

# 我国半导体照明发展战略研究

刘虹<sup>1</sup>, 陈良惠<sup>2</sup>

(1. 国家发展和改革委员会能源研究所, 北京 100038; 2. 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

**[摘要]** 在详细分析国内外半导体照明产业发展现状和趋势的基础上, 提出了我国发展半导体照明的技术路线, 给出了不同发展情景下, 我国中长期半导体照明节能潜力的预测结果, 并对我国半导体照明发展战略提出了若干政策建议。

**[关键词]** 半导体照明; 发展战略

**[中图分类号]** TN383 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2011)06-0039-05

## 1 前言

半导体照明光源(light emitting diode, LED)是一种半导体材料制成的光电器件, 能将电能转换为光能, 与传统光源相比, 它耗电少、寿命长、色彩丰富、适应性和可控性强。经过 40 多年研发攻关及开发应用, 目前全球性的半导体照明产业已渐形成。由于发展迅速、节能潜力大、应用领域广泛、产业带动性强, 该项技术被认为是极具发展前景的节能环保产业之一。

半导体照明产业链相对较长, 分上、中、下 3 个环节。上游环节的外延生长是半导体照明产业链中技术含量较高、最能体现产品品质的环节; 中游环节的芯片制造属于资金和技术密集型行业; 下游环节的 LED 封装及应用, 技术含量相对较低, 属技术和劳动密集型行业。目前, LED 照明广泛应用于手机背光、显示、信号、建筑景观、指示、特殊照明等领域, 技术已基本成熟。在功能性照明领域的应用才刚刚起步, 处于示范阶段; 在汽车、运输、航天等特殊显示和照明领域, 也将有越来越多的应用, 市场前景非常广阔。

LED 要成为未来新一代主流照明产品, 关键取决于白光 LED 发光效率、成本造价等一系列技术及

经济指标能否取得突破。目前, 实验室白光功率 LED 的发光效率已达到 161 lm/W, 商业性示范产品已实现 100 lm/W, 超过了目前荧光灯系列光源的平均光效, 但市场价格远远高于后者。国内有专家预测: 2020 年以后, 产业及商业化的白光 LED 的发光效率可能会达到 200 lm/W, 技术经济指标也会有所突破。

## 2 国外半导体照明产业发展现状与趋势

目前, 世界各国普遍看好 LED 照明产业, 主要有以下几方面的原因: a. 半导体照明产业是一个多学科技术交融的高科技行业, 包括光学、电学、热学等诸多学科和技术的应用, 在当今技术引领未来的时代, 其巨大的创新空间、技术进步潜力、催生新技术的协同作用倍受世人青睐; b. 半导体照明行业属典型的节能环保行业, LED 照明低污染、高光效、长寿命, 可大大提高能源利用效率和资源利用率水平, 减少污染, 在全球共同应对气候变化国际大环境下, 半导体照明行业必将大有可为; c. 半导体照明行业被视为具有战略性优势的朝阳产业, 随着技术的成熟和成本的下降, 半导体照明在道路、工矿企业、商厦和家庭等巨大的功能性照明应用市场中将逐步商业化, 在汽车、航空、医疗等特殊照明领域也会有更

**[收稿日期]** 2011-04-01

**[基金项目]** 中国工程院重点咨询项目支持

**[作者简介]** 刘虹(1964—), 女, 湖南长沙市人, 副研究员, 主要从事能源效率和能源系统分析方面的研究工作; E-mail: liuhong@eri.org.cn

多运用,未来市场价值和潜力无可估量。

## 2.1 发达国家主导,发展中国家紧跟

鉴于LED产业巨大的经济效益和社会效益,许多发达国家制定了国家级的LED发展计划,投入巨资,加大研究开发力度。目前LED材料、外延及芯片的高端技术拥有国主要是日本、美国、欧盟和韩国,在新产品和新技术领域,它们也具有创新优势,居于产业链高端。随着我国拥有自主核心专利技术的硅衬底发光二极管的产业化,过去由日本Nichia公司垄断蓝宝石衬底和美国CREE公司垄断碳化硅衬底的半导体照明技术格局已被打破,全球形成了以蓝宝石、碳化硅、硅衬底发光的三条LED技术路线。中游的芯片生产由日本Nichia公司,美国Gelcore、Lumileds、CreeLighting公司,德国Osram公司拥有核心技术。其中日本的Nichia在总体技术上具有领先水平;在紫光外延片和芯片生产方面,美国的CreeLighting处于国际领先地位。在下游器件封装和应用方面,各国之间没有明显差距。虽然高端产品市场主要被日本、美国、德国等发达国家占据,但我国大陆和台湾地区则占据了全球的中低端市场,具备了在封装和应用领域形成高端市场的国际竞争优势。

