

各国半导体照明战略布局及其对我国的启示

张 娟

(中国科学院成都文献情报中心,成都 610041)

摘 要: 半导体照明对于解决日益严重的能源危机和环境恶化而言至关重要,多个国家和地区纷纷出台了相关的战略规划和政策措施,以引导半导体照明产业的健康发展。本文回顾了美国、欧盟、日本、韩国、中国台湾等国家和地区近十年来在半导体照明领域的战略规划和行动举措,分析了各个国家和地区半导体照明计划的特点和支持重点,并针对我国的国情提出了相关建议,旨在为我国半导体照明产业的健康发展和跻身世界前列提供决策支持。

关键词: 半导体照明;固态照明;发光二极管;有机发光二极管;战略;建议

中图分类号: TM923; TN312 + .8 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1006-6055.2013.02.038

Foreign Strategy of Semiconductor Lighting and Implication to China

ZHANG Juan

(Chengdu Branch of the National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041)

Abstract: As semiconductor lighting is of great importance to the increasingly severe energy crisis and environment degeneration, a number of countries and areas unveiled a series of strategies and related measures to guide the healthy development of the semiconductor lighting industry. In this paper, the strategic plans, measures and actions relating to semiconductor lighting from USA, EU, Japan, Korea, Taiwan Province, etc in the last decade are reviewed, analyzing the features and supporting emphasis of these plans and programs, then proposing some solutions based on the realities of our country for decision-making support to develop healthily and occupy the leading post for our semiconductor lighting industry.

Key words: semiconductor lighting; solid state lighting; LED; OLED; strategy; proposal

1 引言

近年来,日益严重的全球性能源危机和环境污染迫使各个国家积极寻求新的节能环保技术。在照明领域,具备节能、环保、安全、寿命长、体积小等诸多优点的半导体照明作为新型高效固态光源吸引了各国政府和企业的关注,有望引领新一代的照明革命。

半导体照明属于固态照明的一种,它利用半导体芯片作为发光材料,直接将电能转换为光能,发光二极管(LED)和有机发光二极管(OLED)是半导体照明的核心^[1]。LED是一种固态的半导体器件,通过PN结中电子与空穴的复合将电能转化为光能,产生的光色取决于形成PN结的材料。OLED采用非常薄的有机材料涂层和玻璃基板,发光原理与LED类似。在外界电压的驱动下,由电极注入的电子和空穴在有机材料中复合而释放出能量,并将能量传递给有机发光物质的分子,后者受到激发,从基态跃迁到激发态,当受激分子回到基态时辐射跃迁而产生发光现象。半导体照明是一种高效节能的绿色照明光源,同样亮度下其耗电量仅为普通白炽灯的1/10,荧光灯的1/2,使用寿命却可以延长10至100倍。这对我国尤其具有现实意义。据测算,中国照明用电约占全社会用电量的12%左右^[2],2011年约为5600亿千瓦时^[3],如能节约一半的照明用电就是2800亿千瓦时,相当于三个三峡电站的年发电量。

作为“照亮未来的技术”,半导体照明的发展前景引起发达国家的高度重视,从本世纪初开始,美国、欧盟、日本、韩国等发达国家和地区纷纷启动国家级半导体照明计划,希望抢占新兴产业制高点。例如,日本早在1998年就正式启动“21世纪照明计划”,率先实施半导体照明计划。美国能源部于2002年启动“固态照明研发计划”,欧盟继“彩虹计划”和一

系列OLED研发计划后,于2011年12月公布了新的综合性固态照明战略,韩国投入巨资支持企业开发OLED产业化技术,我国台湾地区制定了“下一代照明光源开发计划”,我国也于2012年7月发布了半导体照明科技发展“十二五”专项规划。各国计划的侧重点虽有不同,但均提出要投入巨额资金、联合官产学研界的主要力量开展半导体照明研发,制定主要技术指标,并推动产业化。这些规划的出台,促进各国不断加大对半导体照明研发的支持力度,推动了半导体照明产业的快速发展。

从全球发展情况来看,半导体照明产业已形成美国、亚洲、欧洲三足鼎立的产业分布与竞争格局。美国、日本、欧洲各主要厂商纷纷扩产,加快抢占市场份额,半导体照明产业发展已呈爆发式增长态势。我国应充分抓住这个机遇,积极进行技术和模式创新,抢占半导体照明产业的制高点,为经济和社会发展做出贡献。

