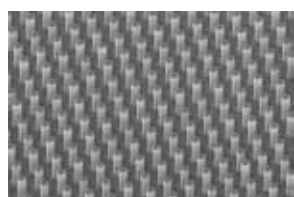


化合物半导体

COMPOUND SEMICONDUCTOR • CHINA

季刊 2013年 第3期

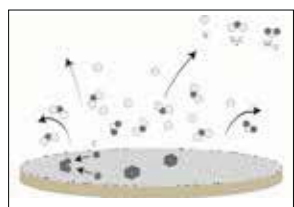
3D LED 更便宜



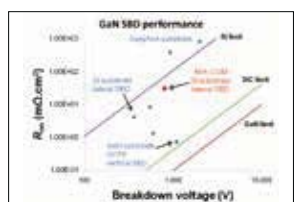
更大尺寸的 AlN 衬底



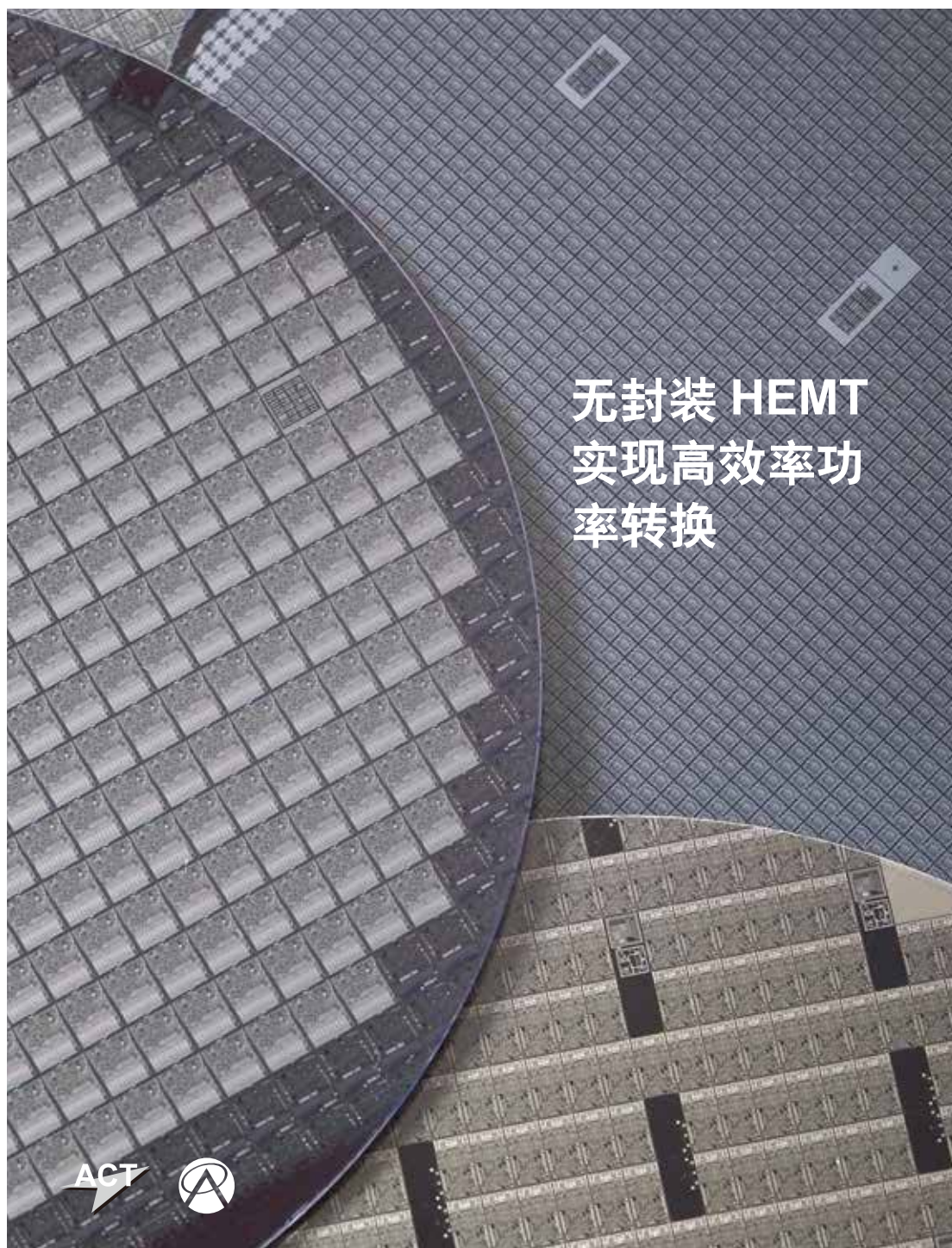
碳化硅上石墨烯



提升硅基 GaN 器件
阻断性能



改进 SiN 沉积设备及其工艺



无封装 HEMT
实现高效率功率转换

ACT



www.compoundsemiconductorchina.net



Book your place at the CS International Conference

NOW

Last chance to
SAVE €100

Early Bird
Offer
Closing

Must end 31st October 2013



Tuesday 18th & Wednesday 19th March 2014

Sheraton Frankfurt Airport Hotel, Germany

Register: www.cs-international.net

Contact:

Stephen Whitehurst

T: +44 (0)24 7671 8970

E: stephen.whitehurst@angelbc.com

CS **INTERNATIONAL**
CONFERENCE

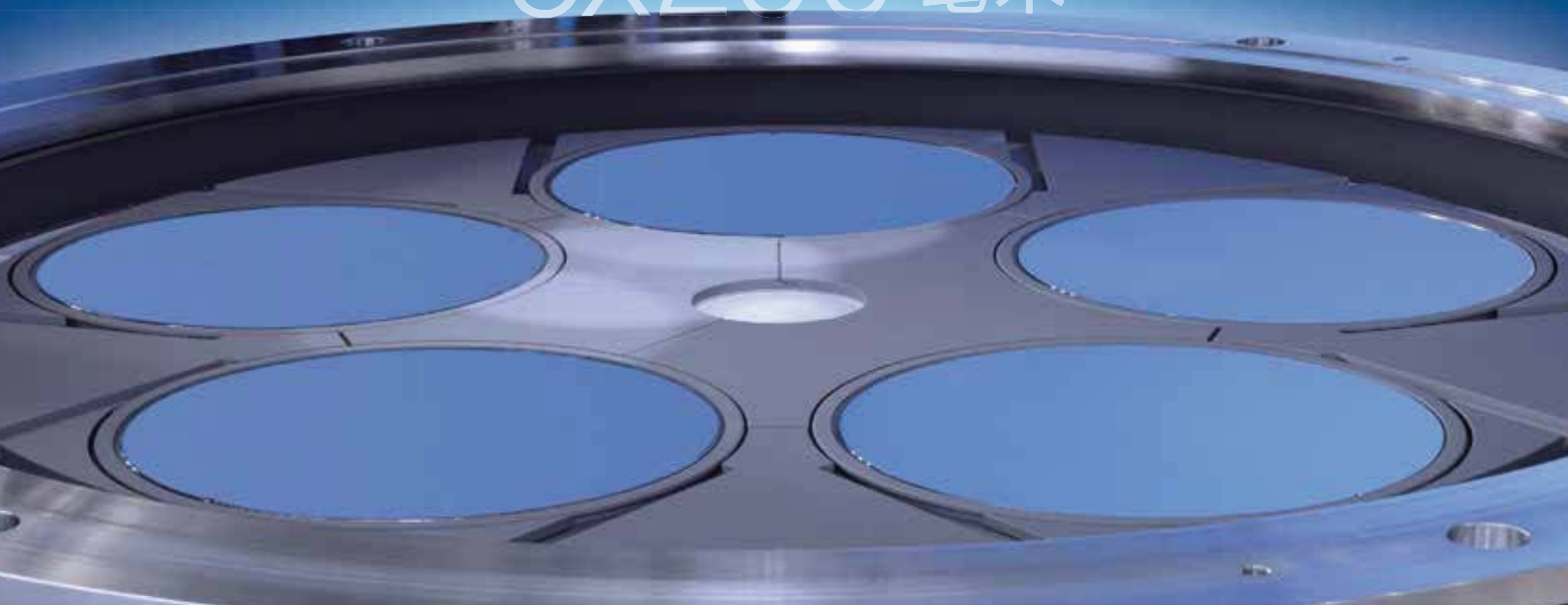
Connecting the leading compound semiconductor industry insiders



AIXTRON

200 毫米批处理式硅基氮化镓反应器

5x200 毫米



AIX G5+



硅基氮化镓设备 AIX G5+

- 硅基氮化镓生长专用设备
- 与 AIX G5 HT 平台兼容
- 实现硅基产品的规模化生产
- 行星转盘式技术：
卓越的对称均匀性，
晶圆弯曲度精准可控，
采用标准的硅基材。

AIXTRON China Ltd.: 艾强（上海）贸易有限公司
chinainfo@aixtron.com · www.aixtron.com

ALWAYS **ONE STEP** AHEAD

4th CS International Conference Keynote Speakers Announced!

7 themes and 30 inspiring presentations*

Gain a comprehensive overview of the entire compound semiconductor industry at the leading international conference.

The 4th CS International conference will be held at the Sheraton Frankfurt Airport Hotel, Germany over two days on Tuesday 18th & Wednesday 19th March 2014.

Delegates will have the unique opportunity to network with the world's top executives in compound semiconductor technology. Hear about the breakthroughs in device technology; insights into the current status and

the evolution of compound semiconductor devices; and details of advances in tools and processes which could help boost fab yields and throughputs.

This event is held once a year and brings together the best in class of the compound semiconductor industry, book your place before the 30th November 2013 and take advantage of our early bird discounted rate.

Chaired by: **Dr Andrew Nelson, IQE**

1. Front Ends for Mobile Devices

Handset front-ends are becoming more complex, due to an ever-increasing number of bands used for mobile communication. Will this trend play into the hands of GaAs chipmakers? Or is silicon CMOS technology going to grab market share?

Keynote presentation: Jeremy Hendy

Envelope Tracking - transforming the performance of CMOS and GaAs PAs



2. Wide Bandgap RF Devices

GaN and SiC have a great set of attributes that make them very promising materials for producing RF devices. But are they now fulfilling their potential and netting substantial sales?

Keynote Presentation: Andrew Barnes

Overview of GaN reliability improvement activities at the European Space Agency



3. LEDs

LEDs are the dominant source for backlighting screens of all size. So, to penetrate new markets and grow revenues, can chipmakers now trim the cost-per-lumen of the LED or equip the device with additional features?

Keynote Presentation: Young Soo Park

Slashing LED costs with 200 mm Silicon substrates



* All speakers and presentations are subject to change.

4. Solar

Triple-junction solar cell efficiencies are increasing steadily. Will this help to spur rapid growth in the concentrating photovoltaic sector, or will it be more valued by those requiring a power source for satellites?

Keynote Presentation: Vijit Sabnis
Setting a new benchmark for space solar cell performance



5. Laser and PICs

Rocketing levels of internet traffic are putting greater and greater strain on optical networks and data centres. Can this be addressed by advancing the performance of conventional lasers, or does the market need to turn to greater use of PICs?

Keynote Presentation: Michael Lebby
OEICs for 100g and beyond datacentre opportunity using indium phosphide



6. Power Electronics

Silicon has dominated the power electronic market, wide bandgap semiconductors will soon replace this material. What's the primary role for SiC, and where will GaN feature?

Keynote Presentation: Ming Su (Ford - Right)
Can GaN or SiC make an impact in electric vehicles?

Keynote Presentation: Mike Briere (International Rectifier - far right)
Revolutionary performance and commercialization of GaN-on-Si based power devices



7. Integration of CMOS and III-Vs

Silicon is running out of steam, and the future is widely tipped to be high-mobility channels made from germanium and III-Vs. But how will these materials be introduced in the world's leading silicon foundries?

Keynote Presentation: Dr Jean Fompeyrine
Wafer bonding for III-V and Germanium CMOS



Book your place **NOW**

Please visit www.cs-international.net for further information

Platinum Sponsors

process systems

EVG®

Knowledge is key

The Business of Science®

Enabling Technology

Gold Sponsors

Exhaust Gas Abatement

Reach Further • Reach Faster™

Delegate Bag Sponsor

Electronic Materials

CS INTERNATIONAL
CONFERENCE

Connecting the leading compound semiconductor industry insiders

液体
流量计

流量范围至
120ml/min
的多功能液
体流量计

- 适用于任何粘
稠度的液体
- 直管径，
无任何移动部件
- 测量颗粒液体的
理想解决方案



SENSIRION

THE SENSOR COMPANY

盛 思 锐

www.sensirion.com.cn

季刊 2013年第3期 2013年8月26日出版
Quarterly 2013 - Issue 3 26 August 2013

Contents

封面故事 Cover Story

- 14 无封装HEMT能实现高效率的功率转换
Delivering efficient power conversion with package-free HEMTs
- 器件的封装具有其消极的一面：它会增加功率MOSFET的外形尺寸及其成本，并且由于封装会增加不必要的寄生电阻和电感而降低了器件的性能。来自Efficient Power Conversion Corporation（EPC公司）的Alex Lidow认为，最好的解决方法是不对器件进行封装，这将能使GaN HEMT在成本价格上与现有的Si基晶体管器件相比更加具有竞争力。

技术 Technology

- 18 碳化硅上石墨烯走出实验室
Graphene-on-SiC heads from lab to fab
- 为了充分发挥石墨烯的巨大潜力，再高质量的材料也必须能实现大规模生产。供应商Graphensic正致力于实现这一目标，开发出了碳化硅上石墨烯（Graphene-on-SiC），其可用于测量、高速晶体管和生物传感器等多种用途。该公司创始人Rositza Yakimova、Mikael Syväjärvi与Tihomir Iakimov详细介绍了他们的进展情况。
- 21 硅基GaN器件阻断电压大幅提升
Boosting GaN-on-silicon blocking voltages
- 人们对于硅基GaN器件存在某种误解，这种误解阻碍了硅基GaN器件的研发及应用。人们通常认为基于硅衬底的GaN器件在阻断电压这一性能上存在劣势，事实上并非如此。硅基二极管和HEMT器件的击穿电压可以做到2kV以上。这一结果得到了多方的验证，包括来自M/A-COM Technology Solutions的Timothy Boles和Douglas Carlson，来自麻省理工学院的Tomas Palacios，以及刚从美国能源部跳槽到Rock Creek Strategies的Mike Soboroff。
- 24 离子束沉积法
Ion beam deposition
- 本文是一篇离子束技术的概论，文中介绍离子束沉积工艺相比较于等离子法或蒸发法（PVD）等技术而言的主要应用及优势。文章首先对离子束是如何产生的过程进行了描述，随后说明并讨论了离子束技术的一些优势应用。Oxford Instruments Plasma Technology Ltd. 的离子源产生由低速(冷)离子组成的低温等离子（<1eV），这种低温等离子可以通过栅网根据明确定义的能量从离子源析取出来，且不会对栅网结构产生任何明显的侵蚀。
- 28 长期合作推动了SiN沉积技术的多项改进
Long-term partnership propels multiple improvements in SiN deposition
- PECVD设备的投资者希望该设备能长时间地正常运转并能沉积出极其均匀的薄膜，还希望所购买的设备要具有升级的空间，以防止它们在几年后就显得过时。为满足这些要求，设备供应商和芯片制造商的携手合作对沉积设备及其工艺进行改进就显得尤为重要。Plasma-Therm公司与RF Micro Devices公司就在这方面开展了长期有效的合作。

科技前沿 Research Review

- 33 在半极性晶面上制作稳定发射绿光的LED器件
Semi-polar plane delivers stable green LEDs
- 34 制造更大规模的氮化镓集成电路
Building bigger GaN ICs
- 35 对ZnO的霍尔效应测量存在局限性
Flaws exposed in ZnO Hall measurements

新闻分析 News Analysis

- 9 LED:即将迈步 3D 时代?
LEDs: The next dimension?
- 10 混合硅准备取代磷化铟 (InP) 光子芯片
Hybrid silicon prepares to displace InP photonic chips
- 12 AlN 衬底: 尺寸更大且品质更佳
AlN substrates: bigger and better
- 6 编者话 Editorial
- 7 产业要闻 Industry News
- 36 广告索引 Advertisement Index

关于雅时国际资讯

ACT国际成立于1998年, 为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT国际通过它的一系列产品—包括杂志和网上出版物、会议和活动—为跨国公司及中国企业架设了拓展中国市场的桥梁。ACT国际的产品包括十种技术杂志和相关的网站, 以及各种会议, 服务于半导体制造、化合物半导体、光伏/太阳能、电子设计、电子制造、污染控制、激光/光电子、光通信、LED技术、射频/微波等领域的十多万专业读者。ACT国际亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT国际总部在香港, 在北京、上海和深圳设有联络处。www.actintl.com.hk

About ACT International Media Group

ACT International, established 1998, serves a wide range of high technology sectors in the high-growth China market. Through its range of products -- including magazines and online publishing, conferences and events -- ACT delivers proven access to the China market for international marketing companies and local enterprises. ACT's portfolio includes ten technical magazine titles and related websites plus a range of conferences serving more than 100,000 professional readers in fields of semiconductor manufacturing, compound semiconductor, PV/solar energy, electronic design, electronic manufacturing, contamination control, laser/photronics, optical communications, LED technology and RF/microwave. ACT International is also the sales representative for a number of world leading technical publishers and event organizers. ACT is headquartered in Hong Kong and operates liaison offices in Beijing, Shanghai and Shenzhen. www.actintl.com.hk

关于《化合物半导体》

《化合物半导体》(Compound Semiconductor) 是全球最重要和最权威的杂志Compound Semiconductor的“姐妹”杂志, 亦是中国唯一专注于化合物半导体产业的权威杂志, 重点介绍国外先进技术和产业化经验, 促进国内产业发展, 为国内读者提供化合物半导体行业的专业知识。内容涵盖晶体的特性研究, 器件结构的设计, 生产中用到的材料、设备、软件、测量、厂房设施, 以及有关市场分析和动态。

About Compound Semiconductor China

Compound Semiconductor China (CSC) is the 'sister' title to Compound Semiconductor - the world's most respected and authoritative publication. It is also the unique and authoritative publication dedicated to the Compound Semiconductor industry in China, introduce advanced global technology information and manufacturing experience, support the growth of the industry in the China market. Our content covers the technology development of crystal characteristic, design of IC structure, and materials, equipment, software, metrology, facilities for manufacturing, as well as market analysis & trends.