## 2.2 应用领域扩大,产业规模剧增

由于LED的诸多优点,其应用面正在不断扩大,产品类型也日益增多。随着技术的成熟,LED的应用范围已逐步从显示屏、交通信号灯、景观照明扩展到了手机、汽车用灯、液晶显示(liquid crystal display, LCD)背光源等领域。LED进入普通照明领域的关键问题是要在技术上突破“两高两低”,即“提高内量子效率和出光效率;降低光衰(提高寿命)和成本”。目前实验室水平LED的发光效率已达到 $161 \text{ lm/W}^{[1]}$ ,依据LED产业的“Haitz定律”(即每10年价格降为原来的1/10,成本急速下降,而光效提高20倍),功能型半导体发光二极管的发光效率和光通量不断提高的可能性是很大的。由于普通照明市场十分巨大,这将给全球的光源行业带来革命性的影响,并带动LED产业规模迅猛发展。

## 2.3 技术竞争加剧,核心专利垄断

面对LED照明产业的巨大市场,日本的Nichia、Toyoda Gosei,美国的Cree、Lumileds等国际著名半导体照明厂商投入巨资潜心发展。而传统照明工业的三大巨头飞利浦、通用电气、欧司朗也纷纷与半导体公司合作,成立了半导体照明企业,这使得

全球LED照明产业的竞争日益加剧。各主要厂商一边制订产业发展技术路线图,组织强势企业和科研机构进行技术攻关,占领LED技术的制高点,一边利用其已有专利的优势,彼此联合,在世界范围内布置专利网,通过相互交叉授权,抢占国际市场,并在本国政府的支持下加快了LED标准制定的进程,试图将其上升为世界通用标准来控制全球市场。目前,国际上半导体照明专利及标准70%均出自于美国、日本、德国等半导体研发强国,他们基本控制了世界最先进的高亮度LED外延生长和芯片制备技术。不仅如此,这些国家近年来申请的专利又开始渗透到应用领域,专利包括控制、驱动、光学设计等多个方面,有争夺和垄断LED全产业链技术的发展趋势。因此,发展中国家的LED产业未来要向高端发展,面临着专利和标准的极大挑战。

## 2.4 并购重组加速,产业区域转移

从国际上看,随着LED技术发展的步伐加快,LED产业转移出现了新的苗头。发达国家和地区的国际大公司,通过并购、重组等方式,逐步将劳动密集型的产业链中下游环节,比如向中国大陆和马来西亚等发展中国家和地区转移,迅速实现了全球统一市场营销策略下的上、中、下游整合。一方面,国际大公司企图快速形成巨大的生产规模,降低成本,抢占市场份额;另一方面,也同时给发展中国家的LED产业优化升级带来了诸多契机。

# 3 我国半导体照明产业发展现状与趋势

## 3.1 政府大力支持,产业基础形成

我国半导体产业起步于20世纪70年代,经过几十年努力,在LED外延片生产、芯片制备、芯片封装以及产品应用等方面均打下了一定的产业基础。2003年国家科学技术部(以下简称科技部)牵头启动国家半导体照明工程,并在国家科技攻关项目的支持下,展开了一系列的重点课题研究和示范工程。2009年10月底,国家发展和改革委员会(以下简称发改委)联合国家六部委共同下发了《半导体照明节能产业发展意见》,提出了发展我国半导体照明节能产业的指导思想、原则和目标。近几年,在政府的大力支持下,国内LED照明产业发展逐步迈入自主创新、实现跨越式发展的重大历史机遇期,一批成熟技术实现了产业化,初步形成了较为完整的产业链。在LED外延材料、芯片制造、器件封装、荧光粉等方面国内均已产生拥有自主知识产权的单元技

术,实现了自主生产外延片和芯片,并在下游集成应用方面占有一定的国际优势。现阶段,我国从事半导体产业的人数达5万多人,研究机构20多家,企业4000多家,其中上游企业50余家,封装企业1000余家,下游应用企业3000余家<sup>[2]</sup>。

### 3.2 示范应用引领,基地辐射联动

在国家半导体照明工程的推动下,2009年初,为拉动LED市场,降低能源消耗,科技部推出了“十城万盏”半导体照明应用示范工程,在北京、上海、深圳、武汉、南昌等21个城市开展半导体照明应用工程试点工作。我国先后批准成立了上海、大连、南昌、厦门、深圳、扬州、石家庄七个国家半导体照明工程产业化基地,并对七大基地提出了目标规划。而长三角、珠三角、闽三角以及北方地区现已成为我国LED照明产业发展的四大片区。国内85%以上的LED企业分布在四大片区,形成了从上游的外延生长、中游芯片制造到下游封装都应用得比较完整的研发与产业体系<sup>[1]</sup>。

