

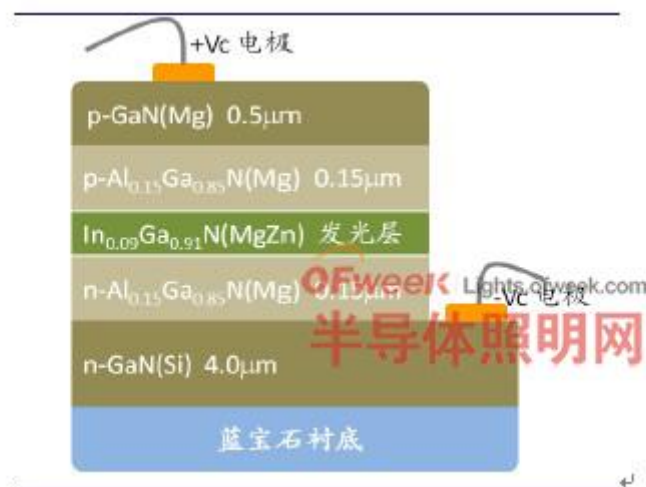
OFweek: 2011 年 LED 衬底行业深度分析报告

未来产能扩张迅猛，价格必然下降

1、LED 芯片构成和所用原材料

一块完整的 LED 芯片大致由衬底、外延层、金属电极引脚和封装外壳四个主要部分构成。其中，衬底和外延层是整个 LED 芯片的最为重要的两个部分，是 LED 发光本质所在。

蓝宝石衬底的 LED 芯片结构图



LED 芯片的衬底是外延层半导体材料生长的基底，在 LED 芯片中起到了承载和固定的作用。对于一种特定的外延层半导体发光材料来说，选用合适的衬底材料是制作 LED 芯片首先需要考虑解决的问题。

LED 衬底材料的选择，必须要考虑到与外延层半导体发光材料在晶格结构、热膨胀系数和化学稳定性方面的匹配程度，以及其自身的可加工性、散热性能和成本控制等问题。

LED 衬底备选材料的要求

衬底材料条件		具体要求内容
与外延层材料的匹配	晶体结构	与外延层材料的晶体结构要相同或相近、二者之间的晶格常数的适配度要小，这样可以最大限度地降低衬底与外延层接触表面的缺陷。（外延层中的缺陷对于发光有不利影响）
	热膨胀系数	与外延层材料的热膨胀系数应相近，否则会在 LED 器件的工作过程中，由于发热而造成器件的变形损坏。
	化学稳定性	具备良好的化学稳定性，在外延生长的氛围中不易被分解腐蚀。
材料本身特性	可加工性	能够比较容易被蚀刻和切割，可加工性较好。
	散热性能	散热效果好，适用于高功率的 LED 发光。
	成本控制	衬底材料制备工艺简单，成本可控。衬底尺寸一般不小于 2 英寸。

LED 的外延片生长主要有 LPE（液相外延）、VPE（气相外延）和 MOCVD（有机金属气相外延）技术，前两者主要用来生产传统 LED，后者用于生产高亮度 LED。随着高亮度 LED 越来越成为 LED 的主流，目前新购置的外延片生长设备均是 MOCVD。

LED 主要外延片生长技术

技术	特色	优点	缺点	主要应用
LPE 液相外延	以熔融态的液体材料直接和基板接触而沉积晶膜	操作简单 晶膜生长速度快 具量产能力	晶膜厚度控制差 晶膜平整度差	传统 LED
VPE 气相外延	以气体或电浆材料传输至基板促使晶格表面粒子凝结	晶膜生长速度快 量产能力尚可	晶膜厚度及平整度控制不易	传统 LED
MOCVD 有机金属气相外延	将有机金属以气体形式扩散至基板促使晶格表面粒子凝结	晶膜纯度佳 晶膜厚度控制佳 晶膜平整度佳	成本较高 良品率低	高亮度 LED

衬底材料的选取应首先考虑到与外延层的匹配性条件，在此前提下，尽可能地满足对材料本身特性的要求，已经发展出的作为 LED 衬底的可选材料主要包括：蓝宝石（Al₂O₃）、SiC、GaN、Si 和 ZnO 等材料。

