

化合物半导体

COMPOUND SEMICONDUCTOR • CHINA

季刊 2013年 第4期

GaN FET 即将量产



GaN器件的军事应用



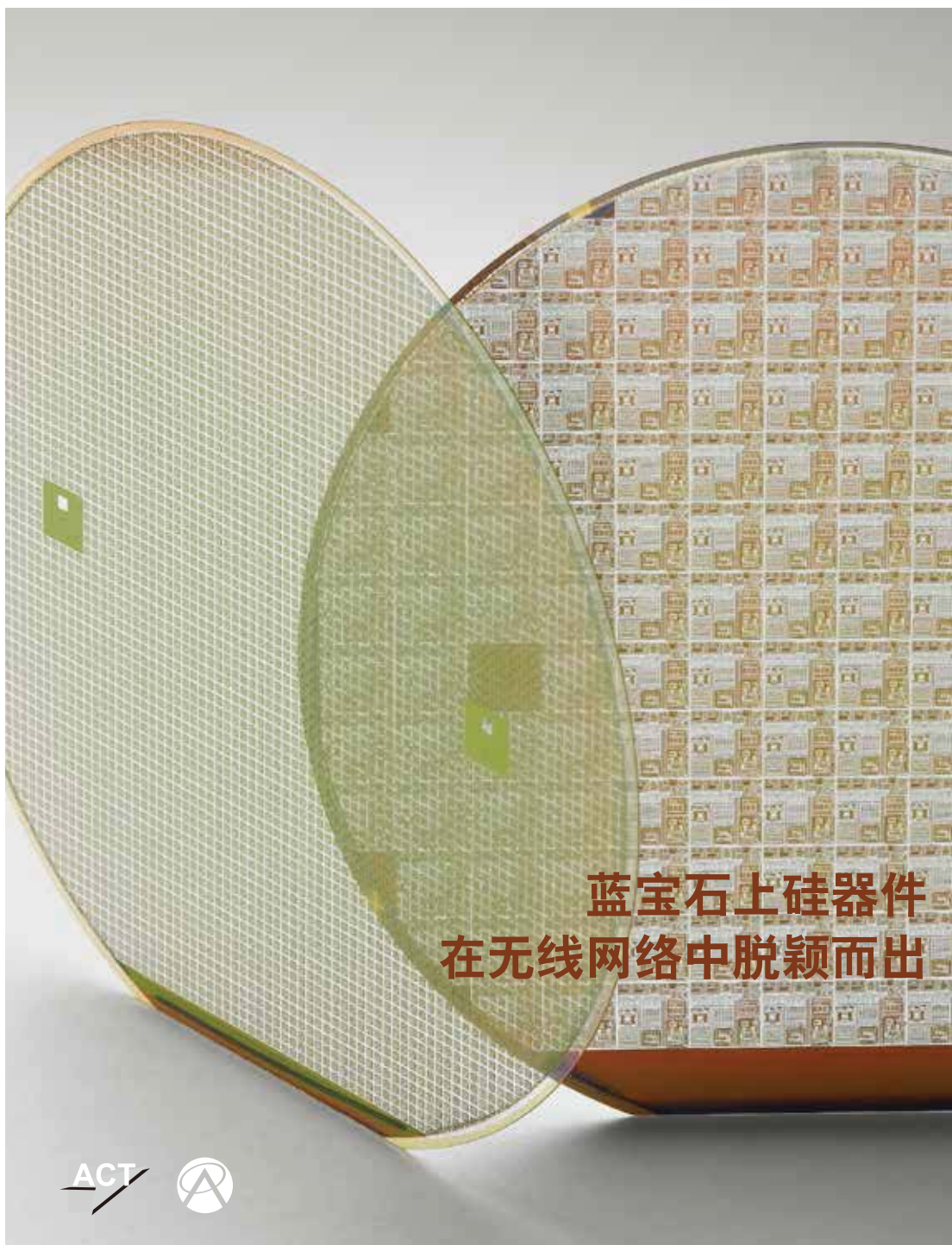
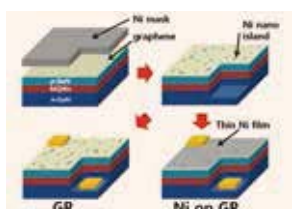
VCSEL用于光网络



ICP等离子刻蚀



用镍金属提高石墨烯电极性能



**蓝宝石上硅器件
在无线网络中脱颖而出**



www.compoundsemiconductorchina.net



Book your place at the CS International Conference

Save 10%

Reader
Exclusive
Offer

Use the following code
to get your discount: **CS1614**

Must end 6th January 2014



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

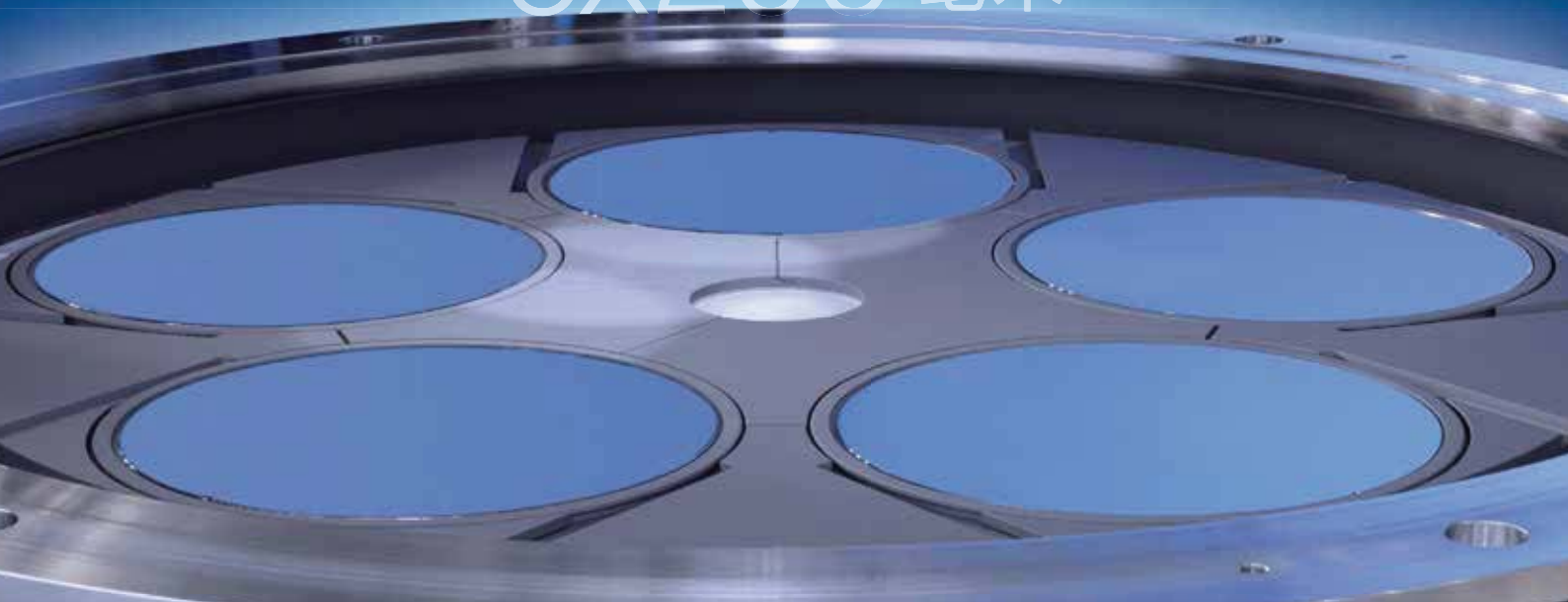
Connecting the leading compound semiconductor industry insiders



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

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



化合物半导体

COMPOUND SEMICONDUCTOR CHINA

季刊 2013年第4期 2013年11月1日出版
Quarterly 2013 - Issue 4 1 November 2013

目录

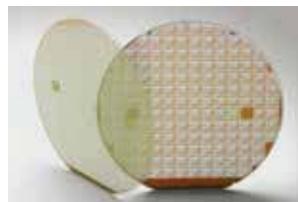
Contents

封面故事 Cover Story

14 蓝宝石上硅 (SOS) 在下一代无线网络中的应用价值正在提升 Silicon-On-Sapphire: Rising Value In Next-Generation Wireless Networks

无线网络的运营商正在不断追求更高的效率、更快的数据传输速率和更短的指令执行周期。这些需求使得他们要采用新的数据传输方案。最新的技术之一便是4G LTE这一新的移动通信标准, 它已在世界各地得到了广泛的采用。

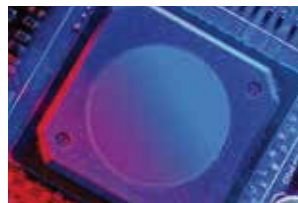
Peregrine 半导体公司的Rodd Novak如是说: 新的无线通信标准的引入使得射频前端 (RF FE) 器件制造商所打造的产品要具有更高的线性度。由于Peregrine公司的UltraCMOS工艺及其加速后的发展路线图, 使得蓝宝石上硅 (SOS) 器件技术已在这一领域中脱颖而出。相比于众所周知的GaAs等竞争技术, SOS将有望持续地扩大其在性能上的领先优势。



技术 Technology

19 GaN FET即将实现大规模量产 GaN FETs inch closer to volume production

当前已有超过二十家半导体公司正在致力开发应用于功率电子的GaN晶体管。这些公司都有相类似的目标——要成为这一领域的主要参与者, 能提供高品质的、有商业价值的产品。有两家公司的背景迥异, 但是却具有类似的GaN产品开发方法和量产制造的发展路线图。他们分别是: 一家是源自于美国加州大学Santa Barbara分校的Transphorm公司, 另一家是世界最大的芯片制造商之一——RFMD公司, 这两家美国公司都计划在今年内完成对其新产品的认证。像世界上许多其他公司一样, RF Micro Devices和Transphorm公司正在努力将GaN FET从开发向量产阶段推进, 他们究竟已经走了多远了呢?



23 提高GaN器件的军事应用水平 Preparing GaN for greater military service

GaN材料的性质非常适合制造射频晶体管。用GaN材料所制造器件的性能要比GaAs材料高出一头: 它具有更高的工作效率、更高的功率密度和更高的工作温度。GaN器件的这些优异性能深得美国军方的青睐, 他们认为这种宽禁带半导体晶体管是一种性能优秀的半导体器件, 非常有希望在未来电子战的多种场合得到应用, 包括可用于战场的电子攻击、电子防卫和电子战支持。为了促进GaN RF器件在军事应用中的发展, 美国国防部的高级防卫研究项目部门已经出资来支持这种宽禁带半导体技术的发展。

28 用于光网络的超低功率VCSEL Ultra-low Power VCSELs for Optical Networks

智能手机销售的猛增以及网络电视的普及都促成了因特网流量的快速增长。这对包括光网络和数据中心在内的网络基础设施的压力也越来越大。如果希望不断增长的因特网流量不显著增加全球的能源消耗, 很重要的一点是, 需要使用非常高效能的器件来构建未来的光网络。可望有助于这一目标实现的器件是1310 nm波长VCSEL, 方法是将InP晶圆上生长出的有源层与GaAs衬底上形成的反射镜层融合在一起。由瑞士洛桑理工学院 (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL) 的Alexei Sirbu和来自EPFL及 BeamExpress的Eli Kapon为大家介绍详情。



- 32 采用高密度ICP等离子系统对InP基材的干法刻蚀
Dry etching of InP based materials with PlasmaPro System 100 ICP
干法刻蚀技术被广泛用于光电子器件和电子器件制作中，刻蚀工艺最关注的几个特性是高刻蚀速率、重复性、均匀性、垂直剖面、对器件损伤小等。电感耦合等离子（ICP）刻蚀由于可提供高离子密度，刻蚀速率快，同时允许单独控制离子密度和离子能量，对器件损伤小，成为可以提供满足这些要求的理想工艺。
牛津仪器等离子技术公司已为III-V族半导体材料刻蚀研发出了多种ICP刻蚀工艺，本文介绍用于InP和相关材料的刻蚀工艺，讨论针对不同应用的各种刻蚀化学反应和系统要求，提供最新的工艺研发成果。
- 科技前沿 Research Review
- 37 研究者将LED发光效率下降的原因“明确地归结于”俄歇过程
Researchers ‘unambiguously assign’ LED droop to Auger processes
- 38 俄歇复合确实是引起LED发光效率下降的原因吗？
Is Auger definitely the cause of droop?
- 39 采用镍金属来提高石墨烯接触电极的性能
Nickel enhances graphene contacts
- 新闻分析 News Analysis
- 8 硅上碳化硅技术慢慢走近 LED
SiC-on-silicon edges closer to LEDs
- 9 BluGlass 公司提高了 LED 的追求目标
BluGlass raises LED ambitions
- 4 编者话 Editorial
- 5 产业要闻 Industry News
- 40 广告索引 Advertisement Index

关于雅时国际通讯

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》中文版(CSC)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

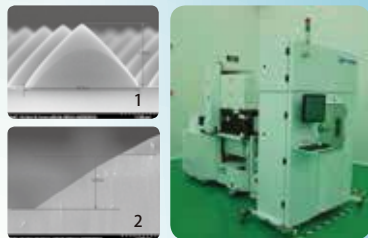
可选配置: 单个/多个工艺模块;

片盒/非片盒装载模块;

单盘/多盘自动传输模块;

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, SiO₂

适用工艺: GaN电极刻蚀, GaN深槽隔离刻蚀, 钝化层刻蚀, 蓝宝石图形化衬底(PSS)

可选配置: 单盘/多盘自动传输模块, 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昌大道8号

电话: 8610-57846895 / 96 / 97

更多产品信息请访问 www.bj-nmc.cn

化合物半导体将成为未来太阳能行业的主角

Lux Research 公司最近发表报告称，前途无限的太阳能技术必将获得成功。与此同时，美国太阳能电力集团 REC 正在与 III-V 族化合物纳米线电池开发商建立联系。

Lux Research 公司分析师 Fatima Toor 女士说，随着风险投资基金对光伏初创企业投资的减少，这些光伏公司已经在不断利用来自世界各地的学术研究机构创新财富。Toor 的报告概要介绍了一些开发新型 CIGS 电池的太阳能公司所建立的五花八门的合作伙伴关系。“虽然风险投资基金对于太阳能的投资正在减少，但是因为非常看好未来太阳能市场而不愿错过，一些有远见的公司已经与学术机构合作共同寻找增长机会。”她说。

根据 Toor 的报告，到 2030 年，目前最新的太阳能研究将会发展成为商业体系，到那时光伏电池会有比今天更多的“技术形态”。III-V 族化合物和 CIGS 系统会在未来太阳能领域扮演重要角色。

Toor 的报告研究了各种光伏技术，包括下一代晶体硅电池，新型 III-V 族化合物电池，CIGS 薄膜的替代方案，如串联 CIGS 电池和廉价的 CZTS 电池。还有重合合金 PV，如 CdS 纳米线电池，以及有机光伏和染料敏化太阳能电池等。

Toor 断言，未来业界可以期待看到更多的基于 III-V 族化合物和 CIGS 材料的多结电池或者串联电池。她预测，到 2030 年，目前几乎占全球制造产能 90% 的晶体硅电池到那时将风光不再。由于硅上 III-V 族化合物电池设计使用低成本的硅衬底，硅晶圆相比昂贵的 GaAs 衬底便宜很多，硅上平面 III-V 族化合物工艺成本低，因此很有潜力。相比硅上 GaAs 或者 InP 纳米线来说，平面多结太阳能电池或串联太阳能电池更安全。GaAs 纳米线或者 InP 纳米线，虽然研究前景乐观，但是距离商业可行还有很长的路。

Toor 相信，薄膜光伏 - 即基于串联结构的 CIGS 电池，具有重大潜力，但是，面临很多的技术工艺障碍，比如层间晶格常数匹配问题。但是能够从其他领域借用很多研究成果，比如传统的 CIGS 多结 III-V 族化合物电池，预计可以很快实现效率提高。

和串联 - 结 CIGS 系统一样，基于 CZTS 的电池组件，用相对便宜的活性物质锌 (Zn) 和锡 (Sn)，替代相对昂贵的铟 (In) 和镓 (Ga)，将实现必要的成本和效率目标，从而获得商业成功。但是，基于 SnS 的薄膜光伏技术，由于效率相对较低可能进步会受阻。

Toor 的报告还提到，所谓的平行高倍聚光光伏 (HCPV) III-V 族化合物设计，使用微型光学结构将入射光分配给几个 III-V 族化合物电池，能提高 HCPV 电池模块效率 50%，也很有潜力。

“成本永远是一个重要的因素，因此，和其他电力相比，太阳能是成本竞争的技术，” Toor 说。“成本、效率和寿命在未来都将扮演重要角色。”

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



我国首次制备大规模锗基石墨烯

中科院上海微系统所信息功能材料国家重点实验室 SOI 课题组与超导课题组，采用化学气相沉积法，在锗衬底上直接制备出大面积、均匀的、高质量单层石墨烯。相关成果日前已发表于《自然》杂志子刊《科学报告》。

锗是一种重要的半导体材料，相较传统的硅材料，具有极高的载流子迁移率，被认为是最具潜力取代硅的半导体材料，有望应用于未来大规模集成电路。

研究员狄增峰表示，锗基石墨烯直接实现了高质量石墨烯与半导体衬底的集成，且制备工艺与现有的半导体工艺兼容，将能更快地推动石墨烯在半导体工业界的广泛应用，具有重要的应用价值。

华工正源订购 AIXTRON 6x2 英寸 CCS 外延沉积系统

中国领先光学元器件开发生产商武汉华工正源光子技术有限公司再次订购 AIXTRON 爱思强 6x2 英寸规格近耦合喷淋头®(CCS) 外延沉积系统，用以在磷化铟衬底上生产发光及检测器件。

华工正源是拥有外延生长、管芯制作、器件、光学模块和子系统批量生产全套工艺生产线的制造商，产品范围涵盖半导体激光器、探测器管芯、有源器件和收发器，广泛应用于数字通信、模拟通信和光学传感器领域。

AIXTRON 爱思强 6x2 英寸规格 CCS 系统专为研究和生产而设计，使用 CCS 系统开发的过程可以很容易地扩展至较大规模生产的 CRIUS® 平台上。CCS 的三个分区加热器能提供最佳的温度均匀性标准。

二维半导体异质结研究取得新进展

中科院半导体所超晶格国家重点实验室博士生康俊及其所在的研究团队，与美国劳伦斯伯克利国家实验室 (LBNL) 汪林望博士研究组合作，在二维半导体异质结的基础研究中取得新进展。相关成果发表在 9 月 30 日美国化学学会主办的《纳米快报》(Nano Letters) 上。

半导体所与 LBNL 的研究小组应用第一性原理计算，研究了二维 MoS₂/MoSe₂ 异质结的结构和电子性质。二维 MoS₂ 和 MoSe₂ 单层存在 4.4% 的晶格失配。通过对应变能和结合能的计算发现，它们之间范德瓦尔斯结合作用的强度不足以消除这一失配形成晶格匹配的异质结，而是形成一种被称为莫氏图样 (Moiré Pattern) 的结构。研究结果预示：莫氏图样的形成以及由此导致的波函数的局域化将是二维半导体异质结的普遍性质。这些新的发现将为二维半导体异质结器件的制备提供理论指导。该工作得到了国家杰出青年基金和科技部“973”项目的支持。

RFMD 推出全球首款新型氮化镓晶圆

美国射频微系统公司 (RFMD) 日前推出世界首个用于制造射频频率晶体管的碳化硅基氮化镓晶圆，以满足军用和商用需求。该公司实现了从现有高产量、6 寸砷化镓晶圆生产向 6 寸氮化镓晶圆生产和研发的转变，以降低成本满足不断增长的氮化镓器件市场需求。

RFMD 公司总裁兼首席执行官鲍勃勃称：“我们很高兴在 RFMD 公司的现有高产量 6 寸砷化镓生产线上推出业界首款 6 寸碳化硅基氮化镓射频技术。氮化镓器件和砷化镓器件在制造上的合并是我们“砷化镓中氮化镓代工厂”策略的一部分，以使现存生产能力通过制造创新型氮化镓基产品抓住增长机会。”

氮化镓技术可在有限芯片体积内支持宽频带和高击穿电压。6 寸氮化镓晶圆所能提供的有效面积是 4 寸氮化镓晶圆的 2.5 倍，因此每个晶圆所产出的射频频率器件数也增加 2.5 倍。晶圆面积越大，由此带来的每个芯片成本更低，是为军用和商用提供廉价、高性能单片毫米波集成电路 (MMIC) 的关键。RFMD 公司 2014 年将完成对 6 寸氮化镓平台的验证。