### 3.3 投资规模加大,企业竞争激烈

随着政府的大力推广和全球产业梯次转移,大量的外资和民间资本进入中国LED产业,捕捉LED产业的巨大商机。目前,国内LED及相关产业的企业总数突破3000家,但规模以上的企业很少,约100多家,而且分布不合理,上中游呈现寡头竞争的态势,下游行业竞争激烈。上中游LED外延生长和芯片制造的主要企业有20多家,下游封装企业特点是规模小、数量多,约600多家,年封装能力超过1000亿只,在国际上拥有一定的竞争能力,占据了全球中低端市场较大份额。而且LED封装材料和配件的配套能力很强,绝大部分材料由国内企业提供。在LED应用产品市场,国际上现阶段主要用于背光源、汽车及信息显示,国内目前主要用于信息显示、景观装饰照明、交通信号及部分功能照明等领域。

### 3.4 行业全面发展,生产能力迅猛

目前,我国半导体照明产业已进入加速发展期,成为世界上LED全彩屏、太阳能LED灯、景观照明等应用产品最大的生产和出口国以及国际重要的LED封装基地,新型半导体照明产业基本形成。据统计,2008年我国半导体照明总产值近700亿元,其中芯片产值19亿元,封装产值185亿元,应用产品产值450亿元,年增长率接近50%<sup>[2]</sup>。随着我国大陆地区半导体照明技术日趋成熟和产业规模迅速

扩大,台湾地区和国外企业纷纷向我国大陆转移,现已成为世界上半导体产业发展最快的地区,预计2015年半导体照明总产值可实现5000亿元<sup>[2]</sup>。

### 3.5 技术尚处低端,局部有所突破

近年来,我国LED产品技术创新与应用开发能力逐渐提高,器件可靠性研究位置越来越突出,测试技术与标准也渐成热点。在LED外延材料、芯片制造、器件封装、荧光粉等方面,国内均已显现具有自主知识产权的单元技术,部分核心技术具有自主知识产权。在上中游,我国主攻的LED的核心技术是高亮度LED的外延生长和芯片制造技术,近几年取得了一定的研究成果,但目前国内芯片厂商生产的芯片质量普遍与国外差距很大,尤其是亮度、光效这两个参数差别较大。总体来说,国内高质量的外延片、芯片生产能力很弱,技术水平与国外相比还存在约10年的差距。下游的封装与应用,我国已有多年发展经验,可封装的器件品种比较齐全,在改进封装结构、提高散热性能、提高出光效率、提高抗光衰能力和可靠性等方面取得了很好的成果,国内封装技术与国外的差距不大,约落后2至3年。

## 4 我国发展LED照明节能的战略方针和技术路线

根据发改委、科技部、工业和信息化部、财政部、住房和城乡建设部和国家质量监督检验检疫总局于2009年10月底下发的关于我国《半导体照明节能产业发展意见》<sup>[3]</sup>(以下简称《意见》),我国发展LED照明的指导思想是:全面落实科学发展观,大力实施绿色照明工程,以增强自主创新能力和扩大绿色消费需求为主线、以抢占未来竞争制高点为目标、以市场为导向、以企业为主体、以试点示范工程为依托、以改善制约产业发展环境为手段,形成一批拥有自主知识产权、知名品牌和较强市场竞争力的骨干企业,实现技术上的重点突破和产业上的重点跨越,培育振兴我国半导体照明节能产业,推动节能减排,促进经济平稳较快发展。《意见》确定了我国LED照明产业发展应以坚持扩大内需与长远发展相结合、坚持产业发展与结构优化相结合、坚持技术引领与需求带动相结合、坚持政府引导与市场机制相结合的四项基本原则。

对目前国际上以 $Al_2O_3$ 、SiC和Si衬底材料的3条主流路线,我国在近期内应以紧跟前沿技术为原则,对具有自主知识产权的Si衬底技术路线应给

予重点关注和发展扶持,对基于同质的 GaN 衬底的技术路线、异质的 AlN 衬底的技术路线和 ZnO 代替 ITO 的技术路线,特别是在高电流密度下转换效率下降等这些引起国内外关注的泛半导体照明相关技术和基础性研究问题<sup>[4]</sup>,我国应从“十二五”开始,做中长期规划,适度尝试和创新开展基础研究工作,做好技术储备和技术路线突破工作。

## 5 我国中长期 LED 照明节能潜力预测<sup>[5]</sup>

根据笔者参与中国工程院《我国中长期能源发展(2030—2050年)战略研究》课题研究,结果表明:2005年我国照明用电量约为2870亿度(1度=1kW·h)。参考情景下我国2030年和2050年的照明用电量将分别达到5020亿度和5409亿度。2030年照明电力消费比2005年增长76%,2050年将增加一倍左右。未来我国照明用电的峰值大约出现在2045年,最大用电量不超过6000亿度。这意味着我国到2050年照明需求量增加2倍,但电力需求只须增加1倍,照明电力需求弹性系数保持在0.5左右,节电效益显著。

