



# 改写半导体照明史的创举

——国家技术发明一等奖硅衬底LED技术研发纪实

本报记者 赖永峰 沈慧 刘兴

一哄而上又遇经济增速下滑——刚刚过去的2015年，曾经风光无限的LED行业一如前两年般惨烈。一年间，LED企业数量减少了20%，大约4000家企业退出市场。

然而，接二连三的“倒闭潮”背后有一匹黑马让人眼前一亮。在南昌，晶能光电（江西）有限公司不仅年销售额一路飘红，而且走出了一条技术新路。



## 反向而行

清楚LED发展历史的人 would 知道，硅衬底LED技术改写了半导体照明历史。“用普通的设备，更低成本的工艺生产LED”，美国麻省理工大学《科技创业》杂志2011年评选的“全球最具创新力企业50强”中，晶能光电凭此与Apple、IBM等公司一同上榜。

“这一技术改变了日本公司垄断蓝宝石衬底和美国公司垄断碳化硅衬底半导体照明技术的局面，形成了蓝宝石、碳化硅、硅基半导体照明技术方案‘三足鼎立’的局面。”国家“863”专家组如是评价。

一个名不见经传的LED企业缘何获此殊荣，引起业界内外的广泛关注。事情还要从蓝光LED芯片的制备讲起。

一般我们所见到的白光LED，由蓝光LED芯片激发黄色荧光材料而来。此前，蓝光LED芯片主要有两种技术路线，一种是蓝宝石衬底，一种是碳化硅衬底。而在硅衬底上制备高光效LED芯片，一直是学界梦寐以求的目标，世界各国研究者历经40余年的钻研，却迟迟没有找到克服关键技术难点的理想解决方法。

“难！”这是LED专家们对在硅衬底上制备蓝光LED芯片的第一反应！难在哪儿？制备LED芯片先要在衬底上长出氮化镓发光薄膜。问题是，因硅和氮化镓材料的热失配和晶格失配，人们长期无法得到高质量的氮化镓发光薄膜。

硅衬底这一技术路线已经被业界宣判“死刑”，但2003年，南昌大学江风益教授领衔的研发团队反向而行，开始研发硅衬底LED技术。江风益团队并非一时头脑发热。选择硅作衬底前，他们已跟踪研究蓝宝石衬底技术长达10年。尽管蓝宝石衬底是目前市场的主流技术路线，但受材

料所限，很难做到8英寸至12英寸等大尺寸外延，且因蓝宝石散热性能差，又难以剥离衬底，故在大功率LED方面具有性能局限性。碳化硅的性能有目共睹，可走的是“贵族路线”，不适宜大规模普及。

“硅作为一种衬底材料，与蓝宝石和碳化硅相比，具有低成本、大尺寸、高质量、可导电等优点，被认为是最具前途的生长氮化镓LED的衬底材料，未来照明市场必将趋向于选择这种性能好、可靠性高且成本低廉的技术路线。”江风益信心满满。

彼时同江风益并肩作战的王敏等人亦看好这条技术路线。“我国是名副其实的LED产品制造大国，国内LED企业均采用的蓝宝石技术路线中布满了LED巨头埋下的专利‘地雷’。过去10年，许多LED企业曾为此吞下苦果。”王敏说。在王敏看来，DVD受制于他国的教训警醒我们，国外LED大厂“放水养鱼”的功夫已炉火纯青，LED专利大战随时有一触即发的可能，“硅衬底技术路线是唯一有可能冲破国外专利封锁的机会”。

矢志不渝。2004年研发团队在国际上率先攻克硅衬底氮化镓基LED材料与器件技术。2005年实验室出样品，2006年创办晶能光电，2007年中试成功，2008年小批量试生产，2009年实现量产。多年艰苦卓绝的攻关研发，晶能光电的硅衬底LED技术日臻成熟。

更重要的是，以此技术为核心，晶能光电已申请（含授权）国际国内专利330多项，在LED外延生长、芯片制造、封装及应用等领域均有布局，成功避开了众多国外LED公司的专利封锁。事实证明，硅衬底LED寿命超过6万小时，性能媲美国际大厂，且成本最低。

“我们的目标是成就世界级半导体照明公司，成为中国人的骄傲！”晶能光电CEO王敏底气十足。

工欲善其事，必先利其器。王敏的底气源自他们掌握的具有自主知识产权的、目前全球领先的硅衬底LED技术——硅衬底高光效GaN基蓝色发光二极管。1月8日，这一技术摘下国家技术发明一等奖的桂冠。



图①晶能光电（江西）有限公司CEO王敏（左）与研发团队在车间工作。

图②晶能光电（江西）有限公司LED芯片自动分选车间。

本报记者 沈慧 撰

## 梦想的力量

沈慧

自主创新之路，从来不是一帆风顺，未知的坎坷常常埋伏其中。支撑晶能光电在荆棘遍布的丛林中“浴血奋战”十余载的，是梦想的力量。这个梦想就是冲破国际LED巨头的专利樊篱，打造属于国人的LED“中国芯”，成为世界一流企业。