ETCH·PVD·CVD
半导体高端工艺
设备及解决方案

化合物半导体通用刻蚀设备

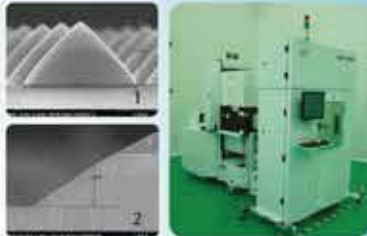


1. AlGaInP刻蚀 2. GaP刻蚀

GCE200系列 等离子刻蚀机

晶圆尺寸: 4,5,6,8英寸
刻蚀材料: GaP, GaN, InP, GaAs基材料
适用工艺: III-V化合物, 红黄光LED隔离刻蚀
可选配置: 单个/多个工艺模块;
片盒/非片盒装载模块;
手动/自动传输模块;
满足研发生产不同需求

LED外延芯片专用刻蚀设备



1. PSS刻蚀 2. GaN刻蚀

ELEDE® 330系列LED ICP刻蚀机

晶圆尺寸: 2,4英寸
刻蚀材料: GaN, GaAs, GaP基材料, 蓝宝石
适用工艺: 电极刻蚀, 隔离刻蚀, 钝化层刻蚀
蓝宝石图形化衬底(PSS)
可选配置: 手动/自动传输模块,
满足研发生产不同需求

十余年专注刻蚀设备开发
产品覆盖半导体多重领域

半导体照明·化合物半导体
集成电路·先进封装·功率器件
微机电系统·光通信器件·平板显示



地址: 北京经济技术开发区文汇大道8号
电话: 8610-57846895 / 96 / 97
更多产品信息请访问 www.bj-nmc.cn

蓝宝石衬底引领未来 LED 市场？

业界预测，十年后 LED 照明产业规模将达到 800 亿美元，基于蓝宝石、硅和碳化硅三种衬底的 LED 制造商正在争夺这个巨大市场。现今绝大多数 LED 器件是沉积在蓝宝石晶片上的，但这种情况会不会改变呢？

最近，英国普莱思半导体 (Plessey Semiconductor) 和日本东芝 - 普瑞光电 (Toshiba-Bridgelux) 两公司分别宣布将于 2013 年底之前量产硅基 GaN LED，科锐公司也在继续其基于碳化硅的 GaN 器件的生产。

尽管硅和碳化硅两种衬底的 LED 技术在进步，但是美国市场分析公司 Lux Research 预测，至 2020 年，基于蓝宝石的 LED 在未来的 LED 照明产业中仍将处于领先的优势地位。

Lux Research 分析师 Pallavi Madakasira 认为，蓝宝石衬底 LED 将会继续保持其领导地位，到 2020 年，新兴的硅衬底 GaN 器件大约可以占 10% 的市场份额，碳化硅衬底器件大约能占 18% 的市场份额。这主要是由器件的成本和性能决定的。

Madakasira 在报告中说：尽管硅衬底 GaN 器件开发商声称，完成折旧的 CMOS 制造设备能够用来制造硅衬底 GaN 器件，但是我们真的能期望那些过去十多年来已经投资数十亿美元在蓝宝石衬底 GaN 器件生产线的公司停止其进程而转向硅衬底器件吗？众所周知，业界几乎所有大公司，比如飞利浦和欧司朗，都有内部项目跟踪硅基氮化镓研究的进展，但是，他们不可能停止蓝宝石衬底 GaN 项目转而只进行硅衬底 GaN。

Madakasira 分析说：业界参与者都知道如何制造硅衬底，但是在沉积 GaN 之前要在硅上面沉积复杂的缓冲层，以克服硅晶格失配，这需要增加生产线的时间和成本。就是忽略这些，他们也需要额外投资时间和空间。

此外，硅衬底 GaN LED 的性能相比其他技术也还有待提高。碳化硅衬底 LED 的光源辉度效力为 200 流明每瓦，蓝宝石衬底 LED 为 150-180 流明每瓦，而硅衬底 LED 仅为 80-90 流明每瓦，远远落后。尽管硅衬底 LED 初期发明者辩解说他们将能够赶上来，但是请记住，他们在追赶的是一个前进的目标，蓝宝石 GaN 的性能一直在提升，并且成本不断下降。

虽然硅衬底有成本方面的优势，但是由于需要生长复杂的缓冲层，并且没有达到和蓝宝石衬底 LED 相当的性能，所以，硅基 GaN 器件要替代现有的蓝宝石衬底 LED 还有很长的路要走。

既然蓝宝石衬底 LED 制造商未来会相对固守，那么，碳化硅衬底和硅衬底的 GaN LED 未来将如何发展？Madakasira 预计，在碳化硅衬底 GaN 市场占支配地位的科锐是安全的。因为碳化硅衬底不同于硅，科锐已经成功从 4 英寸晶片过渡到 6 英寸晶片，正在继续提高性能，降低成本。

Madakasira 确信，硅衬底 GaN 开发商已经开始与业界大鳄建立战略伙伴关系。在几个月前 Bridgelux 与 Toshiba 建立这样的合作关系之时，Azzurro 公司宣布，它打算授权其硅基氮化镓应力工程 IP 给 LED 制造商。这是硅衬底 GaN 开发商聪明的选择，通过建立战略合作伙伴关系，与其他 LED 制造商共同推进硅衬底 GaN LED 的发展。

本刊编辑部

社长 Publisher
麦协林 Adonis Mak
adonism@actintl.com.hk

主编 Editor in Chief
赵雪芹 Sunnie Zhao
sunniez@actintl.com.hk

编辑 Editor
李晓玲 Greta Lee
gretal@actintl.com.hk

出版社 Publishing House
雅时国际通讯 ACT International
香港九龙 B,13/F, Por Yen Bldg,
长沙湾青山道478号 478 Castle Peak Road,
百欣大厦 Cheung Sha Wan,
13楼B室 Kowloon, Hong Kong
Tel: (852) 2838 6298
Fax: (852) 2838 2766

北京 Beijing
Tel/Fax: 86 10 64187252

上海 Shanghai
Tel: 86 21 62511200
Fax: 86 21 52410030

深圳 Shenzhen
Tel: 86 755 25988571
Fax: 86 755 25988567

UK Office
Angel Business
Communications Ltd.
6 Bow Court,
Fletchworth Gate,
Burnsall Road, Coventry,
CV56SP, UK
Tel: +44 (0)1923 690200
Chief Operating Officer
Stephen Whitehurst
stephen.whitehurst@angelbc.com
Tel: +44 (0)2476 718970





广东计划 2015 年实现 MOCVD 设备产业化

2012 年，广东出台了《广东省战略性新兴产业发展“十二五”规划》，拟投入 220 亿元支持战略性新兴产业发展，根据规划 LED 产业到 2015 年将率先实现突破。

经过近 18 个月的大力推广，广东 LED 产业优势凸显，在 LED 封装工艺及制造技术、MOCVD 系统的研发和制造、新产品开发能力及标准光组件、产品标准制定、专利技术、产业规模六个方面均领先全国。数据显示，广东省 LED 产业产值成功突破 2100 亿，占全国的比例约为 44.25%，产业规模继续位居全国首位。

截至目前，广东省拥有外延生长企业 6 家，芯片大型企业 7 家，已有从事 LED 封装上市公司 6 家，中小型企业数近千家，技术专利占全国逾四成。凭借技术创新优势，广东 LED 积极推动产品标准制定，率先研发 LED 照明标准光组件，制定以 LED 路灯为核心的半导体照明产品标准，引领全国 LED 产业发展。

目前，MOCVD 系统研制已取得阶段性成果。华南师范大学光电子与技术研究所研制的 MOCVD 系统已经有样品，预计 2015 年将实现产业化。

“第十二届洁净室研讨会暨产品展示 2013”即将举办

由雅时国际商讯及旗下的《洁净室 Cleanrooms China》杂志主办“洁净室研讨会暨产品展示会”将于 9 月 11-12 日在上海浦东龙东商务酒店举办。作为洁净行业里最重要的会议之一，这个会议已成为业内发布最新市场和技术信息的重要平台，是行业人士了解实用案例、相互交流沟通、分享信息、探讨各种潜在商机的难得机缘。

“第十二届洁净室研讨会暨产品展示 2013”除了以三大主题满足不同应用层面的听众需求外，研讨会还将甄选富有前瞻性的议题进行讨论，由专家发表新观点。诚邀行业专业人士参与这个年度盛会！会议网站：www.crcevent.com.cn。

中国首块彩色柔性 AMOLED 显示屏研制成功

广州华南理工大学成功研制出中国第一块彩色柔性 AMOLED 显示屏，可将其做成窗帘、电视屏幕，甚至可装在人的袖口、衣领、鞋子、领带等处。这块彩色柔性 AMOLED 显示屏是由华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室与广州新视界光电科技有限公司的共同研制的。该柔性 AMOLED 显示屏的显示尺寸为 4.8 英寸，厚度 100 微米，重量仅不足 1g，实现了彩色视频和图像显示。

该显示屏由新型稀土掺杂的氧化物半导体材料制成，较传统的材料具有更高的电子迁移率、更好的性能稳定性以及工艺加工特性。科研人员还先后开发了透明 AMOLED 和具有触摸功能的 AMOLED 显示屏。

欧司朗光电半导体推出小巧高效的 Soleriq S 13 发光二极管

Soleriq S 13 是欧司朗光电半导体高功率 Soleriq LED 产品家族的新成员，它引以为豪的是可以从直径仅有 13.5 mm 的发光表面发出亮度极高的光，且可覆盖全部色温。这款 Soleriq LED 可用在性能要求较高的灯具中，不管是酒店、餐厅，还是商场和高级住宅，均可用以它为光源的 LED 灯具或灯泡来取代高瓦数的卤素聚光灯。

新款 Soleriq S 13 的亮度高达 1500 lm，发光表面却只有 13.5 mm，因此可提供出色的基本照明，尤其是在专业照明领域更是表现不凡。将它安装到 LED 灯具或灯泡中作为取代型灯泡，可取代高瓦数的卤素聚光灯。Soleriq S 13 极适合应用于餐饮业和家庭照明领域中，是因为它不仅亮度高，而且覆盖所有色温。不仅如此，所有色温的显色指数均超过 80。虽然现有的 E 30 和 E 45 版本最初专为筒灯设计，但 S 13 极大地扩展了 Soleriq LED 产品家族的应用组合。

富士通半导体推出耐压 150V 的 GaN 功率器件产品

富士通半导体推出基于硅衬底的氮化镓 (GaN) 功率器件芯片 MB51T008A，该芯片可耐压 150 V。该产品初始状态是断开 (Normally-off)，相比于同等耐压规格的硅功率器件，品质因数 (FOM) 可降低近一半。基于富士通半导体的 GaN 功率器件，用户可以设计出体积更小，效率更高的电源组件，可广泛的运用于 ICT 设备、工业设备和汽车电子等领域。

MB51T008A 具有许多优点，包括：1) 导电电阻 13 mΩ，总栅极电荷为 16 nC，使用相同的击穿电压，实现的品质因数 (FOM) 大约是基于硅的电源芯片产品的一半；2) 使用 WLCSP 封装，最小的寄生电感和高频率操作；3) 专有的栅极设计，可实现默认关闭状态，可进行常关操作。新产品是数据通信设备、工业产品和汽车电源中使用的 DC-DC 转换器的高边开关和底边开关的理想选择。此外，由于其支持电源电路中更高的开关频率，电源产品可实现整体尺寸缩小和效率的提高。富士通半





产业要闻 | Industry News

导体计划于 2013 年 7 月起开始提供样片，并于 2014 年开始批量生产。

除了提供 150 V 的耐压值产品，富士通半导体还开发了耐压为 600 V 和 30 V 的产品，从而有助于在更宽广的产品领域提高电源效率。这些 GaN 功率器件芯片采用富士通研究所自 20 世纪 80 年代来牵头开发的 HEMT（高电子迁移率晶体管）技术。富士通半导体在 GaN 领域拥有大量的专利技术和 IP，可迅速将 GaN 功率器件产品推向市场。富士通半导体还计划与客户在各个行业建立合作伙伴关系，以进一步拓展业务。

亿光推出新型 LED 封装产品系列

亿光电子推出超薄 5630D 中功率 LED 系列，适用于 LED 灯条及各式 LED 灯泡球：包括标准型、全周光、高功率灯泡球及筒灯等。

亿光的 62-217D 为标准 5630 封装产品，0.5W (150mA) 的版本适合应用于 40/60W 灯泡球，0.2W(60mA) 封装版本较适于 LED 灯条。凭着其轻薄设计 (5.6 x 3.0 x 0.65 公厘)，及完整的 ANSI 色温 (2700K 到 6500K)，此产品显色性皆大于 80(CRI >80)，0.5W 的流明值可达 50lm (暖白光) 及 55lm (冷白光)，而 0.2W 版本的流明值可达 17lm (暖白光) 及 19lm (冷白光)。

照明产业致力追求产品的优越封装效能，并必须同时考虑成本因素，亿光移转其数十年为 LED 光电产品的制造专业度及成本竞争力至其 LED 照明产品上，保证产品稳定可靠性及封装效能，目前开发的 62-217D(5630D) 就结合上述多项优异特性。亿光的 62-217D(5630D) LED 具有超过每月两亿颗的产能，这种高产能及产量提供了极具竞争力的性价比、及较短的交货期，62-217D(5630D) 为无铅制程并符合 RoHS 环保规范，目前正在进行 LM80 测试以展现其耐用性，预计将于 2013 年 8 月底取得 6,000 小时 LM80 报告，并持续加测至 10,000 小时。

GT 推出碳化硅炉新产品线

GT Advanced Technologies 推出碳化硅炉新产品线，新型 SiClone™ 100 碳化硅 (SiC) 生产炉采用升华生长技术，能生产出高品质的半导体 SiC 晶体块，可最终制成最大直径为 100 毫米的芯片。在其初步阶段，SiClone100 主要针对本身已经拥有热场、合格的晶体块生产配方及正准备开始量产的客户。

GT 的总裁兼首席执行官 Tom Gutierrez 表示：“GT 新推出的 SiClone100 炉将解决电力电子行业对更高品质 SiC 材料的需求，这些材料将用于生产先进的高功率及高频设备。SiClone100 为我们的 SiC 产品蓝图奠定坚实基础，根据蓝图我们预计在未来向客户提供可生产八英寸 SiC 芯片的完整生产环境，包括配方、热场及耗材。”

GT 利用其在晶体生长技术领域深入的专业知识，为正在寻求“从实验室向工厂转化”的客户提供高度可靠及经验证的平台，帮助客户开始量产 SiC 晶体块。SiClone100 炉装备有最先进的控制系统，通过将炉电子与人机界面 (HMI) 相结合，实现生长过程的自动化。SiClone100 采用底部灌装设计，从而令热场灌装变得简单。控制系统为用户带来更大的灵活性，用户可根据需要制定过程配方及控制生产参数，例如温度、剖面、斜度及气流，从而改善持续运行的控制重复性，最终降低制造成本。

LUMEX 推出最高亮度输出的 TITANBRITE 无线键合 LED

Lumex 宣布在全球推出“倒装芯片”式 TitanBrite 无线键合 LED，亮度可比市场上其他 LED 高出 15%。除了标准的 3W 和 6W 的 LED，Lumex 的 TitanBrite 无线键合 LED 还可提供 9W 的规格，确保 Lumex 的无线键合 LED 能够提供业内最高亮度的光源。

无线键合 LED 技术也被称为“倒装芯片”技术，相比传统 SMT（表面贴装技术）LED 有多种关键性能优势，包括耐用性提高、散热性增强、发光性能更出色。TitanBrite 无线键合 LED 的应用领域包括汽车、电器、工业控制、医疗等。

Lumex 的 TitanBrite 无线键合 LED 技术相比传统 LED 有多种关键性能优势，包括耐用性提高、发光性能更出色、散热性增强。

科锐新型碳化硅功率模块实现更佳效能和更高可靠度

科锐公司为业界带来首颗以业界标准 45 mm 封装的商用碳化硅 (SiC) 六单元 (six-pack) 功率模块。在相同硅模块额定电流值下，科锐的六单元碳化硅 (SiC) 模块可降低功率损耗达 75%，散热片尺寸可以立即减少 70% 或提高功率密度 50%。新型六单元 SiC 功率模块能摆脱传统上对功率密度、效率及成本等设计上的限制，协助设计人员实现高性能、高可靠度及成本更低的功率转换系统。与尖端技术的硅模块比较起来，1.2kV、50A 的 SiC 模块所提供的性能等同于额定电流为 150A 的硅模块。





LED：即将迈步 3D 时代？

如果对 Giorgio Anania 其人稍做一些深入的了解，您很快就会发现他对于如何创业颇有心得。凭借将多家创业公司从研究机构转变成价值百万美元的商业实体之骄人成绩，这位长春藤名牌大学（Ivy league）的毕业生声名鹊起。他的领军企业 Bookham Technology（现称作 Oclaro）曾是英国成长速度最快的公司，也是在电信业整体低迷期间成功生存下来的极少数企业之一。

如今，Anania 已经把目光投向了 3D LED。作为 Aledia 公司（一家硅基氮化镓 [GaN] 微细线 LED 的开发商）的现任首席执行官，他于近期募集了价值 1300 美元的创业股，并计划募集更多。

Anania 说：“我认为此类 LED 显然将比 2D 平面型（蓝宝石基 GaN）器件便宜。材料成本更加低廉，由于不需要使用一个很厚的 GaN 层，我们将节省大量的资金，而且能实现很快的生长速度；在采用 MOCVD 设备时，我们的生产能力可达原先的三倍。”

正如他所指出的那样，在硅基上生长垂直 GaN 微细线可避免晶圆应力的积聚，而在硅基上沉积 GaN 和 InGaN 层时则会出现上述情况。这里，材料膨胀系数的差异在加工过程中导致了晶格失配，最终我们得到的将是布满缺陷的晶圆，而这些缺陷会降低器件的良率和性能。

作为关键的举措，Aledia 公司最近将其制造工艺转变为 8 英寸硅晶圆。每个晶圆包含几十亿根同轴 GaN 微细线，其各具 $< 1 \mu\text{m}$ 的直径并充当一个 LED，能够从所有的侧面发光。关于这家公司在晶圆上生长微细线的实际方法，Anania 仍然守口如瓶（仅仅确认它是一种自下而上的外延生长工艺），并以玩笑的口吻说：“为了尽量不让 Samsung 公司了解此项技术，我们已经‘保密’了一年的时间。”

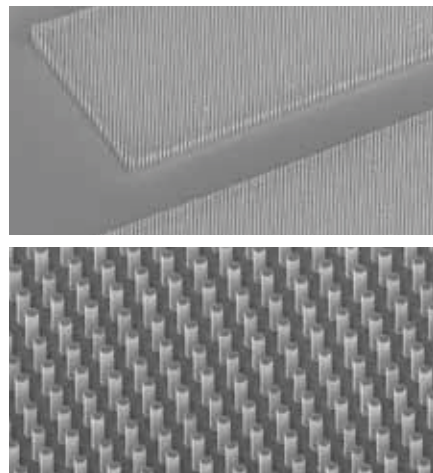
不过，正如他强调的那样：“这些 LED 产品即将由晶圆代工制造，因此，只需按一下按钮您就能 [大幅提高] 产量。现在，我们已经获得了快速、较少的材料、更便宜且更大的衬底，以及半导体代工厂定价。”

但是，该公司的技术是否实现了期望的性能？很显然，Aledia 公司拥有优良的传统。其技术是在位于法国格勒诺布尔（Grenoble）的法国原子能委员会电子与信息技术实验室（CEA-Leti）里历经 6 年的时间开发而成的，而且 Aledia 公司还获得了有关应用于照明领域的微细线技术的全部现有及未来 CEA 专利的全球专有权。此外，这家企业之后还申请了多项附加专利。但是，相关的技术规范尚未完全确立。

Anania 拒不透露有关数据的决心是坚定不移的，他只是说：“我们仅有另外一个主要的公开竞争对手，就是总部位于美国加利福尼亚州（和瑞典隆德 [Lund]）的 glo 公司。他们已经存在了至少 9 年，而我们则组建了一年的时间。他们没有提供过任何数据，但我们希望很快可以公布，我们只需要再多几个月的时间。”

撇开数据，目前已经明确的是：虽然此类 LED 具备某些巧妙的特性，但这些器件并不会超越任何的性能记录，至少在短期内如此。制作的 GaN 微细线可通过改变镉含量在很宽的波长范围内发光。于是，通过使一颗芯片拥有不同的微细线密度就能够形成许多发出白光的微细线 LED（不含荧光粉）。不过，技术尚未发展到那一步。Anania 说：“那将是第三代技术，也是我们的研究方向，我们将彻底弃用荧光粉。”

就目前而言，Aledia 公司的首批白光 LED 将是采用荧光粉的蓝光 LED。该公司正忙于此类原型产品的研发，



微细线阵列：如扫描电子显微镜图像所示，Aledia 公司的微细线如今是在 8 英寸硅衬底上生长的。

Anania 推测这些组件可于明年一季度提供给客户进行测试。他说：“为了迅速打开销路，您会希望这些产品在外观与品味上与现有产品拥有尽可能多的相同之处，因为这是一个容易的切入点（easy-in）。在初始阶段我们将不提供发光效率（lumens per Watt）最高的产品，这并非许多应用的需求所在，它们真正需要的是最佳的发光性价比（lumens per dollar）……我们的成本结构即在于此。”

而这正是 Anania 认为其公司的 3D LED 将赢得竞争的过人之处。他确信，在过去的一年半时间里 LED 照明产业发生了显著的变化。

“以前我们看到的是性能竞赛。较高的发光效率意味着更大的成本降幅，因为可在每平方毫米的芯片面积上获得更多的光输出；于是按照每流明的发光量来计算您实现了成本的节省。”他解释说。“不过对于很多应用来说，发光效率的竞赛目前逐渐地接近尾声。”正如 Anania 着重指出的那样，亚洲地区的业者在此之后向市场投放了大量性能较低而成本则大幅下降的芯片。