2 各国半导体照明战略与计划概览

2.1 美国的固态照明研发计划

2000年4月,惠普公司和桑迪亚国家实验室的几位专家合著了一篇题为《另一场半导体革命:照明正当时》^[4]的文章,成为引发美国发展半导体照明的导火线。2001年7月,美国能源部启动“下一代照明计划”(NGLI)^[5],旨在研究和开发基于白色发光二极管的先进固态照明技术,使其与白炽灯和荧光灯技术相比,寿命更长、能效更高、成本更低。为此,计划在2003~2011年间,每年提供5000万美元的资金支持相关项目的开展^[6]。

2002年,美国能源部在NGLI计划的大框架下,制定了固态照明研发计划(SSL计划)^[7],旨在联合美国产业界、学术界和国家重点实验室的力量,加速半导体照明技术的发展

和应用,使美国在未来照明光源市场竞争中继续保持全球领先地位。SSL计划是NGLI计划的关键组成部分,重点支持涉及LED和OLED的基础能源科学、核心技术研究、产品开发、制造研发、市场发展支持、标准开发六大类研究课题和SSL合作伙伴关系的建立。

SSL计划分为研发和商业化支持两大环节。研发环节主要包括核心技术研究、产品开发和制造研发。商业化支持环节主要包括示范项目、测试与质量汇报、竞争项目、消费者支持。核心技术研究主要由学术界、国家实验室和科研机构负责开展,侧重于创新性和突破性技术研究及应用研究,涉及发光理论、材料性质、软件工具、热传导原理建模等内容,旨在弥补相关的技术差距,更全面地掌握半导体照明领域的知识。

产品开发主要由产业界承担,他们系统地利用基础或应用研究中获取的知识来开发或改善有着商业化可行性的材料、设备或系统。相关技术活动包括产品理念建模、测试模型开发和现场用原型开发等。技术活动针对的市场应用应具备完整定义的价格、发光效率及其他性能参数。除了技术层面,产品开发还包括市场和财经研究,以确保从产品开发阶段到示范和商业化阶段的成功过渡。

制造研发计划也由产业界主导,旨在通过改善生产设备、过程或监控技术来大幅降低成本,使美国在高能效光源领域更快地确立领先地位。作为该计划的一部分,能源部与产业界合作伙伴共同制定了固态照明制造研发路线图,力求为SSL制造、最佳实践、预期的提升与合作机遇提供指导。

另一方面,为促进高质量的节能SSL产品成功进入通用照明市场,美国能源部还设立了五年SSL商业化支持计划,引导能源部在高性能固态照明产品的市场化领域开展支撑活动。该计划汇集了SSL产业、研究团体、标准制定组织、节能小组、公用事业等重要合作伙伴。其目标包括:引导消费者购买高性能、低能耗的固态照明产品,加快固态照明产品的商用化进程,适度的支持固态照明产品的应用,最大程度的减小照明能源消耗。具体举措包括:研发高效产品和建设实验平台,提高技术及产品信息的透明度,提供具有代表性的产品示范案例,对产品进行独立的性能测试、促进商业投资等。

2012年11月,能源部举行了SSL研发圆桌会议,各界与会专家针对LED/OLED的优先研发领域提供了相应建议^[8]。例如,专家建议应将稳定的白光器件、加工技术研究和光萃取方法作为OLED的核心研究方向,而在OLED的产品开发方面,应以衬底材料、低成本电极、面板光的萃取与使用为重。在此前发布的固态照明研发制造路线图中,已经将开发更好的OLED沉积设备和OLED材料,降低制造成本列为OLED规划的重要内容^[9]。

2.2 欧盟的固态照明战略

欧盟早于2000年7月就推出了旨在推广白光LED应用的彩虹计划,致力于发展氮化镓(GaN)设备和相关的制造设施^[10]。彩虹计划于2003年7月结束,随后欧盟将视线投向被视为下一代光源的OLED,在框架计划的资助下先后启动了“面向ICT和照明应用的有机发光二极管项目”(OL-