LED照明技术是未来照明节电领域最具发展潜力的技术,无疑会对我国未来照明市场和照明用电产生重大影响。通过建立国家照明系统预测模型,并设定未来LED照明发展的不同情景,研究比较发现LED适度发展情景和LED快速发展情景相对参考情景。我国2030年的节电潜力分别为937亿度和988亿度;2050年节电潜力分别为1172亿度和1658亿度。考虑到LED高速发展的可能,理想情景下,我国在2020年、2030年、2050年照明用电分别具有1817亿~2287亿度、1937亿~2611亿度和2070亿~2668亿度的节电潜力,如能全部挖掘这部分潜力,那么未来40年我国照明用电绝对总量可维持不变,基本保持在2010年的消费水平,甚至还可以低于2005年我国照明用电量总量的水平。上述节能潜力能否最大限度地挖掘出来,很大程度上取决于我国未来LED照明产业是否快速、稳定、持续健康地发展。

## 6 发展我国 LED 照明节能的政策建议

1) 国家统一规划部署,促进产业健康发展。政府有关职能管理部门应从宏观规划入手,加强对LED照明节能产业发展战略、规划、技术发展路线和产业政策的研究,并组织产业发展政策的落实;要继续把照明节能列入国家中长期节能规划和科技发

展规划,由国家统一对照明技术和产业发展进行战略部署,投入资金力量,加大组织技术攻关和技术推广工作,努力使我国LED照明产业尽早跻身于世界第一军团的地位。在LED照明运用领域,要合理引导和激励,规范市场,积极推进LED照明节能产业健康有序发展。

2) 继续加大LED照明技术创新支持力度。鉴于LED照明一些重要的核心技术和专利控制在国外主要发达国家手中,我国应重点支持具有自主知识产权的核心技术的发展。科技部、国家发改委、工业和信息化部等部门要继续加大科技攻关力度,支持LED照明领域的科学研究和技术应用。有效整合和利用现有科技资源,引进人才,广泛开展国际间的合作与交流,加强国家重点实验室、国家工程实验室、国家工程中心建设,形成对该领域基础科学研究的长效机制,并建立国家级技术成果和利益共享的合作开发和服务体系。

3) 稳步提升LED照明产业发展水平。国家加大对产业投入的同时,应积极引导社会投资,重点支持一些有一定规模和技术实力特别是拥有自主知识产权的企业,通过技术改造扩大生产规模,提升核心竞争力和产业化水平。组织实施LED照明试点示范工程,支持优势企业兼并重组,提高产业集中度和规模化水平,培育形成一批龙头企业和知名品牌,增强产业的国际竞争力。

4) 落实推广激励工作,完善LED照明标准、产品检测和认证体系。要加强LED照明产品相关基础标准、产品标准和测试方法标准的研究,加大检测设备投入,提高国家级检测机构对LED照明产品的检验和测试能力。尽快制定出台重点支持和推广LED照明产品的技术规范,积极参与国际标准制定,组织开展LED照明产品的节能认证工作,制定有关激励政策和措施,对符合标准和认证的产品实施激励和补贴政策,并组织宣传和推广,以便为优化我国照明产品使用结构和扩大应用市场规模、规范技术和产品市场打好坚实的基础。

### 参考文献

- [1] 阮军. 国际半导体照明产业走向及我国的应对策略[J]. 固态照明, 2009(2): 8-12.
- [2] 吴玲. 加快发展我国半导体照明新兴产业——半导体照明产业发展调研报告[C]//中国照明工程年鉴2009. 北京:机械工业出版社, 2010: 7-9.
- [3] 国家质检总局, 国家发展和改革委员会, 财政部, 等. 半导体照明节能产业发展意见[R]. 2009.

[4] 甘子钊. 关于发展“泛”半导体照明技术的几个基础科学问题 [R]. 北京:香山科学会议第 360 次学术讨论会,2009.

[5] 陈良惠,刘 虹. 照明节能分报告[C]//我国中长期能源发展(2030—2050)战略研究节能专题. 北京:中国工程院,2010.

## A long-term strategy study on China's LED lighting development

Liu Hong<sup>1</sup>, Chen Lianghui<sup>2</sup>

- (1. Energy Research Institute of National Development and Planning Commission, Beijing 100038, China;
2. Institute of Semi-conductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

[**Abstract**] On the basis of analyzing the current status and development trends of LED (light emitting diode) lighting industry in both international and domestic markets, the technical road-map for China's LED lighting, as well as the research results of long-term energy saving potential of LED lighting under different development scenarios were presented. In the end, some suggestion and policies of how to facilitate China's LED lighting development were pointed out.

[**Key words**] LED lighting; development strategy