

化合物半导体

CS COMPOUND
SEMICONDUCTOR

• CHINA

季刊 2014年 第1期

高温氨分子束外延



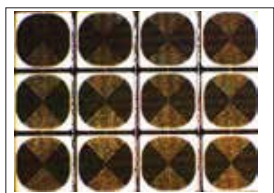
GaN器件应用



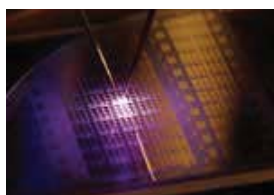
离子束沉积



实时工艺监测



提升 UV LED效率



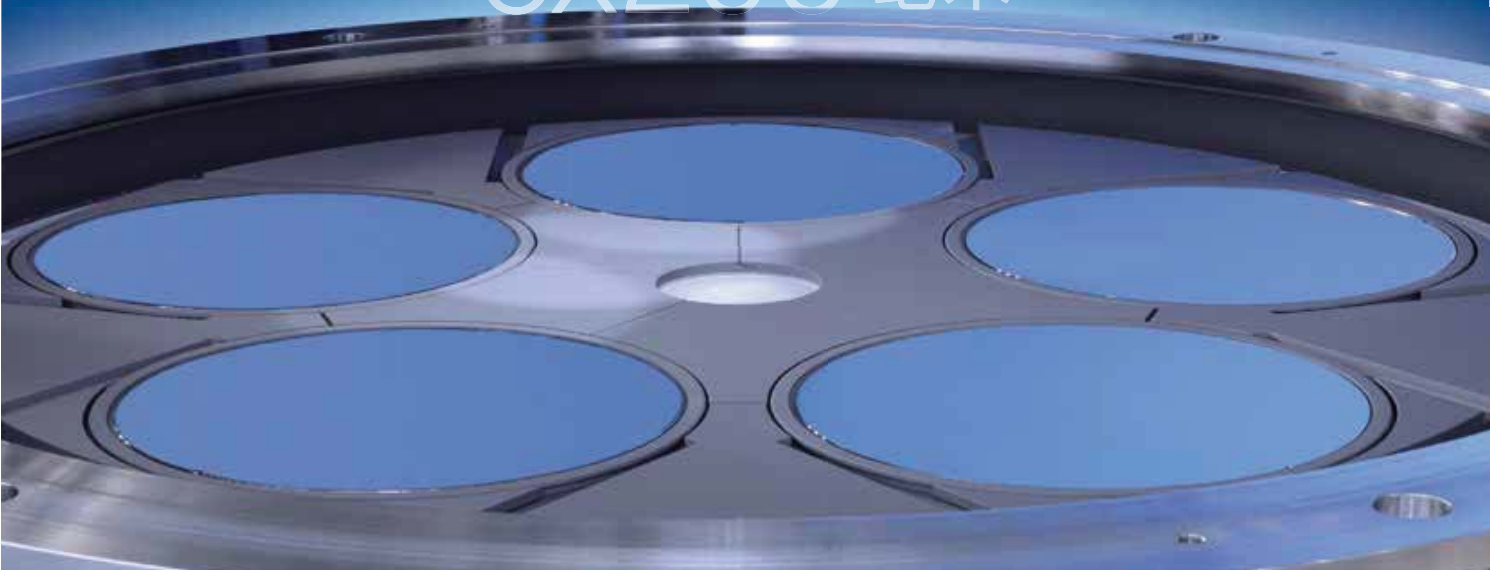
www.compoundsemiconductorchina.net



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



第十三届 洁净室研讨会暨产品展示

2014
CleanRooms
China
Conference & Products Display
洁净室研讨会暨产品展示

The 13th CleanRooms China Conference & Products Display

www.crcevent.com.cn

2014年9月17-18
上海·浦东龙东商务酒店

洁净技术是一门高科技、高投入、高产出，而又高能耗和高耗材的行业。行业同仁致力于在建筑的规划、设计、施工、运营、回收等全寿命周期内，通过多种手段，最大限度地节约资源(节能、节地、节水、节材)、提高产能，保护环境和减少污染，力争为社会提供健康、适用和高效的“绿色”空间。