“虽然大家都说我们肯定需要高亮度，但是坦率地讲，大量的销售则来自于这些中等功耗的芯片，”他说。“因此所面临的问题是：拥有多高的发光效率才足以确保在市场上站稳脚跟？一旦有了答案，您的发光性价比将帮助实现成功的销售。”



混合硅准备取代磷化铟 (InP) 光子芯片

混合硅将会成为复杂光子集成电路的首选平台吗？
Compound Semiconductor 杂志对话美国加利福尼亚大学（位于圣巴巴拉市）的 Martijn Heck，了解更多信息。

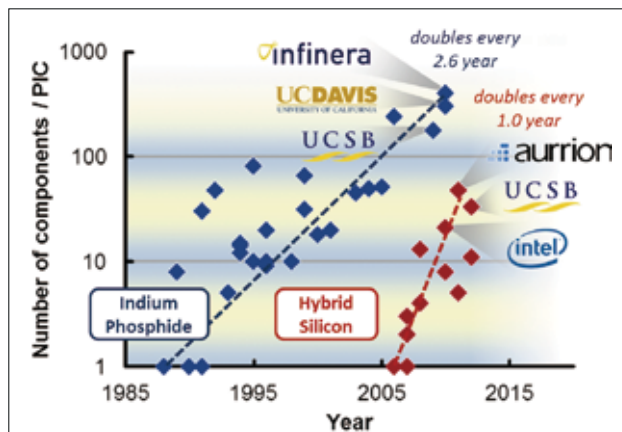
2006 年，美国加州大学（UCSB）和 Intel 公司的研究人员推出了世界上第一个电泵浦混合硅激光器。该器件利用了 III-V 族半导体的发光特性，并运用成熟的 CMOS 工艺在硅晶圆上制作激光器，从而为制造廉价的量产型硅制光学器件开启了大门。

7 年的时间很快就过去了，许多人都认为：混合硅光子技术革命如今已经的确确是万事俱备了。业界开发出了各种各样的混合器件，从激光源和光学放大器到高速调制器、波导和偏振组件，等等，不一而足，从而形成了光子集成电路 (PIC) 的构件。UCSB 已开发出了锥形模转换器 (tapered mode converter)，以实现混合硅组件与无源绝缘体上硅衬底的集成，并采用量子阱混杂和芯片焊接以组合不同的带隙组件和具有不同 III-V 外延堆垛 (epitaxial stacks) 的器件。

在整个业界，重要的混合集成电路包括高集成度发送器、光相位阵列和光分组交换器。而头条新闻则涵盖了 Intel 的 50 Gbit/s 硅链路、Luxtera 公司的 “millionth” 芯片，以及 imec 在 300 mm 硅晶圆上制作组件等。鉴于上述公司和其他的主要厂商（从 IBM 到 UCSB 的分拆公司 Aurrion）都急于使硅芯片 “大放异彩”，UCSB 的光电子研究小组的 Martijn Heck 认为现在所取得的种种突破仅仅是开始。

“[实现这些组件之集成化的] 希望一直存在，但我们如今提高了良率，同时特别关注性能和加

新闻分析 | News Analysis

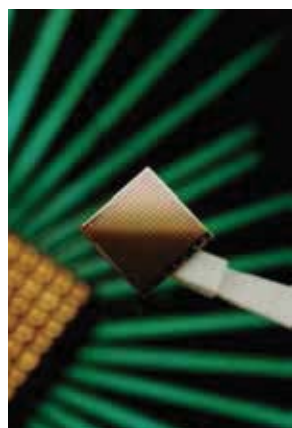


芯片复杂性（以每颗芯片所包含的组件数目来衡量）的发展历程。

[照片提供者：MK Smit, JJGM. van der Tol 和 MT Hill, “光子学中的摩尔定律”（“Moore’s law in photonics,”）Laser Photon. 6 1, 2012 和 MJR Heck 等：“混合硅光子集成电路技术”（“Hybrid Silicon Photonic Integrated Circuit Technology”）JSTQE]

工工艺,”他说。“很棒的一点是,我们现在能够把组件连接在一起并制作此类高性能、高功能性的光子集成电路。”这种激动人心的进展速度无法不让人印象深刻,但是 InP PIC 仍然具有非常多的优势。Infinera 公司目前正在出售采用 500 Gbit/s PIC 构建的光学网络平台,并于近期演示了一款 10 Tbit/s PIC。但是,这可能很快有所改变吗?

最近,Heck 和同事们绘制了一幅图,其描绘了 InP 和混合硅芯片复杂性(以每颗芯片所包含的组件数目来衡量)的发展状况。毫无疑问,基于 InP 的单片式集成在过去的 20 年里其复杂性呈指数性增长,不过据研究人员说,混合硅 PIC 正在快速地步前者之后尘。Heck 认为,三个主要的推动力对于技术



Intel 和 UCSB 于 2006 年公布第一个混合硅激光器。

的迅速变革起到了决定性的作用。

“首先,我们基于成熟的 III-V 半导体工艺;我们接受了现有的知识并将

此展开相关的工作,而欧洲的研究活动也十分红火。人们认识到了此项技术所蕴含的巨大潜力。”

而且,尽管混合硅与 InP 之间的差距仍然很大——在一颗硅 PIC 上可集成几十个组件,而在同等尺寸的 InP PIC 上则能集成几百个组件——但即将来临的数据洪流(data deluge)却有可能推动这一改变。未来的 Tbit/s 级数据通信和互连应用将需要大量的高集成度 PIC。另外,凭借其 300 mm 硅衬底以及可兼容 CMOS 的制造工艺,混合硅可提供远远优于 InP 型 PIC 的规模经济效益。Heck 坚信未来的数据通信和电信应用将促进混合硅光子组件集成的发展,并且回顾了近期由 UCSB 的能效研究所(Institute of Energy Efficiency)牵头举办的一次圆桌活动,这次活动研究了未来的数据中心将如何应付数据需求。

“主要公司[比如 Intel、Cisco、HP、AMD 等]的所有热门事件(hot-shots)都在这里了,而在他们的工作计划清单上排在首位的都是光子集成,”他说。“就集成而言,我们都知道其步伐将增大。Intel 和其他公司已经行动起来了……不错,这是有点投机和冒险,但常识告诉我们它将会发生。”

之应用在硅衬底上,”他说。“例如,我们现在可以制作 70 GHz 甚至更快的调制器……这表明我们在组件方面所取得的进步是非常巨大的。”其次,按照 Heck 的说法,混合硅 PIC 至少在部分工艺流程中利用了成熟的 CMOS 制造基础架构。第三,他补充说:“业界的接受速度非常快。Intel、HP 和其他的公司正就

新的 CS APP 应用准备好了,
现在可以下载!



Compound Semiconductor

很高兴地宣布推出新的针对
iPhone, iPad, iPod 和 android
的 APP 应用,进一步实现我们连
接化合物半导体业界的目标。

用户可以从 App Store 或者
Google Play 免费获得, APP
应用可以让您同步更新:

- 最新业界新闻
- 最新产品特色
- 最新杂志文章
- 还有更多.....

详细信息请联系:

scott.adams@angelbc.com

www.compoundsemiconductor.net

CS COMPOUND
SEMICONDUCTOR
CONNECTING THE COMPOUND SEMICONDUCTOR COMMUNITY

ANDROID APP ON
Google play

Available on the
App Store

AlN 衬底：尺寸更大且品质更佳

CrystAL-N 公司的 2 英寸 AlN 刺激了紫外发光二极管（UV LED）市场的增长？

随着紫外 LED 市场即将迎来大规模的增长，AlN 衬底制造商迅速地行动起来，以确保 LED 制造厂家选用这些天然的晶格匹配晶圆，来取代当今现成有售且价格较便宜的选项——蓝宝石。

由于美国知名的业界巨头 Crystal IS 和 Hexatech 公司在生长用于内部制造器件的衬底方面进展迅速，德国的 CrystAL-N 公司也不甘示弱，刚刚公布了 2 英寸块状 AlN，其有望提升深紫外 LED 的性能。对于器件制造商而言，这种动向是绝佳的喜讯。迄今为止，提供给公开市场的大多数衬底都是 1 英寸直径的，转向直径 2 英寸的

材料只会有助于削减深紫外 LED 的制作成本。

对于这家从德国埃尔朗根 - 纽伦堡大学（University of Erlangen-Nürnberg）分拆出来的公司，上述的研发成果意味着某种突破。从 1 英寸衬底向可被市场接受的 2 英寸衬底的转移，其研究活动已经开展了数年之久，不过 CrystAL-N 公司首席执行官 Paul Heimann 坚信其产品如今已具备了投放市场的条件。“我们的晶圆肯定是有竞争力的，而且从世界范围来看，AlN 供应商眼下并不太多。”

美国的 AlN 衬底领军企业 Crystal IS 和 Hexatech 同时也制造 LED，其

中 Crystal IS 公司将其所有的自产品体都用于其自己的器件。Hexatech 公司则略有不同，其出售 AlN 衬底，但是据 Heimann 说：他们销售的 AlN 衬底的直径仅为 1 英寸至 1.5 英寸，成本在 5000 美元左右。CrystAL-N 公司较大的 2 英寸版本则达到了 4000 欧元的相似价位，因此可以说拥有更好的性价比。

关键的是，当 CrystAL-N 公司成长时，其他的竞争对手已经收缩了相关工作的规模，或者处于开发的早期阶段。但是，仅仅充当竞争的跟随者是不够的，从质量的角度来看 CrystAL-N 的衬底似乎也达到了标准。



THE BAK

因为不是所有的蒸发台都是一样的！

See us at CIOE China. Hall 9, **Booth 9P15**
4-7 September 2013



从超高真空BAK501到带有完整预真空室的BAK761（标准蒸发距离或者延长蒸发距离），选择EVATEC的小型或中型蒸发设备实现占地面积小、工艺处理速度快以及新的薄膜工艺控制水平。新的产品介绍请访问EVATEC公司网页或联系中国当地的销售机构，电话：+ 86 21 20246072。



MORE INFO

LEDs • POWER DEVICES • TELECOMS • PHOTOVOLTAICS • MEMS • EVATEC - THE THIN FILM POWERHOUSE
www.evatecnet.com



虽然只是刚刚宣布推出 2 英寸 AlN 衬底，但是 CrystAL-N 公司已经放眼于生长 4 英寸材料了。
照片提供者：CrystAL-N 公司。

位错密度小于 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ ，与尺寸更小的 AlN 衬底不相上下，而且极为重要的是：即使是在直径为 2 英寸时，晶圆也能透过紫外光，因而有助于增加通过最终 LED 之衬底的光输出。目前，Hexatech 公司可提供 1 英寸的紫外光透射衬底。

根据 Heimann 的说法，许多竞争对手都是通过碳化钽高温炉中的物理气相传输法来生长晶体的，这种做法降低了透光度。“这里，碳含量非常高，以至于材料在 300 nm UV 波长上不再具有透光性。我知道，我们的竞争对手先是拿来作衬底并在上面制作器件，然后对衬底进行蚀刻。这实在是太让人遗憾了，因为您费尽力气生产出如此完美的材料，接着却又采用蚀刻或研磨工艺将其‘彻底毁坏了。’”

与此相反，CrystAL-N 公司则是在钨高温炉中生长晶体。首先在一颗低缺陷 SiC 籽晶圆上生长一个 3 mm 厚的 AlN-SiC 层。接着，SiC 籽晶和独立式（free-standing）混晶 AlN-SiC 层一起切除，随后被用作一种用于纯 AlN 生长的籽晶。生长过程总共需要长达 10 天的时间，而且，采用钨高温

炉巧妙地规避了由碳化钽高温炉所引起的碳化物污染，后者会严重损害竞争力。

“在我们的体系中，晶体生长是铝极性的，与籽晶的极性无关，” Heimann 解释说。“我从 [一家竞争对手的] 出版物中了解到，其晶体生长是氮极性的，因此产生了的确很好看的晶体。它们的规格和 XRD 数据看上去很不错，而且作为晶体生长器，其所生长的晶体形状也是我喜欢的，但是，它们不能透过紫外光。”

虽然 Heimann 将不会提及在其公司的衬底上生长之晶体结构的性能，但过去针对原型产品所做的测试表明可获得“上佳的”光输出。“我确实知道竞争对手的器件具有与蓝宝石 LED 相似的光输出，但寿命指标则好得多，”他说。“我认为这取决于基本的物理特性。如果您希望制作具有高铝含量的优质器件，则使用天然的籽晶圆来进行外延附生，这样产生的错位和缺陷较少，而且光输出和寿命指标更加出色。AlN 衬底将产生更好的效果，但在外延附生方面仍有工作要做。”

不过，CrystAL-N 公司如今已把

目光放到了 4 英寸晶圆上。通过比较其特有衬底的发展计划与 SiC 所遵循的发展路线可见，4 英寸直径已是司空见惯，而 6 英寸衬底则是逐渐兴起。Heimann 坚信 4 英寸块状 AlN 将是未来的主力：“也许我们将不得不应用 6 英寸 SiC 籽晶，所以将需要使用更大的高温炉。但目前我们已经达到了 2 英寸，我们不会止步不前的。”

外延附生方面的难题

可是，虽然 CrystAL-N 公司专注于提供尺寸更大且品质更佳的 AlN 衬底，但这些努力是否会促使更奇特的蓝宝石替代方案拥有更高的市场接受度呢？市场研究机构 Yole Développement 的 LED 技术分析师 Pars Mukish 认为：必须首先处理外延附生问题。

“制作 [深] UV-C 器件确实很困难，”他说。“主要的外延附生技术是 HVPE，但它不如用于可见光 LED 的传统 MOCVD 工艺成熟。”

为了增加 HVPE 实践经验并解决外延附生问题，Hexatech 和 Crystal IS 这两家公司均已确立了垂直整合运作模式，即生长 AlN 衬底并采用它们来制造深 UV LED。对于是否将遵循相同的路线，CrystAL-N 公司未做评论，不过业界的消息人士建议该公司与该领域中的芯片厂商建立合作伙伴关系。

与此同时，深 UV LED 产业正处于兴旺期，尽管增长速度并不快。随着新的从业厂家的不断加入，知名的电子业巨头（包括 LG Innotek 和 Samsung 公司）开始密切关注该市场，而这只会有助于市场的启动。

不过，正如 Mukish 警告的那样：“假如 [这些发展] 在未来的两年左右时间里触发了该市场，那么 CrystAL-N 公司仍然可以只制造衬底。不然的话，他们很可能必须进行垂直整合，否则就只有倒闭了。”





封面故事 | Cover Story - GaN功率电子

无封装 HEMT 能实现高效率的功率转换

器件的封装具有其消极的一面：它会增加功率 MOSFET 的外形尺寸及其成本，并且由于封装会增加不必要的寄生电阻和电感而降低了器件的性能。来自 Efficient Power Conversion Corporation (EPC 公司) 的 Alex Lidow 认为，最好的解决方法是不对器件进行封装，这将能使 GaN HEMT 在成本价格上与现有的 Si 基晶体管器件相比更加具有竞争力。



封面故事 | Cover Story - GaN功率电子

Alex Lidow 回忆：20 世纪 70 年代，当时我还是一名研究生，研究方向是 GaAs 材料，在当时的半导体电子业界中认为它最有可能来取代 Si 材料。从那段经历当中我学到了很多，包括日后在我整个职业生涯当中总结出来的两大经验：因为 GaAs 材料的基本成本过于高昂，它不可能全面取代 Si 材料；能源效率提高可以直接提升全球人类的整体生活水准，因为它能使所有商品的性价比变得更高。

基于上述这些看法，在 1977 年离开斯坦福大学之后，我加入了 Si 芯片制造商 International Rectifier 公司，从事 Si 基功率 MOSFET 的开发。在那时，已具有多年历史的双极型晶体管已经普遍不被人看好，而功率 MOSFET 却有希望成为高频、高效率功率转换器件的一个新的发展基准。

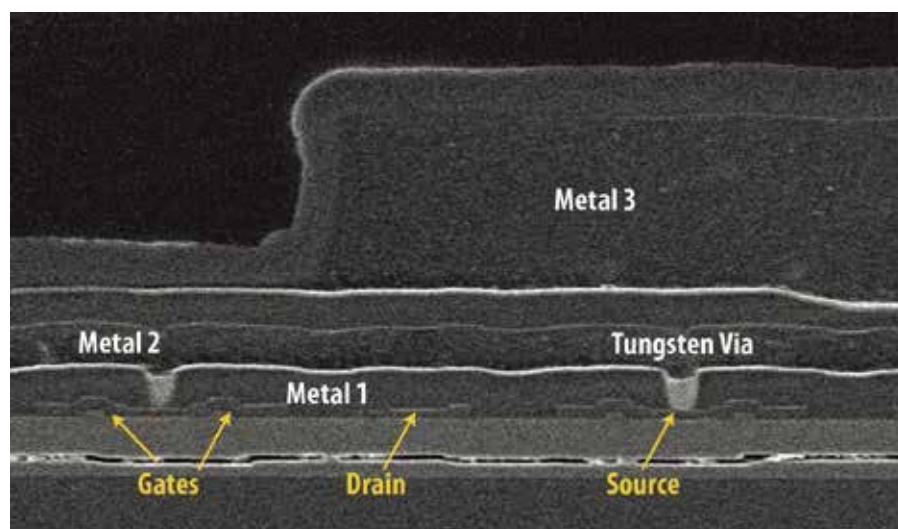
我并不是独自在工作，而是与我在研究生院的同事 Tom Herman 一起组成了一个团队，他在开发功率 MOSFET 方面与我持有相同的观点。我们先是进行了一些基础器件的开发，获得了多项基础专利的授权，由此也产生了一定数量的专利费。我持续致力于此项技术已达 30 年之久，我是以公司形式来进行工作，在这个当今产值已达每年数百亿美元市场的成长中起到了我的作用。

然而，人们已越来越清楚地认识到 Si 基 MOSFET 器件的性能提升已开始受到 Si 材料基本性质的限制，难道这就意味着 GaAs 材料的机遇就能来临了吗？非也：这儿还有一个更有前途的后起之秀——GaN 材料。为了全面探索这种 GaN 宽带隙技术的潜力，我辞去了 International Rectifier 公司 CEO 的职务，与 Joe Cao 和 Robert Beach 一起共同在加州 El Segundo 创建了 Efficient Power Conversion (EPC) 公司，我们为公司设定了两个工作目标：开发出首个在 Si 衬底上生长 GaN 膜层 (GaN-on-Silicon) 的增强型 (常闭型) MOSFET；并且使这种 GaN MOSFET 的成本要低于 Si 基功率 MOSFET。



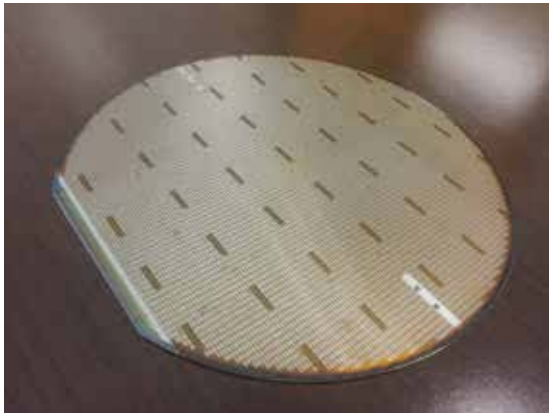
EPC公司就是在这个棚屋中对它的首个增强型 GaN 晶体管进行了测评

EPC公司增强型 GaN 晶体管的剖面结构



封面故事 | Cover Story - GaN 功率电子

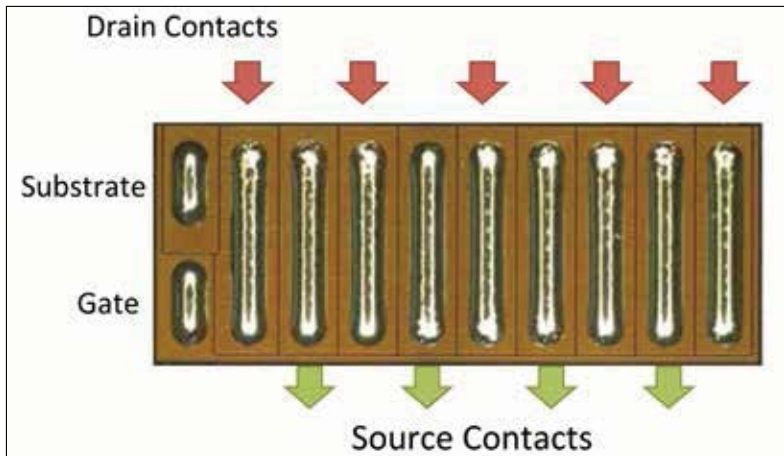
EPC公司的150 mm Si基
GaN晶圆



EPC 公司的首笔经费来自于我母亲的少量投资，之后我们在台湾的富有耐心和远见卓识的合作伙伴们给了我们公司的第二笔注资。与他们的合作具有极为明显的优势，因为他们执掌着一个 Si 晶圆代工厂，并且他们同意为我们制造在 Si 衬底上生长 GaN 膜层的晶圆，能利用这条晶圆生产线已经成为我们达到低器件成本这一目标的关键。