为了这个梦想，晶能光电不惜“以卵击石”。进入LED行业起点低、时间短的他们，拒绝了房地产、保健品等赚大钱、赚快钱的诱惑，毅然将研发的重心转移到硅衬底这一曾被国际LED巨头宣判“死刑”的技术路线。客观地说，即使到今天，晶能光电的综合研发能力还与国际先进水平有一定差距。但是，晶能光电在自主创新之路上的进步已经为中国LED行业作出了不可忽视的贡献；以硅衬底LED技术为核心，在外延生长、芯片制造、封装及应用等领域布局300多项专利，这对于LED核心专利极度匮乏的中国来说尤为珍贵。

为了这个梦想，晶能光电“咬住青山不放松”。面对来自国内外的种种质疑，他们顶住压力继续前行；面对巨额的科研投入，资金并不宽裕的他们以稀释股权为代价“一掷千金”；面对需要攻克的一道道技术难题，他们废寝忘食无怨无悔。也因此，一些人戏称晶能光电是“自找苦吃”。但晶能光电人深知，没有这种“鸡蛋碰石头”的勇气，没有这种“倾其所有”的豪迈，没有这种“抛头颅洒热血”的牺牲，技术上的丰收不可能如愿而来。

为了这个梦想，晶能光电“勇于求索”。对一家初创型科技企业而言，技术上的创新是立足之本，但实践证明不是谁拥有技术就一定能够赢得未来，有时候需要与运营模式创新相结合，开拓广阔的市场。为此，他们以技术为内核，向生产服务型公司转型，为客户“私人定制”——承诺为其提供免费LED照明改造工程，节省下的电费按照一定比例共享，借此推广硅衬底大功率LED路灯、隧道灯、景观灯等。这一模式虽不是他们创造，如今却已成为晶能光电拓宽市场的“杀手锏”。

晶能光电的坚守向世界证明，坚持自主创新的“中国智造”同样也能屹立世界之巅。我们期待更多的中国企业像他们那样拥有梦想的力量，以无畏的勇气奋力前行。



## 暖色光照亮出行路

本报记者 刘兴 沈慧

如今，每当夜幕降临，行走在南昌市八一大桥、阳明路、紫阳大道等主要交通干道，可看到一盏盏发出暖色灯光的照明灯。它们中的绝大多数，产自晶能光电孵化出的晶和照明有限公司。

2009年，为快速推广硅衬底LED应用，晶能光电采取向中下游发展的垂直一体化思路，围绕硅衬底LED技术形成以晶能光电、晶瑞光电、中节能晶和照明为上、中、下游主线的硅衬底LED产业链。

“当时，LED节能照明在发达地区已不是新鲜事，但在位于欠发达的中部地区江西省，却处在刚刚起步的阶段，作为江西南昌的本土企业，身边的节能改造都没做好，如何去开展其他地区的节能业务？”说起晶和照明成立初衷，晶能光电CEO助理王琼至今记忆犹新。

2009年，南昌市入选国家“十城万盏”试点城市。“必须打开江西地区的突破口，把节能效果展现给大家！”看到曙光的晶和照明信誓旦旦。于是，有了南昌城市主干道八一大道沿线路灯改造项目。

不改不知道，一改效果让众人大吃一惊：布置12.8米高的双光源双挑臂钢杆路灯，单杆功率420W，较以前的单杆功率1300W下降了近两倍；更换的灯具较以前的高压钠灯节能60%以上，而且各项技术指标有了很大提高。由此，晶和照明业务开拓驶入快车道。

“目前我们已经在南昌市安装了10000多盏大功率LED路灯，还为南昌地铁一号线公共区域照明项目提供了近3万盏LED产品，该项目公共区域全部采取LED照明产品，节能率达60%以上。”王琼说。如今，经过几年的发展，晶和照明已一跃成为江西LED照明行业的领头羊。他们自主研发了大功率LED路灯、隧道灯、投射灯等系列户外LED灯具及各类室内灯具，申请发明、实用新型等各类专利40多项，最新研制出的具有自主知识产权的室外照明产品，LED光效可达每瓦108流明，是目前全球最高光效的LED路灯产品。

“现在，晶和照明生产的LED照明应用产品已经照亮了全国1200公里的道路。下一步，我们的主攻方向是发展和推广LED智慧照明系统，让硅衬底LED的绿色之光洒遍全国各地。”说起未来发展，晶和照明市场营销部经理杨鹏信心十足。



## 跨越鸿沟

看着今天晶能光电硅衬底LED技术的成功，很多人艳羡不已。但鲜有人知的是，彼时他们选择硅衬底技术路线，曾被斥为异想天开。

质疑并非毫无来由。同40多年前曾经研究硅衬底的IBM及马德伯格大学等知名企业和院校相比，这支最初仅有几人的研发团队，无论资金实力还是研发实力都有着巨大悬殊。从选择硅衬底技术路线的那天起，唱衰声便不绝于耳。