不同的基板材料，和不同的发光层材料，对应不同的波长，也对应不同的颜色。由于蓝绿光和白光是未来的发展方向，也是现在的主流产品，蓝宝石作为基板目前使用最多，蓝宝石衬底的市场占有率高达 92%。

LED 衬底材料、外延发光层材料配对分析

基板材料	发光层材料	外延片技术	发光颜色	波长(nm)	光强(mcd)
GaP 磷化镓	GaP: Zn, O	LPE	红光	700	40
	GaP: N	LPE	黄绿光	565	200
GaP 磷化镓	GaAsP	VPE+扩散	红光	650	100
	GaAsP	VPE+扩散	橙光	650	300
	GaAsP	VPE+扩散	黄光	585	200
GaAs 砷化镓	AlGaAs	LPE	红光	665	500
GaAs 砷化镓	InGaAlP	MOCVD	红光	635	6000
	InGaAlP	MOCVD	红橙光	620	7000
	InGaAlP	MOCVD	黄光	590	8000
Sapphire 蓝宝石	GaN	MOCVD	黄绿光	520	6000
	GaN	MOCVD	蓝光	465	2500
	GaN+荧光粉	MOCVD	白光		30lm/W

2、LED 产品产业链介绍

LED 产品的生产流程可以划分为衬底制造、外延片制作、芯片生产、芯片封装和 LED 产品生产五个阶段。国际上 LED 产品的生产已经形成了一条完整的产业链，整个 LED 的产业链依照产品的生产流程可以划分为上、中、下游三个环节。

LED 产业链结构图



衬底是 LED 芯片的承载部分，为了有效的对 LED 芯片进行支撑，衬底通常都必须具备一定的机械强度、与外延部分相匹配的热膨胀系数。良好的导电、导热性能对于衬底来说也十分有利。外延片制作是 LED 芯片制造的核心部分，因为 LED 的发光部位 PN 结就在这个步骤中形成，因此对于掺杂的控制至关重要。

LED 的产业环节具体内容

产业链环节		流程具体内容
上游	衬底制造	利用晶体生长方法制造 LED 衬底材料。
	外延片制作	利用金属有机物化学气相沉积方法(MOCVD)在衬底表面生长由半导体发光材料构成的外延层，形成外延片。
中游	芯片生产	在外延层的 p-n 结上制作金属电极，并通过蚀刻和切磨等工艺流程的加工，可以制造出单颗的 LED 芯片。
下游	芯片封装	利用环氧树脂材料(Epoxy)对芯片进行封装，引出引脚，制作出各种功能化模块元件，如数码管、光源点阵等。
	产品生产	进行 LED 应用性产品的研发和生产，对功能化模块元件进行组装，生产出照明光源、显示屏、背光源等 LED 产品。

LED 产业链上下游各个环节的毛利率情况差异很大。在整个产业链结构中，上中游环节的外延片、芯片产品的质量好坏直接影响到了下游 LED 应用产品的工作性能，同时上中游产品的技术难度也是整个产业链中最高的。这意味着在上中游环节，外延片和芯片的制造属于资本密集和技术密集型产业，其进入门槛和产品的技术附加值都很高，因此产品的毛利率也相对可观。据统计，上中游产业的利润约占整个产业链环节的 70%；相对而言，在下游的芯片封装和应用产品生产环节，由于缺乏核心技术，产业的进入门槛较低，对资金和技术的需求度也不高。因此，整个下游产业内企业竞争激烈，且规模普遍不大，盈利能力也较低，下游环节约占产业链 30%左右的利润。

蓝宝石衬底 LED 芯片成本构成（单位：%）



3、四元系红黄光 LED 衬底市场状况分析

(1) GaAs 晶体的不可替代性

优异的性能匹配是 GaAs 做为红黄光 LED 衬底固定选择的主要原因。AlGaInP 是 AlP、GaP、InP 三种 III-IV 族化合物共同组成的四元化合物，其比例通常为 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 。