为期两天的会议，演讲人和展商将与洁净室技术及污染控制领域的专业人士分享半导体、LED和FPD及生物制药行业的新技术和前沿信息；分析目前技术和行业现状及未来趋势。给洁净室行业的相关人员提供一个深入交流与探讨的平台。

创发商机

参与这个年度盛会，届时您将可：

- 与各家公司的决策者直接会面
- 与生物医药及半导体、平板显示、LED等光电高科技制造行业的使用者零距离接触
- 直接向使用者展示、介绍你的技术和产品
- 与使用者共同探讨你的产品在污染控制中的应用
- 培养与客户的良好关系，拓展销售渠道
- 搭建与行业专业人员沟通的稳固桥梁

主办单位



大会媒体



2013 赞助

INTERSSC
三威 三和 世纪

Johnson
Controls

PHILIPS

KEYENCE 基恩士

VAISALA

testo

IonPhasE IPE
The Static Dissipative Polymer

ASYS 苏州耀群净化科技有限公司

KANOMAX
The 1/100th Measurement

E+E
ELEKTRONIK

KL 新莱
KING LAI

T-TUBES[®]
a GFP Technologies brand

KIMO[®]
INSTRUMENTS

Dwell

ZOGLAB

CAMPBILL

rotronic
MEASUREMENT SOLUTIONS

B₃

KESD[®]

言兴

SPI

G

Swegon[®]

S

△

赞助咨询 上海 86-21-62511200 北京 86-10-64187252 深圳 86-755-25988571 香港/国际 852-28386298



化合物半导体



目录

季刊 2014年第1期 2014年02月20日出版
Quarterly 2014 - Issue 4 20 February 2014

Contents

封面故事 Cover Story

13 制造更明亮、更便宜的LED器件 Building brighter, cheaper LEDs

LED制造过程所消耗的气体和化学品占据了整个器件成本的相当大一部分，但是如果采用一种新型喇叭口状反应室结构设计的MOCVD设备，将可以降低这种成本。这种设计方法不仅能减少高达40%的气体消耗量，而且还能缩短各薄层的生长时间，并提高多量子阱（MQW）结构的质量。

Valence Process Equipment公司在过去的五年中，一直在致力于开发一种能够比传统MOCVD设备高出50%气体利用率反应器设计，同时该设计还能降低对反应器清洗保养的需求。我们已经取得了重大的进展，从一个小尺寸概念验证用的原型机到多台由客户定制的设备系统，最终已经推出了具有量产规模MOCVD反应器系列的第一台设备。

- Frank Campanale, Mike Begarney, Tom Ryan; Valence Process Equipment

技术 Technology

17 通过高温下氨分子束外延生长来降低氮化物薄膜的缺陷密度 Slashing defect densities in nitride films grown by high temperature ammonia MBE

一般而言，与分子束外延（MBE）相比，金属有机物化学气相沉积（MOCVD）所生长的氮化物薄膜具有更低的缺陷。但是，在高温下进行氨的MBE可以生长出具有优越电气性能的氮化物外延层，从而使MBE和MOCVD两者在所生长材料薄层的质量上并没有什么明显的差异。

虽然MBE生长的材料层具有较高的位错密度，但是与MOCVD相比它依然具有如下优点，其中有些则是相对于所有类型的材料系统而言的：反射高能电子衍射能够对其进行实时的生长过程监测，从而可辨认它由三维生长模式转化为二维生长模式这一过程，并且能够观察到表面重构；可以生长更为陡峭分布的异质结；是一种进行材料系统和器件研发的安全且简单的方法。

- A. Alexeev, S. Petrov; SemiTEq公司

21 GaN器件在大功率电子领域中的应用 GaN in power electronics applications

随着全球能源消耗的不断增长，为了确保经济的增长并减少对电能的消耗，一个强大、高效的输电电网则是必须的，这为功率电子产业的增长注入了动力。

人们对宽禁带半导体材料GaN和SiC产生了越来越浓厚的兴趣，寄希望于这种材料的使用将会提高电网的效率及其可靠性。宽禁带半导体材料制成的器件将具有更高的开关频率、更高的阻断电压、更低的开关损耗、更好的导热性和更高的工作温度等。Strategy Analytics预计在短期内SiC功率器件将成为硅功率器件的主要替代技术，而GaN功率器件则主要在<600V击穿电压、<5kW功率要求的领域开拓其初期的商业化应用。

