

Development of Semiconductor Lighting Industrial Chain

Zhilie Fang¹, Jianfeng Ke², Junmin Lu²

¹Fudan University, Shanghai

²Zhejiang SETEC Lighting Co., Ltd., Shangyu

Email: zlfang220@yahoo.com.cn

Received: Jun. 27th, 2013; revised: Jul. 20th, 2013; accepted: Jul. 30th, 2013

Copyright © 2013 Zhilie Fang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: We make an overview of development of semiconductor lighting industrial chain. And the characteristic and content of each industrial chain are recounted, and the development direction and scale are discussed.

Keywords: Light Emitting Diode (LED); Semiconductor Lighting; Semiconductor Lighting Industrial Chain

半导体照明产业链的发展

方志烈¹, 柯建锋², 陆军民²

¹复旦大学, 上海

²浙江上光照明有限公司, 上虞

Email: zlfang220@yahoo.com.cn

收稿日期: 2013年6月27日; 修回日期: 2013年7月20日; 录用日期: 2013年7月30日

摘 要: 本文综述了半导体照明产业链的发展, 并叙述了各产业链的特点和内容, 讨论了发展方向和规模。

关键词: 发光二极管(LED); 半导体照明; 半导体照明产业链

1. LED 产业的发展

一九六二年, 在美国通用电气公司工作的 Holonyak 发明了磷砷化镓发光二极管, 并于第二年初在读者文摘杂志上报导称“我们坚信 LED 会发展成实用的白色光源”, 并作了明确的预言: “将来的灯可以是铅笔头大小的一块合金, 实用而不易破碎, 决不会烧毁, 比起今天通用的灯泡来说, 转换效率至少大 10 倍”。在一九六八年美国孟山都公司作为商品推出 LED 以来的三十年中, 发光效率每十年提高十倍, 到上世纪末, 共提高了 1000 倍。Haitz 等人于 1999.10 提出了“另一次半导体革命”。他们撰写的论文, 揭开了半导体照明革命的序幕^[1]。

Holonyak 在 2000 年的美国物理学会会刊 J.P.S 上以“发光二极管是灯的最终形式吗?”为题发表文章,

在做了详细的理论分析后, 得出结论是“原则上发光二极管是灯的最终形式, 实际上也是如此, 它的发展确实能够而且将继续到所有功率和颜色都实现为止, 了解这一点极为重要”。到目前为止各种颜色的高亮度 LED 都已能生产。白光功率 LED 的发光效率到 2010 年又提高了 10 倍。

LED 产业的发展, 可以分成二个阶段, 第一阶段是 1968 年到 1999 年, 第二阶段是 2000 年到 2020 年。我国自一九七二年起步, 外延方面基础薄弱, 封装和应用有一定产量, 但规模偏小, 到 2003 年半导体照明产业发展时, 尚未建成完整的产业链。从 2003 年起, 经过五年努力建立起完整的产业链, 发挥后发优势, 加大外延设备的投入, 扩大封装的规模, 提高封装的自动化程度, 开展应用产品的全面攻关。目前我

国已拥有材料制造的关键设备 MOCVD 1000 台，成为国际上拥有量最多的国家，并有七家单位研制出 MOCVD 样机，应用方面在多种产品如景观照明、显示屏、太阳能 LED 路灯、道路交通信号灯、通用照明光源和灯具等方面达到产量国际第一位。现在世界上有 60%~70% 的半导体照明产品产自我国，只要我们继续努力，我们一定能把这一节能、环保的新兴产业做大、做强。

第一阶段，也可以说是 LED 产业的成长阶段，第一阶段的产品特点是发光效率比较低，其应用范围主要是信号和显示^[2]。

第二阶段是 LED 产业的提高发展阶段，产品特点是效率继续提高，从相当于白炽灯的 15 lm/W 提高到 258 lm/W，超过现有全部电光源。其应用范围向照明领域扩展，直到成为照明领域的主角。从产业规模上看，开拓了更大发展空间，由于技术发展的引领和市场的逐步扩大，产业总规模呈十倍乃至百倍的增长。

2. 产业链结构的发展

在 LED 产业发展的第一阶段，产业链的结构较为简单，就是我们通常所说的 LED 上游、中游、下游产业^[3,4]。

LED 上游产业链主要是指 LED 材料外延和芯片制造。通常我们将这些企业称为芯片厂。

产品见图 1。外延片和 LED 芯片(epitaxy wafer and LED chip)。

LED 中游产业链是指 LED 器件封装产业，企业称封装厂。产品见图 2。LED 器件(LED Device)。

LED 下游产业链是指 LED 显示或信号应用产品的产业。这主要是指 LED 显示屏、LED 信号灯、LED 汽车灯、液晶背光源等。产品见图 3。显示屏、信号灯(display screen, Signal lamp)。