从晶格结构上看，AlP、GaP、InP 与 GaAs 均为闪锌矿结构，而它们的晶格常数差距在 4% 之内，匹配相当良好。另外，GaP 与 AlP 的晶格常数无论在常温还是高温下都几乎完全相等。因此，四元化合物中 Al 与 Ga 的比例，即 x 的数值，基本与晶格常数的变化无关。而为了能让 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 化合物与 GaAs 的晶格常数完全相等，一般将 In 在三价元素中的占比，即 y 的数值定位 0.5。这样， $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 的晶格常数在常温与常温情况下便与 GaAs 完全相等。

GaAs 与 InP、GaP、AlP 的晶格匹配

成分	晶格常数 (300K)	晶格常数(975K)
GaAs	56.533 nm	56.795 nm
InP	58.686 nm	58.874 nm
GaP	54.512 nm	54.729 nm
AlP	54.511 nm	54.677 nm

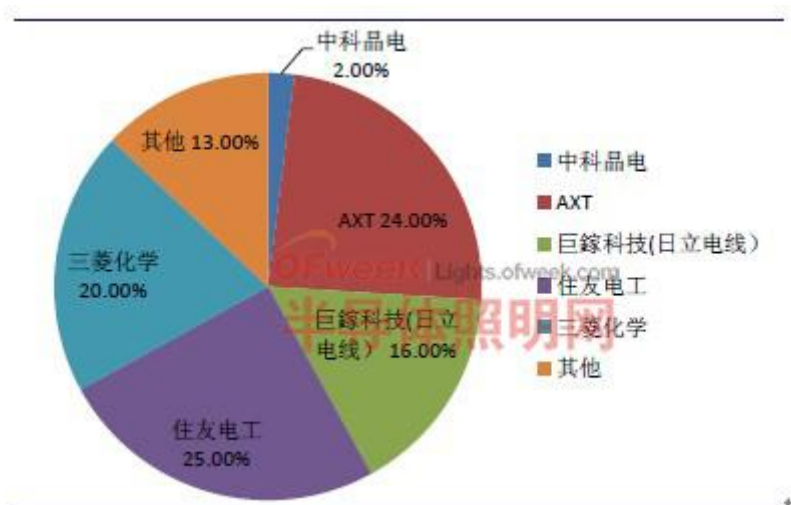
GaAs 的化学性质十分稳定，无论常温和或高温下都不会与四元系外延层发生化学反应，其导电性、导热性均良好。另一方面，GaAs 本身也是十分重要的半导体材料，在微波集成电路、红外线发光二极管、雷射二极管和太阳电池等诸多方面都有广泛应用，其商业化生产早已大规模进行，在制造成本和制造尺寸方面优势都很明显。所以，GaAs 做为四元系红黄光 LED 的衬底材料选择优势十分明显且独特。

(2) GaAs 衬底制造的竞争格局

GaAs 晶片分半绝缘和低阻两种。前者主要用于微波器件和集成电路制造，而后者主要用于 LED 衬底。目前，低阻 GaAs 衬底的制造依然以日系厂商为主，日立电线、三菱化学和住友电工三家厂商的市占率合计在 60% 以上。这与日系 GaAs 晶片厂商在日本、台湾、韩国等地市场的强势地位是有直接关系的。此外，美国厂商 AXT 凭借着超越同行的 VPE 拉晶技术，在欧美市场具有强大的竞争实力。

国内老牌 GaAs 制造商中科镓英、美西半导体和美国厂商微晶联合成立的中科晶电，近两年来在低阻 GaAs 晶片制造领域取得了巨大的进展。目前这家国内公司凭借着突出的性价比优势，取得了低阻 GaAs 衬底 90% 以上的国内市场占有率，基本占据了国内市场。低阻 GaAs 衬底的国产化完成意味着国内外延片和芯片厂商可以以更低的成本取得衬底，增强了国内红黄光 LED 整条产业链的竞争优势。

2009 年低阻 GaAs 衬底制造厂商的全球市占率分布（单位：%）



4、SiC 衬底市场状况分析

(1) 优势明显但并非完美

除了 Al₂O₃ 衬底外，目前用于 GaN 生长衬底就是 SiC。它有许多突出的优点，如化学稳定性好、导电性能好、导热性能好、不吸收可见光等。由于 SiC 衬底优异的导电性能和导热性能，不需要像 Al₂O₃ 衬底上功率型 GaN LED 器件采用倒装焊技术解决散热问题，而是采用上下电极结构，可以比较好的解决散热问题。同时，由于电流方向为纵向而非横向，SiC 衬底蓝光二极管可以设计面积较大的大功率器件。