根据行业分析，2017 年氮化镓微电子市场将是现在的三倍，达到 3.34 亿美元，年复合增长率 (CAGR) 达到 28%。

昭和电工开始量产并销售 6 英寸 SiC 外延晶圆

昭和电工宣布确立了 6 英寸 SiC 外延晶圆的量产化技术。该公司从 2013 年年初就开始提供该晶圆的样品，此次确立了量产化技术，从 10 月份开始设定产品性能参数、正式展开销售。

据介绍，6 英寸产品适于降低元件成本，也适合量产载流量达到 100A 的 SiC 元件，通过此次的产品，预计 SiC 元件将被大量用于纯电动汽车和混合动力车。而且，昭和电工此次还宣布，在 4 英寸产品中开发出了缺陷率更低、均匀性更高的新级别产品。该 4 英寸产品也从 2013 年 10 月开始销售。



首尔半导体 GaN-on-GaN 制程的 nPola 产品即将面市

韩国 LED 封装大厂首尔半导积极投入 GaN-on-GaN 制程，以 GaN-on-GaN 制程为核心的 nPola 产品在同样面积上是传统蓝宝石基板 LED 效率的 5-10 倍。首尔半导体指出，nPola 产品即将推出，nPola UV 产品目前已有送件给一线客户，预计推出时间将在 2014 年。

nPola 产品采用非极性 (non-polar) 技术，大大提高发光效率，相较于目前的 LED，在相同面积上的亮度高出 5 倍。nPola 利用 GaN-on-GaN 的材料优势，除了在相同面积的亮度大为提升外，同时能有效减少缺陷，其缺陷密度达 1/10000，在光衰方面的表现也较传统 LED 表现佳。

nPola UV LED 产品也备受市场关注，日本 LED 大厂日亚化、美国 LED 大厂 SemiLEDs 在 UV LED 领域耕耘多年，首尔半导体也积极抢进 UV LED 市场，特别看好将 UV LED 搭配 RGB 荧光粉应用于白光的市场。nPola UV LED 涂布 RGB 荧光粉产品，在 R1 到 R15 的显色指数都能达到 95 以上。

“第十二届洁净室研讨会暨产品展示 2013” 成功举行

“第十二届洁净室研讨会暨产品展示 2013” 9 月 11 日 -12 日在上海浦东龙东商务酒店举办。今年是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”的第十二个年头，而今年的会议呈现三大亮点：三大议题版块——满足不同应用层面听众需求；专家会客厅——形式新颖，互动热烈；拟定热点议题——专家听众同堂共议。会议以其前瞻性与应用性引发热议，以其紧贴需求的服务而引得“围观”，以其深入的交流与互动引出更多延展性话题与项目，这为 2014 的会议提前预热。从会中和会后情况显示，本届会议赢得广泛认可，有些项目甚至超出会前预期。

“第十二届洁净室研讨会暨产品展示 2013” 在金秋九月完美举办，2013 的闭幕是 2014 的幕启。期待。

美高森美推出 750W GaN on SiC RF 功率晶体管

美高森美公司推出新型 750W RF 晶体管扩展其基于碳化硅 (SiC) 衬底氮化镓 (GaN) 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 技术的射频功率晶体管系列。在全系列空中交通管制和防撞设备中，MDSGN-750ELMV 提供了突出的最高功率性能。目标应用包括商用二次监视雷达 (secondary surveillance radar, SSR)，在全球各地用于大约 200 英里范围内机场地区和区域中心的飞机询问和识别。

科锐推出新型高密度级 XLamp CXA LED 阵列

科锐公司发布首款高密度 (HD) LED 阵列产品，与前一代产品相较，这项突破性技术可使系统的聚光强度加倍。新型高密度级的 CXA LED 阵列提供无可比拟的流明密度，大幅降低系统的成本和功耗。

高密度 XLamp 阵列产品扩展了科锐强劲的 CXA 系列，为照明设备制造商提供了单一整合式阵列系列，实现从一般的泛光照明到专业零售的射灯照明等应用。在 33W、85℃ 的条件下，科锐的 XLamp CXA1520 LED 阵列可提供高达 3478 流明。

它还支援 ANSI 的白色和四步 EasyWhite 色温分档。这个新型 LED 阵列涵盖 2700K 至 5000K 的色温范围，显色指数 (CRI) 提供 70、80 和 95 等选项。

Cree CXA1520 LED 阵列协助 ConTech Lighting 照明公司开发最新 LED 灯具，使其得以具备超越陶瓷金属卤化物灯具 (CMH) 产品系列的效率和寿命，同时维持光的强度和色彩品质。

无毒害 LED 涂层研究成果可能提升 50% 光效

针对 LED 涂层材料含有重金属等问题，美国 Pacific Light Technologies (PLT) 公司的研究人员正在进行相关研究，其成果将进一步根除产品中的有毒重金属，而且有可能提升 50% 的 LED 光效，同时进一步削减生产成本，为 LED 用户节约上亿美元的照明成本。

该项研究将同时让 LED 发出与通常的青白色不同的色调更暖的光线。PLT 公司在研究中借助俄勒冈州立大学的设备与人力以便对涂层的生产环节进行调整。涂层中包含由量子点构成的微半导体，能够让蓝光 LED 更为高效地发光。

俄勒冈大学化学工程学教授兼俄勒冈州建筑环境与可持续性技术研究员格雷格·赫尔曼为项目的带头人，研究在俄勒冈大学的俄勒冈太阳能电池生产工艺创新中心进行。





www.EVGroup.com

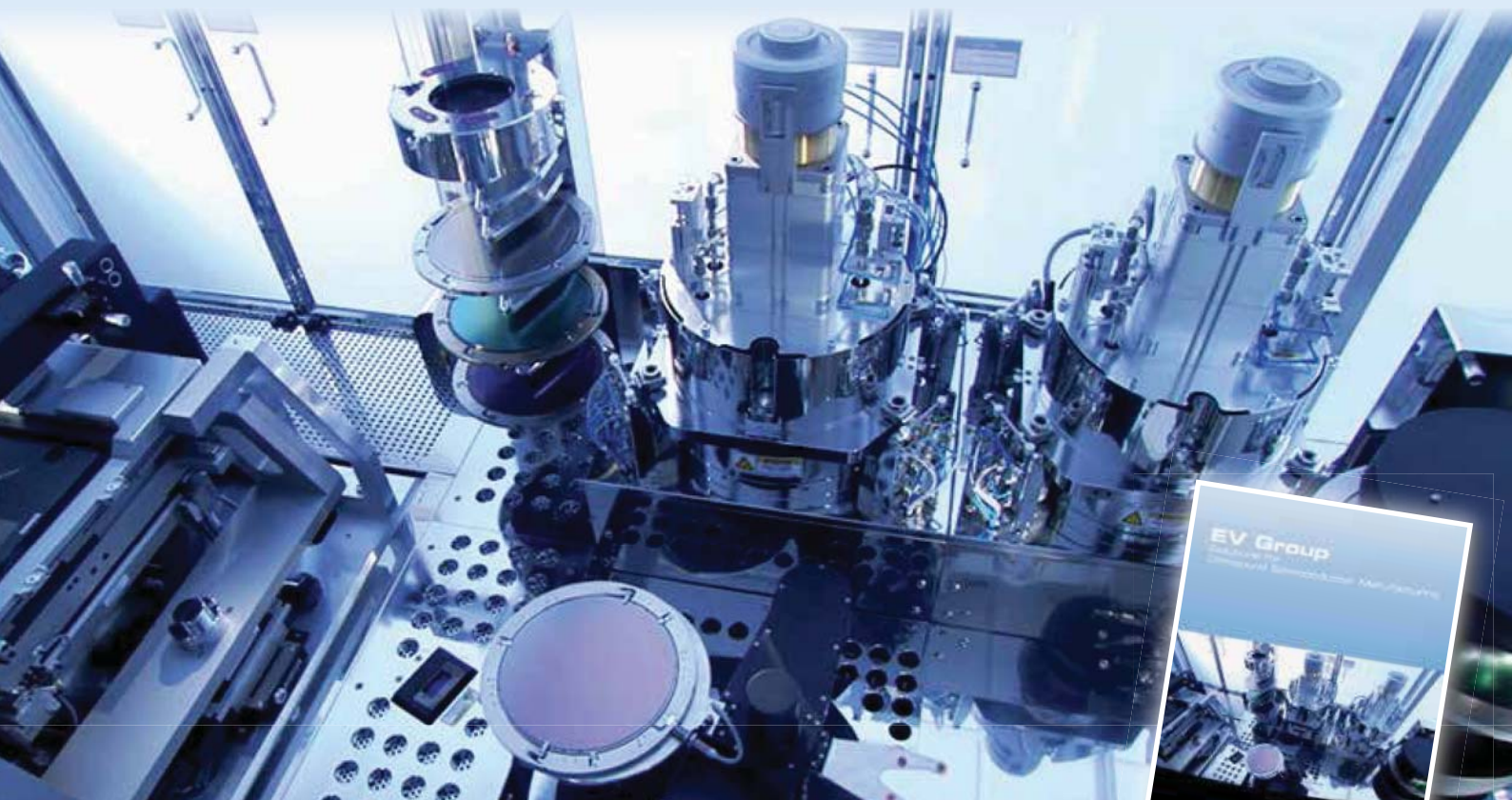
应用于化合物半导体工业生产的解决方案

应用于减薄的和易损的化合物半导体基片的临时键合和键合分离技术

应用于电解质，厚胶和薄胶以及高台阶的喷涂技术

应用于器件构图和高级封装的光刻技术

应用于键合介质层转移和高级封装的晶圆键合技术



如需了解更多产品信息以及下载产品手册，敬请登录 www.evgroup.com/compoundsemi



硅上碳化硅技术慢慢走近 LED

一种用于 GaN 的新型缓冲材料会不会把 LED 制造商的目光从蓝宝石吸引到硅上去？

十多年前，作为一个旨在开发新颖非易失性存储器单元的风险资本资助项目的一部分，来自澳大利亚格里菲斯大学昆士兰微米和纳米技术研究所 (Queensland Micro and Nanotechnology Facility, QMF) 的科研人员开始尝试在硅基上沉积碳化硅。随着金融危机的到来，提供的资金减少，项目被搁置。然而，相关的研发进程却并未就此停止。

2011 年，QMF 的研究人员与微器件设备制造商 SPTS Technologies 开展合作，共同开发一种旨在生产面向 LED 用 GaN 的敷 SiC 硅晶圆的生产反应器。正如 QMF 运营总监 Alan Iacopi 解释的那样：“碳化硅可制作一种非常适合 GaN 的缓冲层，但是我们知道：要让业界认真看待我们的研发活动，我们就需要一种生产工具以实现技术的商品化。”

而今天，他们拥有了这样的工具。这个研究小组的垂直式反应器（被称为“EpiFlx”）安放在 QMF，其专为对尺寸为 50 mm 至 300 mm 的晶圆进行大批量高温真空处理而设计。

目前，该小组正在反应器上确立硅上碳化硅 (SiC-on-Silicon) 的基线生长工艺，以生产一种具有成本效益的缓冲材料。这最终会不会导致 LED 制造商从蓝宝石转向硅衬底呢？Iacopi 和该小组的其他人员皆认为如此。

Iacopi 说：“自今年 3 月以来，我们开始逐步地从最初的研究用反应器转变为使用 EpiFlx，而且初始均匀性非常鼓舞人心。借助 EpiFlx，我们已经在 300 mm 晶圆上实现了 1% 左右的

SiC 薄膜厚度均匀性，并正在更小的晶圆上进行相关工艺的特性分析。”

与此同时，SPTS 与 QMF 还一直与业界同行合作，在 LED 和硅上氮化镓 (GaN-on-Silicon) 功率电子市场内验证该技术。在硅基上制作的结构已开始显现出不错的效果，而且如 SPTS 的首席执行官 Bill Johnson 所说：“这些制造商感觉 SiC 缓冲层提供了一种真正的价值主张，并希望能够拥有一款可支持多样化 GaN 的 MOCVD 反应器批处理工具。”

Iacopi 和 Johnson 一致认为：对此眼下还没有 300 mm 晶圆的市场需求，不过正像 Johnson 指出的那样：“我们很想说：‘请看，这是一个具有业界领先均匀性的 300 mm 晶圆’。它清楚地向业界表明：可以在较小的晶圆尺寸上外延生长一个非常均匀的缓冲层。”

如今，LED 制造商正在逐渐从 100 mm 蓝宝石衬底迁移至 150 mm 蓝宝石衬底，以提升每个晶圆的芯片成品率，但是 SPTS 与 QMF 及其合作伙伴希望携 200 mm 晶圆进入该市场。

Johnson 说：“主要的 LED 制造商现在都对 150 mm 蓝宝石衬底很感兴趣，而且我们相信，到我们的技术准备就绪之时，150 mm 蓝宝石衬底将具有一种适用的成本结构。因此，200 mm 将是一个合乎逻辑的切入点。”

初步的估算显示：在批量生产中，该小组的硅上 SiC 涂层工艺所造成的硅晶圆成本增加将不超过 35 美元。

毫无疑问，这将把 LED 制造商的注意力从成本达数百美元的大型蓝宝石衬底移开。不过，来自诸如



EpiFlx 反应器将把外延生长工艺（在 QMF 率先得到运用）扩展到敷 SiC 的硅晶圆的规模化生产之中。

Azzurro、Translucent 和 Kyma 等公司的竞争情况又是怎样呢？该研究小组推断：其技术所具备的吸引力超过了市售的 LED 模板 (template)。

Johnson 断言，采用 EpiFlx 生产的晶圆其成本将远远低于市售模板，后者的外来层 (exotic layers) 是运用更加昂贵的沉积工艺来生产的，而 Iacopi 则认为他的团队提供了一种更为灵活的价值主张。

正如他着重阐述的那样，许多缓冲材料制造商声称其模板适合于 LED 制造，但情况果真如此吗？

Johnson 说：“LED 制造商无法‘调整’这些模板，从而将失去对其制造工艺的控制；另外，他们也不能掌控这些晶圆的成本。而采用 EpiFlx 系统后，制造商将获得一种基线工艺，您可以想象他们将针对其特有的应用实施该工艺的调整，从而形成一种竞争优势。”

于是，随着 SPTS-QMF 小组继续就其工艺实施微调，他们下一步目标将去往何方？Johnson 说：“到明年年初，客户将与我们一道进行基本版测试。这不是几年后的事情，而仅仅在是几个季度之后。再者，从性能和拥有成本的角度来看，EpiFlx 无疑将是最大的赢家。”





BluGlass 公司提高了 LED 的追求目标

据 Compound Semiconductor 杂志报道，在获得了联邦基金之后，BluGlass 开始着眼于硅上 GaN LED 市场。

今年 7 月，澳大利亚的半导体工艺开发商 BluGlass 公司赢得了 300 万澳元的联邦政府基金，用于演示和论证高效率、低成本的 GaN LED。

这家创业公司花费多年时间精心钻研 GaN 的低温生长，最近则更多地关注在 MOCVD GaN 模板上生长 p-GaN 层的技术，不过眼下将加大力度以实现在硅衬底及蓝宝石晶圆上生长整个 LED 结构。

该公司的首席技术官 Ian Mann 解释说：“我们一直希望跻身硅上 GaN 市场，特别是针对较大的晶圆，现在我们打算开发完整的 LED 结构。我们的低温远程等离子体 CVD 工艺有望减轻传统高温 MOCVD 工艺的拱曲和开裂问题……而且我们可以察觉到硅上 GaN 市场上不断涌现出的商机。”

为了实现低温生长，BluGlass 用氮气替代了典型 MOCVD 系统的氨源，使氮气通过一个通电线圈以生成等离子体。

在传统的 MOCVD 工艺中，高

达 1200 °C 的温度使氮从氨中分离出来，并生长 GaN 层。但是，BluGlass 通过直接利用等离子体来提供氮，就能在低得多的温度下沉积半导体层。

迄今为止，这家公司尚未公开实际的生长温度，但是今年早些时候其展示了采用 RPCVD 工艺在 MOCVD GaN 模板上生长的 n-GaN 薄膜，该薄膜可满足业界的电气性能参考标准。Mann 称：虽然该工艺所使用的 RPCVD 沉积工具的成本与 MOCVD 系统大致相同，但由于它没有采用大量的氨，因此要比 MOCVD 便宜。

现今，他的小组的工作方向是在低温下生长 p-GaN 层，并计划使生长温度与多量子阱的 MOCVD 生长中所使用的温度相匹配。

Mann 说：“眼下，我们的做法是购买采用 MOCVD 设备制作的多量子阱层，并在这些多量子阱层上生长 p-GaN 层。但是通过利用我们的技术，就能全部采用 RPCVD 工艺在相同的温度下先后生长多量子阱和 p 型 GaN 层，

并从中获得一些实际的价值。我们相信这是可以实现的。”

而且至关重要，正如 Mann 着重指出的那样：“低温 p-GaN 层具有一个潜在的好处，就是对 MQW 的危害较少，因而可改善 LED 的效率。”

近期拨付的联邦基金帮助该公司购置了第二个更大的 MOCVD 系统，这

样一来 Mann 和他的同事们现在即将对 RPCVD 系统进行改造。这位首席技术官强调说：虽然该系统的尺寸将小于一级晶圆厂中的生产设备，但将允许他的小组使用单一的 8 英寸晶圆。

他说：“该系统将使得我们能够演示和论证 8 英寸硅晶圆，它是必须拥有的，同时也是无法采用我们现有的开发设备来制造的。”

该小组目前正在开发成核层及多量子阱层，而且，尽管 RPCVD 工艺将不同于传统的 MOCVD 工艺，但是 Mann 断言：“我们将运用 RPCVD 工艺来生长一种完整的结构，而采取的方式与 MOCVD 生长完整结构的方式相同。”

他补充说：“与此同时，我们还期望尽快地实现商品化，并将利用其他的资源、潜在的合作伙伴以及其他基金来加快这一进程。”

可是，该公司起家的技术是什么呢？2007 年夏天，BluGlass 公司展示了利用沉积在玻璃上的 GaN 实现的蓝光发射，这在世界上是第一次。但正如 Mann 所指出的那样，BluGlass 如今重点关注的是 LED 行业十分熟悉的传统衬底。而且该公司并不希望停留在 LED 领域。

展望未来，除了最新的联邦基金之外，BluGlass 还准备将其技术引入电力电子市场。Mann 强调说：“很明显，电力电子市场也是一个新兴的市场。而且从技术的角度来看，在硅上实现优质的 GaN 生长对于电子器件和 LED 都是很重要的。”



目前，BluGlass 希望将其远程等离子体 CVD 工艺引入到 LED 和电力电子市场。（照片提供：BluGlass 公司）



4th CS International Conference Agenda Announced!

7 themes and 30 inspiring presentations*

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

The 4th CS International conference will be held at the Sheraton Frankfurt Airport Hotel, in 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 6th January 2014 and take advantage of our early bird discounted rate.

Book your place **NOW**

Please visit www.cs-international.net/register.php for further information

Chaired by



Dr Andrew Nelson



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



Other speakers



Asif Anwar

Coming full circle - will Si CMOS burst the GaAs bubble?



Thomas Meier

GaAs & Silicon: Co-existence in a wireless world



Brendan Timmins

Minimizing the cost of precious metals used in compound semiconductors



* All speakers and presentations are subject to change.

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



Other speakers



Chris Horton
Enabling material solutions for GaN in the RF arena



Mike Mallinger
Microsemi's SiC for long-range radar



Marc Rocchi
100nm GaN/Si mmW foundry service and MMICs



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



Other speaker



Rainer Krause - Soitec
Wafer bonded 4-junction GaInP/GaAs//GaInAsP/ GaInAs high performing concentrator solar cells



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



Other speakers



William Henry
Applications and opportunities for MicroLED emitters



Pallavi Madakasira
LED light bulbs: When and how will the lighting of tomorrow become the lighting of today



Ulrich Steegmueller
Success factors in the increasingly competitive LED ecosystem



Continues on next page

Power Electronics

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



Keynote presentation: Ming Su
Can SiC or GaN power the next-generation hybrid electric vehicle drive systems?



Keynote presentation: Mike Briere
Pioneering GaN on Si power devices on large diameter substrates



Other speakers



Michael Weirich
Why JFETs can be a success in the power electronics market



Philippe Roussel
Vertical integration vs outsourcing in the wide bandgap sector



Marcus Behet
SiC and GaN/Si for power electronics – niche forever?