我们发现，要实现我们的第一个目标（开发一个增强型晶体管）是具有相当大的难度的。我们从建立简陋的器件原型开始，利用了加州大学洛杉矶分校的实验室设备，以及我们公司的共同创始人 Bob Beach 家中后院的棚屋，使得这种器件的性能得以逐渐地提高，最终达到了可以将其工艺转移到我们台湾合作伙伴代工厂的水平。他们当时已经购买了一台最先进的 MOCVD 反应器，可以用来在 Si 衬底上生长 GaN 膜层这种初始材料。经过多次的试验和失败，经过了无数晚上以及周末加班，终于到达了我们的第一个开发里程碑，即制造出了能在增强型模式下工作的横向 GaN HEMT。这项进展同样也产生了很多项的专利申请，其中的一些专利在经历了几乎四年的时间后才由专利局开始发布。

图1: EPC展示了LGA结构的增强型eGaN FET，该器件的尺寸大约为1.6 mm × 4.1 mm。



将产品性能做到最佳

我们产品的最初目标是针对中等电压的功率器件市场，即器件的工作电压在 100V 左右，可以用在音响放大器、DC-DC 转换器和不间断供电（UPS）系统当中。我们选择这个市场领域的原因是，尽管相比于工作电压更高（高于 600V）或者更低（低于 40V）的器件市场而言，中等电压的器件市场规模较小，但它具有相对较高的价格体系。中等电压器件市场另一个吸引我们的原因是，客户很看重 GaN 器件的高频性能，在一个充分商业化的市场中，他们对这种宽带隙的器件愿意支付更高的价格。

作为初创公司的现状和有限的经费，使得我们对这种功率器件的封装问题感到相当棘手。我们不可能与大的器件封装分包商进行合作，因为他们并不想承接一个小规模、且有风险的客户业务。

最后，我们决定采取一个激进的做法，即提供没有经过封装的器件产品。如今，我们所有的产品都以这种方式提供，采用了具有焊料条带的栅格阵列（LGA）结构。这种结构可能会引起一些人的惊讶，但是它已经毫无疑问地获得了成功。平均说来功率器件的封装成本与其内部芯片的成本基本相当，因此，上述做法不仅让我们在向着制造比现在有封装的功率 MOSFET 更为便宜的器件这一目标上前进了一大步，与此同时它还提升了器件的工作性能。

在 International Rectifier 公司制造和销售功率器件的那些年中，我听到很多客户都在抱怨功率器件的封装问题，包括它们的尺寸过大，并且存在有太多的内部寄生电阻和电感。相比而言，我们采用 LGA 结构的产品具有绝对最小化的外形尺寸和最低的成本，并且具有零寄生电阻和零寄生电容方面的优势（见图 1）。

在 2009 年，我们推出了我们首个器件产品的试样 – EPC1001，在开关应用中它的性能要比所有 100V Si 基器件都要优秀。通过采用最为普通的功率 MOSFET 品质因素（器件导通电阻 $R_{DS(On)}$ 与总体栅电荷 Q_g 的乘积）的评价方法，显示出我们产品的性能比所有其他相应产品技术都要优秀，并且该器件的性能要远优于当前最先进的 Si 基 MOSFET（见图 2）。在我们与客户共同为此器件试样进行了几个月的测试后，我们做出了一些必要的调整，进一步改进了器件的性能，

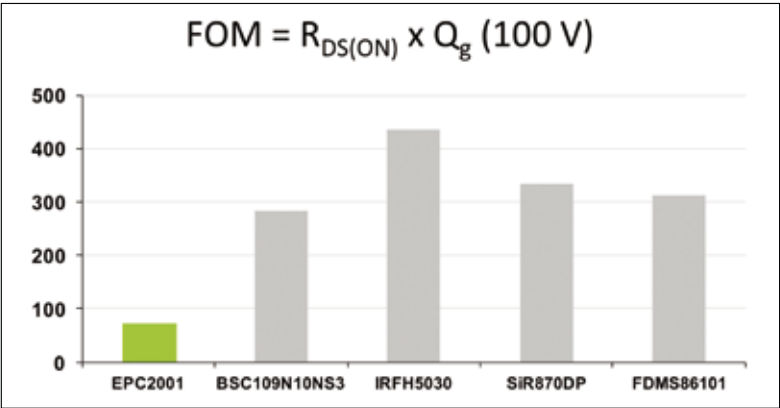
并且在 2010 年 3 月开始启动了我们这个产品的批量生产线。为了使我们的产品能有最广阔的销售渠道，并且能最大限度地获取客户对产品的反馈信息，我们选择了 DigiKey 公司作为我们的全球销售伙伴。这使得我们隔夜即能以一个合理的价格将我们的产品送达到客户手中。我们已经获得了一些奖项，包括 Electronic Products 的“年度产品”奖，它是作为对我们在 GaN 晶体管领域取得进展的表彰。

扩展市场

公司在这个阶段是借鉴了我早先在功率 MOSFET 领域所获得的经验，并将其用在了我们的 eGaN FET 上面。我知道对下列四个关键问题的答案将会决定一种基于新技术产品的市场接受程度：它可以用于新的应用领域吗？它容易使用吗？它工作可靠吗？它在效率 / 成本上具有优势吗？

为了对我们公司的成功提供最大可能的机遇，我们组织人员致力于解决这四个问题。我们聘用了一些正处于其职业巅峰期的应用工程师和现场应用工程师，并且我们在器件的可靠性测试上花费大量的时间，与进行一项新产品开发的时间相当。我们已经发表了一些论文，还出版了一本著作：《用于高效功率转换的 GaN 晶体管》(GaN Transistors for Efficient Power Conversion)，来帮助工程师们在学习曲线上得以尽快的爬升，并能发挥出我们器件的真正潜力。我们已经请现在已属于德州仪器 (TI) 旗下的国家半导体 (NS) 公司为我们专门开发了驱动集成电路，该 IC 使得我们的器件用户能充分挖掘出我们器件的最大效能，将会在无线功率传输、光探测和瞄准，包络跟踪等这些新应用领域的早期开发起到推动作用。

我们首款产品的推出至今已经三年了，但是从我们的观点来看，很明显我们工作才刚刚开始。尽管我们已经达到能制造一个非同寻常的 eGaN FET 这一目标，并且我们已经把我们的产品扩展到了从 40V 到 200V 范围，但我们仍在做进一步的努力来减少器件应用设计师的工作难度。在采用我们的 eGaN FET 时，选择正确的印刷电路板 (PCB) 布局设计是至关重要的工作，因为它可以极大地提升器件的开关性能，并且能限制器件所产生的电压过冲，以及能充分利用我们器件这种包封结构所具有低寄生效应的优势。我们在



这个方向上的努力的成果是：相比于 40V Si 基 MOSFET 的基准而言，经优化后的 eGaN FET 的印刷电路板 (PCB) 设计使得器件的开关速度可以增加五倍，并且器件的电压过冲可降低 40%。

我们仍然在不断地降低我们器件产品的制造成本，相信经过三到四年的时间，我们的 eGaN FET 会比其他相应的 MOSFET 产品要更加便宜。对我们最大的挑战来自于能否在 Si 晶圆上以低的成本来外延生长 GaN 这一异质结构，在这方面我们正在得到来自外延设备制造商方面的支持。

我们的另一目标是要将 eGaN FET 产品扩展到高电压 (600V 及以上) 范围，同时要将驱动电路和功率晶体管整合成为单片型集成电路。这些研发工作将能使我们的 GaN 器件在占有 90% 市场容量的 MOSFET、IGBT 和功率 IC 市场上进行有力的竞争。

我们的最终目标是要建立一个崭新的半导体公司，用在 Si 衬底上生长 GaN 技术制造器件来进行高效的功率转换。我们非常荣幸地能够吸引一些杰出的专业人才和新毕业的研究生，他们愿意加入到这样一个规模尚小、但业务正在起飞的公司，来着手开始进行一项宏大的事业。

图2: EPC公司第一代增强型eGaN FET与Si基功率MOSFET的对比。



获得Electronic Products “年度产品奖”的早期EPC公司团队。

碳化硅上石墨烯走出实验室

为了充分发挥石墨烯的巨大潜力，再高质量的材料也必须能实现大规模生产。供应商 Graphenesic 正致力于实现这一目标，开发出了碳化硅上石墨烯（Graphene-on-SiC），其可用于测量、高速晶体管和生物传感器等多种用途。该公司创始人 Rositza Yakimova、Mikael Syväjärvi 与 Tihomir Lakimov 详细介绍了他们的进展情况。

将 石墨烯称作“神奇材料”也许会被认为有炒作之嫌，但它确实担得起这一称号。作为碳的同素异形体，石墨烯呈单原子薄片状，可望在众多领域起到巨大的推动作用，包括建造更轻、更结实的飞机，制造超快速电池，以及推出更新更好的电子产品，等等。

英国曼彻斯特大学的 Andre Geim 和 Konstantin Novoselov 是该材料的先驱者，他们于 2004 年首先发现并报道了这种碳的新构形。从此他们声名鹊起，并于 2010 年由于其共同开拓性的工作被授予诺贝尔奖。在他们发现石墨烯后，这一领域的研究工作犹如雨后春笋般迅猛发展，商业界对该材料的兴趣亦

大增。然而，除非石墨烯能够通过工业制程大规模生产，否则它永远不能实现“神奇材料”将来在众多领域服务人类的巨大期望。Graphenesic AB 作为一家从瑞典 Linköping 大学独立出来的创业公司，是目前致力于攻克上述挑战的屈指可数的几家公司之一。通过独特的高温工艺方法，能在 SiC 衬底上制备出高质量的石墨烯薄膜。

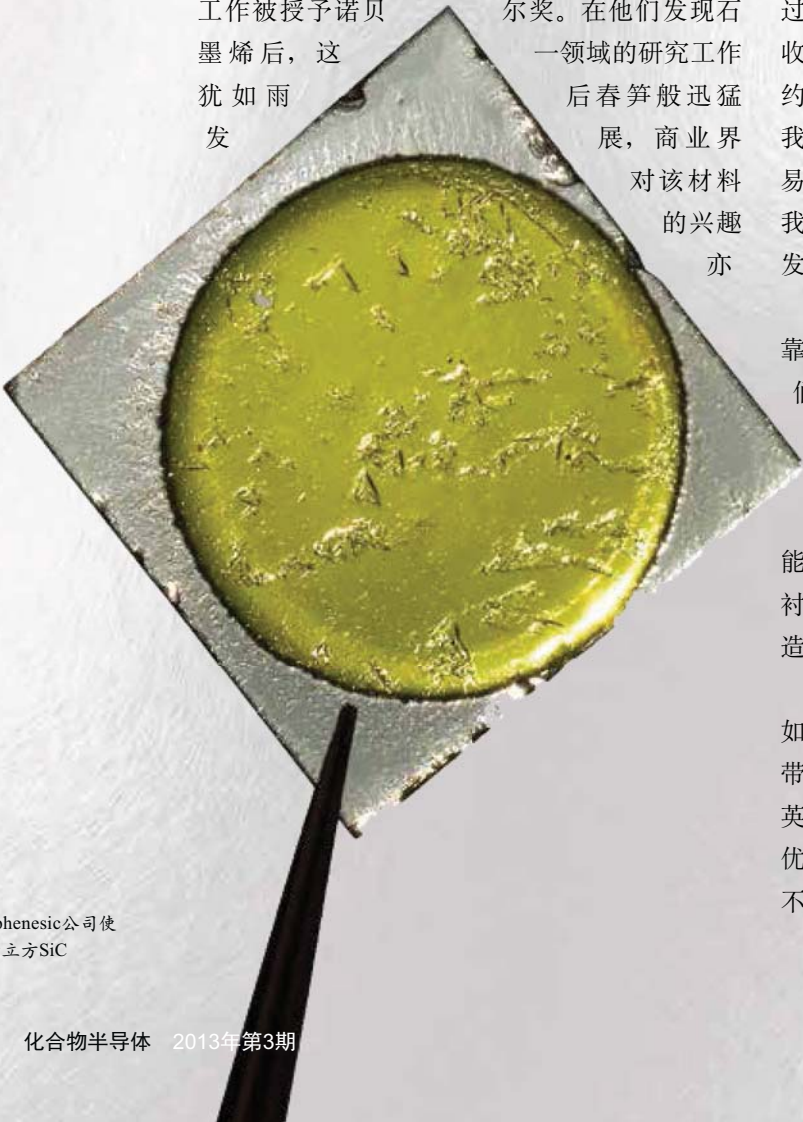
Graphenesic 公司的缘起

对于我们来说，组建公司是一个水到渠成的过程。当我们还在 Linköping 大学工作的时候，收到了越来越多的材料制备请求及研究合作邀约。这些邀约最终超过了无资金合作研究条件下，我们所能承受的范围，这时成立公司是一个显而易见的步骤。我们在 2011 年底完成了公司的组建。我们采取定货直销或者有利于公司发展的合作研发项目进行定制销售。

采用石墨烯的产品研究及开发要求稳定且可靠的材料供应。几家公司在满足这种需求，而它们之间关键的差异之一就是在不同的基础上制备不同种类的石墨烯。制备出的石墨烯可为仅有一层的碳原子（单层石墨烯），两层或若干层碳原子（分别为双层及多层石墨烯）。它们能被制备成薄片状，或生长于诸如金属或 SiC 等衬底之上。Graphenesic 是全世界最早在 SiC 上制造高质量石墨烯的公司之一。

薄片状石墨烯能通过几种方法进行制备。例如诺贝尔奖获得者制备首个样品时使用的透明胶带法，还有化学法等。在欧洲，薄片状石墨烯为英国薄膜产业所广泛采用。这类工艺方法的主要优点是质量高，但因石墨烯制成成品面积较小，还不能在电子应用中广泛使用。

在金属或 SiC 衬底上有可能制备较大面积的



Graphenesic 公司使用的立方 SiC

石墨烯。西班牙的 Graphenea 公司就能提供这类产品，他们能够将石墨烯薄膜转移到另一器件的有源区，包括柔性聚合物或硅等。以这种方式使用石墨烯时，由于要求成本较低，金属衬底会比 SiC 更适合。

那么 SiC 衬底的优势到底在哪？并不在于将石墨烯转移到另一材料上去，转移工艺从技术的角度就非常具有挑战性，因为石墨烯与衬底之间具有的紧密键合。并且由于所需的化学制剂以及相关设施的财务支出，转移的成本也较高。但 SiC 上石墨烯最合适的应用情形是将 SiC 衬底本身就作为器件有源区的一部分，或者起到模板的作用。由于 SiC 本身所具有的生物兼容性及化学惰性，使之成为可能。

使用金属和 SiC 作衬底的关键区别是，金属总是导体，而 SiC 能够部分绝缘或被掺杂。这使得 SiC 上石墨烯对于一些电子应用具有独特的优势，从而能够打开独立薄片状石墨烯或金属上石墨烯所不能进入的市场。而在三者都能竞争的市场，工艺和成本问题将决定谁能成功。

衬底及工艺

我们在 6H-SiC 和 4H-SiC 上制备石墨烯薄膜。尽管能够从商业途径获得直径高达 150mm 的上述衬底，但仍然需要考虑衬底缺陷 (Defect) 和较大的能带隙 (Bandgap) 等问题。由于后者，我们有兴趣开发立方晶格的 SiC (3C-SiC) 作为石墨烯的基础。

在我们制备石墨烯的工艺中，SiC 衬底具有双重角色，既是外延生长的前驱物 (Precursor)，又是沉积生长的衬底 (Substrate)。当衬底在气体氛围中被加热到 1500-1600℃ 时，SiC 气化分子开始离开表面，并重新排列形成一个缓冲层 (Buffer layer)。石墨烯然后在其顶部开始形成。

采用该方法形成的石墨烯的性质受到工艺温度的强烈影响。当 SiC 气化时，硅碳比 (Si/C) 会根据条件而不同。硅具有更高的气化压，因为当温度较低时硅碳比较大，并随着温度的升高而降低，直至接近理想的比例 1。因此我们会采用高温工艺条件 (如 2000℃) 来释放数量接近的硅和碳原子。

该工艺能在大面积的衬底晶圆上生长高质量的单层石墨烯。这要部分归功于 Linköping 大学在 SiC 领域研究的雄厚积累。在该研究机构



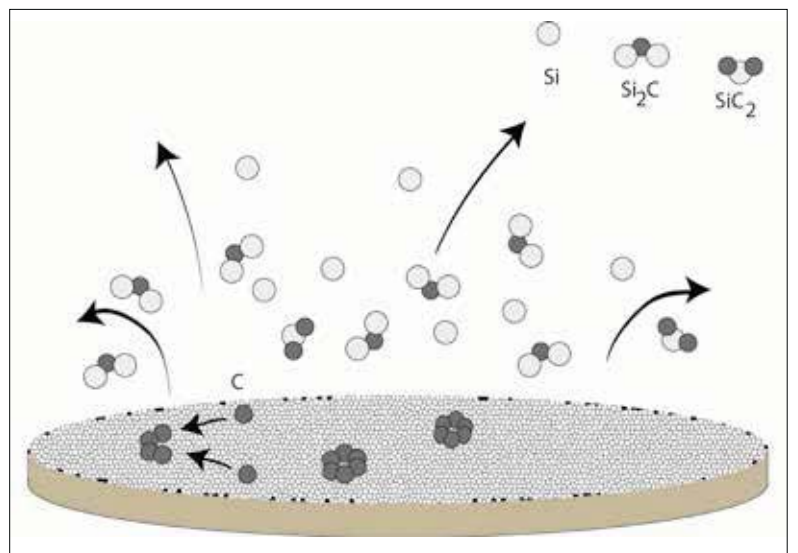
SiC 生长系统方面的经验为大面积石墨烯的生长制备提供了巨大的潜力

中，SiC 生长的研发工作已持续了近 20 年，并且是多种制备方法的先驱者，从液相外延法 (Liquid Phase Epitaxy) 到各种升华生长方法。在瑞典北部的 Esrange，世界上首次使用探测火箭 MASER7 创造的微重力条件下制备 SiC 就是采用的前一种方法。

衬底问题

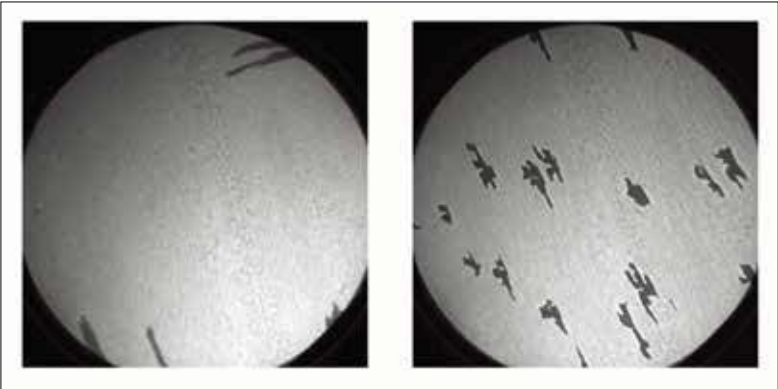
如前所述，商业性可获取的六边形 SiC 主要用于石墨烯的制备。这为晶体行为和材料行为带来了有趣的特性。因为这类 SiC 具有极性，在相对的表面分别以硅和碳原子为表面层。这两个表面具有相当大的表面自由能差，这使得在碳表面制备石墨烯的挑战比在硅表面大得多。