虽然 SiC 确实能够获得比蓝宝石衬底更少的位错界面，从而大幅度的改善性能，但是由于异质结的本质特征所限，其在大电流状态下依然无法躲过 droop 效应的限制，即发光效率随电流密度增大而快速降低。持续下降的发光效率意味着 PN 结工作过程中热量散发的强度不断增大，多余的热量加热工作节点，从而降低 LED 工作寿命。

(2) SiC 市场竞争格局状况

在 SiC 衬底市场方面，美国 Cree 公司垄断了优质 SiC 衬底的供应。2007 年起，该公司在市场上供应 2 至 3 英寸基本上无微管的衬底。2008 年其位错为每平方厘米 5 千个。2009 年将提供 6 英寸基本上无微管的衬底。CREE 目前市占率在 85% 左右，产能已提升至为 60 万片/年。其次是德国 SiCrystal 公司和日本新日铁公司。SiCrystal 2008 年可提供基本上无微管的 3 英寸 SiC 衬底，其位错为每平方厘米 2 千个；新日铁目前拥有每平方厘米 1 个微管的 3 英寸 SiC 衬底，其位错为每平方厘米 5 千个至 2 万个，2009 年稍晚些可推出 4 英寸 SiC 衬底。日本东纤-道康宁合资公司位于第三梯队。

国内方面，天科合达蓝光公司于 2008 年 3 季度已经推出了 3 英寸 SiC 衬底产品，但良率一直不尽人意。该公司目前拥有生产炉 36 台，产量约在每年 1 万片左右。目前良率以提升至 55%左右，但与标准量产盈利的 70%良率标准尚有距离。目前该公司产品销售以研发机构为主。

5、蓝宝石衬底市场状况分析

(1) 成熟的工艺和可接受的性能

与红黄光的情况不同，蓝绿光 LED 的发光材料和衬底选择从一开始便显得一波三折。虽然 GaN 从材料性质上已被公认为最具潜力的蓝绿光发光材料，但正是由于无法选出合适的衬底生长 GaN 外延，才使得 90 年代之前几乎所有科学家都将注意力集中于在砷化镓基板上生长 II-VI 族化合物半导体。但是，在 1992 年日本工程师中村修二划时代的利用蓝宝石基板制备了 GaN 外延层并顺利实现蓝光 LED 制作之后，蓝绿光 LED 实现了井喷式的大爆发，蓝宝石衬底也顺理成章的成为蓝绿光 LED 的主流选择。

GaN 蓝绿光 LED 衬底选择之比较

材料	钻石	碳化硅	氮化镓	蓝宝石	硅
导热系数 w/(m*k)	1500	350	120	25	150
热膨胀系数 (ppm)/°C	1.3	5	5.6	7.9	4
晶格常数	0.357	0.3081	0.3189	0.4785/1.299	0.543
晶格匹配度(GaN)	较好	好	最好	一般	差
2"晶圆 价格(元)	3000	4000	6000	150	50
导热性	最好	良好	好	差	好
最大工作温度(°C)	400	80	80	80	80
衬底导电类型	半导体	半导体	半导体	绝缘体	半导体
抗静电能力	好	好	好	一般	好
LED 性能	最好	好	好	一般	差

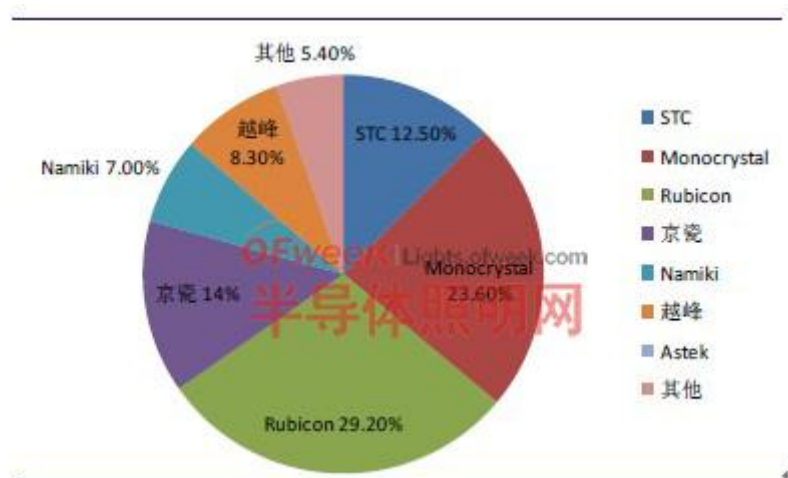
做为目前用于 GaN 生长最常用衬底的蓝宝石 (Al₂O₃)，其决定性的优点在于制造技术成熟，单片成本低，因此当 GaN 外延技术取得突破后便迅速产业化。