- Eric Higham, Director - GaAs Strategic Technologies Practice

26 利用离子束沉积在二极管激光器的腔面形成高品质光学涂层 High quality optical coatings on laser diode bar facets by ion beam deposition

二极管激光器是大功率半导体激光器，由几个发射器以矩阵形式组装而成。通常每个二极管激光器都含有20到50个数量不等的发射器，每个发射器的宽度在100到200μm之间。这些大功率二极管矩阵适用于泵浦固体激光器，可用于工业、商业、军事、医学和材料加工等方面的应用，比如焊接、切割和表面处理。

半导体激光器运行在一个很窄的波长范围，因此，需要使用适当的光学涂层来增加或降低激光器腔面的反射率。这些反射部分光的腔面，称为解理面，是由开裂形成的，可以在激光腔内产生必要的光反馈，并且对正在运行的激光器的电流阈值有很大的影响。

- Dr. Dave Pearson, Ion Beam Senior Technologist; Dr. Sebastien Pochon, Ion Beam Senior Process Engineer; Dr. Larry Leung, Product Manager; 牛津仪器等离子技术公司(OIPT)

www.compoundsemiconductorchina.net

化合物半导体



目录

季刊 2014年第1期 2014年02月20日出版
Quarterly 2014 - Issue 4 20 February 2014

Contents

- 28 用实时工艺监测来提高三结太阳能电池的良品率
Boosting triple-junction yield with in-situ monitoring
芯片制造商总是在追求工艺的完美性，其中包括力图在整个外延晶圆上都能制作出合乎规格的器件芯片。无论构成器件产品的材料结构如何，对每一加工批次中每片晶圆上的所有芯片都希望能实现100%良品率的目标。
LayTec公司推出了用于外延晶圆生长工艺的实时监测设备，多台这种设备还被用于监测多层氮化物薄膜的沉积。实时工艺监测在制造和开发器件中已经取得了极大的成功。在制造工艺中进行实时的监测能为多结太阳能电池的研发和生产提供大量有价值的信息。工艺监测可以实时探测并确定界面的质量、薄层厚度、掺杂浓度、薄层组分以及晶圆弯曲度等工艺参数。
- O. Schulz, LayTec公司
- 31 为氮化物HEMT器件简化无金线技术
Simplifying gold-free technology for nitride HEMTs
- 32 III-V族晶体管在低电压时具有高性能
III-V Transistor Offers High-Performance At Low Voltage
- 33 中科院物理所研究发现碳化硅晶体的新效应
Chinese Academy of Sciences research finding that the new effect of silicon carbide crystal
- 34 改进的电子阻挡可提升 UV 效率
Better electron blocking boosts UV efficiency
- 35 重掺杂硅实现了化学剥离
Heavily doped silicon enables chemical lift off
- 新闻分析 News Analysis
- 10 垂直结构LED准备投放市场
Vertical LEDs ready for market
- 12 通往真正电源转换的崎岖道路
A rocky road to real power conversion
- 4 编者话 Editorial
- 5 产业要闻 Industry News
- 36 广告索引 Advertisement Index

关于雅时国际商讯
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/光子学、光学通信、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》中国版(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.

www.compoundsemiconductorchina.net



GaN-on-silicon LED 蓄势待发？

IHS 分析师 Dkins Cho 预测：至 2020 年时，基于硅衬底的 LED 器件的市场份额将与基于蓝宝石衬底的 LED 相接近，硅基氮化镓（GaN-on-silicon）LED 的市场份额将从 2013 年的 1% 增加到 40%，GaN-on-silicon LED 市场已经蓄势待发。

Cho 说，2013 年 95% 的 GaN LED 是在蓝宝石晶片上制造的，只有 1% 是在硅晶片上制造的。但是到了 2020 年，将会有 40% 会在硅晶片上制造，可能还会有 3% 在 SiC 晶片上制造的，其余的仍在蓝宝石上制造，蓝宝石基 GaN LED 会继续占有最大市场份额。但是目前 GaN-on-silicon 所面临的技术挑战，让人怀疑 Cho 的预测未来是否会成为现实？比如，GaN 层与硅晶片衬底之间的晶格失配，以及制造良率问题等。