回首当年，王敏坦陈那是一段“在黑暗中摸索”的历史。不过，面对冷嘲热讽，他淡然一笑——不反击亦不回避。他说，有质疑很正常，“质疑是另外一种动力，最好的回答是把事情做好，用事实说话”。

于硅衬底LED技术而言，最大的“拦路虎”是硅和氮化镓材料的热失配和晶格失配，如何攻克这一世界级难题？患有严重腰椎间盘突出椎管狭窄症的江风益身先士卒，在实验室准备了一张床，吃睡在那里，每天十几个小时不间断地试验。经过3000多次的尝试，他们终于迎来“雨后彩虹”：在硅上成功生长出氮化镓发光薄膜，达到实用水平。

“下一步，要产业化！新时代，我们没有理由再点洋半导体灯！”初尝成果喜悦的江风益，这样憧憬着未来。

“理想很丰满，现实很骨感”。忆及晶能光电在硅衬底LED产业化路上几次濒临生死边缘的过往，如今发色已渐白的王敏感慨，“当年的选择全凭一腔热血，若早早预料到会有此后的种种，可能会畏惧”。

的确，硅衬底LED技术实验室阶段取得成功，只是万里长征走完了第一步。正如现任晶能光电首席技术官赵汉民所说，研发成功和实现量产是两个完全不同的阶段，在研发阶段，100个样品中有1个合格就算成功了，但实现产业化，你要保证100个都是合格的，这其中要跨越的鸿沟难以想象。

以硅衬底加工为例。“在实验室阶段可行，到试生产阶段却‘失灵’了。”赵汉民告诉记者，实验室阶段，由于产品

数量少，用于硅衬底加工的液体浓度与时间都很容易掌控，而到了试生产阶段，一方面浸泡的硅衬底数量多，另一方面市场上没有与硅衬底相匹配的设备，这就导致产品良率大幅下降。“一开始，良率只有5%，比在实验室的时候糟糕多了，看到结果的那一刻，整个人都傻了。”王敏回忆说。“开弓没有回头箭”，只能买回相近设备，摸索着一点点改造，一改就是一年多。

拿下一场技术攻坚战不难。可制作硅衬底LED芯片有350多道工序，每一道工序都会遇到形形色色的问题。比如，氮化镓发光薄膜厚度虽仅有几微米（头发丝直径约为50至100微米），却由几十层不同结构构成，如何保证每一层完好？如何提升硅衬底LED芯片的光效？如何减少位错保证出光率？……层出不穷的技术难题挡在晶能光电人面前。

这时，有人说，“硅衬底LED技术成功无望”；更有甚者，断言“晶能光电是一个‘烫手山芋’，给它投的钱将会打水漂”。不过，“自始至终我们都憋着一口气，立志要争口气，把硅衬底技术做好。”和晶能光电一起成长的青年工程师封波深有感触地说。

没有可供参考的相关文献，没有可以借鉴的经验，每走一步都要“摸着石头过河”，每年因试错交出的“学费”高达几十万元，最困难时公司背负3亿多元的贷款，但公司高管带头拿低工资也保证每年研发投入都在8000万元左右……晶能光电咬牙坚持。

艰难困苦，玉汝于成。2009年实现硅衬底小功率LED芯片量产，2012年6月实现大功率LED芯片规模化量产。硅衬底LED技术征途上，晶能光电走在了前面。

随着硅衬底蓝光和白光LED产品和工艺的成熟，晶能光电又开始酝酿新的计划，“开发硅衬底紫光LED技术，以及基于硅衬底氮化镓基的功率型器件等新技术”。



## 逆流勇进

在与硅衬底LED技术平行的另一条时间轴线上，其产业化之路也愈走愈顺：2012年全行业企业设备开机率不足60%，晶能光电满产满销，首次实现盈亏平衡；2013年销售收入3300万美元；2014年销售收入6099万美元。

LED寒冬中逆流勇进，晶能光电的秘密武器是其领先的硅衬底LED技术——

从器件角度看，硅衬底散热性能好、通过剥离消除应力，产品抗静电性能好、寿命长、可承受的电流密度高，更适用于大功率LED照明；

从衬底剥离方式角度看，在制备薄膜型芯片时，硅衬底成本远低于蓝宝石衬底，由于采用化学腐蚀的方法剥离，在效率和良率上，都高于采用激光剥离的蓝宝石衬底产品，从而得到高质量、低成本的垂直结构芯片；

从大规模生产的角度看，未来技术进步可以很好地将硅衬底大尺寸的优势和集成电路行业成熟的自动化设备及产线结合，大大提升现有LED行业的产业成熟度，可快速形成规模化效应，使LED照明综合成本进一步大幅下降；

从产品特点角度看，采用单面出光的垂直结构芯片结合白光芯片工艺，可以获得方向性好、品质好的芯片，也让硅衬底LED在小角度射灯、汽车照明、手机闪光灯等高品质和方向性照明领域的应用更具优势。这具体意味着什么？王敏举例，车