(2) LED 蓝宝石衬底厂商的竞争格局

蓝宝石衬底的制作，分为蓝宝石晶棒制作和晶片切片两个步骤。

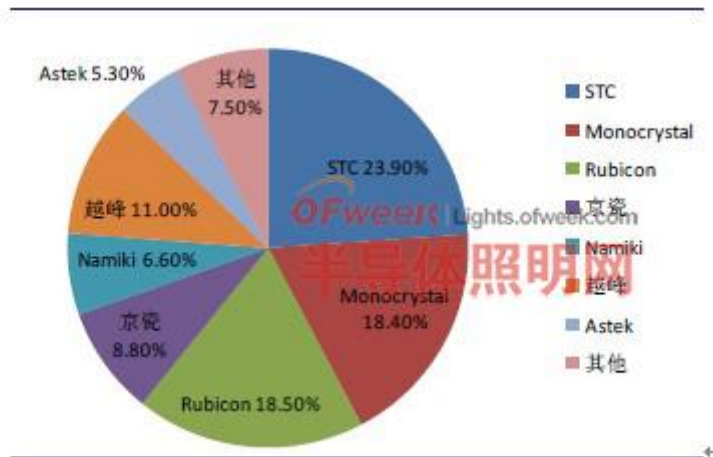
从全球蓝宝石晶棒厂商的月产能来看，传统三强中的美国厂商 Rubicon 从 2009 年至 2010 年上半年已据全球龙头地位。2010 年蓝宝石晶棒的全球产量分析表明，Rubicon 和传统厂商俄商 Monocrystal 依然保持了全球领先的地位，二者市场占有率分别为 29.2% 和 23.6%，合计已占据全球半壁江山，但传统三强中的另一厂商京瓷的市场占有率则快速下滑至 14%。替代京瓷原有亚洲市场份额的，是快速崛起的韩国 STC 和台湾厂商越峰，二者 2010 年全球市占率已经达到 12.5% 和 8.3%，目前利用性价比优势已经基本主导了韩国和台湾市场。实际上，STC 的 2010 年三季度产能已经超过 Rubicon，其中韩国政府的重点扶植是重要原因。

2010 年蓝宝石晶棒生产全球市占率分布状况（单位：%）



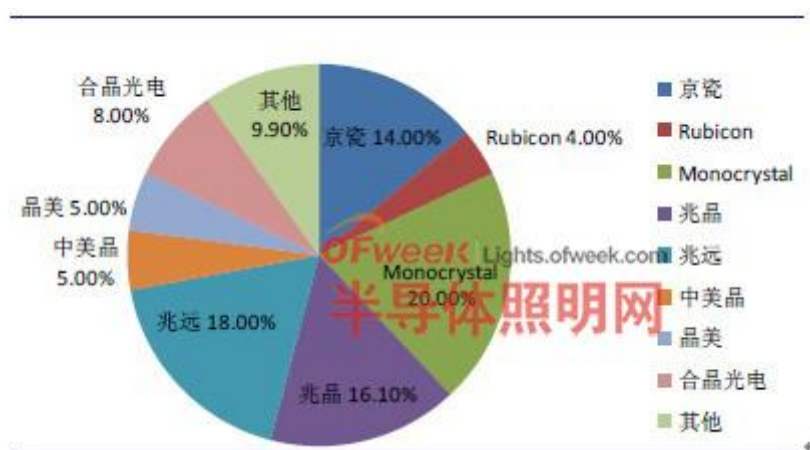
从 2011 年的扩产计划来看，STC 将稳稳跃居全球之首，全球市占率预计可达 23.9%，而 Rubicon 和 Monocrystal 虽然依旧保持前三位路，但市占率预计将下滑至 18.5% 和 18.4%。台湾厂商越峰产能扩张迅速，市占率将跃升至 11% 而一举超越老牌厂商京瓷，而后者则继续滑落至全球第五。从发展趋势上看，新晋厂商 STC 和台湾越峰在未来一段时间成为亚洲市场乃至全球市场的主导者，直至出现性价比竞争能力和产能扩张能力更强的区域厂商出现为止。