Denis Marcon
200mm GaN-on-Si CMOS compatible platform



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
Photonic integration in InP: A regrowth-free platform for fabless manufacturing model



Other speakers



Gregory Fish
III-V Heterogeneous photonic & electronic integration on silicon



Dr. Thorsten Matthias
Direct wafer bonding: Enabling technology for future photonic and electronic integration



Petteri Uusimaa
RGB laser solutions to display and projection application



Hong Lin
Bulk and free-standing GaN substrate technologies and industry status in the LED, laser diode and power applications



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
Co-integration of III-V and Ge CMOS



Other speakers



Shinichi Takagi
III-V and germanium FET technologies on Si platform

The University of Tokyo



Aaron Thean
Extending Moore's Law with III-V and germanium



Selection of companies also presenting include:



EPIGAN



LAYTEC
Knowledge is key



The Business of Science®



Hitech™
Enabling Technology



S3Alliance

Platinum Sponsors



Knowledge is key



The Business of Science®



Enabling Technology



Développement

Gold Sponsors



Networking Reception



Delegate Bag



Lanyard



Portfolio



Book your place now and save 10% before 6th January 2014.
Please visit www.cs-international.net/register.php to secure your place

CS INTERNATIONAL CONFERENCE

Connecting the leading compound semiconductor industry insiders

封面故事 | Cover Story - SOS器件



蓝宝石上硅（SOS）在下一代无线网络中的应用价值正在提升

Peregrine 半导体公司的 Rodd Novak 如是说：新的无线通信标准的引入使得射频前端（RFFE）器件制造商所打造的产品要具有更高的线性度。由于 Peregrine 公司的 UltraCMOS 工艺及其加速后的发展线路图，使得蓝宝石上硅（SOS）器件技术已在这一领域中脱颖而出。相比于众所周知的 GaAs 等竞争技术，SOS 将有望持续地扩大其在性能上的领先优势。

无线网络的运营商正在不断追求更高的效率、更快的数据传输速率和更短的指令执行周期。上述这些需求使得他们要采用新的数据传输方案。其中最新的技术之一便是 4G LTE 这一新的移动通信标准，它已在世界各地得到了广泛的采用。有相当多的美国无线运营商已经很快地采用了 LTE 标准，而且在欧洲、中国以及世界其它地区的无线运行商也紧随其后加以采用。

4G LTE 网络的引入带来了许多技术上挑战，影响着用户设备（UE）中的许多射频前端（RFFE）部件，如功率放大器（PA）、滤波器、天线和开关器件等。对这些部件都需要进行调整和改进以能够提供尺寸更小、集成度更高的 RFFE 部件，这些 RFFE 部件需要具有高的电隔离性能和线性度，以便与用户设备（UE）及其基础设施上的更新保持同步。

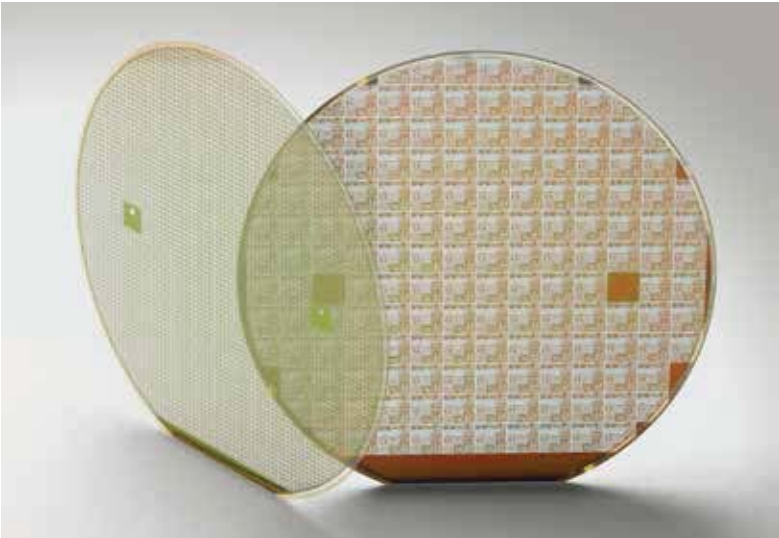
采用传统的化合物半导体技术来满足上述所有这些要求还是有可能的，然而还有一种更好的替代方法。蓝宝石上硅（SOS）工艺，它是一种先进的绝缘体上硅（SOI）技术形式，可以使 RFFE 部件实现按比例扩展的集成，性能稳定，且能得益于最为广泛使用的半导体 CMOS 技术。此外，SOS 器件在 RF 性能上比 GaAs 有过之而无不及。

位于美国加州 San Diego 的 Peregrine 半导体公司，拥有一个专有的 SOS 技术—UltraCMOS—它是 SOI 技术中的一种更为先进的形式。UltraCMOS 技术包含了在蓝宝石晶圆上生长形成一个硅薄层技术。这个技术平台对 IC 及其工艺的设计人员很有吸引力，因为蓝宝石是近乎完美的绝缘体，它消除了几乎所有与体硅技术相关联的寄生电容和漏电流问题。这项技术在蜂窝手机 RFEE 的 RF 开关器件和的天线调谐上具有很高的应用价值。到今天为止，已经有 10 亿多个 UltraCMOS 产品已经用于用户设备（UE）的 RFEE 部件中。

历史简介

在上一世纪的 90 年代后期，当第一个具有单 / 双频段设计的具有开关功能的 RFEE 器件出现在市场上时，它们采用的是兼有高性能和低成本优势的 PIN 二极管。然而，由于这种二极管需要采用很长的 1/4 波长传输线和较大的正向偏置电流操作，而且它们不能对随后的四频架构提供有效的解决方案，因为这种架构需要更多数量的 RF 开关信道。

设计者需要适应 WCDMA/GSM 网络的多频段硬件架构，这种架构需要多达 9 个开关信道。GaAs pHEMT 和 UltraCMOS IC 解决了 PIN 二极管在多波段操作上的众多问题，并因此成为了 RF 开关器件的新解决方案。GaAs pHEMT 和 UltraCMOS 这两项技术都能够满足由 3GPP 规范所规定的 +65dBm IP3 这一要求。不过,在此之后，LET 网络极大地增加了用户设备（UE）在性能上的要求和对开关功能的复杂性。



Peregrine 半导体公司采用了蓝宝石上硅（SOS）技术来制造开关器件

我们的 UltraCMOS 技术可以用来应对这些挑战。十多年来，我们一直在开发这项技术，在 2004 年我们进入了移动无线通信市场，推出了第一个商业化的、大批量生产的 SP4T 倒装芯片的 RF 开关器件。我们这个基于 UltraCMOS 技术的产品，与当时的技术—即多芯片 GaAs pHEMT IC 模块展开了肉搏战式的竞争。

自那以后，手机的构架有了显著发展。移动无线应用中的 RF 频带数量和开关信道在持续不断地增加，使得高度集成的单片射频集成电路（RFIC）的价值在不断提升。现在，在一种先进的 LTF 手机的 RFEE 中已经出现了超过 30 个数量的开关信道。

我们技术的发展线路图胜过众多其它 RFEE 技术，它们包括有（但不限于）pHEMT、HBT, RF SOI、BiCMOS、GaN、CMOS 以及 SiGe 等。其中的每一种技术都需要其本身的工艺、晶圆厂和研发资源。此外，每一种技术都有一个由设计

RFEE Process Technology	RF Isolation	Linearity	RF Power Handling	Digital Power Consumption	ESD	Integrated Logic	Monolithic RF SoC
GaAs	✓✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Bulk CMOS	✗	✓	✗	✓✓	BEST	BEST	✗
SOI CMOS	✓✓	✓✓	✓✓	BEST	✓✓	✓✓	✓✓
UltraCMOS® Technology	BEST	BEST	BEST	BEST	✓✓	✓✓	BEST

- ✗ Has the function with poor performance and/or is unable to integrate the function
- ✓ Has/performs the function
- ✓✓ Has/performs the function well
- BEST Has/performs the function very well

表 1：蓝宝石上硅（SOS）半导体工艺技术满足了 LTE 的要求，它能进行大批量的生产、由高集成度的射频集成电路（RFIC）组成，它只需采用一种工艺，以及具有不断提升其产品性能的发展线路图。

封面故事 | Cover Story - SOS器件

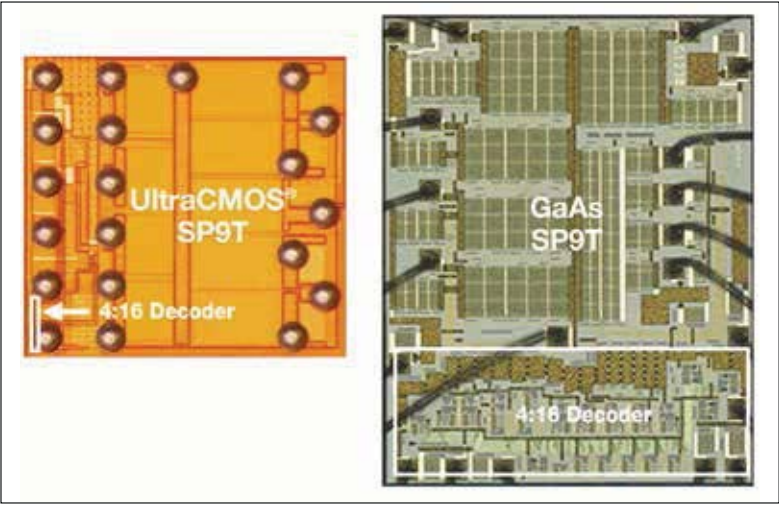


图1：由于UltraCMOS技术可以实现单片集成，使得一个典型的SP9T UltraCMOS开关IC芯片面积大约只有一个典型的SP9T GaAs开关IC芯片的一半。

工程师、工艺工程师和模型模拟工程师共同支持形成的独特的发展线路图。然而，根据定义，这些发展线路图的协同效应相当有限，不能提供一条途径来实现可以进行完全单片集成的 RFFE。这就意味着研发资源的效能被稀释了，因为他们必须化精力来支持众多类型的工艺技术。与之形成鲜明对比的是，UltraCMOS 技术对形成单片集成的 RFFE 有着明确的技术实现途径。因此，所有的研发资源都可聚焦在推进一个具有单一工艺、设计、建模以及供应链的技术发展线路图，来实现当今手机中的 RF 开关、数字调谐以及功率放大等功能。

蓝宝石的优点

UltraCMOS 技术的一个主要优点就是采用了一个完全绝缘的蓝宝石衬底。这种衬底几乎能彻底消除存在于体硅衬底中的寄生漏极电容问题，它主要具有三个方面的好处：首先，它提高了晶体管的性能，因为在每个工作周期中只需要对更小的寄生电容进行充放电。其次，蓝宝石



图2：在RFFE的设计中，容纳RF组件的可用空间大为缩小，因为电池单元在不断地占有手机中的大部分实际空间。

衬底在电路元件间可以实现更为彻底的电学隔离，使得可将 IC 中的数字和模拟模块设置在高功率射频信号模块的附近。例如，它能支持具有 IP3>80dBm 的 40dBm 连续波功率的数字化控制 RF 开关器件，目前该产品已经进入了生产阶段。

UltraCMOS 技术所具有的另一个优势是：与 GaAs 不同，它可以将 RF 电路、模拟电路、无源器件以及数字电路在单个芯片上实现集成。这种高水平的单片集成具有着更小的芯片尺寸和只需要更少的外置元件。例如，一个典型的 SP9T UltraCMOS 开关器件的面积大约只有相应 GaAs 器件的一半（参见图 1）。减小 RF 开关器件的尺寸已受到高度的重视，因为这可以使 RFFE 组件的总体面积缩小，还具有着更多的设计和布局上的灵活性，以及只需更少的外置元件。上述这些是很重要的，因为在 RFFE 设计中，随着在手机中电池正在占有越来越多可用的实际空间，使得 RF 部分的可用空间正在继续地缩小（参见图 2）。

与 UltraCMOS 技术相关的另一个优势是：这种产品可以在一个合格的传统硅晶圆代工厂中充分利用现有的基础设施、采用标准成熟的 CMOS 工艺来进行制造。这意味着如果需要第二产能来源的话，可以通过两套并行的供应链合作伙伴来给予满足，而且成熟的晶圆厂只要通过扩展其设备的批量生产能力这种捷径，技术的升级改造可以提高得很快。

与晶圆代工厂合作，我们已经改进了我们 RF 开关器件的性能。如果 RF 开关器件是十分完美的话，它将具有零导通阻抗 (R_{on}) 和零关闭电容 (C_{off})，这就是所谓的 $R_{on}C_{off}$ 性能衡量指标。我们正在接近这一理想指标，这在某种程度上是得益于我们在制造技术上的改进（见图 3）。UltraCMOS 的 $R_{on}C_{off}$ 性能衡量指标正以年均 20% 的速率在提升，大大超过了其它相应技术的提升速率，例如 GaAs 开关器件该指标的年均提升率只有不到 1%。

在 2007 年，我们在 STeP2 “半导体技术平台”基础上推出了 UltraCMOS 单芯片技术产品。自那以后，我们的 RF 开关器件系列在不断地推进。采用 STeP5 UltraCMOS 技术所推出的我们最新产品，其尺寸约可比 GaAs 相应模块尺寸要缩小 83%（见图 4）。STeP5 工艺采用了“键合 SOS 技术”工艺。在我们的历史上，对基于这一工艺的产品需求使得新工艺生产得到了快速的生长。根

据 Navian 公司在 2012 年 10 月 12 日的报告，我们已经成为蜂窝手机主流 RF 天线开关器件市场的领先者。

线性度要求

可能 SOS 技术能超越 GaAs 半导体工艺技术的最具价值的属性是它所具有的高线性度。这是因为 LTE 的引入使得线性度成为 RFFE 中最难达到的一种性能要求。由于在全球范围内部署了大量的从 699MHz 到 2690MHz 频段的 LTE，结果是加剧了蜂窝网络的 RF 相互干扰问题。而且，在今天的智能手机中，包括蜂窝、蓝牙、WiFi 和 GPS 等多重频率无线电的同时共存和操作也加剧了这种相互干扰，结果使得消费者会感觉到因为谐波和相互调制问题而产生数据传输速率下降以及通话中断等现象。

与 LTE 相关联的相对较为严格的宽带线性度要求提高了对手机天线开关器件所需性能及其复杂性上的要求，即要求它能被四频 W-CDMA 和四频 GSM 所支持。例如，一个典型的天线开关器件现在必须具有十个或者更多的开关信道以及

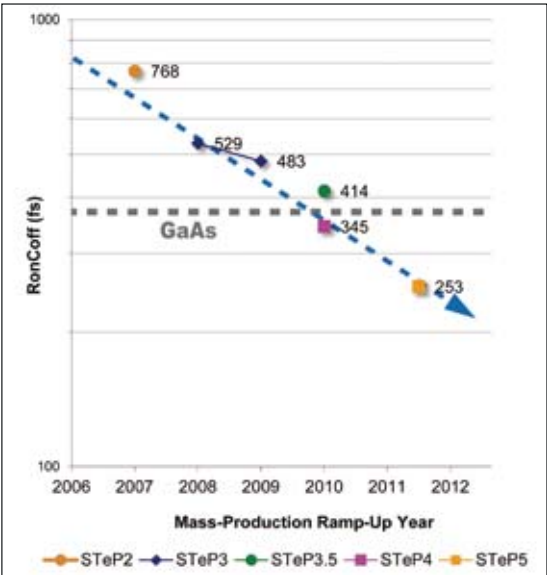


图3：UltraCMOS技术的RonCoff性能衡量指标每年有着20%以上的提升，而GaAs技术相应指标每年的提升率却只有不到1%。

能超过 +67dBm 的三阶 IIP3。此外，为了支持手机能同时进行语音通话和数据传输，即能同时运行两个传输信道，手机服务商正在期望需要将天线开关器件的 IIP3 指标提高到 +90dBm。

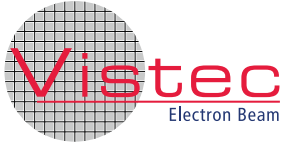
这些要求对许多技术而言是极具挑战性的，但是 UltraCMOS 却能坦然应对这个挑战。我们将 UltraCMOS 和一些新的发明，如我们的 HaRP



Enjoy Infinite Possibilities.

Based on broad experience gathered over many years of developing, manufacturing and world-wide servicing field-proven electron-beam lithography systems, a team of highly-motivated employees, excellent researchers and creative engineers are constantly doing their best to fulfil our customers' requirements.

We understand E-Beam.



Vistec Electron Beam | www.vistec-semi.com

封面故事 | Cover Story - SOS器件

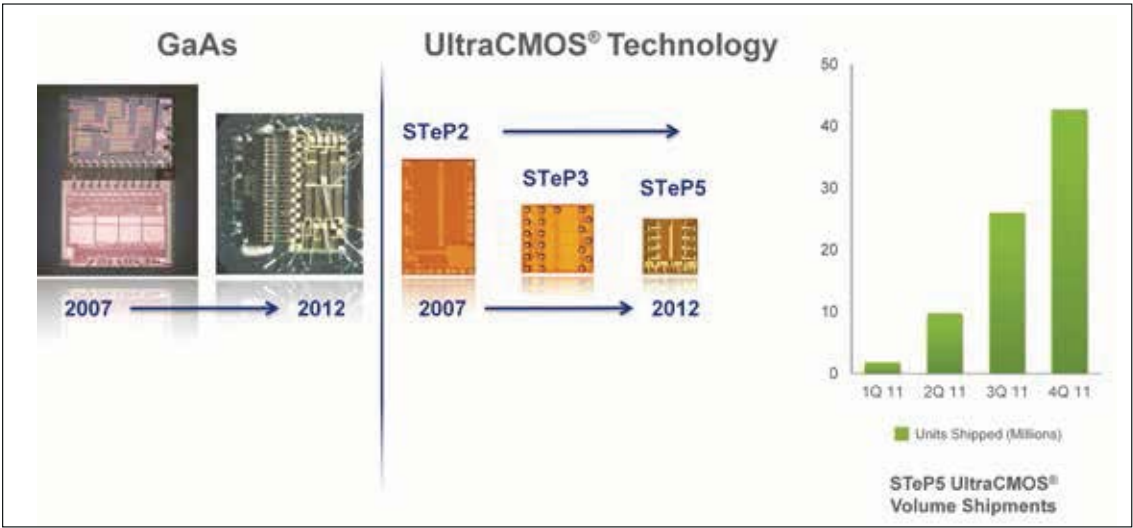


图4：标准的CMOS工艺使得UltraCMOS技术的前进步伐超过了GaAs等其它半导体技术。

线性增强技术和混合信号设计技术相结合，来制造出能满足 LTE 线性度要求的单芯片产品。例如，我们的 SP10T PE426161 开关器件在 V 波段（上行：824-849 MHz，下行：869-894 MHz）具有 -125dBm 的三阶互调失真（IMD3），这相当于 +75dBm 的 IIP3。我们期望我们的开关器件的线性度能得到持续的提高，我们正在开发新一代的 UltraCMOS 工艺，因为它已经贯穿应用于过去五代的产品。例如，已经证明 STeP5 开关器件的三阶谐波比 STeP2 开关器件有着超过 30dB 的改善。

作为比较，当采用 GaAs 技术进行天线开关器件的设计时，对于一个给定的器件尺寸，耗尽型 FET 的使用及其对偏置的要求会限制它所能达到的最高线性度。此外，与 UltraCMOS 不同，GaAs 具有一个根本性的弱点——即它无法获得一个性能优秀的绝缘栅氧化层。它是采用一个金属——半导体结来将栅极连接至沟道，在导通和关断状态下，栅极电流都会流入沟道。其结果是

在高的功率强度下，GaAs FET 栅极电压在进行调制时会增加信号的失真，使之很难满足 LTF 对于线性度的严格要求。

手机电路的发展趋势之一就是需要具有越来越多的信号通道，这就需要芯片能具有更好的电学隔离，以防止产生信号间耦合和窜扰现象，降低多频段 RFFE 的性能。例如，在一个多频段蜂窝手机中，PCS1900 传输频带会与 DCS1800 接收频带相互重叠。没有 35dB 以上的电学隔离性能，不希望频带的信号可以通过滤波器从而降低了接收器的灵敏度，从而导致通话断线。为了解决这一具有很高复杂性的问题，我们推出了 SP12T PE426171 开关器件，在 2GHz 时它可以在所有信道上至少能保持 35dB 的电学隔离度，而且该器件的外形小于 3mm²。

包括这种器件在内的这一产品系列均能满足当今 4G LTE 网络的要求。采用 SOS 技术制造的这些产品比起其它化合物半导体的产品具有更高的集成度、电学隔离性能及线性度（细节详见表 2）。开关器件并不是 Peregrine 公司为 RFFE 制造的唯一的产品。我们还生产数字可调电容器、数字衰减器、混频器 / 上行转换器、预分频器和频率合成器等器件。我们的产品系列已拥有超过 180 种的产品，使得设计人员在无线通信器件及其支撑环境上能处于一个领先的地位。

PARAMETER	GaAs	UltraCMOS® Technology	UNITS
Process Technology	pHEMT	SOS (STeP5)	
Die Size*	5.42	2.01	mm²
IDD	591	137	µA
Insertion Loss			
TRX-ANT 880-915 MHz	0.56	0.20	dB
TRX-ANT 1850-1910 MHz	0.77	0.33	dB
TRX-ANT 2500-2690 MHz	1.04	0.53	dB
Isolation			
TX-TX 824-915 MHz	33	51	dB
TX-TX 1710-1990 MHz	45	40	dB
TX-TX 2500-2690 MHz	39	37	dB
IMD3 (881.5 MHz)	-103	-125	dBm
Second Harmonic (2fo)			
@ 880-915 MHz	77	96	dBc
@ 1850-1910 MHz	78	94	
Third Harmonic (3fo)			
@ 880-915 MHz	78	84	dBc
@ 1850-1910 MHz	71	86	

表2：市售SP10T GaAs器件和SP10T UltraCMOS器件的性能参数比较，在许多参数上UltraCMOS技术性能更好。请注意有关GaAs的参数值是来自于它的两种芯片——是RF开关芯片，另一个是控制器芯片。

扩展阅读

1 Andoh, Yoshiyasu (Navian Inc). RF Devices/ Modules For Cellular Terminal Quarterly Market Report CY2012 2Q, Oct. 5, 2012: page 153.