Cho 相信自己的预测，他指出，一些领先供应商（多数在亚洲），最近在 6 英寸和 8 英寸硅晶圆上，对 GaN-on-silicon LED 的性能、产量和良率方面都已经取得良好进展。硅基 LED 的性能已经接近蓝宝石基 LED，虽然良率还需要进一步改进，但是有几个公司已经克服了良率挑战。

Cho 强调，使用现有的完成折旧的 CMOS 生产设备，只需轻微改造，即可在 8 英寸晶圆上成功制作硅基氮化镓 LED。事实上，许多重量级 GaN-on-silicon LED 厂商都拥有 8 英寸 CMOS 设施，并且可能已经准备将这些设施迁移用于 LED 制造。例如，三星和东芝已经用 CMOS 半导体线生产出很好的 LED 器件，中国台湾和中国大陆也有 CMOS 制造厂即将进入这个市场。在很大程度上，硅衬底更易于生产，并且能够使用现有的检测工具。而且硅比蓝宝石具有更好的机械加工特性，可以采用成熟的激光切割、研磨和抛光技术。先进的硅 CMOS 技术生产工艺历史悠久，比蓝宝石衬底 LED 生产具有更丰富的工艺知识。由于硅半导体前道和后道的工艺设备都已经发展成熟，GaN-on-silicon LED 生产可以利用现有的工具和设施提高生产良率以及总产量。

毫无疑问，未来几年 GaN-on-silicon LED 厂商将慢慢蚕食蓝宝石基 LED 的市场份额，但是其他分析师并不认同 IHS 的大胆预测。

Lux Research 分析师 Pallavi Madakasira 认为，GaN-on-silicon 不会超越蓝宝石，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 说，我们真的能期望那些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？硅衬底 GaN LED 的性能相比蓝宝石 GaN LED 还有待提高。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。此外，Cree 公司持续投资在碳化硅生产，并成功从 4 英寸到过渡 6 英寸晶圆，难道业界真的希望这个重量级大厂输给硅基竞争对手？

尽管如此，Cho 坚持他的预测。他认为，除了低廉的制造成本，对中等功率 LED 照明及其应用需求的不断增长，将推进 GaN-on-silicon LED 制造，蓝宝石和碳化硅的市场份额将继续转向硅基 LED。

未来几年 LED 衬底材料将会如何发展变化，我们还是拭目以待吧。

赵雪芹

www.compoundsemiconductorchina.net

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
雅时国际资讯 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



© 2014 版权所有 翻印必究

2014 上海照明展蓄势待发

2014 中国（上海）国际酒店与建筑照明展将于 2014 年 3 月 31 日至 4 月 3 日在上海新国际博览中心盛大举行。作为业内高端、精品商贸平台，本届展会吸引了灯饰、灯具、电器控制领域的龙头企业悉数到场，结合多场缤纷同期活动，届时将演绎一场华光璀璨的灯光秀！

作为引领行业潮流的高端展会，上海照明展一直关注并助力 LED 产业的发展，成为 LED 照明企业不容错过的秀场。本届展会上，在新能源行业始终引领世界潮流趋势的比亚迪进军照明行业，以技术方面的优势，为照明行业提供了更多优质解决方案，本届展会将成为比亚迪照明绿色照明解决方案的闪亮秀场。

中国照明电器协会将会邀请业内专家泰斗，围绕酒店绿色照明、照明节能改造、酒店灯光设计等行业热点话题，广开言论，高屋建瓴地指明行业发展的趋势，并与现场专业听众激情碰撞，共论行业发展，成为照明行业的一大盛会。更多信息请登陆 www.expolight.cn。

中国实现碳化硅大功率器件量产 有望缓解能源危机

泰科天润半导体科技（北京）有限公司 G2S06010 碳化硅肖特基二极管产品鉴定会暨新产品信息发布会 1 月 20 日在北京举行。鉴定委员会认为该公司的量产工艺方法、产品性能达到了国际同类产品的先进水平。中国首次实现碳化硅大功率器件的批量生产，在以美、欧、日为主导的半导体领域形成突破。专家指出，这一突破有望缓解中国的能源危机，对于煤炭、石油等资源紧缺的中国具有现实意义。

据悉，经过两年攻关，泰科天润研发的碳化硅肖特基二极管多个产品已成功量产，产品涵盖 600—3300V 中高压范围。其中，600V/10A、1200V/20A 等产品成品率达到国际先进水平。