LA)^[11]、OLED100.eu项目^[12]、ComboLED^[13]项目和“面向箔应用OLED的智能照明管理”项目(IMOLA)^[14],投入大量的人力和物力研发OLED技术,大幅提高能效,力图为高效OLED在欧洲的推广铺平道路。其中,OLED100.eu项目因证明OLED照明可以大幅提高能效并在宣传OLED照明前景方面做出突出贡献而获得了欧盟委员会最佳能源效率奖(ICT4EE奖)^[15]。ComboLED项目则覆盖从基板提供、设备制造到应用设计和原型实现的整条OLED供应链。IMOLA项目为期三年(2011年10月1日至2014年9月30日),旨在开发内置智能照明管理技术的大面积OLED照明模块,主要用于墙壁、天花板和车顶照明,并能根据周围光线和用户所处环境调节发光强度。

2011年12月15日,欧盟委员会发布《点亮未来:加快创新性照明技术的部署》绿皮书^[16],分析了欧盟推广固态照明面临的关键问题,并针对发展欧洲综合性固态照明产业提出了战略方案。绿皮书指出,低质量的LED产品过多、初期购买成本过高、产品信息缺失、技术淘汰过快、标准缺乏,以及消费者对SSL技术的优势和功能不够了解、对生物安全(蓝光危害)有所顾虑等问题影响了消费者选择SSL产品。其次,欧洲城市在使用更高能效的SSL代替过时的户外照明技术方面,缺乏相应的意识和足够的动力,阻碍了固态照明在城市的推广。此外,私有建筑中应用SSL的主要挑战来自于房东和租客的冲突,房东关心初期投资而租客关心使用费用,这导致初期投资高而运维成本低的高效SSL产品难以推广。

固态照明是欧洲光子学关键使能技术(KET)的一个重要组成部分,KET高级专家小组认为,技术研究、产品开发与演示、世界级的先进制造是促进SSL成功产业化的三大支柱。其他需要解决的关键问题包括:加强SSL价值链的整合、加强SSL产业与扩展产业链上各参与方的合作、考虑欧洲SSL制造业(包括LED与OLED)的未来发展、确保稀缺原材料的供应和SSL产品的生命周期循环。此外,进一步发展欧洲SSL产业,加强其创新能力和全球竞争力还需要重点关注标准化、知识产权与创新、低成本融资渠道和人才培养等领域,并制定相关战略^[17,18]。

2.3 日本的半导体照明计划

1998年,日本经济产业省(METI)和新能源与产业技术综合开发机构(NEDO)联合推出名为“高效率光电转换化合物半导体开发(21世纪光计划)”的半导体照明基础计划,拟在1998-2002年间,投入50亿日元开发白光半导体照明LED及新型半导体材料、衬底、荧光粉和照明灯具等,力求到2005年生产出能够替代白炽灯和荧光灯的第一代普通照明LED光源。该计划由METI出资,NEDO和日本金属材料研发中心共同实施,另有东京大学、九州大学、三重大学等7所大学和住友化学、昭和电工、山田照明等13家企业参与了研发^[19,20]。

2009年,NEDO启动“面向下一代照明的氮化物半导体基础技术开发”项目^[21],致力于开发高效率、高质量的下一代照明基础技术,以及新的纳米电子半导体材料和结构,希望最终开发出发光效率为目前荧光灯2倍、成本更低的下一

代照明技术,实现3202万吨/年的二氧化碳减排。

2010年6月,日本政府正式颁布的《新成长战略》中将包括半导体照明在内的能源环保产业列为未来经济增长的三大支柱之一。并且在同月颁布的《能源基本计划》中,明确提出半导体照明的发展目标,即到2020年,新一代半导体照明产品的市场占有率达到100%,到2030年使用率达到100%。具体步骤为:2011年左右实现测光标准的国际化,以及发光效率2倍以上的新一代半导体照明产品的实用化;至2012年,实现照明产品生产向节能照明的转变;2013年前开始加强基础技术的研发;至2018年全面引入半导体高效照明的普及支持措施;至2020年,实现半导体照明产品100%市场占有率;至2030年,实现半导体照明100%使用率^[22]。