另一个挑战来自低晶相指数表面不完美的晶



SiC 晶圆上石墨烯的形成

技术 | Technology – 石墨烯



3C (左) 和 6H (右) 碳化硅上石墨烯的低能电镜成像显示：大成像域 (>50 μm) 内占大部分的单层石墨烯，以及较暗区域为双层石墨烯。图像提供为MaxLab的Alexei Zakharov。

向。SiC 衬底的这种晶向少许偏移造成了原子级的台阶，而当晶片被加热时，表面会重新排列并经历台阶群聚过程：最初较小的台阶变得更大，台面以及台阶边缘都变得更大。通常单层石墨烯在台面上形成，而后续的石墨烯层则会在台阶边缘形成。

表面重排是 SiC 形成时的一个自然过程，即 SiC 衬底顶部的原子层重排成缓冲层。在石墨烯中，表面重排据信引入了掺杂，这在某些应用中是不希望发生的。要阻止这一现象发生，一些研究者试图将碳化硅上石墨烯暴露在某些元素中，后者能穿透到石墨烯之下，并将缓冲层变为石墨烯层。这一努力的成功使得可以制备没有缓冲层的单层或双层石墨烯。

新标准

全世界许多研究人员都在研究 SiC 衬底硅面和碳面上单层、双层和多层石墨烯的性质。亮点之一是使用缓冲层制备单层石墨烯，其在测量上显示出了突出的性能。我们发现我们制备的碳化硅上石墨烯能够在量子霍尔测量中提供电阻标准，比现有基于砷化镓 (GaAs) 的电阻标准好上几个数量级。量子霍尔测量将普朗克常数 h 与电子电荷 e 联系起来。这可以帮助国际单位体系，提供基于基本自然常数的、质量和电流的量子单位。

碳化硅上石墨烯另一个令人兴奋的机遇是制成独立的单片晶体管，其开关比或可超过 104，且在兆赫兹区间不会产生阻尼振荡。最简单的制备工艺只需要一次光刻步骤就能制成晶体管、二极管、电阻并最终实现整个集成电路，且不需要金属互连部件。实现这种电路的一个阻碍就是石墨烯缺乏能带隙 (Bandgap)。然而带状石墨烯能解决这一问题，其具有 0.5 eV 的能带隙，可通过改变 SiC 的拓扑来进行制备。

碳化硅上石墨烯还在生物传感器领域具有商业潜力。晶体管石墨烯沟道的电子性质受到微小扰动的影响，例如表面的分子等。其高灵敏度来自高的表面体积比，以及由量子约束效应而产生的可调节的电子输运特性。其带来的好处是，这种器件有潜力能够探测单个分子。

生物传感器的运行有赖于被测目标疾病生物标记的使用。它能产生一个表面电荷密度的变化，并能以电信号的形式进行探测。SiC 和石墨烯是该领域非常具有前景的材料，由于它们都在活体和体外研究中展现出了非常优异的生物兼容性，并且没有显示出细胞毒性反应。商业机会包括开发小型化的系统，通过对疾病生物标记的检测实现对疾病的早期诊断及监测。

碳化硅上石墨烯的研发仍在进行中，我们希望能制备出碳化硅这种宽能带隙材料的立方形态。这在目前还是罕见的，但我们的工艺平台能够生长出不同结构，而不受缓冲层的约束。我们的研究团队开发出了使用升华法在六方晶格的衬底上生长 3C (111) 和 3C (100) 碳化硅，并且生长速率可高达 1mm/小时。过去 SiC 一般生长在硅上，但高的热膨胀系数失配和晶格失配会导致应力。我们的目标是使用该方法提供 3C 碳化硅衬底。

尽管无论哪种形式的 SiC 对于石墨烯来说都不是低成本的平台，但是我们坚信这一材料体系蕴藏巨大的商业机遇。我们已经面向来自全球的用户供应材料。随着我们看到有关碳化硅上石墨烯研究进展的文献报道不断增多，相信会促进石墨烯主导市场的建立。对于该材料的商业开发才刚刚开始，但由于它所具有的多种极佳的特性，其未来成就的唯一限制就是我们的想象力。CS。



Graphensic公司联合创始人Mikael Syväjärvi、Rositza Yakimova和Tihomir Yakimov

硅基 GaN 器件阻断电压大幅提升

人们对于硅基 GaN 器件存在某种误解，这种误解阻碍了硅基 GaN 器件的研发及应用。人们通常认为基于硅衬底的 GaN 器件在阻断电压这一性能上存在劣势，事实上并非如此。硅基二极管和 HEMT 器件的击穿电压可以做到 2kV 以上。这一结果得到了多方的验证，包括来自 M/A-COM Technology Solutions 的 Timothy Boles 和 Douglas Carlson，来自麻省理工学院的 Tomas Palacios，以及刚从美国能源部跳槽到 Rock Creek Strategies 的 Mike Soboroff。

GaN 基 HEMT 器件即将对电力电子行业产生革命性的改变，它将器件性能提升到一个新的高度。这一器件性能提升的能力已经引起了晶体管在学术上及产业上广泛关注，促进了其在功率转换方面的应用。这一性能提升主要体现在如下几个方面：功率密度达到 2W/mm 以上；连续电流有效负载达到 10A 及以上；极高的反向击穿阻断电压，典型值达到 1kV。这些晶体管包括了基于蓝宝石，SiC 和硅三种不同衬底平台。三种衬底平台具有不同的优点和缺点。

GaN 器件研发方面的投入取得了当之无愧的具有前瞻性的技术突破，但是 GaN 器件巨大的商业应用价值却并没有体现出来。这或许有多种可以解释的理由。比较具有说服力的一项是尽管 GaN 基二极管和三极管器件性能具有明显的性能优势，但是他们相比竞争对手硅器件来说价格要高出很多。用一种诙谐的说法是，他们并没有对现有技术产生性价比暴涨的效果。

这就解释了现如今的市场领域的现状。在这个市场大舞台上，GaN 器件成功应用受限。可以引用一个广泛流传的咒语去解释：一旦应用的最低性能要求得到了满足，最便宜的解决方案将会胜出。所以为了实现 GaN 基器件产品在更广泛市场的全部潜力，必须要做两项改变：材料成本必须下降；器件生产商必须将产品的应用领域定位到低成本竞争对手，诸如硅基产品，无法应用到的领域。

一条降低 GaN 器件成本的途径是将它们生长在硅基衬底上并通过硅基生产线工艺来制备。美国能源部的研究人员采纳了这一观点，他们正在资助一个项目，研究并最终实现硅基 GaN 电力电子器件技术的商业化。我们参与其中，同时这一项目汇集了来自麻省理工学院，麻省理工学院林肯实验室，M/A-COM Technology Solutions 以及

最近新加入的 Kopin 公司的研究人员，并且将各部门的专业技术相互融合。

我们所有参与这一项目的研究人员的目标是希望将硅基 GaN 二极管、三极管器件和集成电路的阻断电压提升到 5kV 以上，将电流负载能力提升到 10A 以上。我们一直朝着这一目标前进并取得了一定的进展，目前我们的阻断电压已经超过 2kV，电流有效负载达到了 10A 以上。这些成果源于我们一直致力于在材料、器件设计和工艺结构优化等方面的努力。

吸取以往教训

为了更好的了解现如今 GaN 器件的市场发展趋势，我们有必要了解一下 GaAs 器件在微波领域应用的发展历程。在较早时期，由于高质量 GaAs 外延技术无法实现商业化生产，导致 GaAs 基器件的应用领域十分有限。在 20 世纪 70 年代晚期到 80 年代早期的一段时间内，大多数公司必须完全依赖于他们自己生产的 GaAs 外延片，整个市场基本上也仅限于容量较低政府资助的一

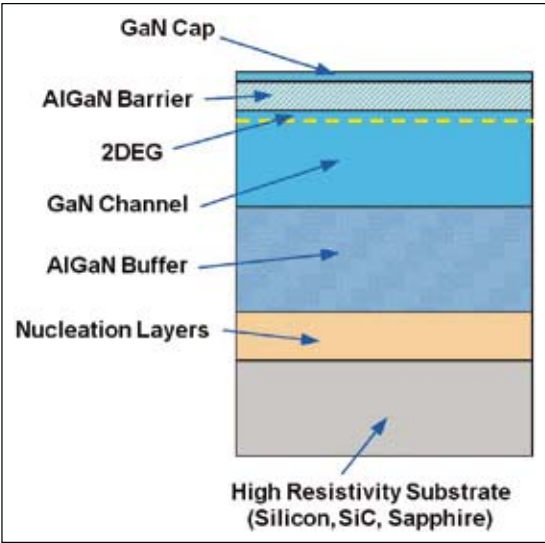


图1：典型的 GaN 基 HEMT 器件的外延结构。

技术 | Technology – GaN 器件

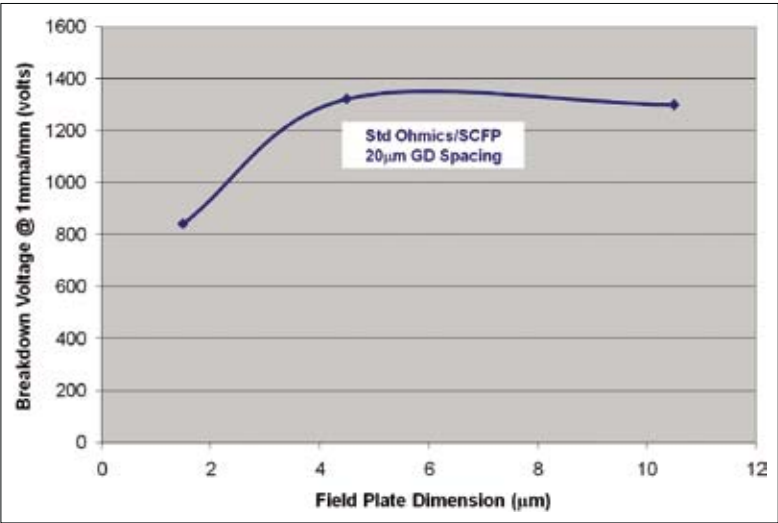


图2：硅基GaN HEMT的栅漏间距固定为20mm，击穿电压受源场板板(SCFP, source connected field plate)设计的影响。在4.5mm的源场板板重叠维度下，平均击穿电压达到了1322V。这意味着漏极平均电场强度为66V/μm(6.6x10⁵ V/cm)。当漏极平均电场强度为82V/μm (8.2x10⁵ V/cm)时，击穿电压达到最大值1632V。

些应用领域。但是到了 80 年代中期，这种形势发生了根本性的转变。一方面高质量 GaAs 外延技术方面引入了多个商业化的供应商，另一方面蜂窝通讯技术的商业化开辟了一个硅基器件无法满足的应用领域。这些市场条件催生了相对低成本、高容量的 GaAs 器件的发展，促使其在射频频率领域实现指数性增长。

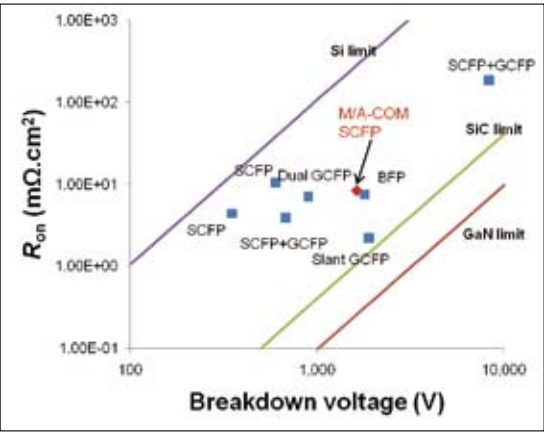


图3：材料的理论极限和各种场板板图形对应的R_{on}及其和反向击穿电压的关系曲线。

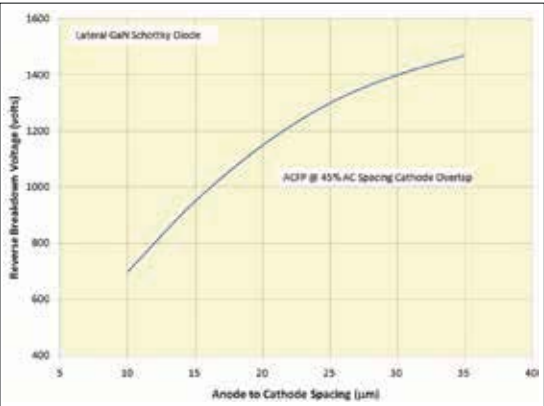


图4：横向阳极耦合场板板(ACFP)GaN肖特基二极管当中反向击穿作为阳极与阴极间距的函数。

在 GaAs 器件市场上的这些发展趋势可以反映在 GaN 电力电子器件的应用领域上。我们的观点是，这些宽禁带器件只有采用硅衬底制备才能在与现有技术的竞争当中体现出成本优势。硅衬底技术会使得 GaN 器件相对便宜，晶片尺寸可以达到 300mm, 可以通过现有大容量硅晶圆代工厂实现量产。如果 GaN 器件沿着这条道路发展，商业化的硅基 GaN 晶片将会有更多的供应商参与进来，他们之间的竞争会使得产量上升，从而带动价格的下降。

我们并不期望 SiC 衬底的 GaN 和 SiC 器件沿着同样的市场轨迹去发展。一部分原因是因为具有完整产业链的外延产品供应商数量有限，SiC 衬底的制造商本身也是极其有限的。更重要的原因在于，SiC 衬底的成本要远远高于硅衬底。这两种材料在晶体生长上有本质上的区别，SiC 晶体生长温度需要 2100℃，比硅生长要高出 600℃，从物理定律上看其生长速率要比硅生长小三个数量级以上。

基于晶体生长上的这些本质差异，我们可以预见 SiC 衬底的 GaN 产品与硅衬底 GaN 技术相比很难体现出成本优势。另外考虑衬底直径的差距（SiC 小于 150mm，硅基可以做到大容量批量生长 300mm），以及硅基整个市场容量等因素，从成本角度来看，硅基技术将会毋庸置疑会胜出。

市场机遇

硅基 GaN 外延片和器件的市场机遇可以分为几类：第一项是在一系列需要器件性能高达 1kV 的功率开关应用领域。这些装置集成到未来规划中越来越多的太阳能和风力发电农场，可以提高电能传输效率。由于减少了新的核电站的建设，效率提升转化为成本节约，将会在未来的 25 年当中节约 500 亿美元。

硅基 GaN 器件另一项应用领域在电动汽车上，包括混合、即插和燃料电池等各种设计方式。一项针对机动车的路线图计划要在 2014 年将工作电压提升到 2kV，此举将减少开启状态和转换损耗，提高效率。这将会带来非常可观的收益，因为逆变器电路不再需要冷却回路，从而在重量、体积和成本上都会大大的节省。高阻断电压 - 有效负载特点所带来的效率提升使得开发硅基 GaN 器件在工业驱动、电动机车以及军事和商运货船等领域上的应用变得非常有吸引力。低成

本的硅基 GaN 技术,将会在上述所有这些领域存在着潜在利用空间。基于商用硅基 GaN 的外延片,加上 AlGaN 的缓冲层和阻挡层就构成了 GaN 的 HEMT 器件 (见图 1)。

这种 GaN 器件结构可以采用 MOCVD 或者 MBE 两种方式生长。生长过程需要先沉积一层成核层,针对不同的衬底材料(硅, SiC 或者高阻蓝宝石衬底)成核层各不相同,其后生长相对厚的 AlGaN 缓冲层或者超晶格结构。这有两个目的:其一缓解晶格失配,引导衬底 / 外延层之间的应变过渡;其二是在有源区与衬底以及衬底 / 外延层界面形成电学隔离。缓冲层的组分和总厚度会影响这一层的漏电的产生,并最终限制了整个器件的反向击穿性能。

缓冲层之后连续生长 GaN 有源层和 AlGaN 肖特基势垒层。势垒层当中的 Al 组分通常在 22%-32%,我们需要在导通电阻以及漏电特性之间折中去精确选择最佳的组分。最后加上 GaN 的盖层即完成整个结构生长。这层 GaN 盖层可以减小底层 AlGaN 层被氧化的几率,增加器件的接触电阻。

当然我们不是唯一一家从事硅基 GaN 技术的研究小组,但目前为止这一领域的大多数研究小组的结果还仅仅局限在 600V。这一普遍结果使得多数功率器件厂商误认为硅基 GaN 技术仅限于这一工作范围,他们认为如果要是提高击穿电压能力到 1kV 以上,就必须转向 SiC 衬底的单端 GaN 器件。我们对于硅基 GaN 器件能够工作在 1kV 甚至更高的工作电压毫不质疑。但显然成本会更高,并且看不到任何下降的预期。我们的工作希望能够消除对于硅基 GaN 技术具有电压上限的误解。并且证明硅基 GaN 技术具有制备高驱动电流下高阻断电压的能力。

由于近年来硅基 GaN 技术的商业化发展,尤其是在缓冲层改进和场极板设计技术方面的提升,HEMT 和肖特基二极管目前能够承受超过 1.5kV 的负载电压。我们研究小组还可以做到比这更高的电压,硅基 GaN 的 HEMT 阻断电压超过了 2.5kV,肖特基二极管负载电压超过了 3kV。这些器件性能颠覆了传统的观念,即在需要高工作电压的电力电子应用领域当中,GaN 器件必须生长在 SiC 衬底上。

我们的结果显示,器件在电流负载达到了 10A 以上的同时,阻断电压达到 1.5kV。这些器件采用商用的尺寸为 100mm 的硅基 GaN 外延片制备。

场极板的位置和尺寸的优化是一项实现高阻

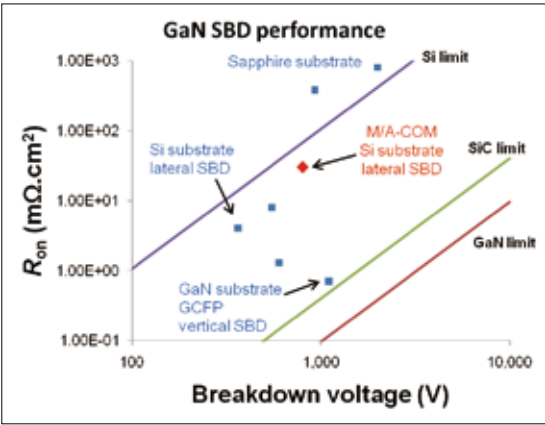


图 5: 和在蓝宝石、SiC、单晶 GaN 衬底上生长的器件相比,硅衬底上 GaN 肖特基二极管的导通电阻更高。

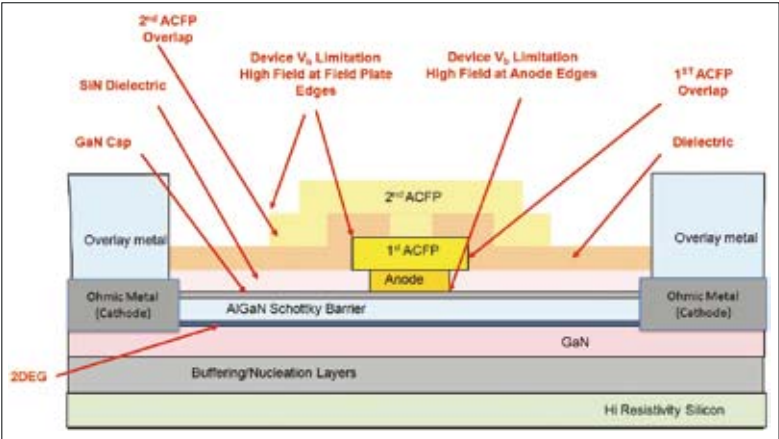
断电压的关键所在。通过将源漏间的击穿电压作为场极板尺寸的函数来绘图就可以看出,这项技术对于晶体管的重要性是显而易见的 (见图 2)。

我们同时还测量了这些具有高电压的硅基 GaN FET 的导通电阻,并且将这些数据和具有理论极限的一组材料体系相比较,得到了各种场极板几何形状和材料体系的结果 (见图 3)。这个基准测试结果表明我们的硅基 GaN 与之前报道最先进器件的测量值非常完美地相吻合,这些器件在一系列衬底上生长,包括 SiC 上 GaN 器件和不同的场极板方式。