GaN FET 即将实现大规模量产

像世界上许多其他的公司一样，RF Micro Devices 和 Transphorm 公司正在努力将 GaN FET 从开发向量产阶段推进，他们究竟已经走了多远了呢？本文是来自于 Richard Stevenson 的调研报道。

当前已有超过二十家半导体公司正在致力开发应用于功率电子的 GaN 晶体管。所有这些公司都有相类似的目标——要成为这一领域的主要参与者，能提供高品质的、有商业价值的产品。但是这些公司的背景却有着天差地别，在它们中间有些是硅功率电子器件制造商，了解 GaN 产品的发展前景及其优势；还有一些公司是已经开发了射频应用的 GaN 产品，正在寻找新的利润增长点；有些还是处于初创期的公司，专注于高电压的 GaN 产品。

有两家公司的背景迥异，但是却具有类似的 GaN 产品开发方法和量产制造的发展路线图。他们分别是：一家是源自于美国加州大学 Santa Barbara 分校的 Transphorm 公司，而另一家是世界上最大的芯片制造商之一——RFMD 公司。根据 3 月 4-5 日在德国法兰克福召开的化合物半导体 (CS) 国际会议开幕式上所传来的消息，这两家美国公司都计划在今年内完成对其新产品的认证。

当前的现状

Transphorm 是一家创于 2007 年位于美国西海岸的公司，该公司的产品开发副总裁 Yifeng Wu 提供了一份坦诚的公开报告，评估了业界各家公司在 GaN 晶体管开发道路上当前所处的位置。

他在 CS 会议演讲的开始就指出，GaN 是毫

无争议的、优秀的制造功率半导体器件的材料，但人们仍普遍地认为硅材料是能够使这种功率晶体管进入这个广阔市场最好的技术平台，目前产业仍然在期待能对工作电压为 600V 以上硅材料产品完成认证。但目前还未见有这种产品成功的报道，人们更多的只是关注高阻断电压、低静态导通电阻以及在大尺寸硅晶圆上外延生长 GaN 等，或者是努力去了解对电流崩溃的测量问题。

Yifeng Wu 却认为，虽然很多 GaN 开发商都明白这种宽禁带半导体材料是有潜力来跑赢硅材料的，但还是缺乏能制作出其原型产品来显示具有这种潜力的证据，以及能够证明 GaN 在现实系统应用中的优势。他将之归因于最新公布的 CoolMOS 技术，该硅器件技术具有一系列令人印象深刻的特性，他说：“如果你认为你可以很容易地超越最先进的硅器件，那么你就错了”。

Transphorm 公司承接了现有的技术优势，公司采用的是垂直整合方式，产品的外延生长、晶圆加工、产品设计以及分立器件和模块的生产等全部是在公司内部完成。其产品面向多种市场：如电机驱动、功率电源、太阳能逆变器以及电动汽车用的电机逆变器等。在这些器件模块中整合了 GaN 二极管和具有 AlGaIn 势垒层的高电子迁移率晶体管 (HEMT)。这种器件包含了一个专有的 GaN 缓冲层，其特征是能降低漏电流和提高



击穿电压，利用了公司专有的外延技术和栅绝缘层的设计，据称该器件能够获得出众的动态性能。

Wu 进一步解释说，“我们器件的结构并不复杂，但仍需做出很大的努力才能制成”。他透露说，公司已经完成衬底方面的工作，现在已将精力完全集中于硅基 GaN（GaN-on-silicon）器件的制作上。在初始阶段，我们使用的是 SiC 衬底，但是由于其成本太高而被放弃。

Transform 公司现今已生产出了它的第一代硅基 GaN 二极管。Feng 对比了在 4A 电流下，分别采用碳化硅和硅衬底这两种器件的性能，它们均采用了 TO220 封装形式，发现硅基 GaN 二极管具有更高的导通电压（分别为 1.47V 和 2.3V，与硅器件的 1.4V 相比）。此外，GaN 二极管还具有更低的传导损耗，这是由于它的工作电压较低所致。该产品由于采用了较为低廉的硅基 GaN 衬底，其总体成本要低于它的竞争产品 SiC 器件；该产品的少数载流子浓度为零，而硅二极管为 60nC，少数载流子浓度的减少有助于提高产品的高温工作性能，还使得器件能更好地承受电源电压的尖峰冲击。测试显示，这种二极管在经历了十万次

990V 电压尖峰的冲击后其性能并没有发生退化。

从常态关闭器件到常态导通器件

GaN HEMT 器件的弱点之一是它们一般在常态下是导通的，而客户们更喜欢常态下关闭的产品，他们认为处于常闭状态的器件要更为安全。为了满足客户的这一期望，Transphorm 公司为常开型 HEMT 配对连接了一个超高速、低电压、常闭型硅场效应晶体管，从而形成一个处于常闭状态的混合器件（见图 1）。它能与硅驱动器件相兼容，据称它兼有快速开关和低导通电阻的优点。

这种高速 GaN 开关器件采用了一种新颖的电路形式。如果采用常规电路，由于漏电流的瞬变可能会导致晶体管的栅 - 源间产生电压尖峰。为了避免这种情况的发生，对栅极和漏极电流采用了独立的源极端口。据 Wu 介绍，这种电路结构，即 Kelvin 源极电路形式，在采用 T0-220 封装的硅功率 MOSFET 时是无法实现的。

对均采用 T0-220 封装形式的 CoolMOS 器件和 Transform 的 HEMT 器件进行了高速开关时的电流 - 电压波形图的对比分析，发现 Transform 的宽禁带器件对电压尖峰有着明显的抑制作用。这一结果使 Wu 得到结论，采用传统 T0-220 封装的 CoolMOS 器件并不适合于高速、高功率的运行。在他看来，Transform 的这种方法，称之为 Quiet-Tab，可以将 T0-220 封装在性能上的极限延伸到新的运行空间。

此种器件的其他方面优势还包括有：其导通电阻略低于硅基 CoolMOS；具有更强的应对高电压尖峰的能力（在经历十万次 850V 的电压尖峰冲击后，器件的工作性能并没有发生变化）；高温下工作对器件的性能没有损伤（器件在 175℃ 下工作 1000 小时后，没有观察到其性能的退化）。

在 2012 年，Transform 公司向独立的国际标准组织（JEDEC）提交了 SiC 基 GaN 器件的认证申请。Wu 先生介绍说，要通过的这些测试将是非常严格的：“如果有一个器件失效，就意味着整个器件认证的失败”。

Transform 公司的下一步工作是希望将这一认证延伸到硅基 GaN 器件上，Wu 透露：“我对我们的器件能在今年通过这一认证感到非常乐观”。

他在化合物半导体（CS）会议上所做报告的末尾，再次强调了 Transform 公司器件在电力系统应用中的优势。他开始考虑在升压变换器中使

图1: Transphorm公司为他们的高电压、常开型 GaN HEMT配置一个低电压、常闭型硅FET来形成一个高速常闭型混合器件组件。

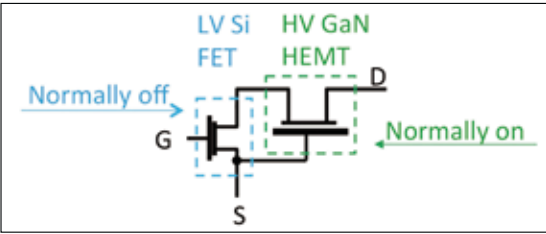
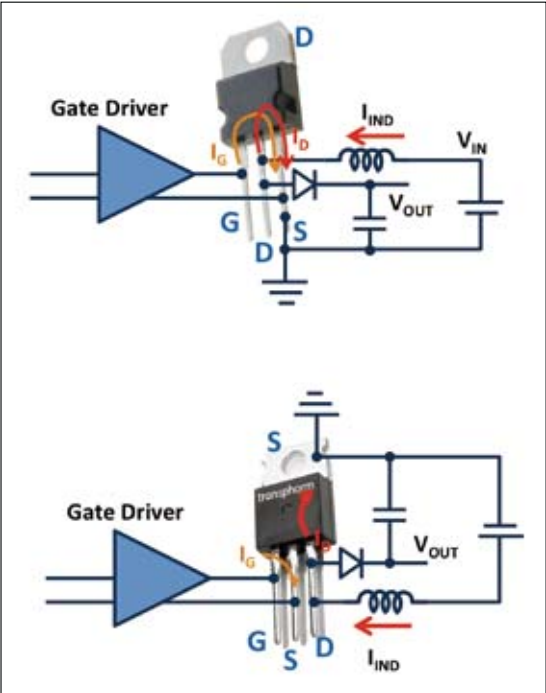


图2: 传统的电路（上图）会导致漏极电流的瞬变，进而会引发电流 - 电压的尖峰。Transphorm公司采用了Kelvin源极电路方法解决了这一问题，即是对栅极和漏极电流采用了独立的源极端口（下图）。



用 GaN HEMT 器件和 GaN 二极管的组合电路，该电路具有 DC-DC 的功率转换（输出电压超过输入电压）功能。

这种电路结构在 100kHz 下工作时可以实现 99% 的转换效率。与组合了 CoolMOS 晶体管和 Qspeed 二极管的升压转换器相比，在满负荷（1.5kW）工作时，器件的损耗能降低三分之一。当工作频率增加到 500kHz，这两种器件的工作性能差距还要拉大，GaN 器件的损耗可降低 70%，并且硅转换器的工作负荷必须限制在 1.3kW 以下，才能保证该系统工作处于安全状态。

GaN 的优势不光只在于转换效率的提高。由于芯片需要散热才能提供高的转换效率，对 1.5kW 500kHz 的 GaN 转换器来说，当冷却空气流速从 0.5 米 / 秒提高到 5 米 / 秒时，它的转换效率将会从 97.95% 上升到 98.05%。但由于热量在气流冷却下的高速散发，硅器件将无法承载这样的功率，Wu 解释说：“在 0.5 米 / 秒气流下，在 10 秒内硅器件就会发生过载”。

他还比较了不同类别器件的桥电路的性能，该电路采用 GaN 器件来构成时就无需再用二极管。

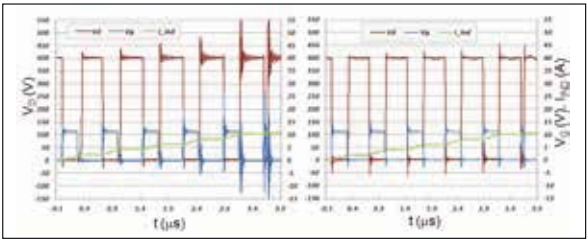


图3：与通用TO-220封装的CoolMOS（右图）相比，Transphorm公司采用专有的Quiet-Tab封装的HEMT器件在高速开关工作时所产生的电压尖峰要小很多。

这些宽带隙器件构成电路的工作速度与硅 IGBT 器件相比是非常高的，上升时间只有其三分之一到五分之一，而下降时间不超过其五分之一。

这种形式的电路已用来构建三相 GaN 器件模块，用于电动机驱动的逆变器中。这是业界首个具有最高工作频率 300kHz 的模块，它可使用紧凑型的滤波器，得到一个纯正弦波的输出，从而可以降低电动机的应力（见图 4）。

Transphorm 的 GaN 器件的优点也会影响到太阳能行业。去年 12 月，由日本 Yaswaka 公司制造的光伏空调器中使用了 Transphorm 专有的 GaN 功率模块，在日本光伏界引起了很大的关注。这种 4.5kW 的逆变器在光伏展会上是体积最小的模块，但具有最高的转换效率（峰值转换效率高达 98.2%）。

2 英寸

天然单晶

AlN 晶圆

CrystAl-N

SUBSTRATES FOR EPITAXY

AlN 适用于高性能光电器件

优质表面外延片 · 位错密度 < 10⁵ cm⁻² · 深紫外透明晶圆

联系我们： +49 (0)911-650 78 650 90

www.crystal-n.com

RFMD 公司的 GaN 器件开发

RFMD 公司电源转换器件部 (PCD) 的总经理 A.J. Nadler 也讨论了 GaN 产品的应用情况，他在报告中首先回顾了 GaN 产品的市场价值及其增长速度的情况。

Nadler 援引了来自法国的市场分析公司 Yole Développement 的报告：据计算在 2011 年功率半导体器件的市场价值为 177 亿美元，预计到 2020 年将增加一倍以上能达到 357 亿美元。Nadler 根据其公司内部的分析成果，并参照了 Yole 和 IMS Research 的研究报告得出：2013 年在高压功率器件这个细分市场的价值将达到 146 亿美元，占据主导地位的是硅功率 MOSFET 和 IGBT，但将面临着来自 GaN 和 SiC 器件日益激烈的竞争，

Nadler 认为硅器件无法抵御宽禁带器件威胁的主要原因是，在器件性能方面硅材料的潜力已经发挥到了尽头。自 20 世纪 70 年代以来的硅器件的改进都是围绕着开发新的器件结构方面，在 1978 年 VMOS 的出现取代了硅的双极型晶体管，然后是沟道 MOS，接下来是超级结 MOS，最后是具有超深结沟道的 MOS 器件。

现在，据 Nadler 所称：GaN 开始进入市场的时代就要开启了，“我预计这是下一个十年最具爆炸性的事情”。他声称，他的公司对技术并不熟悉，但是他坚定地认为 GaN 将会取得成功，因为当考虑到导通电阻这一关键器件性能参数，采用 GaN 材料所制作的器件，其尺寸能够做到只有硅器件的百分之一，SiC 器件的十分之一。

RFMD 公司从事 GaN 器件已经有着十多年的历史，最初进行的是对 RF 器件的开发。在 2001 年，Greensboro 财团收购了 GaN 器件开发商 RF Nitro Communications 公司，在六年后，开始将 GaN 技术向大批量生产过渡。在 2009 年和 2010 年，其第一个和第二个 GaN 器件工艺相继获得了认证，并且在 2010 年开始了它的多元化经营，开始在 GaN 功率器件领域进军。

据 Nadler 所称，要实现 GaN 器件在高功率

领域的应用，有几个条件必须得到满足：需要建立一个值得信赖的大批量供应链；每个器件都要具有高的可靠性；要提高器件的转换效率和降低系统的成本，使得消费者能愿意购买这种相对较为昂贵的 GaN 器件产品；器件要易于使用；能提供低成本产品的开发路线图。他展示了一张在 1958 年生产但仍在正常使用的变换器图片，强调了用户对高可靠性的需求，并指出像这样的产品在 100 年中可能只需要更换 1-2 次。

RFMD 公司当前的目标是用基于 rGaN 技术的产品来满足上述所有这些需求条件，据称它已经可以提供最高工作电压为 900V 的高效率功率转换器。公司提供的第一个产品是一种电压为 650V 的 FET，它带有一个超高速的 free-wheeling 二极管，它在常闭方式下工作，其导通电阻只有 45mΩ，其导通电流可高达 30A。Nadler 说：“我们已经向客户提供这种器件的试样，对这款产品的认证将在今年内完成”。

RFMD 公司这种 FET 产品所瞄准的市场是用来将主电源转换成为直流输出对数据中心和高端电信基础设施进行供电。例如，可用于将 480V 的三相交流电输入转换成 380V 的直流电输出。采用这种 GaN 器件来取代硅器件可以使转换效率提高 1%，但这具有多少价值呢？据 Nadler 所称，他根据以下假设条件所计算得到在 15 个月时间内的投资回报将会是非常之高！他的计算假设条件是：硅开关器件的成本为 0.15 美元/A，作为替代的 GaN 器件成本是其 2 倍；电力成本为 0.10 美元/千瓦时；由电源提供每相 20.8 A 电流的额定功率；系统每天运行 24 小时，并且平均以二分之一的功率值进行运行。

RFMD 公司正在考虑制作这些器件的衬底问题。Nadler 说：“我们现在的产品都基于 SiC 衬底，但是我们对衬底这个问题仍知之甚少”。他表示，他们公司正在考虑采用硅基 GaN 衬底。Transform 公司刚刚完成了在这种衬底上的转变，而包括 International Rectifier 在内的其他一些公司已经享受到使用这种较便宜的硅基 GaN 衬底所带来的好处。这种在衬底上转变能够降低生产的成本，以抵消由于采用 GaN 产品来替代硅产品所增加的成本。在成本竞争力上的增加将有利于帮助 RFMD、Transform 以及其他许多公司实现这十多年来他们所孜孜以求的在功率电子领域的革命。☞

图4：逆变器产生的波形，硅 IGBT 器件的输出波形（左图）与 Transphorm 的 GaN 器件（右图）相比具有更加明显的噪声。





提高 GaN 器件的 军事应用水平

来自 Richard Stevenson 的报道称：美国国防部认为现在氮化镓单片微波集成电路（GaN MMIC）的器件造价过于昂贵，并且其可靠性也难以胜任当前的军用需求。为了解决上述问题，由美国国防部牵头启动一个项目计划，旨在缩短 GaN MMIC 器件的生产周期，提升其良率和可靠性。

氮化镓（GaN）材料的性质非常适合制造射频（RF）晶体管。用 GaN 材料所制造器件的性能要比砷化镓（GaAs）材料高出一头：它具有更高的工作效率、更高的功率密度和更高的工作温度。

GaN 器件的这些优异性能深得美国军方的青睐，他们认为这种宽禁带半导体晶体管是一种性能优秀的半导体器件，非常有希望在未来电子战的多种场合得到应用，包括可用于战场的电子攻击、电子防卫和电子战支持。例如，GaN RF 器件能够用来构建雷达和电子系统中的相控阵列天线。

为了促进 GaN RF 器件在军事应用中的发展，美国国防部（DoD）的高级防卫研究项目（DARPA）已经出资来支持这种宽禁带半导体技术的发展，例如推进宽禁带半导体（WBS）器件的在 RF 上的应用。该项工作的目的是集中于技术的开发，这是一项具有典型高风险、高收益的投资。在 GaN 领域该项工作已经取得了丰硕的成果，所以美国政府的多个国防部门——如海军、空军和陆军——现在都迫切希望能将这种 GaN RF 技术推向更高的应用水平。

为了实现这一目标，美国国防部支持了一个名为 Title III 的 GaN RF 器件技术研发项目。这一



技术 | Technology – GaN器件

官方项目计划的最新努力目标将依次是：蓝宝石上硅 (SoS) Title III 计划、砷化镓 (GaAs) 晶圆、磷化铟 (InP) 和碳化硅 (SiC) 晶圆以及单片微波集成芯片 (MMIC)，要能够开发出具有高制造水平（八级）的生产能力，即意味着在美国国防部的开发计划中的该项工艺的成熟度要达到能用于小批量试生产水平。

该项目的负责人 Gene Himes 解释道：“这个项目取得成功的标志是所开发的工艺能够制造生产具有高良率、低成本、高性能和高可靠性的 GaN 器件，对军用和商用客户均具吸引力”。Gene Himes 知道，Title III 项目开发所形成的生产能力 / 产能在项目结束之后要能够在很长时间内达到自立。为了实现这一目标，该项目需要解决 GaN 器件的高成本及其可靠性问题，同时还要开发出能够提升美国公司在 GaN 产品的良率、生产产能 / 容量上的改进方法。

四大公司

目前美国拥有 GaN 器件生产能力的四家芯片制造商中已经有三家参与了 Title III 项目计划，第四家则刚刚进入。Raytheon 公司从 2010 年就开始运作一个 X 波段 (7-11.2 GHz) 的项目；Cree 和 TriQuint 两公司则分别是 2011 年和 2010 年开始，各自独立开展 S 波段 (2-4 GHz) 和宽频 (6-18 GHz) MMIC 的开发；而 Northrop Grumman 公司则是从今年才开始运作 Ku 波段 (7-11 GHz) MMIC 的项目计划。