2.4 其他国家和地区的半导体照明规划与政策措施

韩国早于2000年就制定了“氮化镓半导体开发计划”^[23],计划未来8年由政府投入4.72亿美元,企业投入7.36亿美元,致力于研发以氮化镓(GaN)为材料的白光LED,蓝、绿光激光二极管和高功率电子组件高电子迁移率晶体管(HEMT)。2011年6月,韩国政府推出《LED照明2060规划》^[24],制定了未来十年的LED照明普及路线图,设立了到2020年公共事业机构实现100%LED照明、全国LED照明普及率提升至60%的目标。根据普及路线图,韩国政府将阶段性地鼓励和推动符合LED照明技术发展水平产品的问世,同时根据国内LED技术研发以及商用程度实施不同类型的普及项目。为持续开拓LED照明市场,政府将为所有公共事业机构提供大幅补贴,扩大普通民众对LED的需求。韩国将加大对LED核心材料和零部件的研发力度,提升LED照明设备的效率并降低其价格,扩大LED标准以及认证产品的种类,加强LED产品的售后服务管理,并设立以普通群众为主的LED产品论坛。此外,为促进下一代光源OLED照明的产业化,韩国知识经济部与企业合作投资300亿韩元开发OLED产业化技术,着重提升OLED面板生产装备开发及从业者的OLED制造能力,同时将加强OLED照明专业人才的培养^[25]。

英国商业、企业和改革部(DBERR)于2007年7月启动了“用于有效照明解决方案的新型发光二极管”计划(Nov-eLELS),旨在开发新型GaN芯片技术,实现固态LED光源商业化。DBERR为该计划提供了330万英镑的资助,而英国政府及技术战略委员会为其提供的资助超过170万英镑。决策者还希望通过该计划促进先进GaN外延、LED芯片制造、先进荧光粉及有效散热封装的商业化^[26]。

我国台湾地区也推出了“下一代照明光源开发计划”,投资约6~10亿新台币用于研发高亮度的白光LED,实现到2005年投产40lm/WLED的目标。此外,台湾地区还成立了“半导体照明产业推动联盟”,设立了“高亮度白光LED专案计划”,希望通过半导体和照明产业的联合,整合照明节能系统产品与元组件技术,加速高效率LED照明技术的研发和普及应用,提升台湾半导体照明产业的竞争优势^[27]。

3 各国半导体照明计划的特点

1) 资金支持覆盖整条产业链

美、欧、日等国家和地区的半导体照明规划均覆盖了从上游的衬底和外延晶片制备,到中游的芯片制备、切割和测试分选,再到下游的产品封装和集成应用的整条产业链。例如,美国能源部的SSL计划就包含了核心技术研究、产品开发、制造研发和商业化支持,以及与半导体照明相关的基础能源科学研究。其中,技术含量高的上游环节,如衬底和外延片制造工艺的改善,以及涉及LED/OLED技术的基础性研究,如半导体材料的发光机理等,是各国尤为关注的重点。

2) OLED成为新的支持重点

OLED照明是指有机半导体发光材料在电场驱动下产生的发光现象。与LED点光源不同,OLED是分布式平面光源,每个像素均能自行发光,几乎不存在可视角度的问题,其发光柔和的特点尤适用于室内照明。OLED可沉积到玻璃、陶瓷、金属、织物等任何衬底,能制成任意形状和式样,可随意调节光色及其强度。此外,OLED制造工艺较为简单,能实现大规模、大面积、低成本制造,在照明领域有着巨大的发展潜力^[28,29]。因此近年来,各国都加强了对OLED研发的支持力度。例如,美国每年均会针对OLED发布研发制造路线图,欧盟资助了大量的OLED研发项目,日本和韩国的企业也投入了大量的人力和物力开发OLED照明产品。

3) 大力扶持白光LED的发展

半导体照明应用未来最大的市场是通用照明,对通用照明而言,白色光源尤为重要。白光不是单色光,而是由多种单色光合成的复合光。在工艺结构上,通常利用“蓝光技术”与荧光粉配合,或是多种单色光混合的方法合成白光。白光LED被认为是21世纪最具价值的新光源,其能耗仅为白炽灯的1/8、荧光灯的1/2,而寿命可长达10万小时。此外,白光LED无汞化、易回收、有益于环境保护,可以实现真正的“绿色照明”。因此,各国政府均大力扶持白光LED的发展,积极抢占产业制高点。