2011 年蓝宝石晶棒生产全球市占率分布预测（单位：%）



蓝宝石晶片切片领域，则呈现出与上游晶棒拉制截然不同的竞争格局。上游晶棒拉制的领先企业中，唯老牌厂商京瓷和 Monocrystal 坚持蓝宝石衬底一体化产业链，基本不直接出售晶棒，而 Rubicon 和新兴厂商 STC、越峰等的蓝宝石业务均以出售晶棒为主，较少或完全不涉及下游衬底制造。另一方面，由于目前技术门槛相对较低，成本控制能力要求相对较高，因此给了台湾厂商很好的介入条件。经过两年多的积累，目前台湾已经成为蓝宝石切片领域全球最大的生产基地。

2010 蓝宝石衬底全球市占率分布（单位：%）



2011 年，受下游需求增长的影响，国际市场上各主要衬底厂商都在 2011 年提出了扩充产能的规划，预计今年的蓝宝石衬底产能在去年的基础上将会有比较明显的增长。高工 LED 研究所预计今年全球蓝宝石衬底的产能按 2 英寸计算为 7800 万毫米，按 1 毫米折合 1.2-1.4 片计算，今年全球产能为 9360-10920 万片。

2010-2011 年全球前十大蓝宝石衬底厂商产能情况及预测（单位：万毫米）

企业名称	2010 年产能(万毫米)	2011 年产能(万毫米)
Rubicon	720	1200
韩国 STC	45	1080
Monocrystal	540	960
云南蓝晶	120	600
台湾越峰	120	540
日本京瓷	240	480
Namiki	260	380
韩国 Astek	60	360
Saint-Gobain	96	180
鑫晶钻	60	144
合计产能	2261(全球 3120)	5924(全球 7800)

(3) LED 蓝宝石衬底区域分布状况

蓝宝石是目前运用最广泛、产业化程度最高的 LED 芯片衬底材料。根据 Yole Développement 的数据统计，全球蓝宝石生产商针对 LED 外延工厂的供货量已占到 LED 产品销售总额的 92%以上，并且随着 LED 产业链下游需求的不断扩大，蓝宝石市场呈现出快速发展的趋势。预计未来三年，LED 用蓝宝石市场的年复合增长率将高达 24%左右，到 2013 年形成总额约 3.92 亿美元的市场规模。

2009 年以前，国际市场上蓝宝石衬底的龙头供应商是美国的 Rubicon 和俄罗斯的 Monocrystal 公司，两家企业的蓝宝石产能占据了全球产能的 60%以上。而近两年，全球蓝宝石衬底市场的分布情况发生了较大的变化，具体表现为传统老牌企业的市场占有率下滑，并逐渐被新兴的东亚地区厂商赶超。我们通过对蓝宝石衬底消费市场的统计可以发现，蓝宝石衬底的需求主要集中在东亚地区，2010 年东亚地区企业的蓝宝石消费量占到了全球比重的 87%，巨大的需求带动了东亚地区蓝宝石衬底产能的增长。