2013 年 5 月 13-16 日在美国 New Orleans 召开的化合物半导体 Mantech (CSM) 会议上对上述前三个项目的进展情况做了披露。

在这个会议中，Cree 项目计划负责人 Ryan Fury 详细介绍了该公司 75W S 波段和 25W 宽频带 MMIC 芯片，这两种芯片是分别采用该公司的 G28V3 和 G28V4 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 工艺进行生产的。Cree 还介绍了公司自 2007 年以来针对美国国防部和商业应用上所推出各种器件产品类型上的新进展。

Fury 谈到：“首个批量化应用是在干扰发射机上”，应用 Cree 公司 GaN 器件的干扰发射设备送到了阿富汗和伊拉克用来阻断临时性爆炸装置的无线控制起爆信号。Fury 还披露：“采用我们 G28V3 工艺生产的高性能、多级 GaN MMIC 器件功率放大器的销量已经超过 30 万件”。他进一步

补充道，最近采用这一工艺生产的器件还已经用在了军用雷达、有线电视和通讯基站等系统中。

Cree 公司最近推出了 G28V3 工艺的改进型——高压 G50V3，这是为 50V 工作电压而设计的。“这种高压工艺所生产器件的功率密度大概是 28V 基准工艺的两倍，十分适用于高功率雷达和低成本电信系统中的应用。要么是用于高功率，要么是用于低成本的场合，这意味着每瓦 RF 输出的成本控制是十分重要的”。

在 2012 年，这家总部位于 Durham 的芯片制造商进一步扩充了它的 GaN 产品系列，通过新增的 G28V4 工艺来填补 6 GHz 和 18 GHz 之间产品的空缺，因为这些产品是不能通过 0.4μm 的 G28V3 工艺来实现的。这种高频工艺可以生产用于 X 波段雷达、电子战干扰发射机和卫星通信系统中的 RF 器件。

Fury 说道：我们还导入了一种用于 X/Ku 波段的高压工艺版本——G40V4，该产品的工作电压可达 40V，“这种产品特别适合对高频、脉冲的功率应用，例如可用来替代行波管”。

V3 和 V4 两种工艺之间的最大区别在于栅极长度的不同：前者的栅长为 0.4μm，而后的栅长只有 0.25μm。采用了标准的光刻工艺和单一氮化硅刻蚀技术来形成 0.4μm 栅长的栅极，而较短栅长 0.25μm 的栅极是通过光刻和标准侧壁间隔层 (spacer) 工艺来形成。采用一个与晶体管源极相连的场板来提高器件的增益及其 RF 功率密度，还使用了第二个场板来修整晶体管内部的峰值电场强度，所以这种器件能够工作更长的时间。对所用的场板实现进一步的优化，可使这种 HEMT 的工作电流密为 1 mA/mm，它的击穿电压能达到 120V 以上。

在 Title III 项目计划的初始阶段，Cree 公司的工程师进行了 S 波段和 EW 波段 MMIC 产品在生产成本、产品良率、生产周期及其性能上的基准性评估，这些器件是通过 MOCVD 的方法在 100mm 直径的半绝缘 SiC 衬底上先后沉积一个绝缘 GaN 缓冲层、AlN 层和 AlGaIn 过渡层来制作。初步的研究结果表明，Cree 公司的工艺性能超过了 Title III 项目计划所设定的关键性能基准指标，其良率要比基准高 75%，其生产周期要比初始基准缩短 42%。

Title III 项目计划的研发努力是集中在提高产品的良率、缩短生产的周期以及降低生产的成本



方面。这些研发工作包括有：通过优化金属栅极的剥离 (lift off) 工艺来减少损伤点的数量；改用一种新的背面分离后的处理工艺来降低正面损伤，从而缩短了生产周期；改进了 SiN 钝化层加工设备中晶圆的人工装载形式，将原有 PECVD 工艺平台改成自动化的晶圆装载操作，降低了颗粒缺陷的数量和对晶圆的操作损伤。

这些研发工作都已经奏效，在缩短了器件生产周期和降低了成本的同时还提升了器件的良率。S 波段和 EW 波段器件的良率分别比 Title III 计划的中期目标要高出 8% 和 18%，而 MMIC 的成本和生产周期比原定的中期目标基准分别降低了 36% 和缩短了 25% (见图 1)。

受益于材料成本的降低、自动化程度的提高以及在生产产能上的扩充，使得降低产品成本的这一目标已经得以实现。Fury 解释道：“由于 GaN 器件产品在电信基站这样的大规模商业市场中迅速地得到应用，进一步提高工厂的产能就显得十分重要”，“上述这些在成本上的降低有助于我们的 GaN 产品向军用和民用市场实现进一步的渗透”。

MMIC 器件产品要具有高可靠性是 Title III 项目计划的另一个重要目标。MMIC 器件要能在 125℃ 的背面温度下连续运行——这等同于它的最高结温将达 225℃，其最终的平均失效时间 (MTTF) 的目标值是要达到 100 万小时。Cree 公司的 MMIC 产品在可靠性上超过了这一目标值，采用 G28V3 工艺的产品其 MTTF 为 5500 万小时，而采用 G28V4 工艺的产品其 MTTF 高达 15000 万小时。Fury 宣称：“在当今市场上所有的同类产品中，我们的 GaN 器件具有最高的沟道工作温度”。

如此看来，Title III 项目计划的目标看起来很容易就能得到实现，也许起初就应该把目标定得更高一些，但是这种想法却忽视以下因素：“这些项目计划目标的建立是为了确保 Cree 公司生产的 GaN 产品能够在成本、性能、可靠性上满足美国国家防卫计划一系列的苛刻要求”，Fury 说道。

Title III 项目计划留给 Cree 公司的一个最大挑战是：器件还需要通过 8000 小时的高温 RF 器件运行寿命测试，设置这一测试的目的是旨在为器件工艺的可靠性提供一个额外的、更高的评估指标。

Cree 公司目前正处于 Title III 项目计划的最

终评估阶段。公司的工艺已经分别独立地通过了两个外部客户的认证，他们判定 Cree 公司的工艺已经达到了 8 级制造工艺水平，并且他们已经正在应用这一 RF 器件开发计划的成果。

对于 Ka 波段 (26.5 GHz 到 40 GHz) 器件的制造工艺，即众所周知的 V5, Fury 谈到：“这一工艺将采用已经在项目计划中经过改进的、稳定可靠的光刻工艺来加工形成 0.15μm 栅长的栅极”。

TriQuint 公司的方法

与 Cree 公司类似，TriQuint 半导体公司在研发和制造 GaN MMIC 器件上也拥有了较长的历史。他们的工作可以追溯到 1999 年，在经过不到十年之后的 2008 年，公司发布了一种已经验证合格的 3 英寸 SiC 衬底上 GaN MMIC 器件的制造工艺。在此两年之后，这家公司又发布了采用 4 英寸 SiC 衬底的器件工艺，已经可用于标准的 RF 产品研发和外部客户的代工项目。

TriQuint 公司在 Title III 计划中的工作是围绕着具有高功率和功率附加效率设计的两种器件展开：其一是 S 波段 MMIC 器件，它是一种具有二级放大的功率放大器；其二是覆盖 X 波段和 Ku 波段的宽频带功率放大器。这两种功率放大器采用的衬底都是直径为 100mm 的 C 晶面 6H 和 4H 半绝缘 SiC 晶圆，通过 MOCVD 方法淀积氮化物外延层来制作形成 HEMT 结构。采用了电子束曝光来形成栅长为 0.25μm 的栅极，并在结构上通过采用一个与晶体管源极相连的场板来降低与高场强相关联的器件退化效应。

在该项目计划的提高改进阶段，TriQuint 公司的工程师们将精力集中在提高器件制造的工艺一致性、对 GaN 器件的特有性能进行表征和跟踪以及缩短器件的生产周期等方面。

TriQuint 公司基础和防卫产品研发部的高级

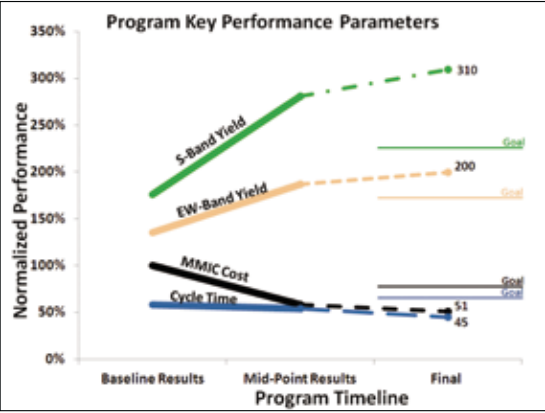


图1：通过改进工艺，例如对栅极金属剥离工艺的改良以及采用背面分离后的处理工艺，Cree公司工程师们降低了MMIC器件的制造周期，并提高了它的生产良率。

技术 | Technology – GaN器件

主管 Douglas Reep 解释道：“由于在材料和工艺间会产生多种相互作用和影响，我们的这些改进措施是建立在已开发成熟实验设计技术的基础上”，“要解决众多问题有时候非常艰难，但是采用统计分析技术，就能够实现我们所期待的效果良好的生产工艺解决方案”。

通过上述这种方法在氮化物电容器的沉积工艺中发现了晶圆与晶圆间存在工艺差异性的原因，这种晶圆间的工艺差异来自于晶圆与等离子沉积系统的中的电学耦合，后来通过调整某个工艺步骤的参数就消除了这种想象。

TriQuint 公司还在另外一个减小栅极漏电流波动性上进行了改进，栅极漏电流是由表面状况所决定。工程师们观察了工艺和设备变动所带来的影响，改为采用自动化工艺设备并改进了对工艺的监测，同时实施了一种新的工艺减少缺陷最终解决了这种在栅极漏电流上的波动性问题。

TriQuint 公司工程们还详细观察了光刻胶的去除步骤。在对其物理清洁度上的改进大大减少了缺陷数量，但是这种对单个工艺步骤的改良还不足以缩小器件在电参数上的波动。然而，在整个 GaN 器件的制造流程都采用了经改进的新工艺以后，器件电参数的波动就得到了显著的降低。

器件在性能上存在差异的一个可能原因是在衬底质量上的不同。由于 SiC 衬底具有透光性，传统的光学检查方法并不是特别有效，因为它无法检测出划痕缺陷。为了解决这一问题，也是为了提供一种能将缺陷进行分类（如分为微管道、划痕和颗粒等缺陷类型）的手段，TriQuint 公司在一台 Candela 检测设备上进行了投资。工程师们正致力于建立在工艺中器件失效和来料缺陷之间的相互关系。

Title III 计划的实施大大缩短了器件产品的生产周期。第二代刻蚀设备已通过工艺验证，它能大幅增加 SiC/GaN 通孔刻蚀工艺步骤的产能，它对通孔的刻蚀速率可以提高三倍，由此大幅度地缩短了器件的生产周期。与此同时还包括了对刻蚀功率和气压的优化，使得工艺的均一性也有所改进。如果将采用电子束曝光改为光学曝光能进一步缩短器件的生产周期，Reep 解释道：“我们的几种器件工艺都只采用光学曝光，但是为了提升工艺性能及其灵活性，我们也会使用电子束曝光。例如，在 IMS 会议上我们公布的几种新产品，其制造工艺就使用了我们最新的 TQGaN15 技术，该技术就是采用电子束曝光来形成栅长为 $0.15\mu\text{m}$ 的栅极。”



Title III 计划将有助于降低用于 X 波段雷达系统 GaN MMIC 器件的生产成本以及提高其可靠性。这种类型系统的实例之一是海基 X 波段雷达，经美国海军证实，它能为来袭的弹道导弹提供最为精准的探测，并能在引诱和干扰环境中识别出真正具有敌意的、带战斗部的攻击弹头。

TriQuint 公司的 Title III 项目计划还对器件的可靠性进行了评估。在 200 °C 沟道温度下器件的 MTTF 超过了 1000 万小时，在 225 °C 下超过了 100 万小时。与 Cree 公司相类似，目前还没有见到该公司关于 8000 小时器件工作寿命的报道。

Raytheon 公司的改进

Raytheon 公司的工程师们从 2009 年就开始致力于他们的 Title III 计划，并且在于最近已经达到了他们的基本目标。他们的工艺通过演示和验证已具备了 8 级器件制造水平，还通过了将他们的工艺嵌入到美国国防部其他生产系统中的认证。

他们的 Title III 项目计划包括有三个主要目标：采用基准生产工艺制作 24 片晶圆来评估器件的良率及其可靠性；至少用 150 片晶圆通过判断其根本原因来降低器件在性能上的波动；用改进后的工艺制备 24 片晶圆，用以验证该工艺是否已经满足 8 级制造水平的要求。

对于整个项目计划的第一部分，用一套包含有 FET 的掩模来制备 24 片晶圆，尺寸较小的 MMIC 器件用于可靠性测试，而尺寸较大的 X 波段 MMIC 器件则用于产品良率的评估。后一 MMIC 的产品良率处于合理范围内，但仍低于具有类似尺寸的 GaAs MMIC 器件的产品良率。与此同时，在三个温度下进行可靠性测试，Arrhenius 直流测试表明器件能够满足项目计划所设定的 MTTF 目标，但是有少部分器件经过 380 °C 测试后其性能有着早期退化现象。这些初始研究成果为项目计划的第二阶段研发设定了目标：改进 X 波段 MMIC 器件的良率使其能达到与 GaAs MMIC 器件相当的水平，消除少部分器

件在高温下产生的性能早期退化现象。

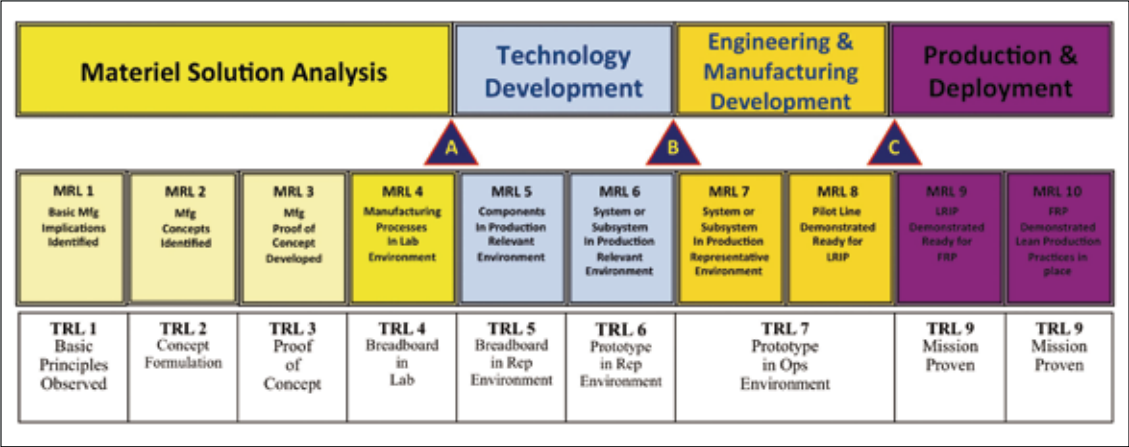
通过提高电容器的良率和改进栅极工艺，成功地解决了器件性能的早期退化问题。工程师们还进行了更严格的 DC 和 RF 筛选测试，该种筛选测试会降低产品的晶圆级良率，但是在另一方面却获得了收益，即能极大地提高器件可靠性数据和下一级组装良率的可预测性。

在这个项目计划中，器件的 RF 工作寿命是通过以下方法进行评估：七个 X 波段的 MMIC 器件在连续波驱动下工作 5000 小时后仔细观察其性能，在这个评估中没有观察到器件输出功率有着明显的变化。

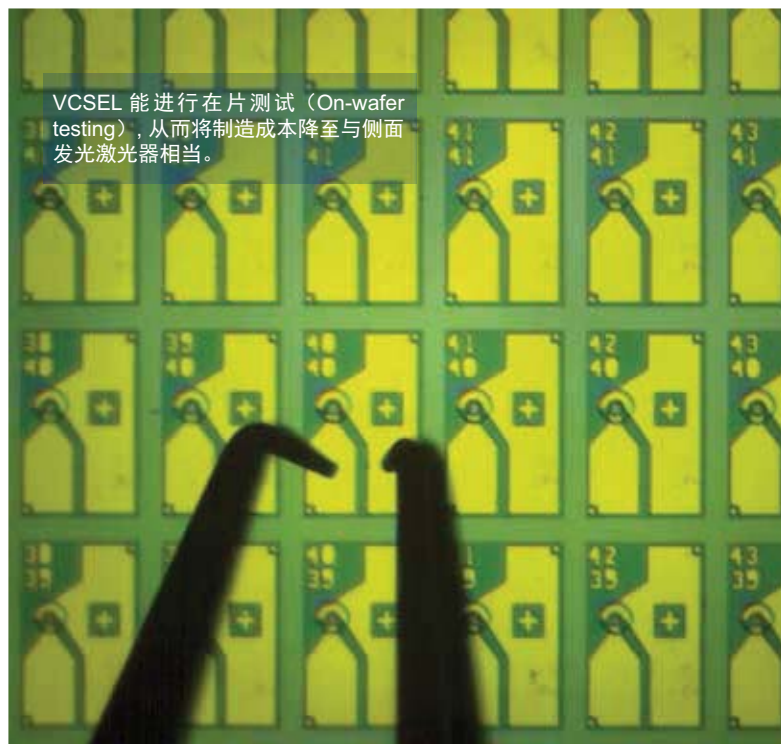
在项目计划结束时，Raytheon 公司 GaN 器件工艺的良率水平要比该公司砷化镓器件工艺高三倍。这一成果使得 GaN 器件的每瓦输出功率的成本降低了 75% 以上，根据考虑衬底成本因素后的计算结果，GaN 器件要比 GaAs 器件便宜了三分之二。

在项目计划结束时所进行的可靠性评估表明，器件在 150 °C 下的 MTTF 超过 10 亿小时，比项目计划设定的预期目标要高出三个数量级，1% 器件的失效时间也超过了 100 亿小时。

Himes 对 Raytheon 公司的工作成果感到非常满意，对 Cree 公司和 TriQuint 公司也抱有相同的看法：“每个公司的 GaN 器件项目计划在建立成熟的、可进行生产的制造工艺方面都取得了巨大的成功”。他将这一成功归功于良好的产业和政府间的协作关系，这些公司与他们的政府合作伙伴保持了每两周一次的沟通，同时，还得归功于这些富有才干、能担当的工业界研发团队的辛勤工作。☞



Title III计划将器件的制造水平分成了10个级别



用于光网络的超低功率 VCSEL

如果希望不断增长的因特网流量不显著增加全球的能源消耗，很重要的一点是，需要使用非常高能效的器件来构建未来的光网络。可望有助于这一目标实现的器件是 1310 nm 波长 VCSEL，方法是将从 InP 晶圆上生长出的有源层与 GaAs 衬底上形成的反射镜层融合在一起。由瑞士洛桑理工学院 (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL) 的 Alexei Sirbu 和来自 EPFL 及 BeamExpress 的 Eli Kapon 为大家介绍详情。

智能手机销售的猛增以及网络电视的普及都促成了因特网流量的快速增长。这对包括光网络和数据中心在内的网络基础设施的压力也越来越大。对基础设施进行扩容是必要的，但也必须引入更高效的器件以防止电力消耗的激增，目前网络基础设施的耗电量已经相当可观。一类新型的、能效大幅度提高网络性能的半导体器件可部分解决上述的问题。

一种方式是从目前使用的直接调制、非主动冷却的 1310 nm 分布反馈式激光器 (Distributed-feedback Laser, DFB)，转而使用新型的、晶圆融合垂直腔表面发射激光器 (Vertical-cavity Surface-emitting Laser, VCSEL) 作为激光源。分布反馈激光器被广泛使用在 10 Gbit/s 收发器中，并能达到 10 km 的传输范围，产品销量很大，并被大量部署在以太网和局域网中。

为了应对持续上升的网络流量水平，这些收发器正逐渐为符合 IEEE 802.3ba 标准的 40 Gbit/s 发送—接收引擎，上述标准于在 2010 年 6 月获得批准。该引擎将在 2020 年之前完全取代 10 Gbit/s 收发器。其使用了稀疏波分复用 (Coarse-wavelength-division multiplexing, CWDM) 技术，

并且拥有四个 10 Gbit/s 非主动散热 DFB，波长分别为 1271 nm、1291 nm、1311 nm 和 1331 nm。使用该激光光源，收发器通常的功耗约为 3.5 W，其中相当部分为驱动激光器所消耗。

使用 VCSEL 代替 DFB 激光器能显著降低能耗。MSA (多源协议) 封装的四通道 QSFP 中收发器包含 4 个 10 Gbit/s 的 VCSEL 传输光学组件 (TOSA)，其功耗可低至 1 W，这相当于单个基于 DFB 激光器的 10GBASE-LR 收发器的功耗，通常为 1.2 W。所以，简而言之，对于未来使用 40 Gbit/s 收发器取代 10 Gbit/s，并且不增加现有设备的总功耗，VCSEL 能提供独一无二的可能性。