4) 重视新一代半导体材料的研发

半导体照明产业的核心问题是材料技术的突破。LED发光强度与发光效率的提高主要取决于采用的半导体材料及相关工艺技术的发展。被誉为第三代半导体材料的GaN是一种宽禁带半导体,具备直接带隙宽、原子键合强、热导率高、化学稳定性好、抗辐射能力强等优势,在光电器件、高温大功率器件和高频微波器件应用方面有着广阔的前景,是目前全球半导体研究的热点和前沿。因此,基于GaN材料的半导体照明研发成为各国半导体照明计划的重点支持方向之一。

4 各国半导体照明计划对我国的启示

鉴于发展半导体照明的战略重要性,科技部于2003年联合8部门和15个地方政府全面启动了我国半导体照明工程,并于2009年推出“十城万盏”半导体照明应用示范城市方案。2012年7月3日,为进一步贯彻落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》、《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》和《国家“十二五”科学和技术发展规划》,科技部印发了《半导体照明科技发展

“十二五”专项规划》^[30],明确规定了“十二五”期间半导体照明研发的目标和重点任务。在国家研发投入的持续支持和市场需求的拉动下,我国半导体照明技术创新能力得到了迅速提升,产业链日趋完整,上游技术创新与国际水平差距逐步缩小,下游照明应用有望通过系统集成技术创新实现跨越式发展。然而,要立足于国际市场,抢占半导体照明发展的制胜高地,我国仍需在关键技术研发、政策扶持、软环境建设和人才培养方面做出更多努力,半导体照明领域先进国家和地区的战略布局与行动措施可以给予我们如下启示。

1) 建立协作机制,完善产业链建设

由于半导体照明覆盖物理、化学、材料、电子、制造等多个学科和领域,涉及多个部门,产业链相对较长,尤其需要建立协作机制,对各部门和各领域的工作进行协调。此外,应完善半导体照明产业链的建设,积极开展基础科学研究和前沿技术创新,尤其是在适用于半导体照明的材料的相关机理研究,以及衬底制备和外延芯片生长等核心技术研发方面。突破核心技术受制于人的局面,例如,解决宽禁带衬底上高效率 LED 芯片的若干基础科学问题,突破白光 LED 专利壁垒,实现发光效率的大幅提高。此外,致力于标准开发,使我国自行研发的标准成为国际标准,抢占半导体照明的制胜高地。

2) 重视 OLED 照明,抢占发展机遇

与 LED 相比,OLED 在通用照明领域更具战略意义和应用前景。全球最具权威性的 IT 研究与顾问咨询公司 Gartner 曾将 OLED 列为十大战略技术的第三位。虽然,OLED 目前因为发光效率和生产成本的问题,还无法和 LED 分庭抗礼,但其蕴藏的巨大市场前景已吸引了各国政府和企业的重视。而我国在这方面略显不足,政府的战略规划虽然意识到 OLED 的重要性,但在具体部署方面仍以 LED 为重,开展 OLED 照明技术研发的企业和科研机构仍然相对较少。考虑到目前全球 OLED 照明仍处于起步阶段,我国应抓住这个机遇,从顶层战略部署到具体技术研发和市场推广都给予足够重视,加快 OLED 照明发展,力争成为 OLED 照明强国。

3) 制定相关政策法规,支持半导体照明技术的应用和推广

通过整体的战略规划和具体的项目实施,为半导体照明领域的研发活动、应用示范和市场化推进提供持续稳定的经费支持,确保半导体照明产业的健康和稳定发展。鉴于采用半导体照明需要较高的初期投入成本,政府可以考虑给予使用半导体照明的企业和机构(包括个人)一定的税收减免或经费补贴,同时加大宣传力度,向公众普及与半导体照明有关的常识,促进半导体照明产品的推广和普及,从而带动半导体照明产业的健康发展。

4) 加强人才培养

加强能从事半导体照明基础科学研究和前沿技术研发的高端专业技术人才的培养,以及掌握相关领域基础知识、有助于促进半导体照明产品推广和产业发展的应用型人才。此外,对于紧跟半导体照明领域的发展前沿、抢占发展先机、培养世界一流的领军企业而言,战略分析专家和高端管理人才也是不可或缺的。