在 LED 产业发展的第二阶段，LED 发光效率继续大幅度提高，应用方面除在原有信号和显示领域进一步发展外，突出的是向照明领域逐步拓展^[5,6]。产品见图 4。半导体照明灯具(semiconductor lighting lamp)。

到 2012 年，LED 器件效率达到 130 lm/W，不仅可以取代白炽灯、卤钨灯，也已可取代荧光灯(包括紧凑型荧光灯)，产业规模大幅度增长。尤其是照明应用

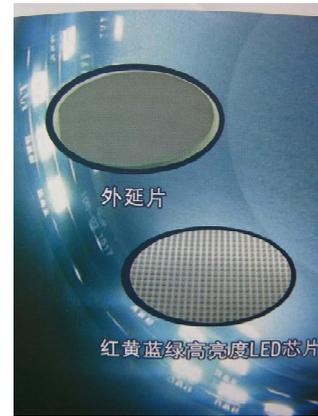


Figure 1. Epitaxy wafer and LED chip
图 1. 外延片和 LED 芯片



Figure 2. LED device
图 2. LED 器件



Figure 3. Display screen, signal lamp
图 3. 显示屏、信号灯



Figure 4. Semiconductor lighting lamp
图 4. 半导体照明灯具

市场开始启动。典型例子是 2010 年日本销售了 2000 万个 LED 球泡灯，2011 年达到 3500 万个。在欧洲 LED 射灯和 PAR 灯市场启动。北美的 LED 筒灯和球泡灯，中国的 LED 路灯市场也相继启动。所以人们称 2010 年是 LED 照明的元年。LED 照明应用将快速发展，在这新形势下，LED 产业链将必须调整为半导体照明产业链。

半导体照明产业链的特点是：

1) 以 LED 照明应用作为主要应用领域。

2) 除制成 LED 光源、LED 灯具应用外，采用现代新技术发展照明服务和系统解决方案，并成为产业链中最大的产业。

3) 由于产业规模扩大，这就要求具有相应规模的生产设备和测试仪器制造产业。

半导体照明产业链的结构发展成一个倒三角形。

从表 1 中我们可以看出下面五个发展趋向。

- 2010 年全产业链是中间大两头小的菱形，极不正常，健康的产业结构应是如 2020 年的倒三角形，一个产业的出口要大。
- 2020 年比之 2010 年，全产业链的总产值将增长 53 倍，增速很快。
- 增加倍数最大的是智能控制 LED 照明工程，大于 700 倍。
- 增加倍数其次的是照明灯具，10 年增长 30 倍。再次的是 LED 封装件，10 年增长 25 倍
- 从 2020 年的产值看，照明灯具系统的产值几乎是 LED 封装器件的四倍。

关于半导体照明产业链发展的几点看法：

1) 在初步建立完整产业链基础上继续发展材料和器件生产，它是产业链的基础，它的率先增长将促进下游产业的持续发展。

2) 在扩大五十多倍产值的前景下，努力研发生产制造和测试设备，尤其是 MOCVD 设备，并大力支持合格产品的优先使用、推广，争取在下一波的大发展中用上自己生产的设备。

3) 在初步解决 LED 光源质量、寿命和市场的情况下，加大照明灯具的研发力度。应当看到将节能光源和优质照明并结合文化艺术这是一个永恒的主题。犹如布料和时装，布料会有淘汰和发展，而时装则是不论什么布料都会与时俱进、长盛不衰，甚至三十年

Table 1. Contrast of semiconductor lighting industrial chain on global markets in 2010 and 2020 (output value Euros)
表 1. 2010 年与 2020 年全球半导体照明产业链对比(产值欧元)

	2010 年	2020 年	2020/2010
智能控制 LED 照明工程	1 B	700 B	700
照明灯具系统	6 B	180 B	30
LED 器件和组件	2 B	50 B	25
设备(制造和测试)	6 B	20 B	3.3
材料(原材料, 外延芯片)	3 B	10 B	3.3
合计	18 B	960 B	53