从 DFB 激光器转向使用 VCSEL 还能降低生产成本。VCSEL 能够实现晶圆级在片测试 (On-wafer testing)，而这对 DFB 来说是不可能的，后者的测试流程显著推高了整体生产成本。

VCSEL 与现有器件相比的另一优势是对温度的敏感性大为降低。VCSEL 的阈值电流能够不随温度变化，而 DFB 在高温时的阈值电流往往是室温时的数倍。使用目前研发的 VCSEL，能够在 0°C 至 85°C 的温度区间内，以 7 mA 的恒定偏置电



流实现 10 Gbit/s 的运行；而对于 DFB 来说，偏置电流必须根据环境温度不断进行调整。10 Gbit/s 速率 VCSEL 运行在不大于 7 mA 的偏置电流下，只需要低功率的 VCSEL 驱动阵列，其专门为短波长（1 μm 或更短）数据通信而开发。

晶圆熔合

制造 1310 nm 波长 VCSEL 的方法有几种，包括由我们 EPFL 和 Beamexpress 团队率先提出，并已经历多年研发的方案，其成熟度已足够挑战现有的非主动散热 10 Gbit/s 通信用 DFB 激光器。

采用晶圆熔合方法制备 VCSEL 实质上就是将基于 InP 的有源区与 AlGaAs/GaAs 分布式布拉格反射区（DBR）结合起来，前者已经在 DFB 激光器中发展得相当成熟，后者通常使用在短波长数据通信 VCSEL 中（见图 1 及图 2）。在此复合结构中，一隧道结为有源区提供载流子注入。与标准的数据通信用 VCSEL 相比，上述设计能令无掺杂的 DBR 在 VCSEL 的腔内显著减少光损失。这能抵消由于有源区材料从 GaAs 变为 InAlGaAs/InP 而带来的材料增益下降，并最终使 1310 nm 的 VCSEL 能具有与数据通信和光互连中使用的短波 VCSEL 相当的性能。

我们的晶圆熔合 VCSEL 与数据通信 VCSEL 还有其他相似之处：它们都形成与 GaAs 衬底之上，并使用 AlGaAs/Ga(In)As 器件中广泛采用的标准工艺步骤在晶圆厂内大规模生产。制备器件时，将两片 2 英寸带有 AlGaAs/GaAs 结构 DBR 的晶圆置于 InP 有源腔的两侧，通过标准晶圆键合设备进行熔合。

尽管工艺温度可高达 600 °C，而且基于 MOCVD 工艺生长的基于 GaAs 和 InP 晶圆在热膨胀系数上有极大差异，即使如此，我们的熔合晶圆在有源区的缺陷密度还是相当低（见图 3）。由于上佳的材料质量和小面积的有源区（通常直径只有 7 μm），使我们的机器几乎没有缺陷，生产良率非常高。

晶圆熔合技术的一个显著长处是能精确设定 VCSEL 的波长。这对基于 CWDM 的产品制备非常重要，因为激光器的输出波长要求与目标波长的差异仅为 ±2 nm。我们的 VCSEL 设计能满足这一要求，因为器件由三个分别单独生长的元件组合而来：一个有源区和两个 DBR。

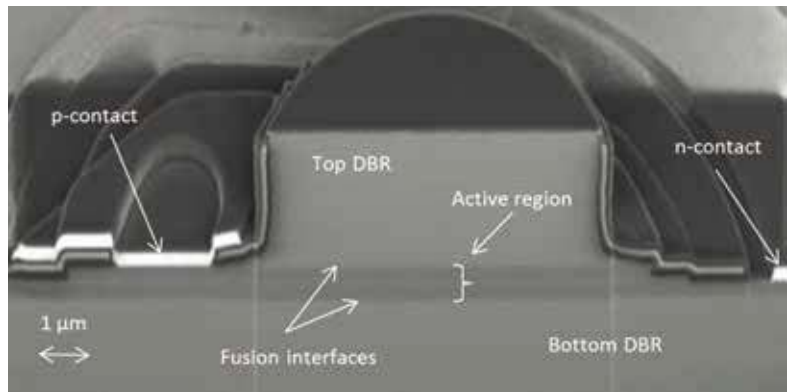


图1：与数据通信VCSEL相似，晶圆熔合1310nm的VCSEL的制备使用GaAs衬底，并能通过晶圆代工厂制备AlGaAs/Ga(In)As器件通常采用标准工艺步骤进行大规模生产。

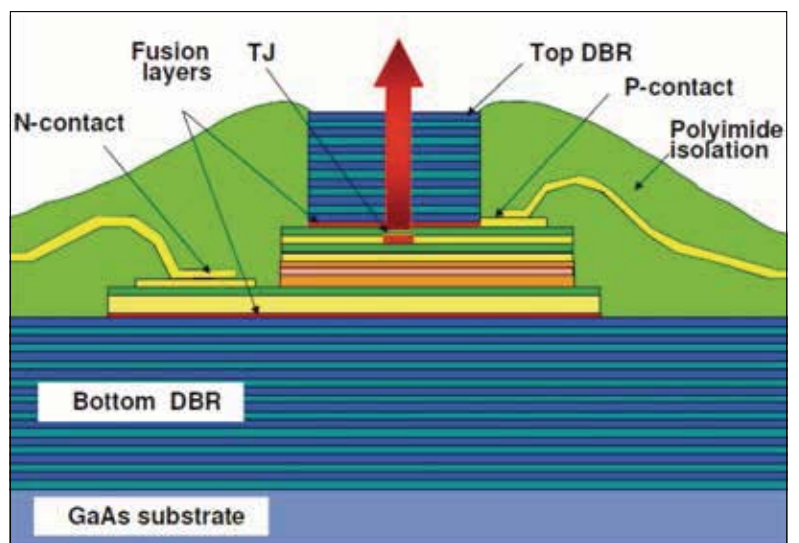


图2：晶圆熔合VCSEL采用与DFB激光器相同的基于InP的材料系制备有源区，与短波数据通信VCSEL相同的AlGaAs/GaAs布拉格反射层。并由一个隧道结为有源区注入载流子。与标准的数据通信VCSEL相比，这一新设计元素使无掺杂DBR变得可行，从而大幅减少VCSEL腔体内的光损失。

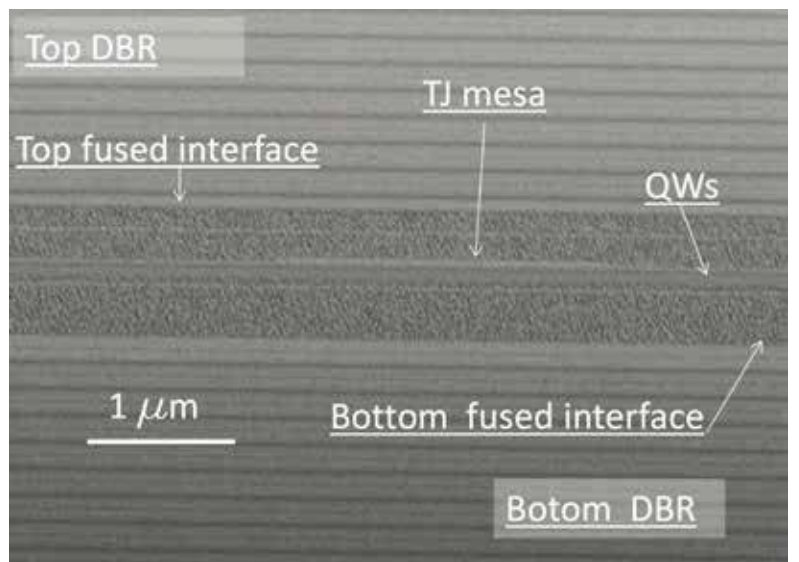


图3：即使晶圆熔合工艺在高达600°C的温度条件下进行，并且分别基于GaAs和InP材料的晶圆在热膨胀系数方面差异显著，但现有的工艺仍然能制备出具有无缺陷、InP基有源区的晶圆熔合VCSEL。

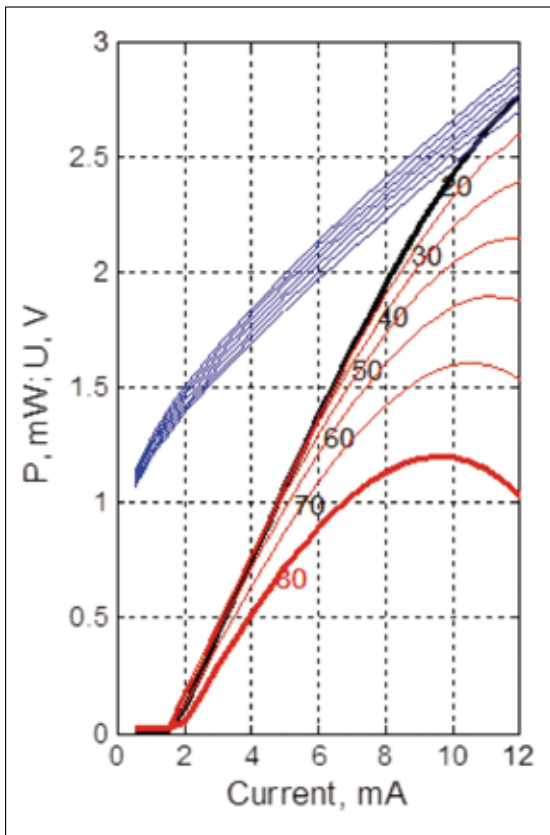


图4: VCSEL能设计实现阈值电流不随温度改变, 而DFB激光器在高温时的阈值电流比室温时大几倍。

因此在键合工艺开始之前, 能通过适当的甄选和 / 或选择性化学刻蚀对有源腔和 DBR 进行控制和调整。

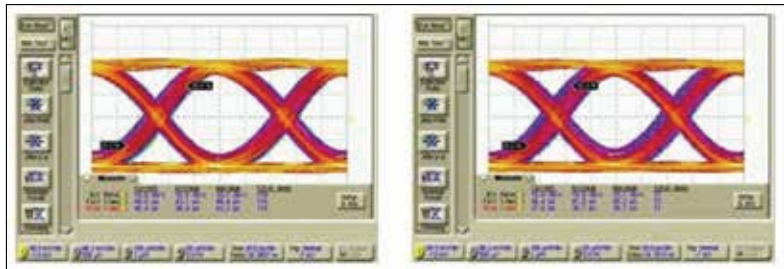


图5: 使用目前正在研发的VCSEL能以7 mA的恒定偏置电流在0-85℃的区间内实现10 Gbit/s运行, 而DFB的偏置电流则需要根据环境温度不断进行调整(此处为20℃时的眼图)。为短波(<1 μm)数据通信VCSEL研发的低功耗驱动阵列就能满足新VCSEL在上述运行条件下的要求。

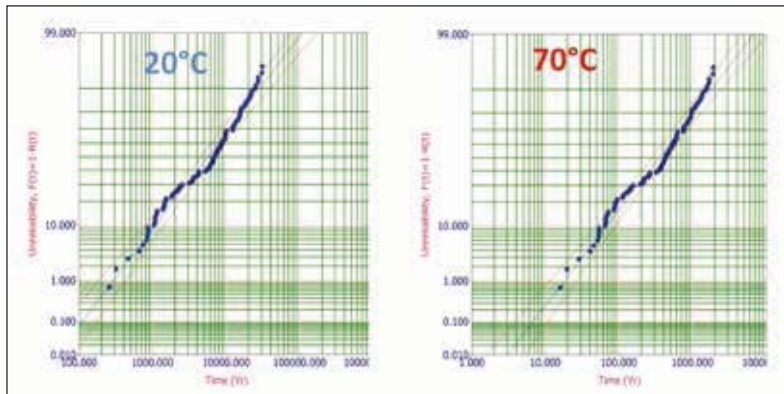


图6: 由第一代器件在偏置电流为9 mA、调制至10 Gbit/s时的老化参数, 我们可以预测在环境温度度为25℃和70℃时器件达到1%失效率的时间分别为291年和19年。

与之对比鲜明的是, 带有绝缘 DBR 的 VCSEL, 其光模被严格束缚在有源区内, 对腔体的调整需要对 InP 材料进行选择刻蚀, 这会削弱对波长控制的精确性。同样还有 1310 nm 波长的 VCSEL 是在同一轮中生长半导体有源区及 DBR, 而这种设计要符合目标波长要求也是非常具有挑战性。标准的外延生长工艺对于厚度有约 1% 的容差, 而由此带来的发光波长偏移则会超过 CDWM 器件可接受的范围。

VCSEL 晶圆完成后, 接下来采用标准工艺进行处理, 例如干法、湿法化学刻蚀和沉积介电材料及金属来形成电极接触和键合盘等。这样能在一块晶圆上形成约 15000 个 VCSEL 器件, 并且通过自动监测站对其一一进行室温和高温下的表征测试。只有完成了所有必要的测试后, 才会将 VCSEL 晶圆切割成裸片。

散热处理

在标准单模光纤中, 即使环境温度高达 100℃, VCSEL 也能实现 10 Gbit/s 超过 10 km 的无差错传输(见图 4 及图 5)。测试是在没有没有制冷的条件下进行了, 恒定偏置电流为 8 mA, 表明晶圆熔合的 VCSEL 在无主动制冷的 1310 nm 通信激光器类别中具有优异的性能。

如果这些激光器要部署在工业应用中, 其优异的性能还必须同时具备符合工业标准的可靠性。要判断其是否满足要求, 我们对其进行了一个为期两年的可靠性测试项目。它们全都通过了 GR-468-CORE 通信用光电子器件的可靠性通用要求所规定的评估项目。包括冲击、震动和剪切等不同机械性能测试, 温度循环及电性能测试等都表明晶圆熔合法制备的 VCSEL 与现有的商业激光器工作行为是一致的。

测试包括了对第一代器件进行的加速寿命测试, 器件工作在 10 Gbit/s 以及驱动电流 9 mA 的条件下。结果使我们能够预测, 环境温度在 25℃ 和 70℃ 时, 器件达到 1% 失效率的时间分别为 291 年和 19 年(见图 6)。

我们尝试使用多种不同的成像技术在器件的有源区寻找缺陷。使用聚焦粒子束研磨(Focused-ion-beam milling)来制备样品用于检测, 使用扫描电镜和透射电镜等来检视处理后 VCSEL 材料的截面和薄片。失效分析研究仍在继续, 如有必要我们会在未来的器件产品中进一步对制备工艺

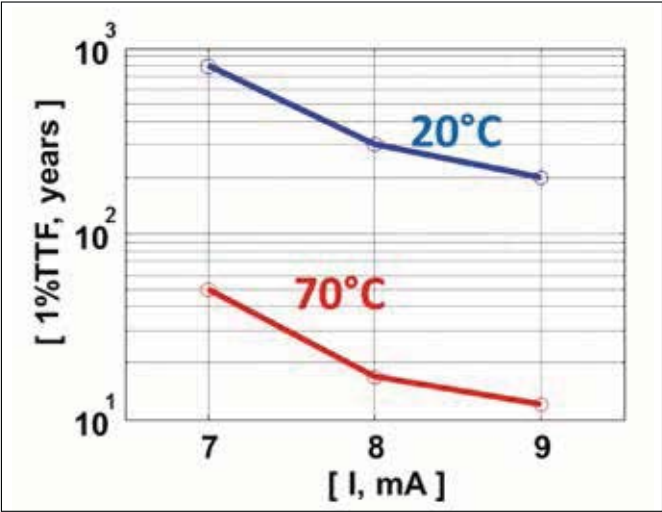


图7：一新近器件当工作在10 Gbit/s和7 mA偏置电流的条件下，环境温度70℃时，达到1%失效率的预测时间增加至50年。

进行优化。

更近期器件的结果更令人鼓舞。偏置电流为7 mA的10Gbit/s器件，工作在70℃的环境温度中时达到1%失效率的时间现在为50年。由于这一进展，我们的晶圆熔合VCSEL超标准地满足电信业要求的1%失效率时间，70℃时超过10年

(见图7)。

上述结果表明我们的晶圆熔合VCSEL已经具备条件进入快速增长的40GBASE-LR4收发器市场。我们坚信电信产业能从新一代的10 Gbit/s非主动散热1310 nm通信激光器所提供的独特机会中获益，降低成本，并使未来40 Gbit/s模组的功耗与目前的10 Gbit/s模组相当。

上述40GBASE-LR4功率1W的收发器最有前景的机会是取代现有的1W QSFP封装模组，后者是目前数据中心中广泛使用的标准模组。如果该升级能够实现，能够非常显著地提高现有数据

中心的处理能力。

诚然，人们采用任何新型器件时总会有不少顾虑，对任何新技术都是如此。但本文所介绍的器件确实可望大幅减少收发器的功耗，减少由于因特网流量不断猛增而不断攀升的能源成本支出。CS

CSindustry awards2014

The 2014 CS Industry Awards recognise success and development along the entire value chain of the compound semiconductor industry from research to completed device, focusing on the people, processes and products that drive the industry forward.

- Does your company deserve to be recognised with a CS Industry Award?
- Does your product represent a breakthrough in the industry and deserve to be recognised?
- Are you a pioneering company who has created the best opportunities for the compound semiconductor industry?

We want you to nominate your process or product if you think that they deserve reward and recognition. The 2014 CS Industry Awards feature six categories:

Our award categories are:

- Substrates & Materials Award
- Compound Semiconductor Manufacturing Award
- Metrology, Test and Measurement Award
- Device Design and Packaging Award
- Most Innovative Device Award
- R & D Award

We want to hear about them now. It's free and easy to nominate, simply fill in the online form at www.csawards.net, enter the details and submit.

Nominations are open

For further information please contact: Jackie Cannon at jackie.cannon@angelbc.com

采用高密度 ICP 等离子系统对 InP 基材的干法刻蚀

牛津仪器等离子技术公司首席应用工程师 邓丽刚博士

介绍

由于包括 III-V 族材料在内的光电子器件和电子器件制作时需要精确地控制器件的关键尺寸，因此，干法刻蚀技术被广泛用于这些器件制作中。刻蚀工艺最关注的几个特性是高刻蚀速率、重复性、均匀性、垂直剖面、对器件损伤小等。电感耦合等离子（ICP）刻蚀由于可提供高离子密度，刻蚀速率快，同时允许单独控制离子密度和离子能量，对器件损伤小，可以提供满足这些要求的理想工艺。

为了满足这些要求，牛津仪器等离子技术公司（OIPT）已为 III-V 族半导体材料刻蚀研发出了多种 ICP 刻蚀工艺。

本文将重点介绍用于 InP 和相关材料的刻蚀工艺，讨论针对不同应用的各种刻蚀化学反应和系统要求，提供最新的工艺研发成果。

电感耦合等离子 ICP 刻蚀机

这些工艺是在牛津仪器等离子技术公司研发的 PlasmaPro System 100 ICP 刻蚀机（OIPT CS1 硬件）研发的。刻蚀工艺室示意图如图 1 所示，整个系统如图 2 所示。

图 1 和图 2 所示的是由牛津仪器等离子体分公司设计的 ICP180 系统以及 ICP 源的详图。通常在有两个射频激励源的系统中，很容易产生频率的串扰，导致产生一个不稳定的等离子体。但牛津仪器所设计的 ICP 离子源，在两个射频源中间加入一个静电屏蔽层（如图 1 所示）。这个非常简单的方法，非常有效地防止了频率串扰，减少对器件的电子损伤，因此，ICP180 被非常广泛地应用到各种器件的工艺制作中。衬底处的离子能量通过测量下电极产生的直流偏置来监测，主要通过供给该电极的射频功率来控制。

晶片通过真空室传送到工艺室内，以维持工艺室内良好的真空稳定性，从而维持刻蚀效果的重复性。

正在刻蚀的晶片要么采用机械夹紧方式要么采用静电夹紧方式固定到温度受控的下电极的上面，氮气从晶片背面输送，可以在卡盘和晶片之间形成良好的热传导。

PlasmaPro System 100 ICP 可通过使用电加热元件和冷却液循环回路将衬底温度控制在 -5°C ~ 400°C 温度范围内，精确度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。衬底温度控制着刻蚀产物的挥发度，进而影响工艺的化学刻蚀成分，这不仅影响着刻蚀速率、选择比和剖面垂直度，还影响着表面粗糙度，因此，衬底温度对刻蚀效果具有明显影响。系统可在 1 ~ 100mT 的压力范围内工作，可以精确地控制工艺室的压力。