5 结束语

鉴于发展半导体照明产业的重大经济意义和社会意义,各个主要国家和地区都竞相出台了半导体照明战略和相关行动方案。美国、欧盟、日本、韩国和中国台湾抢得先机,通过多年的战略规划和政策扶持,它们在基础科学研究、前沿技术创新、应用技术推广和软环境建设方面均走在了世界的前列,全球半导体照明市场已经形成北美、欧洲、东亚三足鼎力的局面。为此,本文回顾了美国、欧盟、日本等半导体照明产业发达的国家和地区近十年来出台的相关战略规划和政策措施,分析了这些战略的特点和重点方向,并针对我国的国情提出了相关建议,以期为起步稍晚的我国半导体照明产业的发展提供决策支持,改变核心技术和核心专利受制于人的技术局面,实现后发制人,在全球半导体照明市场占得一席之地。

参考文献

- [1] 国家半导体照明工程研发及产业联盟. 半导体照明产业发展年鉴(2010-2011). 北京:机械工业出版社,2011.
- [2] 国家发展改革委. 中国逐步淘汰白炽灯路线图[EB/OL]. 2011-11. http://www.gov.cn/zwgk/2011-11/14/content_1992476.htm.
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2012 [DB/OL]. 2012. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2012/indexch.htm>.
- [4] HAITZ R, KISH F, TSAO J, et al. Another Semiconductor Revolution: This Time It's Lightning [DB/OL]. 2000-04. <http://lighting.sandia.gov/lightingdocs/HaitzR200003.pdf>.
- [5] Sandia National Laboratory. S.1166 To establish the Next Generation Lighting Initiative at the Department of Energy, and for other purposes [DB/OL]. 2001-07-11. <http://lighting.sandia.gov/lightingdocs/S1166200107.pdf>.
- [6] Sandia National Laboratory. National Initiatives [DB/OL]. <http://lighting.sandia.gov/Xlightinginit.htm>.
- [7] U. S. Department of Energy. Solid-State Lighting [DB/OL]. <http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/>.
- [8] U. S. Department of Energy. Roundtable Discussions on Recommended R&D Tasks for Solid-State Lighting [DB/OL]. 2012-12. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl-roundtable-report_dec12.pdf.
- [9] U. S. Department of Energy. Solid-State Lighting Research and Development; Manufacturing Roadmap. 2012-08. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_manuf-roadmap_august2012.pdf.
- [10] ATV Manufacturer. EU Rainbow Project to promote the growth of LED lighting [EB/OL]. 2012-05-11. <http://www.atv-manufacturer.com/2012/05/eu-rainbow-project-to-promote-the-growth-of-led-lighting/>.
- [11] OLLA project website. High Brightness OLEDs for ICT & Next Generation Lighting Applications [DB/OL]. 2009-03-18. <http://www.olla-project.org/>.
- [12] OLED100 website. Organic LED lighting in European dimensions (OLED100. EU) [DB/OL]. 2008-09-01. http://www.oled100.eu/about_oled100.asp.
- [13] 欧司朗光电半导体公司. 欧盟 ComboLED 研究项目瞄准高性价比

