也增长明显，在这些应用的带动下，除通用照明、背光、景观照明、显示屏、信号指示等应用之外的其他新兴应用领域增长幅度超过25%。光通信、可穿戴电子以及在航天航空等领域的应用则成为2013年LED应用的亮点。

2013年，我国半导体照明产业关键技术与国际水平差距进一步缩小，功率型白光LED产业化光效达140 lm/W（2012年为120 lm/W左右）；具有自主知

识产权的功率型硅基 LED 芯片产业化光效达到 130 lm/W；国产 48 片至 56 片的生产型 MOVCD 设备开始投入生产试用；我国已成为全球 LED 封装和应用产品重要的生产和出口基地。

2013 年，我国芯片的国产化率达到 75%，在中小功率应用方面已经具有较强的竞争优势，但是在路灯等大功率照明应用方面还是以进口芯片为主，未来半导体照明仍有巨大的创新空间。此外，玻璃衬底 LED 外延技术、免封装白光芯片技术、软板封装技术（COF）等新技术在不断出现；LED 产品仍未定型，LED 产品规格接口、加速测试等技术正在发展中；随着信息智能化的发展，LED 光通信、可穿戴电子等超越照明的创新应用方向也不断涌现。半导体照明技术作为第三代半导体材料的第一个突破口，将带动第三代半导体材料在节能减排、信息技术和军事国防领域的发展。

#### （四）广东省 LED 产业现状

##### 1. 广东省 LED 产业基本情况

目前，广东省共有 LED 企业 4000 余家，带动相关就业近 300 万人，已构筑起以深圳为龙头，中山、惠州、佛山、江门和东莞为珠三角产业带的 LED 产业集聚区，形成了从衬底材料、外延片、芯片、封装到应用的全产业链。其中，LED 上市公司 25 家，占全国 LED 上市公司总数的 60%，总市值近 1000 亿元。广东省 LED 产业在总体规模、企业数量方面，已成为国内最大和最集中的地区，并具有较强的产业扩张基础。据统计，广东省的 LED 封装产量约占全国的 70%，约占全世界的 50%。

广东 LED 产业的产品分布非常广泛，尤其在中、下游几乎涵盖了目前市场上所有的产品大类。广东省 LED 应用产品企业数量最多，封装企业次之，外延和芯片企业数量最少；在销售额方面最大的也是应用产品，近 50%，封装约 1/3，配套产品近 20%，外延部分相对较少。

通过人才引进、技术合作、参与国家和地方科技计划的实施，广东 LED 企业在功率型封装、全彩显示屏、LED 道路照明应用等领域已处于国内领先水平，产生了江门真明丽、德豪润达，东莞勤上，佛山国星光电，广州鸿利，深圳雷曼、瑞丰光电、洲明科技、联建光电等一批有影响力的企业。

##### 2. 广东省 LED 产业技术状况

###### （1）生产技术。



LED 相关产品的生产由多个环节构成，不同的技术层次使得各环节生产技术的准入门槛不尽相同。在衬底材料、外延及芯片环节上，广东省企业的技术水平还不够高、市场竞争力还比较弱。广东省 LED 普通产品的封装能力很强，但是功率型 LED 产业化封装技术水平和国际先进水平之间还略有差距。但在功率型 LED 系统及应用方面取得了某些突破性进展，其中清华大学和东莞勤上光电股份有限公司共同研发的 LED 路灯达到了国际先进水平。事实上中国内地 LED 产业整体上都存在上游水平相对较低、市场竞争力弱的问题。应当说广东省在 LED 产业的封装和应用层次上具有国内领先的实力和较强的国际影响力。

#### (2) 芯片生长、工艺和封装技术。

作为一个高端技术产业，LED 产业与现代化的工艺装备技术密不可分。目前，国内企业生产 LED 产业上游核心设备的技术能力还不够，如 MOCVD，这些大型高端技术设备主要还是从国外购买，但是我国部分研究所或公司已经致力于 MOCVD 设备的研发，并取得一定的成绩。如广东省工业技术研究院（广州有色金属研究院）已成立 LED 研究院，致力于 LED 产业关键技术的攻关与 MOCVD 设备产业化，广东昭信半导体装备制造有限公司，是专业从事 MOCVD 研发、制造、配套服务的高科技企业。LED 产业中下游关键技术装备的生产同国外相比差距较小，基本上逐步开始有自主产品。应用于封装的点胶机、背胶机、切脚机等全套封装技术装备基本上已经可以国产化，这些配套产品的完善有力地推动了广东省 LED 产业的发展。

#### (3) 新产品开发能力及标准光组件。

广东省 LED 产业在封装和应用领域通过结合市场需求，不断地开发新产品、新技术来提升产业竞争力。许多企业越来越重视通过与研究院所、大专院校的合作提高自己的自主创新能力。其中以广东省半导体照明产业联合创新中心为主导，以广东省科学技术厅、国家半导体工程研发及产业联盟为指导，结合相关企业和单位及广东省高校、科研机构共同研发 LED 照明标准光组件。其主要研究内容为光组件各层级的形态结构、功能特性、标准接口、使用规范、检测方法、相关技术标准、专利以及产品编码体系。

#### (4) 标准化。

作为一个新兴高科技产业，半导体照明和 LED 显示产业正成为照明和显示行业发展的重要推动力，面对无限商机，市场上不断涌现各种 LED 新企业，有些企业资金、研发能力、管理水平明显不足，导致市场上 LED 相关产品良莠不齐，影响了产品的应用与推广。在此背景下，广东省已经启动以 LED 路灯为核