图1: PlasmaPro System 100 ICP180刻蚀工艺室图

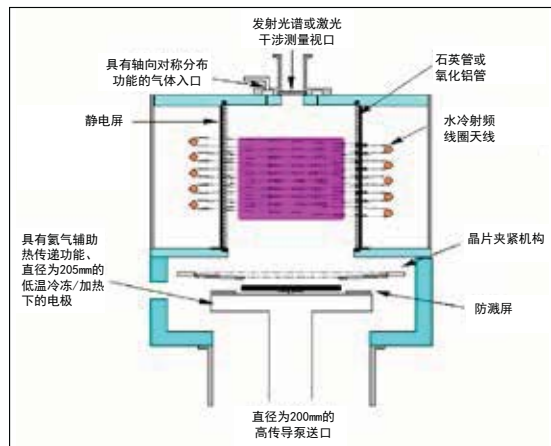


图2: PlasmaPro System 100 ICP180实物图



磷化铟 (InP) 基的材料刻蚀

波导与镜面的高速刻蚀

高速刻蚀镜面和波导时，主要要求包括：刻蚀速率快，刻蚀深度分别可达 10μm 和 5μm，刻蚀深度可控，剖面具有高度各向异性，InGaAsP（或类似物）掩埋层无缺口，侧壁和刻蚀表面光滑等。

CH₄/H₂/Cl₂ 化学反应是这类应用最常用的工艺。如果允许晶片温度增至 200℃，则在常用的 CH₄/H₂ 工艺中，刻蚀速率会增加，但同时产生各项同性的刻蚀，剖面的垂直难以控制。由于 InCl_x 挥发度低，往气体混合物中添加 Cl₂，可形成具有高度各向异性的刻蚀剖面。因此，这允许通过调整 CH₄/Cl₂ 比例来精确控制剖面的垂直，可实现刻蚀速率 >1.5μm/min 以及对 SiO₂ 或 SiN_x 掩膜的选择比 >15:1。图 3 所示为采用该化学反应刻蚀的 10μm 深镜面。

该化学反应具有以下优点：它可刻蚀各种组合的 InP 基的材料，如包含 In、P、Ga、As、Al、Sb 等在内的彼此之间选择比低（~0.5-1:1）的材料，因而，刻蚀剖面在材料接合部位无缺口。另外，由于这种工艺的 CH₄ 含量低且刻蚀速率快了很多，该化学反应产生的聚合物污染比 CH₄/H₂ 化学反应产生的少。并且 InP 基材晶片仅利用高密度等离子本身的轰击加热，因而不需要附加晶片加热。通过精确控制等离子参数，工艺重复性优于 ±3%，不需要晶片夹紧。

该技术可实现高产量生产应用的批处理，例如，每次运行加载 4x2 英寸晶片，晶片仅需要简单地放在载盘上，无需单独夹紧和通入氦气。该工艺的另一种形式为 CH₄/Ar/Cl₂ 化学反应，也已证明通过该化学反应，使用该刻蚀设备可获得极佳的刻蚀效果。

然而，生产需求经常要求即使在损失刻蚀各向异性和侧壁光滑度（必要时）的情况下，工艺室也须尽可能保持洁净，理想的情况是做到无聚合物沉积，这就要求工艺不得含有 CH₄。常见做法是使用基于 Cl₂ 的刻蚀化学反应，该化学反应采用电极加热（≥ 150℃，为了有效地从晶片表面除去 InCl_x 刻蚀产物）。该工艺建议采取精确的晶片温度控制，如果样品升温过快，则 InCl_x 会轻易地从表面蒸发掉，形成各向同性；反过来，如果温度过低，InCl_x 难以挥发，会导致刻蚀速率偏慢，选择比偏低和表面平滑度变差。通常，

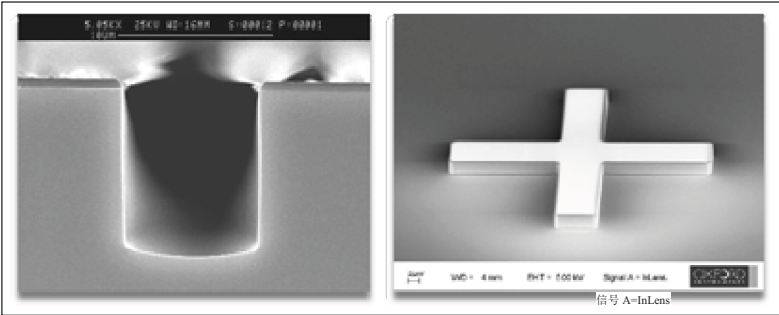


图3：采用CH₄/H₂/Cl₂工艺刻蚀的InP基材，实现刻蚀速率>1.5μm/min，选择比>15:1。

表1：CH₄/H₂/Cl₂工艺性能汇总

	刻蚀速率 (nm/min)	与 SiO ₂ 的 选择比	刻蚀剖面	刻蚀表面 和侧壁	均一性
单片 2 英寸 晶片	1500	15:1	90°±1	smooth	<±2.5%
单片 4 英寸 晶片	500	8	90°±1	smooth	<±4.0%
批量 4x2 英 寸晶片	500	8	90°±1	smooth	<±5.0%

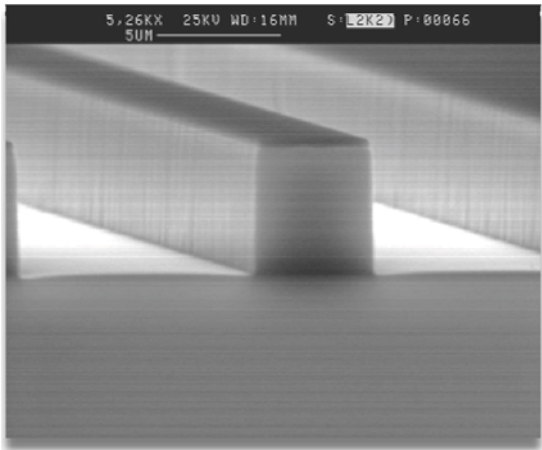


图4：Cl₂/N₂刻蚀波导

添加 N₂ 会增加物理刻蚀分量，钝化表面，从而降低表面粗糙度，改善剖面控制。采用该工艺可实现刻蚀速率 >1μm/min，与 SiO₂ 的选择比 >10:1。图 4 所示为典型 5μm 深度刻蚀效果。该工艺为无 H⁺ 工艺，对器件产生的损伤更小，H⁺ 通常会在刻蚀表面下形成钝化层，这可能会影响器件性能。

通过适当调整工艺参数，上述 CH₄/H₂/Cl₂ 工艺和 Cl₂/N₂ 工艺也可用于形成具有垂直剖面或倾斜剖面的器件台面。

HBR 也可以被用来刻蚀 InP 基的材料。因为 InBr_x 刻蚀产物相比 InCl_x 而言在低温条件下更易挥发，因此允许在 100℃ -150℃ 低温条件下进行加工。图 5 所示的是刻蚀速率为 0.8μm/min 以及 与 SiO₂ 的选择比 >10:1 时的 5μm 深度刻蚀的典型效果。此外，由于晶片温度对刻蚀效果有很大

技术 | Technology – 刻蚀

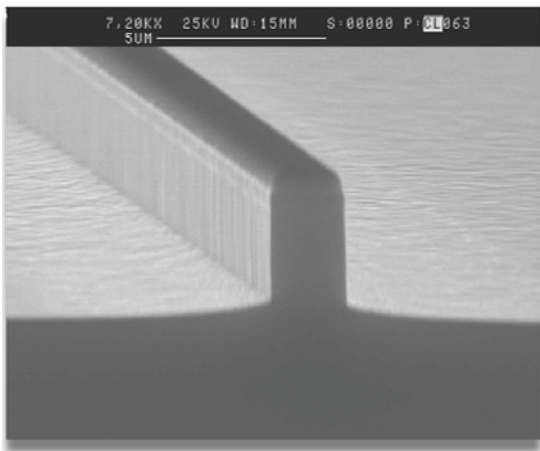


图5: HBr刻蚀的波导

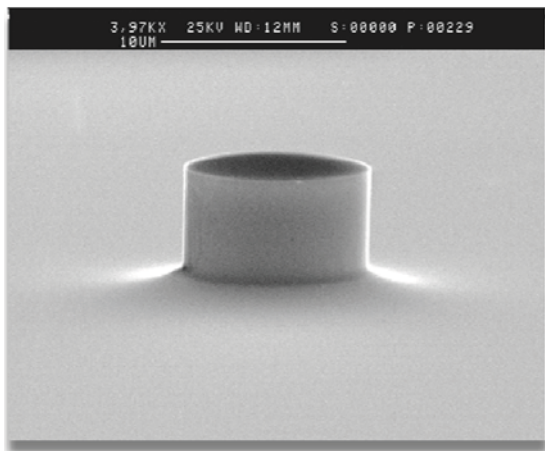


图6: 使用光刻胶作为掩膜的InP刻蚀

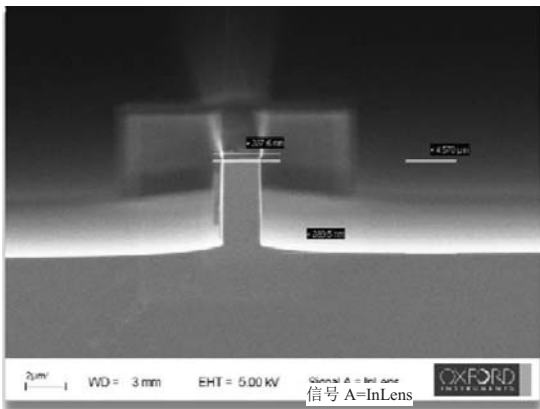
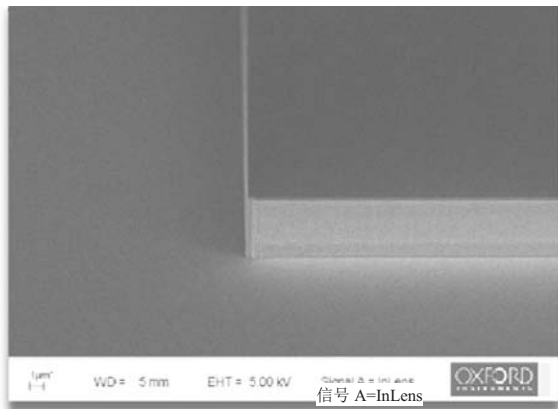


图7: 在室温条件下采用Cl₂/H₂工艺刻蚀的InP/InGaAs样品



的影响，因此建议采取温度控制。

由于与 Cl₂ 化学反应相比，HBr 工艺要求的温度较低，因而该 InP 工艺还可使用光刻胶作为掩膜，如图 6 所示。通常，可实现刻蚀速率 >1μm/min 和选择比为 14:1。该工艺在刻蚀前要求将光刻胶掩膜进行硬烤处理，以减少光刻胶碳化。该工艺的的优点包括可避免使用硬掩膜，并明显降低工艺的复杂性和成本。

牛津仪器公司最近研发了 Cl₂/H₂ 工艺。该工艺中可在室温下进行。晶片放在载盘上，无附

加加热接触，不需要晶片夹紧。因而，该工艺简单易行。刻蚀机理与 CH₄/H₂/Cl₂ 工艺类似——晶片利用等离子本身加热。该工艺的优点是弃用 CH₄，因而工艺室内无聚合物沉积，既洁净又环保。在该工艺中，Cl₂/H₂ 气体比例非常重要，比例较高，刻蚀速率也较高，但同时也会形成各向同性的刻蚀剖面。图 7 所示的是 ICP 模式下的 Cl₂/H₂ 刻蚀效果，与氮化硅掩膜的选择比 > 10:1 时，刻蚀速率为 850nm/min。

InP 光栅刻蚀或浅刻蚀

虽然在绝大多数应用的电感耦合等离子模式下，可使用更快速、更洁净的刻蚀化学反应代替 CH₄/H₂ InP 刻蚀工艺，但对于要求浅（通常 < 200nm）的并且需要精确控制深度的刻蚀，或者象 InP 分布反馈激光器（DFB）光栅刻蚀 CH₄/H₂ 工艺仍有很大的需求。另外，如果使用光刻胶掩膜，（特别是灵敏的电子束光刻胶），要求在室温下刻蚀。在 ICP 设备中，使用该工艺时，通常不使用 ICP 功率，即：仅加了下电极功率，以得到慢速“反应离子刻蚀（RIE）模式”。图 8 所示的是刻蚀速率为 20nm/min、刻蚀深度为 100nm

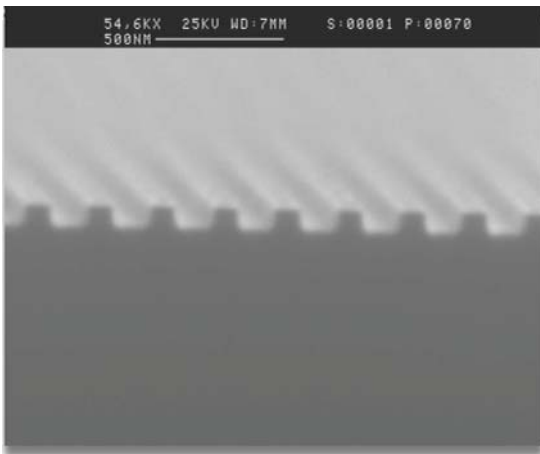


图8: Cl₂/H₂光栅刻蚀

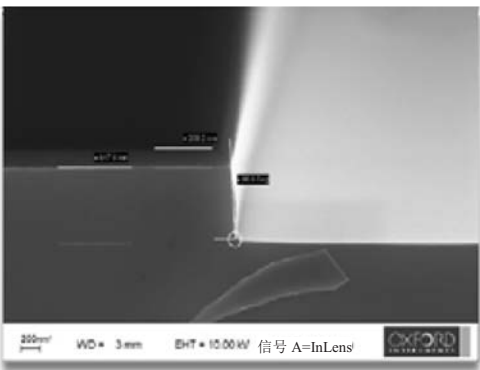
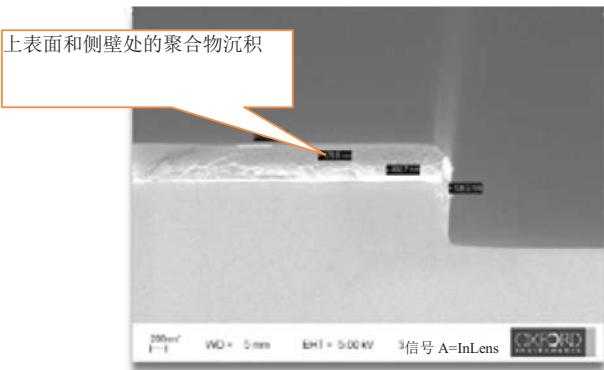


图9：采用活性离子刻蚀模式工艺中的CH₄/H₂进行的InP浅刻蚀，(a)为单步法，显示刻蚀上表面和侧壁上有一些聚合物沉积，(b)为双步法，刻蚀表面上不再残留有聚合物。

时在 ICP 系统中进行的反应离子刻蚀模式的光栅刻蚀效果。

在反应离子刻蚀模式下，CH₄/H₂ 工艺常用于 InP 浅刻蚀（刻蚀深度小于 1000nm）。该工艺为室温工艺，光刻胶可用作掩膜。但 CH₄/H₂ 会在工艺室内形成大量聚合物并沉积在刻蚀上表面和侧壁上，为了清除残余聚合物，该工艺在刻蚀后通常会增加短暂的 O₂ 清洁步骤。图 9 所示的是刻蚀速率为 20~40nm/min、刻蚀深度小于 1000nm 时活性离子刻蚀模式的 InP 浅刻蚀效果。

由于刻蚀速率慢，采用反应离子刻蚀模式工艺时，产量较低。因此，有时为了提高刻蚀速率，需要采用 ICP 模式下的 CH₄/H₂ 刻蚀。

通常，使用这种类型的化学反应刻蚀，单片 3 英寸晶片可实现刻蚀速率为 100nm/min，与光刻胶掩膜的选择比 >10:1，剖面 > 80° 时，均一性为 ±2%，如图 10 所示。

我们与 Fraunhofer Heinrich Hertz Institute (HHI) 共同研发了在 ICP380 系统上使用针对三块 3 英寸晶片的批处理工艺。该工艺在刻蚀速率为 100nm/min，与光刻胶掩膜的选择比 >10:1，剖面 > 80° 时，整个晶片的均一性为 ±3%，如

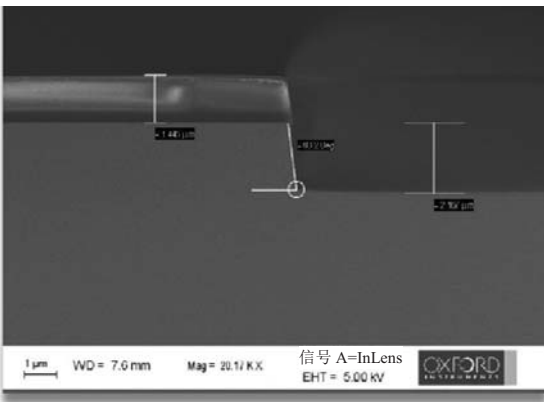


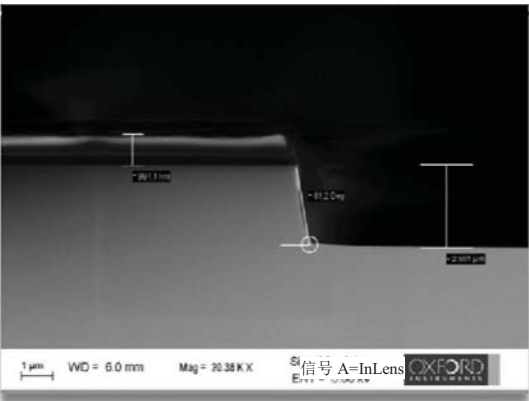
图10：采用ICP模式CH₄/H₂工艺中,使用光刻胶掩膜的单片3英寸晶片进行InP浅刻蚀。

图 11 所示（剖面图取自晶片的中心和边缘位置）。

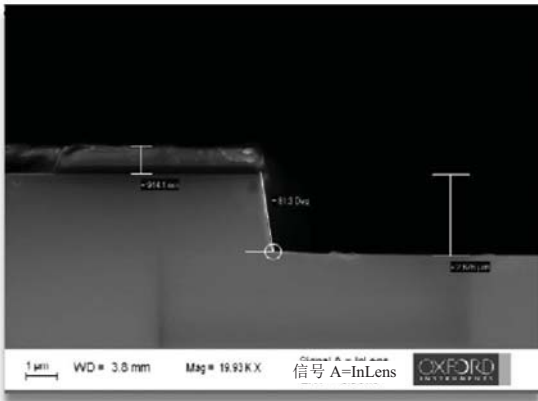
可以看到，采用基于 CH₄/H₂ 化学反应的工艺对三块晶片进行刻蚀时的均一性极佳。刻蚀速率在 100nm/min 范围内时，与包含氯的工艺相比，慢了 10 倍，但它可用于对刻蚀深度进行精确控制的应用中。

ICP 和 RIE 模式下的 CH₄/H₂ 工艺刻蚀效果见表 2。

ICP 模式工艺中的 CH₄/H₂/Cl₂、Cl₂/N₂ 和 HBr 也可用于浅刻蚀。如果可利用下电极将样品预热至 150℃ 以上，则已证明，采用低的 ICP 功率可将刻蚀速率从 >1μm/min 降至 0.2μm/min。典型刻蚀剖面如图 12 所示。



Centre of wafer
晶片中心



Edge of wafer
晶片边缘

图11：采用ICP CH₄/H₂ 工艺中的对使用光刻胶作为掩膜的3x3英寸晶片进行批量InP浅刻蚀（经HHI的惠准）

技术 | Technology – 刻蚀

表2: CH₄/H₂工艺性能汇总表

	批量大小	刻蚀速率 (nm/min)	与光刻胶的选择比	刻蚀剖面 (°)	均一性 (跨晶片或成批晶片)
ICP CH ₄ /H ₂	1x 2"	125	>10:1	>80°	<+/-3%
	1x 3"	110	>10:1	>80°	<+/-3%
	3x3"	100	>10:1	>80°	<+/-5%
RIECH ₄ /H ₂	1x2"	20	>10:1	>80°	<+/-2%
	1x3"	15	>10:1	>80°	<+/-2%
	3x3"	12	>10:1	>80°	<+/-3%