为了建造大功率逆变器用的电路,通常需要高反向击穿的二极管和高阻断电压晶体管结合使用。到目前为止,高于 1kV 反向击穿电压的宽禁带二极管仅仅在 SiC 基 GaN 和 SiC 上实现。但是我们这项受到 DOE 资助的项目已经表明,硅基 GaN 远远具备了制造和上述性能级别相当的器件的能力。

肖特基二极管的结构可以被分解为横向和纵向设计,我们主要关注点在横向上,这是因为横向结构可以集成三极管结构。这两种器件配对在一起即形成集成功率电路的关键所在。在我们的

图 6: M/A-COM Technology Solutions 制造的具有阳极耦合场极板的 GaN 肖特基二极管。



下转第27页

离子束沉积法

本文是一篇离子束技术的概论，文中介绍离子束沉积工艺相比较于等离子法或蒸发法（PVD）等技术而言的主要应用及优势。文章首先对离子束是如何产生的过程进行了描述，随后说明并讨论了离子束技术的一些优势应用。Oxford Instruments Plasma Technology Ltd. 的离子源产生由低速（冷）离子组成的低温等离子，这种低温等离子可以通过栅网根据明确定义的能量从离子源析取出来，且不会对栅网结构产生任何明显的侵蚀。

设备和技术

离子束源实质上就是一个安装有一组栅网并能够析出离子流的等离子源，我们的离子束源主要由下面三部分组成：放电室、栅网和中和器。

离子是在放电室中通过对气体（通常为氩气）施加射频场而产生的。气体被注入到周围缠绕有射频驱动天线的石英或氧化铝室中，射频场激发自由电子直到它们有足够能量将气体原子分解成离子和电子，详情可参考“电感耦合”。气体此时已经离子化并且形成了等离子体。天线的端-端射频电压能达到很高的值，该电压的效果是对离子形成静电力，从而产生高能量离子。虽然这种方法可使离子源容易启动，但这些离子会通过溅射作用侵蚀离子源，使离子源损坏并在工艺过程中产生污染，详情可参考“电容耦合”。

在牛津离子源中，通过在石英室内部安装一个静电屏装置，只允许射频磁分量传输能量给气体原子，可有效抑制“电容耦合”。静电屏装置除了阻止射频天线线圈周围产生的电场进入离子源外，还有助于防止任何连续的导电层沉积在石英等离子管的内表面，该沉积的导电层会屏蔽并降

低射频功率产生等离子体的效率。

栅网的作用在本质上是加速离子以获得很高的速率。通常，我们的栅网组由两个或三个栅网组成（见图 1a），栅网有一个特定的由许多离子出射孔组成的开孔图案，所有从小孔射出的小离子流组合在一起就形成了离子束。栅网间的间隔和栅网的曲率也是重要的特性，它们取决于应用要求，例如，取决于溅射靶的尺寸或沉积速率。

我们的离子源产生由低速（冷）离子组成的低温等离子（ $<1\text{eV}$ ），这种低温等离子可以通过栅网根据明确定义的能量从离子源析取出来，且不会对栅网结构产生任何明显的侵蚀。

现在考虑三栅网系统，栅网之间施加特定的电压可对离子提供驱动力。与等离子接触的内栅网称为“屏蔽栅网”，它是决定离子束电压（能量）的栅网，通过对地正电势进行设定。

中间的栅网设定为对地负电势，它和对地正电势的屏蔽栅网之间形成了很高的电势差。这一电势差可对从屏蔽栅网孔穿出的离子进行加速，因此也代表了离子束的析出电压。第三个“减速栅网”通常接地，它有助于保持离子束准直（减少离子束发散），抑制电子返流以及溅射后的材料向后重新沉积到加速栅网上和离子源内部，从而延长停机进行栅网清洗的周期，也使栅网清洗更加容易。析出离子的最终能量等于设定的离子束能量（ V_B ），如图 1b 所示。

最后，牛津仪器离子源中的第三个元件是中和器，它基本上是一种电子源，用途是平衡离子束中的离子电荷，从而降低由于离子互斥作用引起离子束发散的空间电荷效应，并且防止晶片或靶充电。一般来说，中和器发出的电子比从离子源析出的离子要多，然而这些电子不会直接与离子流结合形成中和原子。离子束发散度是很多参数（ V_B - 束电压、 I_B - 束电流、 V_A - 加速电压、

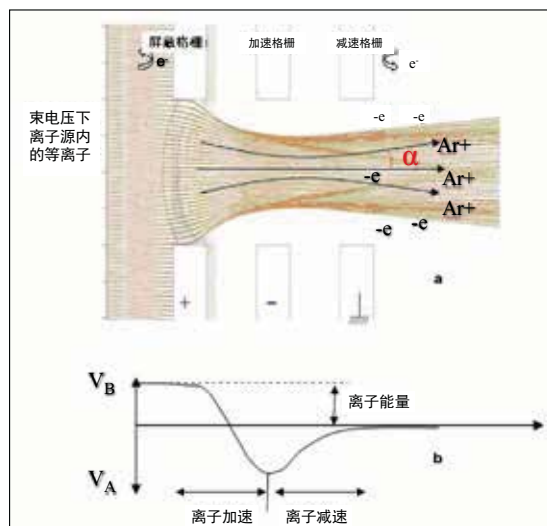


图1: 三栅网离子束组成结构

I_N - 中和器电流等等) 的函数, 另外, 它还受到气体散射的影响, 气体散射主要取决于室压, 这是需要保持室压尽可能低的一个原因。这些参数之间的相互作用复杂, 优化是一个平衡各种参数的过程, 直到获得理想的结果。

基本的 DIBS (双离子束溅射) 室装置带有一个沉积源 (见图 2), 能够以最小的溢出准确地将一个已中和的离子束聚焦到靶上, 从而避免对沉积层薄膜产生污染。该过程可使材料发生沉积作用, 金属材料如金、铬、钛、铂, 磁性材料如铁、钴、镍等, 或电介质如二氧化硅、三氧化二铝等 (该处未全部列出)。该装置还带有一个能满足各类功能要求的辅助 / 蚀刻源, 用于对基材进行蚀刻 (离子铣削), 同时对沉积工序起到辅助作用, 原理是通过携能离子轰击沉积膜层以增强或改变薄膜层特性, 或通过物理和 / 或化学效果改善或改变化学计量结果; 它还可在沉积前对基材进行一个低能量的预清洗作业。在某些情况下, 离子源使用时可不带栅网, 只是作为一种“热”活性自由基等离子源, 对沉积材料进行化学修饰, 同时降低对基材的物理轰击。

IonFab 系统可提供一种离子源或多种上述提到的其它离子源, 用于不要求辅助或蚀刻的沉积工序, 或在不需要沉积的情况下仅作为一种蚀刻 / 铣削 / 表面修饰的工具。

某些最常用的沉积材料是氧化物, 如 Al_2O_3 、 Ta_2O_5 、 SiO_2 和 TiO_2 (通常 Al_2O_3 、Ta、Si、 SiO_2 和 Ti 靶材会加入氧气作为工艺气体)。事实上, 氧气可直接或通过沉积源和 / 或辅助源导入到腔内; 在转移到基材过程中或者在基材上, 如果使用含氧的辅助离子束或等离子束, 对于溅射作用被取代且氧气耗尽时的化学介质靶, 或当某些点 (可以是靶材上的点) 溅射的金属原子被氧化而处于反应模式的金属靶, 都可使化学介质发生沉积作用。第二离子源可用于基材的预清洗, 例如, 可使膜层结合性加强或可移除原来的氧化物, 或在沉积工艺中作为一种物理辅助措施, 使膜层更加致密。

该方法同样适用于氮化沉积, 如在腔内使用一个 Si_3N_4 靶, 并直接在腔内导入或通过辅助源导入氮气。另外, 对于更“奇特”的材料, 如 MgF_2 、 LaF_3 、 Nb_2O_5 、 ZrO_3 、 Y_2O_3 和 HfO_2YF_3 等也可以通过离子束溅射进行沉积, 清单中包括的类似 VO_x 的材料要求进行极为精确的工艺气体比

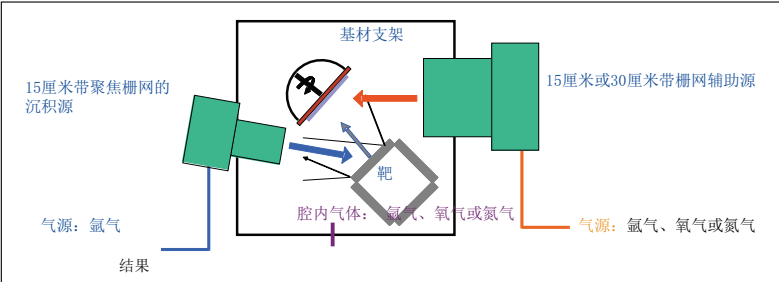


图2: IonFab系统示意图

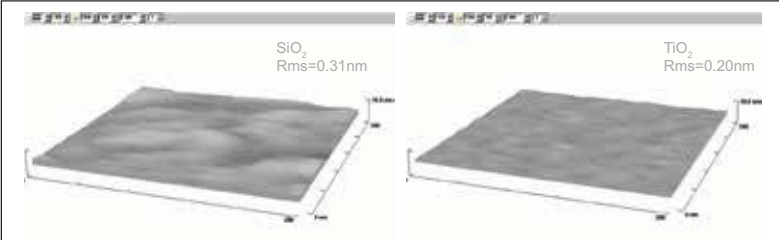


图3: AFM表面粗糙度评估测量

例的控制, 从而达到非常特别的热电性能, 以便应用于热敏成像领域。

我们的装置还可以使基材旋转且与溅射流方向呈倾斜角, 进一步“优化”膜生长过程和膜性质, 以及对沉积的表面拓扑布局进行阶梯覆盖控制。沉积速率比蒸发要低一些, 但沉积法只需简单地通过定时就可以更好地控制重复性和可预测的沉积速率, 从而达到非常精确的厚度控制。材料也可在比蒸发法更低的温度环境下进行溅射和沉积, 使得基材的实际温度在氮回流冷却工艺中能始终保持在很低的状态。

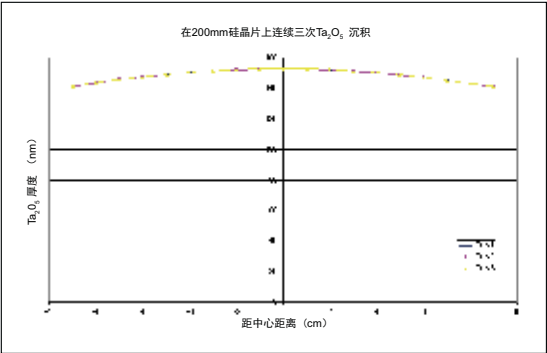


图4: 在200mm硅晶片上连续三次Ta₂O₅沉积的均匀性

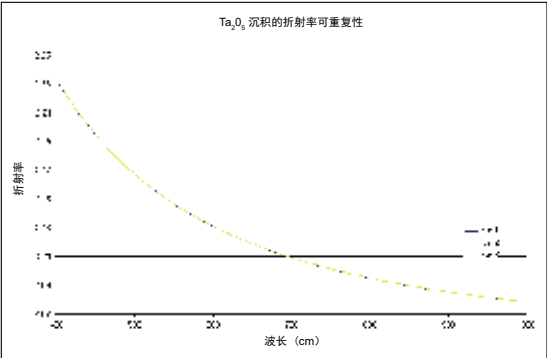


图5: 连续三次 Ta₂O₅沉积的折射率可重复性

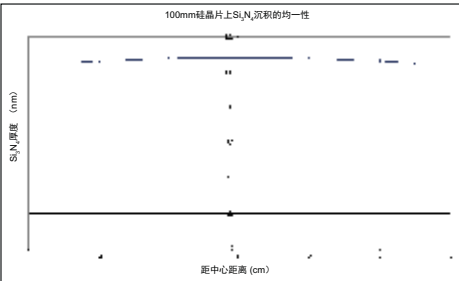


图6: 在100mm硅晶片上Si₃N₄沉积的均匀性

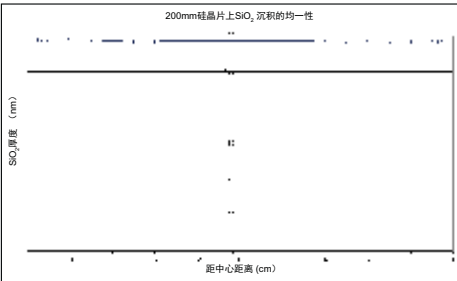


图7: 在200mm硅晶片上SiO₂沉积的均匀性

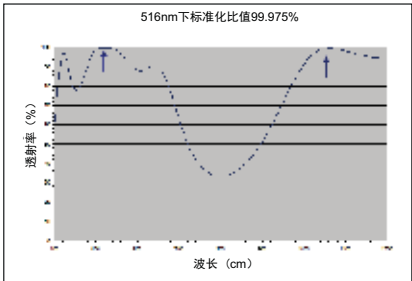


图8: 8个Ta₂O₅/SiO₂膜层的抗反射镀膜 (AR)

离子束沉积可在比标准磁控溅射更加低的压力环境下进行 (10⁻⁴ 托或更低), 因此, 膜层因任何溅射气体 (如氩气) 产生的问题 (蒸发法也存在此类问题) 会更加少。离子和溅射材料的平均自由行程因此而大大增加, 同时也可以抑制溅射材料的热化性, 使其相比其它方法如蒸发法的原子获得更高的沉积动能 (通常 1-100eV)。

基材制备和 / 或膜层应力通常是膜层粘结变厚的主要原因, 通过第二离子源, 离子束沉积不仅能够提供表面预清洗而且能对膜层应力进行控制。

更重要的是, 离子束沉积不会出现蒸发法中常见的“喷溅”问题。

沉积膜层的质量可从光学性能和机械性能两方面来判断, 下面分别讨论。

膜层的光学性能有如下特点:

- 透光率 (与色散值和均匀性有关)
- 吸收率 (与透明度有关)
- 散射性 (与表面粗糙度和体积缺陷有关)

我们专有的离子束光学镀膜机得益于平滑的膜层沉积, 能够产生非常好的散射损失效果。图 3 显示的是硅晶片上 SiO₂ 和 TiO₂ 单一氧化层示例, 同时也测量到 Si₃N₄ 沉积在硅晶片表面的粗糙度为 0.22nm rms。

然而, 除了具备优良的膜层平滑度, 如果要在下一个沉积膜层获得同样的结果, 离子束装置必须具有可靠的和可重复的离子束源。当进

行多层镀膜时, 膜层厚度和折射率的可重复性非常重要。

图 4 显示的是在硅晶片上对一个 8 英寸晶片连续进行三次 Ta₂O₅ 沉积测得的数据。图 5 显示的是连续三次沉积获得相应的折射率可重复性。图 6 示例显示的是在 100mm 硅晶片上沉积的 Si₃N₄ 膜层的折射率均匀性为 ±0.1%。图 7 示例显示的是在 200mm 硅晶片上沉积的 SiO₂ 膜层, 在排除 5mm 边缘区后的折射率均匀性优于 ±0.1%。可以观察到 Ta₂O₅ 沉积的不同曲线图与不同的转盘定位和影响离子束发散的各项离子束参数相关。

下面是采用我们的装置在一些领域的应用示例:

图 8 中显示激光束镀膜的两个镀面各有一个激光束: 8 个 Ta₂O₅/SiO₂ 膜层的双波长抗反射 (AR) 镀膜参数。

透射率 @532nm: 99.815%

透射率 @1064nm: 99.390%

单腔过滤器: 图 9 中显示的是依据麦克劳德方法计算的理论透光率以及通过分光光度计扫描测量的多层沉积膜的实际透光率

波峰插入损耗 -0.08dB

脉冲半宽高 = 2.021nm

中心波长: 1553.4 nm

40 QW's

三镜腔, 图 10 显示插入损失扫描相对应的波长图。

中心波长 1549.8nm (ITU = 1549.72nm)

通带带宽 @ - 0.5dB = 1.07nm

阻带带宽 (@ - 25dB) = 2.7nm

插入损耗 (@1549.7nm:193.45THz) = -0.086dB
环形激光陀螺 (RLG), 图 11 显示的是一个设计为 633nm、45° 镜面的透射扫描。

磁镜损失 <60ppm

均一性 <±0.0005

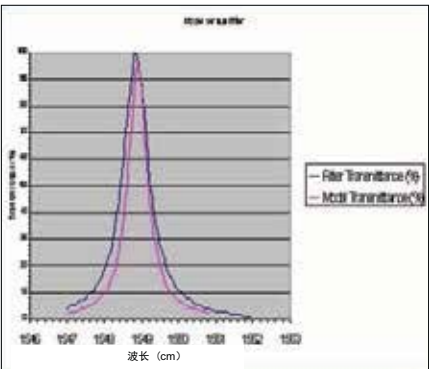


图9: 单腔透光率

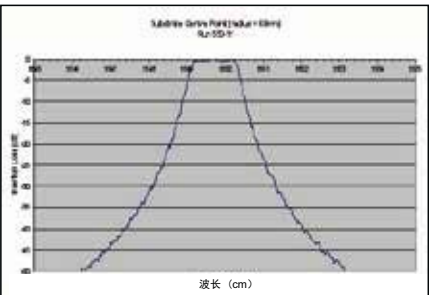


图10: 三镜腔插入损失扫描相对应的波长图

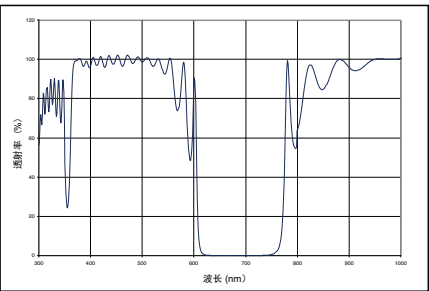


图11: 一个设计为633nm、45°镜面的透射扫描

表面粗糙度 <1Å

我们的一些客户在他们的环形激光陀螺反射镜中曾达到总损失低于 20ppm。清洁的室内环境和工艺的优化以及系统的准备对总损失保持在低水平非常关键。

该技术应用非常广泛，除此外列举的几个例子，还适用于各种多层镀膜，这取决于镀膜类型、生产能力和要求的质量，并且可提供多种手段监测和控制膜层的生成，如采用石英晶体监视器或现场的光学监控。

结论

综上所述，离子束沉积法的主要优点有：

- 表面质量非常高
- 膜层致密光滑
- 散射作用非常低
- 光学失真非常低
- 批间工艺重复性非常高
- 均一性好
- 灵活性大
- 应用范围广。🏢

上接第23页

横向阳极耦合场极板（ACFP）硅基 GaN 肖特基二极管当中，阳极与阴极间距决定了器件的反向击穿（见图 4）。优化这一参数，我们的硅基肖特基二极管的反向击穿电压可以超过 1.5kV。

我们的硅基 GaN 肖特基二极管在导通电阻这一参数上同样毫不逊色于在其他衬底上生长或是不同结构设计的器件(图 5 是导通电阻的对比，图 6 是一个典型的场极板结构的截面图)。二极管的载流能力可以超过 10A，并且可以通过器件尺寸大小改变来调整。

虽然我们的器件仍然处在研发的初期阶段，但是已经显示出硅基 GaN 技术可以制备出阻断电压超过 1kV 的 HEMT 和肖特基二极管。这些器件将会在电力电子市场上赢得重要重要的市场份额，因为它们要比 SiC 上的 GaN 更有竞争力。相比而言 SiC 上的 GaN 器件虽然在性能上有令人惊艳的器件结果，但受到衬底和外延片可用性的劣势上的限制也是相当明显（价格昂贵并且不能做到硅基 GaN 器件的尺寸）。

我们深信，硅基 GaN 电力电子器件仍然有一些工作要做以改善其性能。它们仍将是唯一重要的可以替代现有的硅的宽禁带材料。它们注定会取得重大的成果，我们相信它们可以在市场将取得更广泛的认可。🏢

备注：以上工作得到了美国能源部的资助 合同号：DOE IA No.: DE-AI26-OE0000121
Award No.:DE-AI-26-07NI43294/006