泰科天润总经理陈彤介绍，利用碳化硅单晶衬底和外延材料制作的电力电子器件可以在高电压、大电流、高频率环境下工作，与传统的硅器件相比，碳化硅电力芯片能够大幅度减少电力设备体积和重量，能大幅降低各项设备系统的整体成本并提高系统的可靠性。碳化硅在降低自身功耗的同时，能提高系统其他部件的功效，总体节能 20% 以上。

德国采用嬗变工艺制作出能使 LED 色调变暖的氮化硅

据介绍，德国团队发明的这种发光材料可以使冷白光或蓝光 LED 的色调变暖，这种发光材料为氮化硅。发明者之一、飞利浦公司的 Peter Schmidt 表示，“这种发光材料为一层薄膜，可直接贴在 LED 芯片上。蓝光一部分穿过这一薄层，而另一部分在这种发光材料的作用下可转化为绿光和红光。”

慕尼黑大学的化学家 Wolfgang Schnick 开发了可使 LED 色调变暖的氮化硅。他是第一个发现氮化硅和硅化合物可以使蓝光转化为白光的人。但是这种技术的工业化存在难题——氮化硅匮乏。虽然在自然中有很多硅与氧结合的化合物，但是很少存在氮硅化物。为了生产大量的硅氮化合物，Schmidt 从炼金术找到了灵感。他们将煤炭与其他物质混合得到了灰色物质，然后放到烤箱，第二天灰色物质变成了发光的橙色物质，从而成功得到氮化硅。

有机电子低温柔性薄膜封装工艺研究取得显著进展

苏州纳米技术与纳米仿生研究所李丰研究员课题组联合印刷电子中心崔铮研究员课题组苏文明等人参与的“有机电子器件低温柔性薄膜封装 ICP-PECVD 系统及工艺”项目研究取得显著进展。该项目由中国科学院微电子研究所牵头，苏州纳米所负责项目的工艺研究部分。

该研究团队设计并研制了一套有机电子低温柔性薄膜封装 ICP-PECVD 系统，通过控制不同的等离子体气氛在相同的前驱体条件下分别实现有机和无机的同腔低温生长。经测试，沉积的薄膜厚度均一，6 寸硅片均匀性达 0.52%；沉积薄膜表面平整，表面粗糙度 Ra 低至 0.33nm；单个周期有机 / 无机交替结构薄膜封装层水汽渗透率达 $3.66 \times 10^{-4} \text{g/m}^2/\text{day}$ ，已达到有机电子器件商用标准。

美国开发量子点深紫外光 LED

美国圣母大学 (UND) 正在开发一种新的深紫外 (UV) 光 LED——氮化镓量子点 (QD)。氮化铝深 UV LED 被广泛应用于水处理、消毒、集成生物传感器、固态照明以及光刻技术。“低功率、轻重量和耐用的深 UV 光源的用途将在很多其他领域出现。”该研究团队的负责人 Debdeep Jena 在低门槛激光领域也看到了市场潜力：“量子点需要比量子阱 (QW) 或双异质结激光更低

产业要闻 | Industry News

的注入电流，因为维度减少了。在宽禁带半导体中，由于掺杂，自由载流子不会轻易地出现，从而量子点有源区对于电子注入的深 UV 激光很有吸引力。”

研究人员认为，与 AlGa_N QW 相比，氮化镓 QD 有两个优势：“三维约束 (confinement) 可使电子和空穴免于发热而导致失位和非辐射性复合。单层厚度使发光过程更能经受量子局限史塔克效应，当 InGa_N/Ga_N 量子阱能带结构受到极化场的作用时，其能带结构会受到改变而倾斜。此时量子阱对载子的波函数产生空间局限效应，电子与空穴重新分布，称之为量子局限史塔克效应，并会造成辐射复合的能量下降，所以在发光频谱上会呈现红位移 (red-shift) 现象，进而影响多重量子阱的量子效率。”

AIXTRON 爱思强与 Manz 集团达成战略合作

AIXTRON 爱思强与 Manz 集团近日正式达成战略合作。双方将携手研发高效能的有机二极管 (OLED) 生产解决方案，共同把握 OLED 技术的未来市场机遇。