注：B = 十亿；(EPIC 欧洲光子产业协会提供 T. P. Pearsall)^[7]。

轮流转。提供高品位的 LED 照明灯具，是现在就可以着手做的，LED 的许多优点给照明灯具设计提供了更大的创新空间。

最大的发展应是照明服务和系统解决方案，或称智能照明系统控制工程，现代科技为我们提供了传感器、网络技术、无线通信、以及其他硬件、软件条件，我们可以搭建这一平台。LED 可以调光、调色、与集成电路可以在一个系统中兼容，LED 显示屏技术和景观照明技术的发展已给我们看到了方向和路线，这里还能产生二次节能的效益。几年前说的用手机或电脑可在外开关或调控家中照明的故事，今年在展会已看到实验样机，据说不久就有产品出售。LED 照明的节能、环保和美化生活将在更宽的领域内以更大的规模展开。

3. 待发展产业链的内容

3.1. 制造和测试设备

1) MOCVD 设备目前全国有十七家从事研发工作，已有部分单位有外延初步结果。国际上有二家大的企业。方向是大型化、高效化。

2) 衬底制造设备：蓝宝石长晶设备、碳化硅长晶设备已有较大进展，GaN 长晶设备还需加强。

3) 芯片制造设备：如光刻机、激光划片机、离子束镀膜机、离子刻蚀机、芯片自动检测机等。

4) 器件封装自动化设备：全自动固晶机、全自动焊线机、自动点胶机、自动编带机等。

5) LED 光源、灯具自动化制造设备：自动贴片机、回流焊机、光源或灯具自动化生产线。

6) 测试设备：芯片自动测试仪、光荧光谱测试仪、

载流子浓度测试仪, 载流子浓度纵向分布测试仪、测厚仪、LED 器件光、色、电综合测试仪、LED 加速老化和寿命测试仪、快速分布光度计、结温(和热阻)测试仪、光源和灯具光色电综合测试仪、静电耐受性测试仪、照度分布积分法分布光度计、光、色、电自动分档机等。

3.2. LED 照明灯具

目前的 LED 照明灯具主要是按传统照明灯具的取代灯概念仿制, 如 LED 射灯、LED PAR 灯、LED 筒灯、LED 球泡灯、LED 管灯、LED 吸顶灯、LED 路灯、LED 隧道灯。而具有 LED 特色的如平板灯这一类还不多。此外利用上述光源或灯具进行再设计, 研发出新型、时尚、高照明质量的 LED 照明灯具将是今后百年常新的课题, 考虑到具有较高的附加值和产值较高, 从现在起就要重视起来。

3.3. 智能控制 LED 照明系统工程

以往无论是传统照明或是 LED 照明都是只统计产值到照明灯具。习惯上将照明工程归属于建筑工程。但如将智能控制导入, 不仅使用了许多现代新技术, 而且还有提高照明质量和第二次节能的效果, 所以理应将半导体照明产业链包括这最大、最有发展前途的部分。实际上我们从景观照明的发展壮大成为新兴产业中, 已经这样做了。无论设计、施工、招标, 我们都是按照景观照明工程这一总体来进行的。

照明控制从开关到调光, 从单灯到智能系统, 已经有二十多年历史, 但大都是用于传统灯具的, LED

照明最需要也最适合智能化控制, 而 LED 照明系统的智能化控制才刚刚开始。

半导体照明智能控制技术是传感器技术、控制技术、通信技术和计算机网络技术的结合。它必将向数字化、智能化和网络化发展, 以提供节能的、方便的、舒适的和健康的照明系统。

半导体照明智能控制是指利用人机界面、信号网络控制、供电网络控制、LED 灯具控制来实现智能化的光照明环境。其发展趋势是顶层控制英特网化、供电控制自动化、节能控制交互化以及故障反馈自动化。

现在已有一些公司建成了一批半导体照明智能控制系统工程, 但从产业来说, 还是方兴未艾。在现代科学技术的支撑和创新研发的推动下, 它必将发展成为半导体照明产业链中最大也是最辉煌的一环。

参考文献 (References)

- [1] 方志烈. 发光二极管材料与器件的历史、现状和展望[J]. 物理, 2003, 32(5): 295-301.
- [2] 方志烈. 半导体发光材料和器件[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1992.
- [3] 吴玲. 中国半导体照明产业发展报告(2005)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 吴玲, 傅文彪. 半导体照明[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2006.
- [5] 方志烈. 半导体照明进展[A]. 第十一届全国 LED 产业与技术研讨会论文集[C]. 镇江: 中国光学光电子行业协会光电器件分会, 2008: 7-10.
- [6] 方志烈. 半导体照明技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [7] T. P. Pearsall. 欧洲固态照明产业的发展[J]. 半导体照明, 2011, 11: 68-69.