普莱思推出蓝色硅基 LED

英国普莱思半导体（Plessey Semiconductors）推出蓝色硅基 LED，新产品在 420mA 的条件下可以提供 350mW 的辐射功率，其主要应用包括娱乐照明、装饰照明、泛光灯以及洗墙灯，此外它还特别适用于任何需要脉冲照明的 SSL 应用。

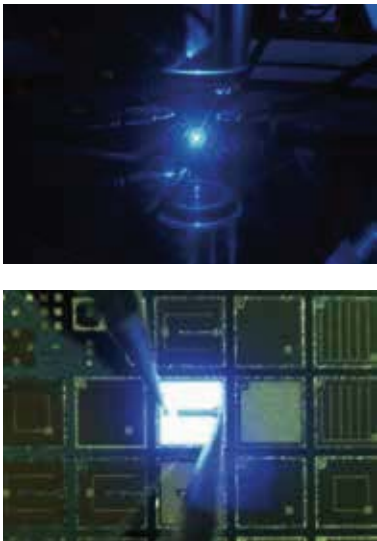
利用剑桥大学的 CamGaN 公司研究的一项 IP 技术，普莱思在硅衬底上生长出商业级高品质 LED。今年 4 月，他们首次在 6 英寸硅衬底上制出商业 GaN LED 样品,现在其正式产品已经面世。虽然新产品在能效方面与以前产品相比有很大改进，但仍远远落后于蓝宝石 LED。普莱思预计未来几个月内，更高功率的 LED 将推出，我们可以期待更多。

GaN-on-Si 的魅力在于，利用更低廉、普遍可用的硅晶片和自动化后端制造工具，可以生产

出成本更低的 LED。

普莱思计划在今年年底前生产出白光效率为 150 流明 / 瓦的硅基氮化镓 LED，预计其性能将可与传统的蓝宝石衬底或碳化硅衬底 LED 相媲美。他们还打算购入大量 MOCVD 设备，用于大规模生产磊晶片。

普莱思首席运营官 Barry Dennington 表示，“新型 350mW 产品验证了我们在集成电路生产线上制造 6 英寸硅基氮化镓 LED 的固有灵活性。我们的产品在输出效率上取得了持续改进，未来我们将推出更多更优质的新产品”。🏢



长期合作推动了 SiN 沉积技术的多项改进

Robert Mohondro, Plasma-Therm 公司

Evan Law 和 Jim Meyer, RF Micro Devices 公司

PECVD 设备的投资者希望该设备能长时间地正常运转并能沉积出极其均匀的薄膜，还希望所购买的设备要具有升级的空间，以防止它们在几年后就显得过时。为满足这些要求，设备供应商和芯片制造商的携手合作对沉积设备及其工艺进行改进就显得尤为重要。



芯片制造商都想做出性能优秀的产品，但这并不足以说明他们已经获得成功——他们的产品还必须能盈利，因为只有做到这一点才能保证他们具有长期发展的潜力。

影响产品是否能盈利的一个重要决定因素就是对生产工艺设备的投资费用。为避免过多的设备投资，生产管理人员必须要确保所购买的设备不仅能生产公司当前的最新产品，还要具有生产公司下一代产品的能力，甚至还要具有生产在今后几年中公司将会问世产品的能力。换句话说，他们必须计算好购买新工艺设备的投资回报率。

通过对更换旧设备和升级现有设备这二者之间的利弊进行权衡，就可来提高设备的投资回报率。但是为了更好地开展这项工作，必须在设备

供应商和设备用户之间建立起一个强有力、开放性和支持性的协作关系。本文作者所在的 Plasma Therm 公司和 RFMD 公司间的关系就是一个很好的范例，Plasma Therm 公司是等离子刻蚀和沉积设备的制造商，而 RFMD 公司是世界领先的化合物半导体芯片的制造商之一。

在 Plasma Therm 公司和 RFMD 公司之间强有力合作关系，已成为大幅提高大面积（LA）等离子增强化学气相沉积（PECVD）设备产能的基础。这些 PECVD 设备可用于沉积 SiN_x 薄膜，它常作为器件结构中的层间介质层、钝化层、密封包封层和电学隔离层，也可作为 MIM 电容器金属电极间的介质层和进行热退火时的覆盖层。两公司间这种持续合作的重点包括有：大面积沉积设备的开发及其商业化应用；对晶圆分送器（indexer）



技术 | Technology — GaAs 制造

进行升级，以大幅减少不当的晶圆工艺处理，并增加沉积反应器所需清洗和维护的时间间隔；对实时的清洗过程进行优化，以减少影响良品率的微粒数量，进一步降低设备的消耗性支出和停机时间。除此之外，合作双方已共同致力于改进反应气体喷头的制造技术，使得 PECVD 设备所沉积薄膜的均一性能达到一个更高的水准。

新设备的开发

Plasma-Therm 公司在多晶圆等离子增强化学气相沉积（PECVD）设备的开发和生产上已经有着悠久的历史，早在 1995 年公司就推出了一台具有 11 英寸直径的电极、在批处理模式下可以同时处理 4 片 4 英寸晶圆的 VLR-PECVD 设备系统。

为了满足 RFMD 公司需要 PECVD 设备能加工 6 英寸晶圆和具有更高产能的要求，位于美国佛罗里达州 Saint Petersburg 的 Plasma Therm 公司的工程师们在 1999 年重新设计了这一设备系统。这种 PECVD 设备系统具有一个更大的反应



位于美国北卡罗莱纳州Greensboro的RFMD公司已经安装了多台 LAPECVD 设备

技术 | Technology—GaAs 制造

表1. 气体喷头的改进降低了沉积膜层的非均匀性程度

Item	Parameter	Testing/Process Results (high rate)	RFMD STANDARD PROCESS
1	Deposition Rate	≈ 520Å/min	≈ 90Å/min
2	Film Thickness	≈ 11.4kÅ	≈ 500 to 5000Å
3	Deposition Non-Uniformity - ATW	< ±1%	AVG = 1.65% st.dev. = 0.42 (within wafer – 5mm exclusion)
4	Deposition Non-Uniformity - WTW	±0.3%	AVG = 1.05% st.dev. = 0.57 (wafer to wafer – 5 wafer load)
5	Deposition NU - Batch to Batch	±0.3%	For 975Å thick film the batch to batch variation (standard deviation from target) is on average 10.7 Å
6	Stress*	-305±25MPa	300±25MPa (Tensile)
7	Refractive Index	2.0	2.0
8	Deposition Temperature	200°C	250°C
9	Thickness Control	Yes	1 step dep process
10	Plasma Clean Chemistry	Yes	Yes
11	Plasma Clean Control	Yes	Clean every 120 kW hours = ≈1.5microns of deposition

2D1C = Two deposition cycles followed by 1 in-situ clean/ chamber conditioning deposition
3D1C and 4D1C are under investigation.

* Stress is adjustable

室、电极以及反应室中的晶圆夹盘，称之为 LA-PECVD。它可以同时加工处理 8 片 4 英寸晶圆或 5 片 6 英寸晶圆，与其先前设备的产能相比提高了 42%，这相当于每个小时该设备可以多加工 5 片晶圆 / 台，即每年可以多加工将近 44,000 片晶圆 / 台。

RFMD 公司于 2000 年接受了该种设备的测试版机台，工程师对安装后 PECVD 反应器的加工和产能进行了认证。这个系统能满足其对更高产能的要求，但也存在着一些问题，但其中大部分对所有测试版设备来说都是普遍会存在的一些小问题。经过与 Plasma-Therm 公司的合作已成功地解决了这些问题，随之，在这两个公司之间建立起了强有力的信任纽带并延续至今，这也导致 RFMD 公司对 LAPECVD 设备签发了进一步的后续订单。

Plasma-Therm 公司在设备交付后，通过其客户改善计划 (CIP) 还为 RFMD 公司提供了持续不断的

协助。尽管这一协助过程是按约定进行的，但是仍然会间歇性地出现一些主要是加工工艺方面的问题，它们都是由 Plasma-Therm 公司来帮助进行调研和处理的，最终每个问题都得以解决（见表 1）。上述调研工作的成果之一是为 RFMD 公司建立了一个‘标准性’的生产工艺，它是一种

Plasma-Therm公司LAPECVD设备采用平行板电极设计和13.56MHz功率源来产生等离子体，晶圆的温度可以控制在100℃到 350℃之间。



完全不同于在设备测试和认证时所采用的高速率生产的工艺。

晶圆分送器的升级

另一个需要解决的问题是与晶圆分送器 (indexer) 相关。它是一个可旋转的用于装载晶圆的夹盘，是反应室结构中的主要组成部分。当一个晶圆装载后，分送器随即会随之提升，然后旋转到下一个位置再装载下一个晶圆。一旦全部晶圆装载完毕，反应室的装载真空锁即由一个门阀实现关闭，然后将反应室抽至真空，开始加工所有的已装载的晶圆。

这种晶圆分送器在运转中断断续续地会出现一些问题，我们两家公司都试图能找到一个合理可行的解决方案。根据最初的设备设计是进行更好的整体更换，但其几个间歇性发生的问题依然存在：分送器会丢失原始出发的位置；会将晶圆装载至相同的置放位置；以及由于分送器丢失原始出发位置而引起晶圆的碎裂。对分送器所做的进一步改进提高了部件整体的可靠性，但仍然还是存在间歇性发生的故障，主要是由分送器置放定位不精确所引起的晶圆装载时产生位置错误问题。

我们两家公司的工程师们共同努力来弄清这个问题的真相，通过不断的调研和测试，提出了一个最终的、非常有效的解决方案，就是在 RFMD 公司安装一个驱动器和具有更高分辨率的编码系统。最初，对其中三个设备完全以这种方式进行改造，满载晶圆的分送器出现了一个小问题，也就是所

增加的晶圆负载 (重量) 影响了编码系统的灵敏度。在工作中我们所采用的办法是使所有这三台设备的负载都实现标准化，为最佳负载操作条件设置了相应的灵敏度数值，并“记住”每个负载的位置 (参见图 1)。在这三个系统以零故障运行了几个月之后，RFMD 公司的工程师们用这种驱动和编码系统对它们公司的其它设备也进行了同样的升级改造。

改进后的分送器提升了晶圆的产能，在解决这一问题的同时也将该设备的平均正常运行率从 91% 提高到了 97% 以上，这



相当于每年每台设备能多生产 10,000 片以上的晶圆 (参见图 2)。

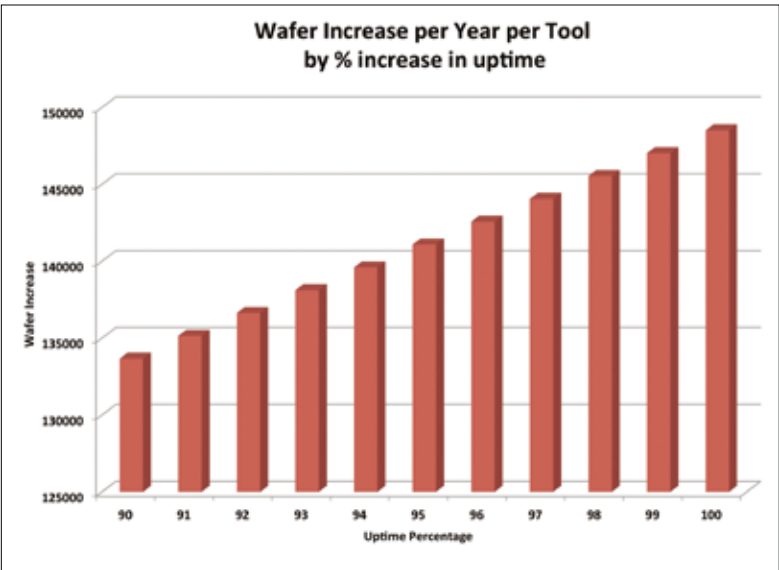
气体喷头的改进

Plasma Therm 公司和 RFMD 公司一起合作，通过对气体喷头的改进，提高了整个晶圆中和晶圆间 SiNx 厚度的均一性，气体喷头是上电极部件的一个组成部分，它能使工艺加工室的整个直径剖面上的气流有一个理想的分布。最初，晶圆上 SiN 薄膜均匀性不够好的位置分布没有规则性，或者说是相当随机的。Plasma-Therm 公司的进一步调研发现了一个与气体喷头相关联的问题，所以在设备制造中对气体喷头部分进行了改进，并建立了一个对最终质量的控制程序，它是对气体喷头进行工艺测试后所发现问题的解决结果。

我们双方在这方面的努力降低了 Plasma

图 1：机械手将晶圆装载到设备上。分送器的每个位置都会被“记住”，位置数据经存储后将用于对晶圆进行有序的装卸。

图 2：在设备正常运行时间上一个小小的增加，意味着每台设备每年可增加数千片晶圆的加工量。



技术 | Technology—GaAs 制造

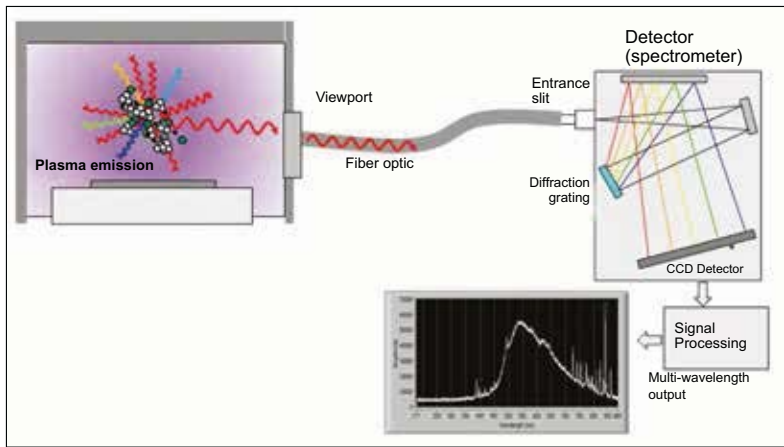


图3：光学发射光谱可以确定反应室内对SiN薄膜的清洗在何时已经完成。

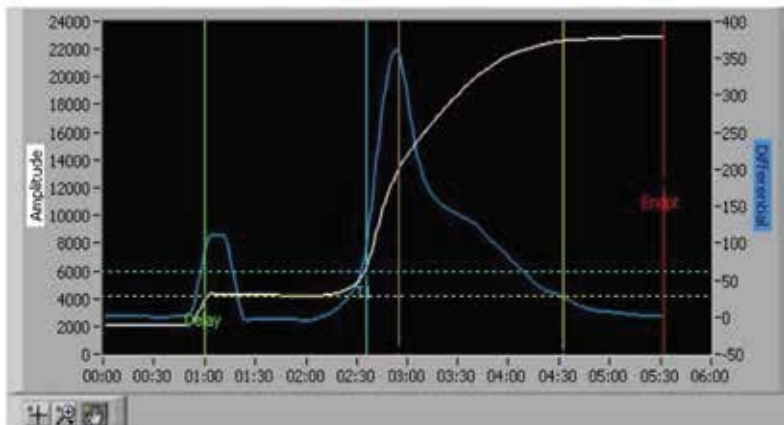


图4：EndPointWorks光学发射光谱可以对反应室清洗的终止点进行跟踪显示。X轴为时间，Y（左）轴为信号强度。Y（右）轴是由我们的终点软件计算得到的差值，它包括了对清洗步骤以及反应室在后续晶圆沉积前条件准备等情况的跟踪。

Therm 设备所沉积 SiN 薄膜的非均匀性程度，已经超越了 RFMD 公司原先认定的均匀性水平。具有 $\pm 3\%$ - 4% 的典型厚度非均匀性现在已成为了标准化水平，要达到更低的非均匀性目标，如厚度非均匀性要达到 $\pm 1.5\%$ 这一如同是“奇迹”般的水平，还是我们未来的奋斗目标。

Plasma-Therm 公司所做的这些改进已经明显地降低了沉积的非均匀性，使其在当前的 SiN 沉积工艺中能普遍实现低于 $\pm 2\%$ 的非均匀性程度，而且经常还比这个水平还要好。气体喷头、反应室内壁以及反应室内的晶圆夹盘是所有 PECVD 沉积系统中微粒沾污的主要来源。为了尽量减少这些颗粒物沾污，最为重要的是需要对反应室内尽可能多的表面进行加热，使得所沉积薄膜材料能具有更好的粘附性，避免沉积在反应室夹盘表面的 SiN_x 膜层形成薄片或产生脱落。反应室内需要进行加热的部件还包括有上电极板。在反应室进行每次实时清洗后，需要将气体喷头调节回到其最初的操作工艺条件。

最初，由于晶圆分送器的定位故障发生频率

相对较高，此时需要经常打开反应室来解决问题，所以反应室进行实时清洗的好处就被人们忽视了。根据最初的预防性设备维护计划，每六个月需要打开反应室进行清洗工序一次，在每次打开反应室来解决晶圆分送器故障的同时，又进行这种设备反应室内部的清洗这这也是一个十分合理的事情。上述这些故障的发生频率会因设备的不同而变化，在某些情况下每两到三个月就会发生一次。

因为很难知道间隔多长时间才需要对反应室进行一次实时清洗，这就不可避免地会在实时清洗时产生“过度去除”现象，这将会降低设备的工作效率及其可利用性。通过 Plasma Therm 公司和 RFMD 公司之间的合作已经找到了解决这一问题的方法，就是采用光学发射光谱（OES）技术来提供清晰、精确的清洗终点探测，即什么时候反应室内的所有部件上附着材料都已经被清洗去除干净（参见图 3 和 4）。

去除 SiN 附着物的一种常见的方法就是用含氟的气体对其进行刻蚀清洗，RFMD 公司也采用了这种方法，用 SF₆ 和 N₂O 的混合气体来对反应室内部进行实时的清洗，其中的 N₂O 是作为氧源，它与游离的 S 反应成键，加快了对 SiN 附着物的去除速率。通常在 SiN 沉积厚度达到 1.5 μm 后就需要进行清洗，整个工序耗时约需一个小时，它包括了清洗工序（由 OES 来指示清洗的终点）以及随之进行的清洗后沉积工艺条件的重新‘调节’过程。

由于在实时清洗工艺上的改进，需要打开反应室进行清洗的间隔时间已经得到了延长。在 2010 年 RFMD 公司的工程师认为每年需要打开反应室清洗一次，但到了 2011 年底，打开反应室清洗的时间间隔就被延长到每两年一次。由于 Plasma Therm 公司和 RFMD 公司的合作和改进，解决了需要不断地、无规律地打开反应室进行清洗的问题，使其间隔时间得以明显的延长。在 2012 年整年直到今年年初，LAPECVD 设备一直能在一个非常高的性能水平下运转。在 2013 年的一季度，整个设备群的正常运行率已经上升至 98.6%。这一成功是我们两个公司关系建立在信任基础上所结出的果实，这种关系至今已持续了近 20 年。双方一旦建立了相互信任，随之而来的是展开坦诚而富有成果的讨论，使得设备性能不断得以提高，取得了令双方都能共盈的结果。简而言之：合作创造奇迹！



在半极性晶面上制作稳定发射绿光的LED器件

在(20 $\bar{2}$ 1)晶面上制作生长LED器件,由于降低了极化效应,使其发光波长在驱动电流增加时只会产生微小的变化。



在(20 $\bar{2}$ 1)晶面上制作的LED具有稳定发射峰值的绿光

在增加一个发射绿光LED器件的驱动电流时,其发光波长往往会产生10nm以上的蓝移,这种现象妨碍了它作为绿色光源在红-绿-蓝光显示平板中的应用。

但是,美国加州大学 Santa Barbara 分校的研究人员已表示,在GaN晶体上一个鲜为人知的晶面上,即半极性(20 $\bar{2}$ 1)晶面上有可能制作形成具有稳定发射绿光的LED器件。

在该晶面上生长的器件能够改善其发射波长稳定性的主要原因是它能使两个电场达到平衡。其中一个电场是由p-n结产生的内建电场,其大部分将被由量子束缚 Stark 效应所产生的与极化相关的电场所抵消。而在目前更广泛使用的半极性的(20 $\bar{2}$ 1)晶面上,上述两个电场是处于同一方向上,这也就解释了为什么LED的发光波长会随着驱动电流密度的变化而发生变化的原因。