根据此项战略合作，双方将合作研发一套利用 AIXTRON 爱思强 OVPD[®] 专利工艺技术，实现在第 8 代基板（尺寸为 2300x2500 mm²）上高效沉积有机层材料的示范系统。该套全新的示范系统将首次向业界展示 OVPD[®] 技术在以合理价格大规模、高效率生产可用于显示屏和照明应用的有机发光二极管方面的优势。

新系统将于未来几个月内在 AIXTRON 爱思强的洁净室进行装配。除了展示 OVPD[®] 专有工艺和规模化生产大尺寸基板的能力，此次合作也将着力满足市场对新元器件的要求。降低生产成本和提高产量是成功扩大 OLED 技术市场渗透率的必备条件，而这要求必需推出更高效的生产工艺和使用大尺寸的基材。

科锐逐年提高 SiC 基片的结晶质量

制造 SiC 功率器件不可缺少的 SiC 基片（晶圆）的品质在不断提升。不仅是目前主流的直径为 4 英寸（100mm）的产品，6 英寸（150mm）产品的结晶缺陷也越来越少。

科锐 (Cree) 以直径 4 英寸的基片为例，展示了其基底面位错 (BPD) 的密度。据科锐介绍，4 英寸基片的基底面位错密度为 56 个 /cm²。在基片内 17% 的范围里，基底面位错为 0 个，在 78% 的范围里不到 5 个。据悉，在基底面位错密度为 56 个 /cm² 的 4 英寸基片上层叠厚度为 60 μm 的外延层时，基底面位错的密度会降至 2 个 /cm²。

另外，与原来相比，还可以减少 SiC 基片的贯通螺旋位错 (TSD) 密度。以前裸基片和外延基片（层叠外延层的基片）的贯通螺旋位错密度分别为 955 个 /cm² 和 837 个 /cm²，现在分降至 447 个 /cm² 和 429 个 /cm²，减少了约一半。

能讯半导体发布用于 LTE 基站的氮化镓微波功放晶体管

国内首家商用氮化镓 (Ga_N) 电子器件生产企业，苏州能讯高能半导体有限公司近日发布了新型氮化镓微波功放晶体管产品。这款产品将助力通讯系统设备制造商，针对当下热门的 LTE 移动通讯市场，提供更高效、更具性价比的解决方案。

能讯半导体总裁张乃千博士指出：“公司一直致力于 Ga_N 微波功放晶体管的研发与制造，我们相信 Ga_N 功放管的宽频带、高线性度和高效率等优异特性，能够为客户带来价值。”能讯半导体本次推出的这款产品为 DX1H2527150F 内匹配微波晶体管，其工作频率范围为 2.5-2.7GHz，供电电压为 48V，饱和功率为 200W。在 WCDMA（带 DPD）测试条件下，其输出功率达 40W，ACLR 小于 -50dBc，效率高达 33%。

该款产品是针对 4G 移动通讯的 LTE 基站应用而量身打造的，拥有杰出的线性度、效率和功率密度，采用这款产品实现的 Doherty 放大器表现出了非常优异的性能指标。得益于能讯公司先进的设计和优良的工艺，产品多项指标处于业界领先地位。同时，能讯公司承诺为客户提供及时响应、深度协助、提升竞争力的服务，为客户提供完整成熟的解决方案和充分的应用技术支持。

IMEC 新开发 3DFinFET 整合 III-V 族与硅材料

比利时微电子研究中心 (IMEC) 宣称开发出全球首款在 300mm 晶圆上整合 III-V 族与硅晶材料的 3DFinFET 化合物半导体。IMEC 的新制程目标是希望能持续微缩 CMOS 至 7nm 及以下，并实现混合 CMOS-RF 与 CMOS 光电组件的化合物。

随着芯片微缩即将接近原子级的限制，业界致力于提高芯片性能与降低功耗的各种方法逐渐面临瓶颈。透过为硅晶整合更高性能的材料，例如可提供更高载子速度与更高驱动电流的 III-V 族电晶体通道，这种新的化合物半导体可望超越硅晶