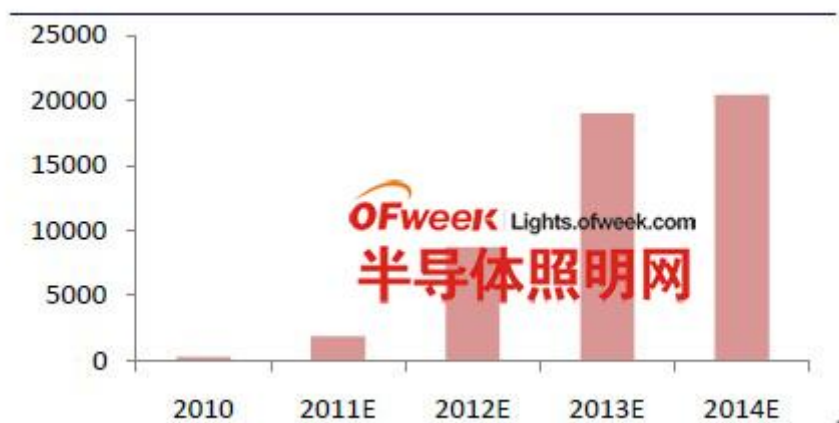
2010 年蓝宝石衬底的消费市场占率分布（单位：%）



(4) 国内蓝宝石企业的投资情况

目前国内最大的蓝宝石基板厂商为云南蓝晶，具有自主知识产权的晶棒生长技术，目前已经达到 20-30 万片/月。其二期工程已于 2010 年 7 月开工，完工后产能将达到 70 万片/月附近。青岛嘉星晶电于 2010 年 4 月开始试产，已开始供应 2 寸与少量 4 寸蓝宝石衬底。但是，受蓝宝石产品价格持续快速上涨的影响，2010 年后国内对于蓝宝石领域的投资明显加重。从已公布的各厂商的投资计划来看，预计今后三年将会是新建厂商投产比较密集的时间段，其中上市公司天通股份引进了日企 4 英寸蓝宝石生长加工技术，生产线投产后将比目前主流的 2 英寸蓝宝石产品更具市场竞争力。同时，保利协鑫、九江赛翡、吉星新材料、云南蓝晶和贵阳工投等企业依据自身雄厚的资金实力，计划最终发展出千万片以上的年产能，有望在产能上超越国际老牌蓝宝石企业。

2010-2013 年国内蓝宝石衬底预计产能情况（单位：万片）



目前涉足蓝宝石基板制造的 A 股上市公司主要是同在浙江的水晶光电和天通股份。天通股份引进第一机电工业等日本厂商技术，投资额约 1 亿元，未来以生产 4 寸基板为主。水晶光电计划于 2011 至 2012 年投资 1.09 亿元，在台州建设年产 360 万片的 2 寸基板生产线。2011 年 9 月 29 日，三安光电公布拟于福建泉州（湖头）光电产业园（简称湖头产业园）

投资 25 亿元从事蓝宝石衬底的研发与制造，项目占地面积约 800 亩，年生产 2 寸衬底 1200 万片。建设周期为 3 年，力争 2 年完成。同时，福建省安溪县人民政府表示，将拨发 3 亿元的产业技术与开发专项基金。

国内蓝宝石企业近期项目投产计划

地区	公司名称	总投资额	计划实现年产能(2英寸)
浙江	水晶光电	1.09 亿元	2012 年: 120 万片 2013 年: 360 万片
浙江	天通股份	3.6 亿元	2013 年: 240 万片
浙江	东晶电子	12 亿元	2013 年: 750 万片
浙江	上城科技	5 亿元	2013 年: 600 万片
浙江	露笑集团	11 亿元	2011 年: 400 万片
山东	青岛嘉星晶电	1.2 亿元	2010 年: 50 万片 2013 年: 180 万片
江苏	吉星新材料	30 亿元	2012 年: 2000 万片
江苏	欧亚蓝宝石光电	5 亿元	2012 年: 120 万片 2014 年: 400 万片
江苏	协鑫光电	30 亿元	2013 年: 3000 万片
江苏	中晶光电	5 亿元	2013 年: 480 万片
江苏	香港青朴国际	32 亿元	2013 年: 1500 万片
江苏	普吉光电	2.5 亿元	2013 年: 200 万片
安徽	康蓝光电	20 亿元	2011 年: 1200 万片
安徽	南京高精传动	50 亿元	2013 年: 500 万片
浙江	晶桥光电	15 亿元	2014 年: 1000 万片