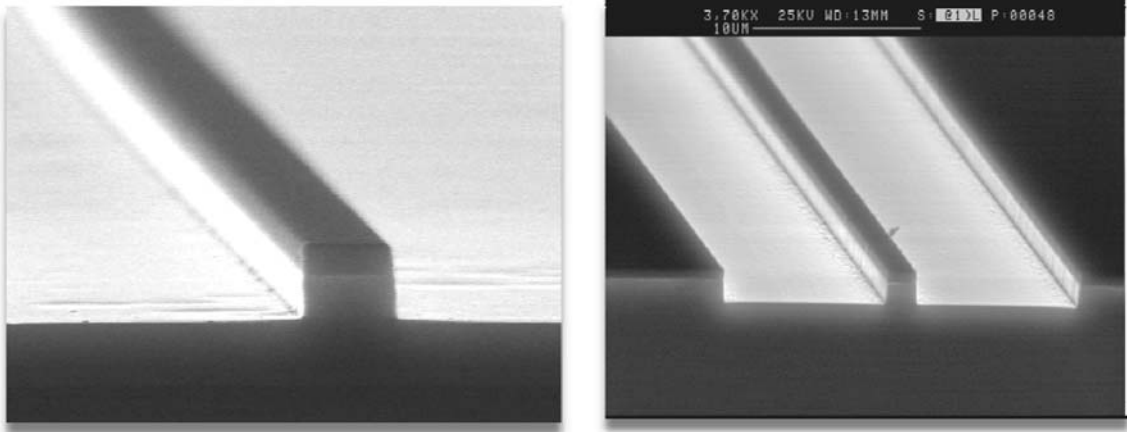


图12: 可控刻蚀速率的浅刻蚀剖面图

InP 光子晶体 (PhC) 刻蚀

InP 光子晶体波导结构的刻蚀极为困难，因为特征尺寸小于 0.5 微米时它要求较高的高宽比。最常见的结构是孔的二维阵列。

上述所有 InP 刻蚀工艺可用于刻蚀光子晶体。ZTH Zurich 的 P Strasser 用 ICP180 系统研

发了光子晶体刻蚀工艺。从他的工作中得到的结论是：Cl₂/N₂/Ar 是光子晶体刻蚀的最佳化学反应气体，这是一项无聚合物的工艺，还可提供较好的底部形状，如图 11 所示。晶片温度设为 200℃ 以上，Cl₂ 为刻蚀气体，Ar 用作稀释气体，N₂ 在侧壁处形成钝化保护层，可实现高宽比 >15:1。图 13 所示为长宽比约 16:1、直径为 190nm 的孔可实现的刻蚀深度 (2.9μm) 和刻蚀速率 (1.75μm/min)。较小的样品件必须用热传导胶粘到载盘的上面，且背面需要通氦气。

总结

InP 基材的刻蚀是制作光电子器件和电子器件中极其重要的技术。牛津仪器公司的 System 100 ICP 刻蚀机 (OIPT CS1 硬件) 可提供各种各样的 III-V 族材料刻蚀方案，可实现高度垂直 (或斜度可控) 的刻蚀剖面、光滑的侧壁，与氧化硅、氮化硅或光刻胶掩膜具有良好选择比，以及可控的刻蚀速率。OSc

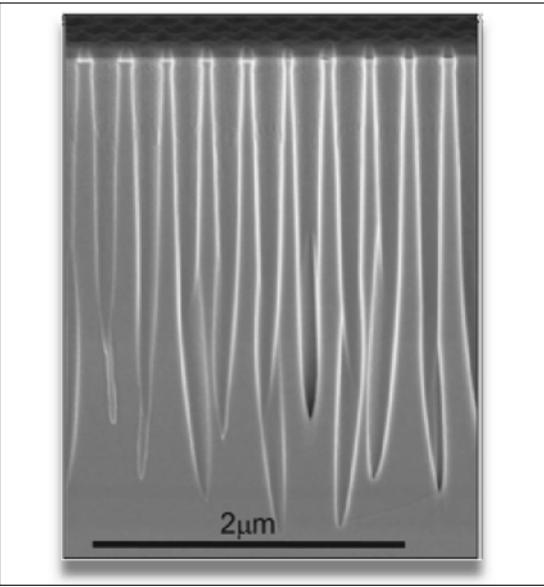


图 13: 在 InP 中刻蚀的光子晶体。孔径为 180nm，孔刻蚀深度为 2.9 微米。(经 ETH Zurich 通信光子学小组 P Strasser 等人的惠准)



研究者将 LED 发光效率下降的原因“明确地归结于”俄歇过程

电子发射谱为寻找 LED 发光效率下降的原因提供了新途径

来自美国加州大学 Santa Barbara 分校和法国 École-Polytechnique 学院的研究人员表示，他们合作进行了一项实验，依据该实验的结果他们有把握将 LED 发光效率下降的原因归结于俄歇过程。

所谓的俄歇过程是由三个载流子参与的一种非辐射性的相互作用，它可以激发一个电子或者一个空穴到更高的能级。这并不是首次提及俄歇过程是引起 LED 光效下降的原因这一议题，即在增加 LED 芯片的电流时，器件的发光效率会随之发生下降的现象。然而，美国 - 法国联合研究团队表示，到目前为止所有的证据都是间接性的。

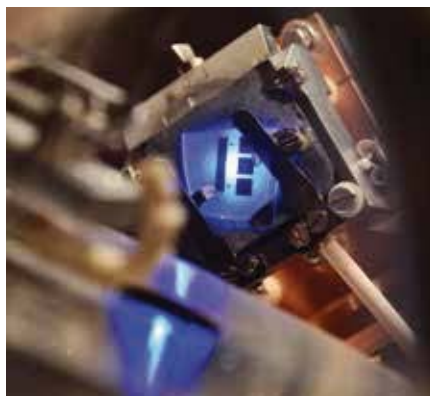
在这两个研究机构都有任职的 Claude Weisbush 表示，间接性证据的最大问题之一是在于，它可以采用多种具有相互竞争性的理论来解释光效下降问题。除了俄歇理论之外，其他物理机理，例如从量子阱的电子泄漏，空穴注入的不足和载流子在缺陷部位的局域化聚集等都被用来解释这种 LED 的效率衰减问题。

Weisbush 强调，他和他的合作者们进行的实验改变了这种状况，他们对包含有两个电子和一个空穴的俄歇过程所产生的热电子进行了直接的测量。

“这样的热电子在半导体结构中是很难产生的”，Weisbush 说，“很高的电场强度可以产生热电子，并且高势垒也可以将热载流子注入半导体当中，但是对于我们现有的 LED 而言，并不存在这种强电场或者足够高的势垒”。因此他断言，产生热电子唯一可能的原因是在 LED 中产生了俄歇过程。

为了测量这些热电子的能量，研

究团队设计了一个非常精巧的实验。他们将一个商用的普通 LED 器件放入真空中，并且对其施加一定范围的偏压。为了测量这个器件所产生热电子的能量，他们在器件 p 型一侧的表面淀积了一或两个单原子层的铯，以便穿越芯片表面的热电子能透过该铯薄层并且被能谱仪探测到，与此同时还进行了 LED 发光功率的同步测量。



Weisbush 解释说，探测热电子的本身并不能将俄歇复合作为是引起发光效率下降的决定性证据。真正具有说服力现象的是，当热电子开始出现的那一刻，恰恰就是发光效率开始下降的那个时间点。

在器件的注入电流达到 4 mA 以上时，可以观察到两个谱峰：一个位于 0.3-0.4 eV 处，另一个在 2 eV 附近。这两个能量并不严格对应于相应俄歇电子的初始动能，因为这些俄歇电子必须首先要穿越 200 nm 厚的 p-GaN 层，且在这个材料层中会发生很快的纵向光学声子发射。

业界同行对于美 - 法联合团队的此项实验成果表示了赞赏，但是并不是所有人都确信这些实验数据能提供无可质疑的证据来说明俄歇复合是引起 LED

发光效率下降的真正原因。来自美国新墨西哥州 Albuquerque 的 Sandia 国家实验室的理论学者 Weng Chow 评论说：“这个实验结果无疑为寻找 LED 发光效率下降的原因做出了正向贡献”。依据他的说法，这项作为理清一些含糊不清的解释提供了一个很好的基础，“例如，对一个并非专家身份的我来说，我不知道他们是否能对整个低能电子中的俄歇电子密度进行精确的测量？并由此他们是否就有可能来估算出俄歇系数？”。

与此同时，来自位于美国纽约州 Troy 的 Rensselaer 理工学院的 Fred Schubert 还质疑，是否所探测到的电子有一部分只是来自于量子阱的泄漏。Schubert 说道，俄歇复合是一个无需质疑的效应，并且可以在 LED 中发生，“但是我们相信，俄歇复合作为发光效率下降的主要原因还是站不住脚的”。有四条理由可以支持他的这个观点：俄歇系数太小；俄歇过程随温度的变化趋势与观察到的发光效率随温度变化趋势在方向上是相反的；此实验结果与著名的 ABC 模型不相符，在该模型中包含有俄歇项；并且还需要一个更为普适的理论来解释由其他材料体系制作 LED 中的发光效率下降现象。

Weisbush 和他的同事们正在着手研究其他材料体系和器件中的效率衰减问题。他们希望能在效率问题上为基于 InP 的通讯用激光器提供新的见解，搞清楚这种效率衰减到底是由于俄歇复合还是价带间吸收机理所致。

J. Iveland et. al. Phys. Rev. Lett. 110 177406 (2013)





俄歇复合确实是引起 LED 发光效率下降的原因吗？

研究人员怀疑是否真正找到了俄歇复合效应是引起 LED 发光效率下降原因的的决定性证据。

在化合物半导体业界最为热门的话题之一：俄歇复合效应是不是引起 LED 发光效率下降的主要原因，即当通过 LED 器件的电流增大之后，LED 的发光效率会随之产生下降这一问题。

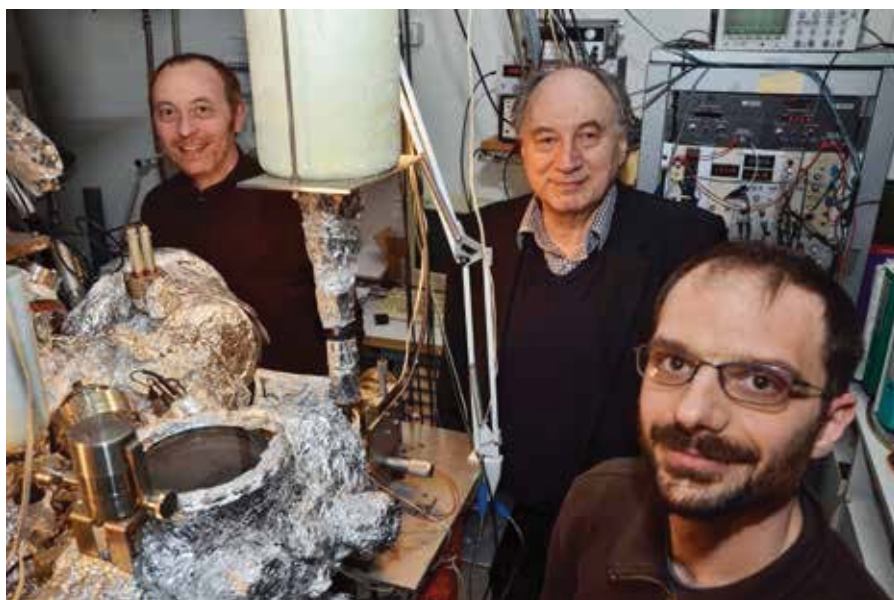
今年四月，来自美国加州大学 Santa Barbara 分校 (UCSB) 和法国巴黎综合理工学院 (École Polytechnique) 的研究人员报告了一个他们最新的实验成果，宣布他们已经最终了结了这项长期存有争议性的问题。

通过同时测量 GaN 基 LED 中的电子能量及其发射光子的能量，他们声称已经收集到了无可质疑的数据，可以证明俄歇复合效应确实是引起 LED 发光效率下降的根本原因。

然而，当氮化物业界的同行们在这个精妙实验留下深刻印象的同时，他们并不相信这些实验结果能提供无可质疑的证据来表明俄歇复合是引起 LED 发光效率下降的源由。

位于意大利都灵的 Politecnico di Torino 大学的 Michele Goano 说：“我们认为用电子发射谱来表征 GaN 基 LED 中的俄歇过程是一个相当巧妙的想法”。但是他对实验结果的解释提出了质疑，并且与来自都灵理工大学的其他研究人员以及来自美国波士顿大学的 M. Matsubara 和 E. Bellotti 一起向《物理评论快报 (Physical Review Letters)》杂志提交了一篇评述文章来表达他们的观点。

他们的评论之一是：UCSB-École Polytechnique 团队声称在能量为 1.5eV 左右观察到的具有较高能量的电子谱峰是源于导带中的卫星谷，而 Goano 及其合作者认为导带卫星谷的能量将高达 2.5eV。



研究人员 J. Peretti, C. Weisbuch 和 L. Martinelli 利用电子能谱仪来测量 GaN LED 中电子的能量，但理论研究者却对他们根据实验结果所做出的解释表示了质疑。图片来源：Ecole Polytechnique, Ph. Lavalie。

他们是通过理论计算得到了这一能量数值，并且与其他研究团队所给出的结果相近。

依据 Goano 的说法，这个卫星谷的能量数值是否精确并不是特别重要，“关键之处是在于，根据我们的计算，在卫星谷中电子的散射率将会非常之高，以至于其中的电子在到达 LED 表面之前就会在导带底经历弛豫过程”。换句话说，处于卫星谷中的电子不会对实验中所观察到的高能谱峰有贡献。

另一个不同的意见是关于在 LED 中的载流子加热程度，UCSB-École Polytechnique 团队的研究者认为这是可以忽略的，然而理论团队通过计算后得到，它可能会对实验中所观察到高能谱峰的产生有所贡献。

Goano 解释道：“根据我们目前的观点，从有源区泄漏出来的电子，无论其初始的漏电机制如何，都会在导带底获得热量，并且向上到达位于表面下方的窄能带弯曲区域。在该区域

中高电场的作用下，电子将会以弹道输运方式穿越该区域，换句话说，它们将把自身的势能转变成为动能”。

尽管 Goano 及其合作者们对把实验结果解读为俄歇复合是光效下降的主因这一结论持批评态度，但他们同时也指出，他们的计算结果并不意味着俄歇复合以及由俄歇复合所引起的漏电现象在 LED 光效下降中的作用是可以忽略的。

Goano 说道：“LED 业界可能会在以下看法上逐渐达成一致，即 LED 发光效率下降现象并不是由单一原因所造成的”。

在他看来，要进行类似于 UCSB-École Polytechnique 团队的实验工作，如果能采用更为精细设计的检测装置来进行电子能量的测量，将能够为解决这场旷日持久的争议带来新的希望。

F. Bertazzi et. al. <http://arxiv.org/abs/1305.2512> (2013)





采用镍金属来提高石墨烯接触电极的性能

用石墨烯作为高性能电极的潜在在制作紫外 LED 中尚未得到充分的发挥。然而，经韩国两所大学——光州（Gwangju）理工学院和全北（Chonbuk）国立大学研究人员的通力协作，已经在这一领域取得了重大进展。

石墨烯最为诱人的性能之一是在一个很宽的频谱范围内具有极高的光透射率，但是当它用于紫外 LED 的 P 型接触电极时，却有着很高的正向导通电压。韩国这两所大学的研究团队目前已在一定程度上改善了这个问题，他们在碳的同素异形体石墨烯的表面增加了一个镍金属薄层后，使得这种 LED 器件的正向导通电压从 13.2 V 陡降到了只有 7.1 V。

石墨烯层具有惊人高透光率性能的原因部分是来自于它的超薄厚度，只有 2-3 nm。来自韩国光州理工学院的论文作者 Dong-Seon Lee 解释说：“石墨烯是通过复合晶粒形式生长在金属箔片上，所以它在有的地方只是一个单分子层，而在其它地方则是双分子层”。相比较而言，一个标准的紫外 LED 的 P 型接触电极所采用的氧化铟锌（ITO）膜在通常情况下却有几百 nm 厚。尽管较厚的（ITO）薄膜厚度降低了它的透光率，但却能减小电极层的薄层电阻（因为薄膜的薄层电阻与其厚度成反比）。石墨烯在薄层电阻上并不具有优势，但也没有太过的劣势，因为石墨烯材料的电子迁移率要比 ITO 材料高出三个数量级。

为了提高紫外 LED 石墨烯电极的性能，研究人员首先对比研究了三种蓝光 LED 器件：第一种采用的是 ITO 薄膜电极，第二种采用的是石墨烯薄膜电极，第三种采用的是在石墨烯薄膜表面增加了一个镍金属薄层的组合电极。所有这三种电极的蓝光 LED 芯片都具有相同的异质结结构，且都是通过 MOCVD 在 GaN- 蓝宝石（GaN-

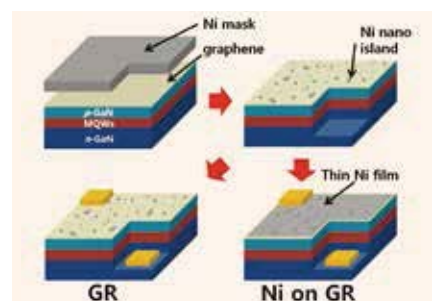
onsapphire）基底上进行制备的。为了制作形成石墨烯薄层，研究人员首先将石墨烯材料与 PMMA（聚甲基丙烯酸甲酯）材料进行均匀的混合，然后将其涂敷在衬底晶圆上，最后用温热的丙酮来将 PMMA 去除而留下石墨烯。

为了制备只具有石墨烯电极的 LED 以及具有镍 - 石墨烯（nickel-on-graphene）电极的 LED 器件，研究人员首先在具有石墨烯覆盖层的表面沉积 100nm 左右的镍金属薄层，以作为台式刻蚀的掩膜层（如图所示）。然后用反应离子和电感耦合等离子刻蚀去除处于暴露状态的 n-GaN 层，最后通过盐酸溶液的湿法腐蚀来去除镍金属薄层。

镍 - 石墨烯电极 LED 的制作过程包括了一个沉积 3nm 厚度镍金属薄层的工艺步骤。具有镍 - 石墨烯电极 LED 和纯石墨烯电极 LED 器件然后都在氮气中在 500℃ 温度下进行退火。

该团队还研究了这三种电极层的透光率，发现对纯石墨烯电极层来说，在 300nm 到 700nm 光谱范围内具有 90% 的透光率；而 ITO 电极层在 400nm 以上的光谱范围具有 80% 的透光率，但是在 380nm 时其透光率只有 70%；对镍 - 石墨烯电极层而言，在 380nm 以上光谱范围其透光率均在 75% 以上。石墨烯薄膜的薄层电阻为 1250 $\Omega/\square$ ，加上镍金属层后其薄层电阻可降至 690 $\Omega/\square$ ，作为比较，传统 ITO 薄膜的薄层电阻却只有 43 $\Omega/\square$ 。Lee 承认这是一个问题：“对于石墨烯研究来说，最为重要的问题是不仅仅是要能生长出具有高透光率的石墨烯薄膜，还要使它具有与 ITO 薄膜相当的薄层电阻值”。

该团队用扫描电子显微镜（SEM）仔细检查了具有石墨烯覆盖层的 LED 器件表面，他们发现去除镍金属层的



在采用这种新颖组合电极 LED 器件的制造过程中，镍金属层的作用有两个：一是作为镍金属层腐蚀的掩膜（镍在后续腐蚀工艺中并未完全去除），二是它与石墨烯结合降低了整个电极层的电阻。

湿法腐蚀工艺并不完美，还留下了一些镍金属材料的残留痕迹。这些具有纳米岛形状的镍金属残留物只覆盖了整个表面的极小部分，他们认为这并不会影响石墨烯电极层的光学透光率及其薄层电阻值。

在 20mA 驱动电流条件下，ITO、镍 - 石墨烯、纯石墨烯电极 LED 器件的正向导通电压分别是 3.5 V、4.8 V 和 6.2 V。根据该团队的研究，石墨烯薄膜电极因为具有较大的薄层电阻和接触电阻，所以它比 ITO 电极具有更高的器件正向导通电压。在石墨烯表面增加一镍金属薄层能够产生镍金属原子的扩散，从而降低了镍 - 石墨烯界面层的功函数并减小了它的肖特基势垒高度。

该团队已将这种镍 - 石墨烯电极用于 380nm 的紫外 LED 器件中，在正向电流为 20mA 的工作条件下，这种器件能够产生相当于采用 ITO 电极对照器件 83% 的光功率输出。这表明对采用镍 - 石墨烯电极的紫外 LED 来说，其性能与传统的基于 ITO 电极的 LED 设计方案基本相当，而对其开展进一步优化研究将能进一步提高这种组合电极结构的器件性能。

Lee 表示：“我们接下来的计划是将这种镍 - 石墨烯透明组合电极结构应用于各种不同领域的光电器件中，如太阳能电池、光电探测器和光电晶体管等器件中”。

J.-P. Shim et. al. Appl. Phys. Lett. 102 151115 (2013)



广告索引

Advertisers & Web Index

化合物半导体

COMPOUND
SEMICONDUCTOR · CHINA

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
CrystALN		www.crystal-n.com	17
EV Group		www.evgroup.com/compoundsemi	7
IQE plc		www.cn.iqep.com	BC
Vistec		www.vistec-semi.com	13

FOCUS

Magazine

VIDEO

Webcast



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

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

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

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

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

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

销售人员 Sales Offices

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

化合物半导体

COMPOUND · CHINA
SEMICONDUCTOR

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
SEMICONDUCTOR · 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4期

GaN FET 即将量产



GaN器件的军事应用





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]