材料本身性能，持续微缩制程。

IMEC 声称已经成功实现一种晶圆级制程，透过撷取晶体缺陷的长宽比、沟槽结构与外延制程等创新，能够以砷化镓与磷化铟等材料在 3DFinFET 上取代硅鳍，同时还能适应 8% 的晶格不匹配。IMEC 的合作伙伴希望这项技术能进一步开发，以期能在 2016 年到 2018 间实现 7nm 节点的部署。IMEC 的 CMOS 开发合作伙伴将有机会取得该制程，包括英特尔、三星、台积电、Globalfoundries、美光、海力士、东芝、松下、索尼、高通、Altera、富士通、nVidia 与 Xilinx。

半导体所在砷化镓 / 锗中拓扑相研究方面获重要发现

中国科学院半导体研究所常凯研究组提出利用表面极化电荷在传统常见半导体材料 GaAs/Ge 中实现拓扑绝缘体相。通过第一性原理计算和多带 k.p 理论成功地证明了 GaAs/Ge 极化电荷诱导的拓扑绝缘体相，这为拓扑绝缘体的器件应用又向前推进了一步。

拓扑绝缘体是目前凝聚态物理的前沿热点问题之一。这种新奇的物性源自自旋轨道耦合，因而目前所知的拓扑绝缘体都是含有重原子的窄能隙半导体体系，如 HgTe、Bi₂X₃ (X=Se,Sb,……) 和 Heusler 合金等材料。这两个约束极大地限制拓扑绝缘体家族的扩展，而这些材料不够成熟的生长制备工艺则阻碍了拓扑绝缘体潜在的器件应用。

常凯研究组继前期首次打破窄能隙和重元素的限制，在常见的半导体材料 GaN/InN/GaN 中发现拓扑绝缘体相 (Phys. Rev. Lett. 109, 186803(2012)) 后，首次理论上提出利用表面极化电荷在常见半导体材料 GaAs/Ge 系统中实现拓扑绝缘体相。GaAs/Ge 系统与 GaN/InN/GaN 系统相比不同的地方是，GaAs 材料和 Ge 材料晶格常数匹配，更易于材料的生长。另外 GaAs/Ge 是传统的半导体材料，制造工艺成熟，更利于拓扑绝缘体器件的集成。该工作对在常见半导体中探索新的拓扑相，及其开展介观输运的研究具有重要意义。

新一代 SiC 和 GaN 功率半导体竞争激烈

与现在的 Si 功率半导体相比，SiC 及 GaN 等新一代功率半导体有望利用逆变器和变流器等大幅提高效率并减小尺寸。2013 年采用 SiC 和 GaN 功率器件的事例逐渐增加，同时各企业也围绕这些展开了激烈的开发竞争。

SiC 功率半导体方面，在栅极设有沟道的沟道型 MOSFET 的开发在 2013 年大幅加速。以前推出的 SiC MOSFET 只有平面型，尚未推出沟道型。沟道型 MOSFET 的导通电阻只有平面型的几分之一，因此可以进一步降低损耗。导通电阻降低后，采用比平面型更小的芯片面积即可获得相同载流量。也就是说，能够削减成本。

GaN 功率半导体方面，日本各大企业相继发布了新产品，还有不少企业宣布涉足此业务。其中，变化较大的是耐压 600V 的 GaN 功率晶体管，能够应用于空调、电磁炉等白色家电，混合动力汽车和纯电动汽车的逆变器，光伏逆变器及工业设备等输出功率在数百~数万瓦的功率转换器。

通过基片薄型化降低 SiC 二极管的导通电阻

通过减薄 SiC 二极管的基片厚度来减小导通电阻的研发日趋活跃。这一趋势在耐压 1.2kV 以下的低中耐压产品中最为突出。其背景在于，越是低耐压产品，基片上层积的漂移层就越薄，因此在 SiC 二极管的导通电阻中，基片的电阻成分所占比例就越大。

目前，SiC 基片的厚度以 350 μm 为主流，超薄产品也要达到 230 μm 左右。为了进一步减薄厚度，许多大型 SiC 功率半导体厂商都在致力于相关研发。

New CS APP ready for
Download NOW!

Continuing our aim of 'connecting the compound semiconductor industry', Compound Semiconductor has a Free app for Android, iPhone and iPad to allow you keep up to date wherever you are.

Available **FREE** from the App Store or Google Play, the app allows you to access:

- Latest Compound Semiconductor, CS China and CS Taiwan magazines
- Latest features
- Latest news and more...