- 比生产技术[EB/OL]. 2008-6-20. http://www.osram-os.com/osram_os/CN/Press/Press_Releases/Organic_LED/CombOLED-EU-research-project-for-OLED-mass-production.html.
- [14] CORDIS. Intelligent light management for OLED on foil applications [DB/OL]. http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_RCN=12186038.
- [15] OLED100 website. Oled100. Eu Wins - Best Ict For Energy Efficiency Project - Award From European Commission[EB/OL]. 2010-03-02. http://www.oled100.eu/pdf/Press_release_OLED100_ICT4EE_Award.pdf.
- [16] European Commission. Lighting the Future: Accelerating the deployment of innovative lighting technologies[DB/OL]. 2011-12-15. http://ec.europa.eu/information_society/digital-agenda/actions/ssl-consultation/docs/com_2011_0889_ssl_green_paper_en.pdf.
- [17] 莫虹频. 欧盟固态照明新战略及其对我国的启示[J]. 节能与环保, 2012, 5: 50-52.
- [18] 莫虹频. 欧盟固态照明新战略及其对我国的启示(下)[J]. 节能与环保, 2012, 6: 46-48.
- [19] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 高効率電光変換化合物半導体開発(21世紀のあかり計画)基本計画[DB/OL]. 1998. <http://www.nedo.go.jp/content/100089818.pdf>.
- [20] 金属系材料研究開発センターニュース. 21世紀のあかり「高効率電光変換化合物半導体の開発」(1998~2002年度)[DB/OL]. http://www.jrcm.or.jp/21clight/b_21clight.htm.
- [21] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発[DB/OL]. 2009. http://www.nedo.go.jp/activities/EF_00210.html.
- [22] 崔成, 牛建国. 日本半导体照明产业发展政策及启示. 中国科技投资, 2011, 3: 39-40.
- [23] 光电行业统计. 韩国 LED 产业发展概况[EB/OL]. 2007-10-26. <http://www.coema.org.cn/sum/led/20071026/171159.html>.
- [24] 中国经济网. 韩国推出 LED 照明 2060 规划 努力打造绿色照明社会[EB/OL]. 2011-06-20. http://intl.ce.cn/specials/zxxx/201106/20/t20110620_22489480.shtml.
- [25] LG 照明. 韩国 300 亿韩元推广 OLED 照明. http://www.lg-lighting.com.cn/info_show.asp?ArticleID=293.
- [26] 黄可, 刘清. 各国半导体照明研究计划及我国的对策[J]. 中国科技论坛, 2008, 6: 136-139.
- [27] 中国半导体照明网. 国外半导体照明产业技术线图 2[DB/OL]. 2007-06-28. <http://www.china-led.net/info/2007628/2007628172400.shtml>.
- [28] 李文连. OLED 显示和固态照明[J]. 光机电信息, 2010, 27(7): 1-12.
- [29] 何豪, 张腊花. OLED 固体照明的明日之星[J]. 科技创新导报, 2012, 20: 29.
- [30] 中国科技部. 半导体照明科技发展“十二五”专项规划[DB/OL]. 2012-07-03. <http://www.most.gov.cn/tztg/201207/W020120711515036409191.pdf>.

(上接第 278 页)

- [3] LÖSCH A, LAMBERT J. E-Reverse Auctions Revisited: An Analysis of Context, Buyer-Supplier Relations and Information Behavior [J]. Journal of Supply Chain Management, 2007, 43(4): 47-63.
- [4] CHARKIAND M H, JOSSERAND E. Online reverse auctions and the dynamics of trust [J]. Journal of management information systems, 2008, 24(4): 175-197.
- [5] TIMOTHY G, MICHAEL J. Enhancing reverse auction use theory: an exploratory study [J]. Supply Chain Management, 2010, 15(1): 21-42.
- [6] ENGELBRECHT-WIGGANS R, HARUVY E, KATOK E. A comparison of buyer-determined and price-based multiattribute mechanisms [J]. Marketing Science, 2007, 26(5): 629-641.
- [7] ARUN K R, MAMATA J, PRATAP K J. Mohapatra. An efficient reverse auction mechanism for limited supplier base [J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2009, 11(2): 1-13.
- [8] RAY A K, JENAMANI M, MOHAPATRA P K J. An Efficient Reverse Auction Mechanism for Limited Supplier Base [J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2011, 10(2): 170-182.
- [9] ADOMAVICIUS G, GUPTA A, SANYAL P. Effect of Information Feedback on the Outcomes and Dynamics of Multisourcing Multiattribute Procurement Auctions [J]. Journal of Management Information Systems, 2012, 28(4): 199-230.
- [10] CHEN K. Procurement strategies and coordination mechanism of the supply chain with one manufacturer and multiple suppliers [J]. International Journal of Production Economics, 2012, 138: 125-135.
- [11] HARTLEY J L, LANE M D, HONG Y. An exploration of the adoption of e-auctions in supply management [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2004, 51(2): 153-160.
- [12] CHE Y. Design competition through multidimensional auctions [J]. RAND Journal of Economics. 1993, 24(4): 668-680.
- [13] 曾宪科. 基于博弈论的多属性拍卖模型与机制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010: 32-33.
- [14] 肯·宾默尔. 博弈论教程[M]. 上海: 格致出版社, 2010: 430-432.

作者简介

陈曲(1987-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 网上拍卖;
田剑(1971-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向: 网上拍卖。

勘误: 本刊 2011 年第 33 卷第 2 期第 328 页“国家自然科学基金(81001582)”误为“国家自然科学基金项目(X9100-0200040502)”, 特此更正(前者为基金批准号, 后者为基金账户号)。