位于美国西海岸的这个研究团队正致力于495 nm波长附近发蓝-绿色光LED器件的制造,它们都制作在(20 $\bar{2}$ 1)晶面和(20 $\bar{2}$ 1)晶面上。在电流密度升至10,000 A cm⁻²时,前者的发光波长的位移“可忽略不计”,而后者却会产生15 nm发光波长的蓝移。

这些LED器件令人值得注意的一个特征是它们的有源区结构:它们都采用了单量子阱,而不是多量子阱结构。

论文的通讯作者 Y. Zhao 解释说:“对于半极性晶面的LED来说,由于没有采用多量子阱,所以就降低了量子束缚的 Stark 效应,使得我们可以生长形成相对较厚的单量子阱,但它仍然具有完美的电子与空穴的复合作用”。他认

为,改为采用单量子阱结构也有益于进行材料的生长和器件的设计。更重要的是,它可以减小LED在发光效率上的降低效应,即通过器件的驱动电流增大时,LED的发光效率会下降这种效应。“去年我们发现,采用一个宽的单量子阱结构在减少蓝光LED器件的发光效率下降上的效果很好。这就是为什么在半极性LED器件中我们要试图采用单量子阱结构的主要原因。”

我们的努力是从薄的量子阱开始,因为较长波长的阱与其类比的发射蓝色光的阱相比,需要有多得多得镓含量,而较厚的薄层将会降低材料的质量。

美国加州大学 Santa Barbara 分校(UCSB)团队在半极性晶面上所形成LED器件的阱只有3 nm宽。这种阱的结构是由一个MOCVD生长的镁掺杂外延层、15 nm厚的Al_{0.15}Ga_{0.85}N电子阻挡层和一个60 nm厚的p型GaN层所组成。直径为80 μm的LED器件制作在这种外延晶圆上。选择如此小的器件尺寸原因是,UCSB团队希望制作的器件是其所产生的光输出只受到注入电流的限制而与芯片的尺寸无关。

据 Zhao 所说,光发射效率下降会对实现下述目标形成大的障碍:“对LED产业来说,解决这个问题最为常见的方法就是通过增加芯片尺寸来降低电流密度。但是,这显然会增加LED产品不少的制造成本,同时也是限制LED照明实现广泛使用的重要原因之一。”

相比之下,由 Zhao 和他的同事们所制作的半极性LED的初步结果表明,这些器件可以减少LED在发光效率上

的下降,从而可以制造出小尺寸的光发射LED芯片。除了在发光波长的稳定性上有所改善外,(20 $\bar{2}$ 1)晶面上制作的LED器件具有更为尖锐的光发射谱峰。在电流密度为1,000 A cm⁻²和10,000 A cm⁻²时,以1%的占空因素进行驱动,该器件所产生的电致发光谱峰的半峰宽(FWHM)值分别为26.2 nm和33.4 nm。相比而言,在同样的电流密度下,(20 $\bar{2}$ 1)晶面的LED的半峰宽值则分别要达到30.4 nm和40.5 nm。

Zhao 和他的同事指出,这种较窄的发射光谱峰宽表明,在(20 $\bar{2}$ 1)晶面上生长制作的LED具有很大的优点。

该研究团队也研究了发射510 nm绿光的LED器件,其尺寸为490 μm × 292 μm。在(20 $\bar{2}$ 1)晶面上所制作形成LED芯片的输出功率为5.8 mW,其外量子效率为11.9%,略逊于其在(20 $\bar{2}$ 1)晶面上所形成同类LED芯片的量子效率值。该团队指出,其产生原因是由于在阱中增加了镓的含量,导致产生了较高密度的材料缺陷而使得器件的性能有所变差。

未来的研究计划将包括进一步提高在(20 $\bar{2}$ 1)晶面上制作形成LED的发光效率及其光谱范围。

Zhao 补充说:“我们还正在进行各种材料性能的表征及其物理分析,以便对这种器件能有更为充分的了解。”

“我们相信,从这项研究中所获得成果将最终会使我们研究出无光发射效率下降问题的LED器件。”

Y. Zhao et. al. Appl. Phys. Express 6 062102 (2013)



制造更大规模的氮化镓集成电路

TriQuint 公司用一千多个 HEMT 晶体管制造了一个 GaN 环形振荡器集成电路。

TriQuint 半导体公司的工程师们使用了 501 个耗尽型和 502 个增强型 GaN 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 制造了一种环形振荡器集成电路，从而将氮化镓集成电路的集成制造水平提高到了一个崭新的高度。

在这项工作中，由于所使用的 GaN HEMT 晶体管能够在亚毫米波段频率范围内工作，从而推动了这种高性能、混合信号产品在商业和军工应用的进程，而现在所采用的是硅基 CMOS 和 SiGe 技术。

TriQuint 公司基础设施和军工产品部门的高级研究主任 Douglas Reep 指出，基于氮化镓的单片集成电路能够将高速、低压开关等优势相结合，同时它还具备氮化镓材料高功率密度等其他方面的优势。

“这也将使得设计者能够避免在芯片内部互连产生寄生效应以及复杂的封装解决方案，而这些都是当下高性能、混合信号电路产品发展的限制性因素。”

在 Reep 看来，TriQuint 公司这项工作最为显著的成就在于：它首次报告了在单一晶圆上同时制造增强型和耗尽型 GaN 高电子迁移率晶体管 (HEMT)，它们都具有超过 10V 的击穿电压，具有超过 300 GHz 的最大截止频率 (f_T) 和最大振荡频率 (f_{max})。具有极高 f_T 数值的 GaN 晶体管能够产生精确的高速数字波形。Reep 进一步解释道：“该 GaN HEMT 晶体管还具有具有足够高的击穿电压，这样就能用于 W 及以上频段的射频功率放大电路中”。

由 TriQuint 制造的这种不到 30nm 尺寸的嵌入式栅极的 GaN HEMT 不是基于传统的 GaN 和 AlGaIn 这种氮化物组合，而是开发了一种 GaN 和 InAlN 的氮化物组合。采用 $In_{0.17}Al_{0.83}N$ 作为

阻挡层，这一改进为氮化镓材料产生了 0.65 eV 的导带间断，使其能产生一个更高的自发极化电场，并且能在极薄的薄层中产生超过 $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 的电荷密度。正是因为具有了上述这些属性，才有可能在进行按比例缩小时能很好地控制器件的短沟道效应。

Reep 认为：“在相近的薄层厚度下，具有典型摩尔分数为 25% Al 的 AlGaIn/GaN HEMT 晶体管的载流子密度还是不够高”，“一个薄的 AlN 阻挡层能够产生相类似的载流子密度，但是由于在 AlN 和 GaN 之间存在有较大的晶格失配，从而会产生较高应力这一缺点”。相比较而言，InAlN 与 GaN 有着良好的晶格匹配性，所以它将会具有更高的可靠性。

TriQuint 公司的工程师是在 6H-SiC 的衬底上来制备他们的 HEMT 晶体管，采用 MOCVD 方法来沉积生长薄膜：首先沉积一层 1.5 μm 厚的铁掺杂 GaN 层，此后是沉积 1nm 厚的 AlN 层和 8nm 厚的 $In_{0.17}Al_{0.83}N$ 层。在形成 27nm 长的 Pt/Au 金属栅极后，通过选择性去除栅极下方的 InAlN 层以形成增强型沟道。这种集成电路的制造工艺采用了 TriQuint 公司三金属互连工艺的简化版本。

对这种 HEMT 晶体管进行电学测量得到，增强型和耗尽型 GaN 晶体管器件的跨导大于 1 s/mm，漏极电流大于 2 A/mm。耗尽型晶体管器件在关闭状态下的击穿电压是 10.7V，增强型晶体管器件则是 11.8V。晶体管的最大截止频率 (f_T) 和最大振荡频率 (f_{max}) 数值是从晶圆上测得数据后进行外推而得到，S 参数测量在 0.5 GHz 和 110 GHz 之间进行，采用的是 Agilent E8361C 网络分析仪。增强型 HEMT 晶体管的最大截止频率 (f_T) 和最大震

荡频率 (f_{max}) 分别为 359 GHz and 347 GHz，而耗尽型器件的最大截止频率 (f_T) 和最大振荡频率 (f_{max}) 则分别为 302 GHz and 301 GHz。与 TriQuint 公司所生产的上一代 HEMT 晶体管产品相比，最新改进版本的 HEMT 晶体管由于降低了寄生电容和电阻效应而提高了它的截止频率 (f_T)，使它的工作速度能提高近 60%，只是在射频跨导上有着少许的增加。该研究团队所制造的 HEMT 集成电路的复杂程度要比它的前身——基于直接耦合场效应晶体管逻辑电路的 51 级环形振荡器——有了一个数量级上的提升，

该研究团队的未来目标包括有：提高其制造更小尺寸氮化镓器件的能力，并同时研究它的可靠性，以及在公司的基础设施和国防应用上对它进行进一步的优化。

M. schuette et. al. IEEE Electron device Lett. 34 741(2013)

TriQuint 推出氮化镓新品和代工服务

TriQuint 发布多款新型氮化镓放大器和晶体管以及两套全新的氮化镓工艺。这些产品为通讯系统提供了性能、尺寸和耐用性的优势。

TriQuint 在原有的四分之一微米工艺中补充了一个高压变体 -- TQGaN25HV。此新的制造工艺延伸了 0.25 微米氮化镓的漏极操作电压至 48V，同时为 DC-10 GHz 应用提供更高的击穿电压、更强的功率密度和高增益。

TriQuint 以其 TQGaN15 工艺将氮化镓技术推向了新的极限。该工艺将氮化镓的频率范围扩大至了 40 GHz，同时提供高功率密度和低噪声性能。



对 ZnO 的霍尔效应测量存在局限性

对于退火后的 ZnO 薄膜样品进行的霍尔效应测量可能会对其载流子类型给出错误的结果。

在 InP 衬底上生长 ZnO 薄膜在经过退火后，进行霍尔效应测量所给出的结果可能会与被测材料的真正特性不相符合。这是一个由意大利 Palermo 大学和法国 Thales 研究和技术中心的科学家团队的一项重要研究成果。该团队发现，通过霍尔测量所得到的结果表明 ZnO 薄膜的电学性质产生了变化，即它的导电类型从 n 型转变成了 p 型，但这一测量结果与电容-电压 (CV) 测量以及基于光电流测量所给出的结果并不吻合，后两者的结果则完全相反，即是在 ZnO 薄膜生长并经过退火之后，薄膜仍然为 n 型导电类型，保持不变。

由于 ZnO 是一种非常具有前途的材料，它可用来制造光谱范围在蓝光和近紫外之间的光源和探测器，因此上述这项发现是十分重要的。如今，由于对这种 ZnO 材料难以进行可靠的、稳定的以及可重复的 p 型掺杂，使得制造高性能的 ZnO LED 就变得十分困难。

来自意大利和法国的研究人员对在 400℃ 下生长并随后在空气中以 600℃ 温度退火的样品进行了测量，测量结果表明，对于生长并经过热退火的 ZnO 薄膜来说，对其载流子类型的表征需要特别地谨慎，因为此时在

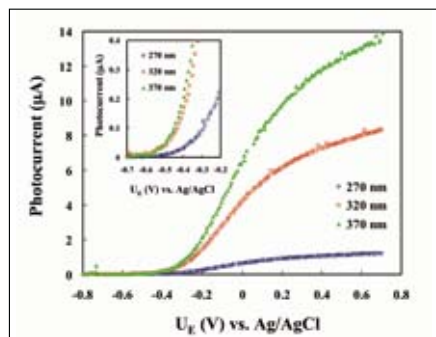


图1: 在三个不同波长光的照射下，光电流随施加电势 (UE) 的变化，所用的溶液为 0.1M ABE，电势扫描速率为 10 mVs⁻¹。内插图显示的是光电流接近零时的放大图。可以读出对于 Ag/AgCl 的平带电压 UFB 是 -0.6V。所有的测量曲线都是从一个在空气中经退火 1 小时后的样品获得的。

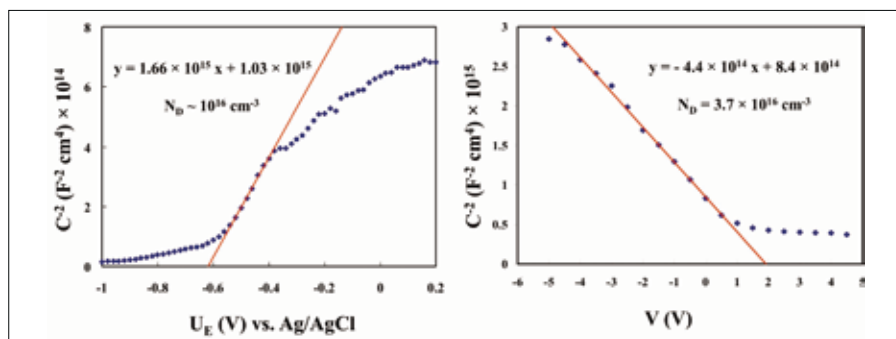


图2: (a) 在 0.2 M Na₂HPO₄ 溶液中，频率 f = 10 kHz 时 C² 对于 UE 的关系图。由线性拟合可以计算得到施主掺杂浓度大约为 10¹⁶ cm⁻³。(b) C² 相对于施加在承与 n 型 ZnO 间电压的关系，汞探针的接触面积为 0.432 mm²。由线性拟合可以得到施主掺杂浓度约为 3.7 × 10¹⁶ cm⁻³。

ZnO/ 衬底的界面结构和电学性质上会产生一些的异变。

ZnO 样品在经历高温退火处理后会与其与衬底的界面产生异变，这可能会对霍尔测量的结果产生误导，从而给出与载流子真实导电类型相反的结论。

根据该意-法团队的报告，则几年来已经采用了多种不同的方法来制备 p 型 ZnO 薄膜，但通常得到的都是不可重复的或者是不可靠的结果。其中的一些结果数据甚至于让人难以置信，因为它们给出了比已有报道要高很多的空穴浓度及其迁移率。

这些数据无论对于标准的 ZnO 电子传输理论，还是对大多数已经发表的实验研究结果来说都不相符合。很多最具争议的结果可能都是根据霍尔效应测量后错误的 p 型判定而造成的。该意-法研究团队的 ZnO 薄膜是利用脉冲激光沉积 (PLD) 的方法，在 10⁻² mbar 的氧分压环境下以 400℃ 的温度进行生长，之后在 600℃ 温度的空气中退火处理 1 小时。

在样品进行退火的前后都进行了霍尔效应的测量来获得其电阻率、迁移率和载流子浓度，还同时在水溶液中进行细致的光电测量以及 CV 测量。霍尔效应测量得出：ZnO 薄膜在经 600℃ 退火一小时后，呈现出了异常

高的 p 型电导率，其空穴浓度可高达 9.2 × 10¹⁹ cm⁻³，以及空穴迁移率高达 28.5 cm² v⁻¹ s⁻¹。

除此之外，退火之后薄膜的电阻率下降了大约一个数量级，这表明薄膜中电子的行为发生了显著的变化。与之相反，针对同一个样品所进行的光电流和 CV 测量均显示出样品为 n 型导电类型。在水溶液中进行光电测量所得到的光电流实际上就是阳极电流，它随着施加在电极 (ZnO/InP 样品) 上的电压 (即电势 UE) 的增加而减小 (见图 1)。

随着电极电势向着阴极方向移动，薄膜的微分电容 C 会逐渐增加，这与 n 型半导体的特征相符合 (Mott-Schottky 曲线图，见图 2(a))。应用汞探针进行的 CV 测量进一步确认了这些样品为 n 型导电 (图 2(b))。

由霍尔效应测量得到样品为 p 型掺杂的原因可能是来自于在 ZnO/InP 界面上形成的非常薄的高电导率薄层，该界面层是由锌离子迁移进入 InP 衬底而形成的。这个高电导率薄层在霍尔效应测量中起到了主导性的作用，而 CV 测量和光电流测量却不能对这个高电导率薄层产生反应和显示。

R. Macaluso et. al. J. Appl. Physics 113 164508 (2013)



广告索引

Advertisers & Web Index



Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aixtron SE	德国爱思强股份有限公司	www.aixtron.com	1
Beijing NMC Co., Ltd.	北京北方微电子基地设备工艺 研究中心有限责任公司	www.bj-nmc.cn	3
Evatec Ltd.		www.evatecnet.com	12
IQE plc		www.cn.iqep.com	BC
Sensirion	盛思锐贸易（深圳）有限公司	www.sensirion.com.cn	4

www.compoundsemiconductorchina.net

行政及销售办公室

Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

HK Office (香港办公室)
ACT International (雅时国际商讯)
Unit B, 13/F, Por Yen Buiding,
No. 478 Castle Peak Road,
Cheung Sha Wan,
Kowloon, Hong Kong
Tel: 852-28386298

Publisher (社长) - China
Adonis Mak (麦协林)
Adonis@actintl.com.hk

Editor in China(中国版编辑)
Sunnies Zhao (赵雪芹)
sunniesz@actintl.com.hk

Sales Director (销售总监)
Mark Mak (麦协林)
markm@actintl.com.hk
Sales Director-Taiwan

UK Office (英国办公室)
Angel Business
Communications Ltd.
6 Bow Court,
Fletchworth Gate,
Burnsall Road, Coventry,
CV56SP, UK
Tel: +44 (0)1923 690200

Chief Operating Officer
Stephen Whitehurst
stephen.whitehurst@angelbc.com
Tel: +44 (0)2476 718970

销售人员 Sales Offices

Asia (亚洲)
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852-28386298

China (中国)
Michael Tsui (徐旭升)
michaelt@actintl.com.hk
Tel: 86-755-25988571

Shanghai (上海)
Judy Huang (黄作美)
judyh@actintl.com.hk
Tel: 86-21-62511200

Beijing (北京)
Oasis Guo (郭镜园)
Oasisg@actintl.com.hk
Tel: 86-10-64187252

Taiwan (台湾地区)
Monica Liu (刘方美)
monica@arco.com.tw
Tel: 886-223965128 x 204

Korea (韩国)
Lucky Kim
semieri@semieri.co.kr
Tel: 82-2-574-2466

Singapore (新加坡)
Joanna Wong
triplesinternational@gmail.com
Tel: 65-63395596 / 65-90626227

US (美国)
Janice Jenkins
jjenkins@brunmedia.com
Tel: 724-929-3550

Tom Brun
tbrun@brunmedia.com
Tel: 724-539-2404

Europe (欧洲)
Robin Halder
robin.halder@angelbc.com
Tel: +44 (0)2476 718970

Shehzad Munshi
sm@angelbcl.co.uk
Tel: +44 (0)1923 690215

Jackie Cannon
Jackie.cannon@angelbc.com
Tel: +44 (0) 1923 690205

化合物半导体

COMPOUND · CHINA

SEMICONDUCTOR

最新推出电子书(eMagazine)

www.compoundsemiconductorchina.net



直接连结
广告商网站

一点即开
想看的文章

推荐朋友下载
免费的电子书

申请成为免费印刷
版或电子书的读者

上页、下页，
放大/缩小文章

化合物半导体
COMPOUND · CHINA

讨论区
BBS

广告索引
Ad Index

目录 Content
P.19-31 P.33-37

推荐朋友
Refer a friend

免费赠阅
Subscribe

◀

🔍

🔍

▶

ACT

化合物半导体

COMPOUND · CHINA

SEMICONDUCTOR

季刊 2013年 第3期

3D LED 更便宜

更大尺寸的 AlN 衬底

网址：www.cn.iqep.com



全球领先的 半导体 外延片 制造商

IQE 生产先进的半导体衬底和外延片，并应用于当今高科技领域中。

射频产品：

HBT、pHEMT、BiFET、BiHEMT。

光电产品：

VCSEL，边射型激光器，发光二极管（LED）、
超高亮度发光二极管（UHB LED），
多结聚光光伏（CPV）太阳能电池。

电子产品：

硅，硅锗合金，硅层上覆锗，
MEMS，Sensors。

请立即联系IQE 以获知详情。

IQE二十多年的外延片代工制造经验，将为您带来独特的竞争优势。

亚太营业部：

电子邮件：nhayafuji@iqep.com

电话：(65) 9138-8526

[代办处: scistar@263.net]

[代办处: (86) 10-689-10068]