(5) 国内蓝宝石衬底需求分析

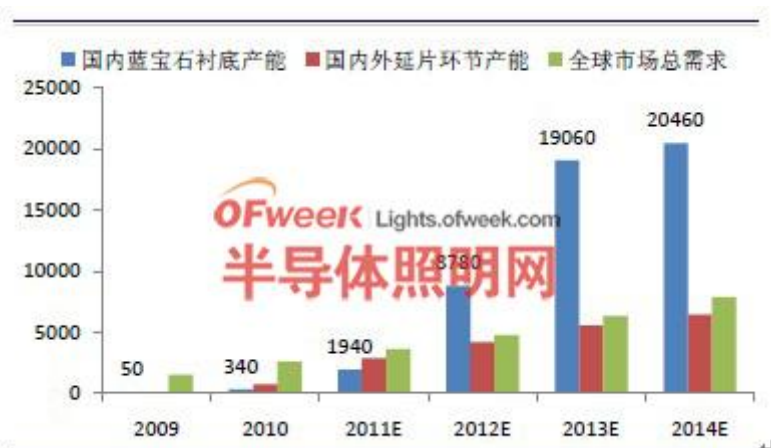
前文已经总结了 LED 产业链各个环节的国内产能以及下游的全球市场需求情况，为方便比较，下面将各环节的产能和市场总需求都统一折算用 2 英寸蓝宝石衬底的片数表示。

从统计结果中我们可以得出以下结论：首先，整个 LED 产业处于快速发展时期，产业链各环节的国内产能和市场总需求都呈现出持续增长；其次我们发现

国内的封装环节已经发展完善，产能继续向上提升将遭遇瓶颈，未来获得产能转移的空间不大；而外延芯片环节经过这两年的爆发性增长已经步入成熟期，目前规模化产能已经初步形成；而相比之下，上游的衬底环节扩展明显，即将迎来一个产能的释放阶段。我们估计，国内 2011 年上游蓝宝石衬底的预期市场缺口将有 930 万片，但在 2012 年之后，产能的迅速扩张将直接导致蓝宝石衬底供过于求的状况，并引起激烈的价格之争，蓝宝石厂商为了争取市场份额而降低价格的压力非常明显。

总的来说，国内的 LED 产业的发展和成熟经历了先封装，后外延，再衬底的阶段。国内 LED 封装企业经过 20 年的发展，占全球产能已经达到 80% 以上，产能转移达到极限；随着国内 LED 外延芯片企业技术的提高，以及政府的大力支持，去年我们外延芯片企业的产能已经有大幅增长，预计今年年底我国将达到全球产能 55% 以上；对比来看去年国内蓝宝石衬底产能仅全球产能 6%，我们认为在国内厂商纷纷扩产的背景下，未来全球衬底环节的产能也将向国内转移，相比较其他环节，上游材料厂商具有较大的成长空间。

2009-2014 国内上游环节产能和全球市场总需求及预测（单位：万片）



(6) 国内蓝宝石衬底发展趋势

国际市场上蓝宝石衬底的需求仍以 2 英寸为主流，台湾厂商的产品基本集中在 2 英寸为主，而日本企业大部分是 3 英寸或 4 英寸生产线，韩国工厂也有相当比例的 4 英寸产品。从技术上看，4 英寸的晶棒生长和加工技术现在已经比较成熟，全球各主要蓝宝石企业在扩充产能的时候大多会选择新建 4 英寸生产线。同时 6 英寸的产品的研发也告成功，相关生产线进入了设计规划阶段。随着技术的成熟化，4 英寸及以上的大尺寸产品由于具有更高的性价比和产能潜力，在未来三年内将逐步占据更多的市场产品份额，同时 2 英寸晶片的需求量有可能快速下降，新建的 2 英寸生产线也将面临竞争力变弱的风险。

2008 年全球蓝宝石衬底年用量仅 200 万片，但 2009 年下半年，蓝宝石的单月用量就已超过了 150 万片，蓝宝石衬底供不应求，使得 2010 年 2 英寸蓝宝

石衬底价格在短短一年之内由年初的 9 美元快速上涨至年底的 35 美元。蓝宝石产品价格的快速上涨促使全球各主要生产商迅速做出反应,大幅度扩充企业产能,同时一些新建蓝宝石企业也纷纷投产,产能的释放有效地缓解了蓝宝石供应紧张的局面,供求趋于平衡。进入 2011 年,蓝宝石衬底的价格水平开始回落,蓝宝石衬底的毛利率也随着下降。未来随着蓝宝石衬底产能大幅扩张,毛利率必然呈下降趋势。