For further information contact:
scott.adams@angelbc.com

www.compoundsemiconductor.net

Connecting the Compound Semiconductor Community

产业要闻 | Industry News

比如，罗姆通过研磨等工序将 SiC 基片减薄至 50 μm，并用其试制出了耐压 700V 的 SiC 肖特基势垒二极管 (SBD)。三菱电机也利用 90 μm 厚的 SiC 基片试制了耐压 1.2kV 的 SiCSBD。该公司在 ICSCRM2013 会议上发表了相关成果，虽未公布具体的导通电阻值，但与使用约 300 μm 厚的基片制造的相同耐压的 SBD 相比，导通电阻减小了 0.4mΩcm²。另外，英飞凌也在致力于利用薄型 SiC 基片的 SiC 二极管的研发。该公司在 2013 年 5 月举行的功率半导体国际学会“ISPSD2013”(日本电气学会主办)上发表了将基片减薄至 110 μm 的耐压 650V 的 SiC 二极管。

基于石墨烯的纳米天线使无线网络提速

治亚理工学院 (Georgia Institute of Technology) 的研究员称，通过计算机模拟，他们演示了石墨烯制作的纳米天线可以用于纳米机器的网络中。但是他们并没有提到具体的纳米机器。除了能够在纳米机器之间通信外，石墨烯天线还能用于移动手机和网络连接的笔记本上，使它们得到更远的通信距离。

新型天线的秘诀就是石墨烯，不像铜或其他材料，石墨烯使用非常少的能源就能够运行。由于石墨烯的蜂窝结构，所以它的表面生产电子表面波的范围也最广。

当石墨烯中的电子被传输来的电磁波激发时，会发生“奇特的传播”。这种情况下，电子开始来回运动，创造电荷振荡，结果在石墨烯的表面上产生了密闭的电磁波。这种现象就是人们熟知的表面等离子体激元 (SPP) 波，这使基于石墨烯的纳米天线在太赫兹频率范围内运作成为可能，这个范围在 0.1 - 10 太赫兹之间。而像金这样的金属也能产生 SPP，但是它们只能在更高的频率中才能做到。

此外，模拟表明石墨烯天线的太赫兹波段将无线网络中的数据速率提高超过两个数量级。

中微 MOCVD 设备获工博会银奖

中微半导体设备有限公司的 MOCVD 设备 PrismoD-Blue 于 2013 年 11 月第十五届中国国际工业博览会上荣获银奖。该产品于 2013 年 3 月正式发布，是此次获奖产品中唯一代表半导体外延工艺的 MOCVD 设备，该产品技术对于高亮度 LED 的大规模生产至关重要。作为生产 LED 芯片的关键设备，MOCVD 设备市场一直为欧美企业所垄断。具有自主知识产权的 MOCVD 设备国产化成功，意味着相关技术长期被国外垄断的局面将被打破，国内 LED 自主产业链也将更加完善。

中国领先的本土 LED 生产商上海蓝光科技有限公司是中微 MOCVD 设备的第一批用户之一。在祝贺中微获奖时，蓝光公司技术和质量管理副总裁郝茂盛博士表示：中微的设备性能超出了我们的预期，达到了 MOCVD 设备所应具备的高工艺标准。中微 MOCVD 设备得此荣誉乃实至名归。

Solar Frontier 将建设其第四家薄膜制造厂

日本光伏制造商 Solar Frontier 公司近日表示，他们已经与宫城县政府及 Ohiramura 地方政府为其第四家薄膜制造厂东北 CIGS 厂签发协议，该工厂将坐落于 Ohiramura。

该协议计划三月将开工建设，预计该工厂将在一年内建成投产。

Solar Frontier 透露，该新设施是七万平方米的工厂额定产量为 150MW，预计将聘用一百名员工，使该公司成为一家全球性的供应商。

宫城县县长 Yoshihiro Murai 表示：“Solar Frontier 的东北工厂 (Tohoku Plant) 将为宫城县的经济振兴作出贡献，创造新的就业岗位及商业机会。我相信，其将推动宫城县及整个地区绿色企业及清洁、可再生能源的发展。”

Solar Frontier 总裁兼代表董事 Hiroto Tamai 表示：“东北工厂将利用我们最新的技术，生产高效 CIS 组件，并将作为我们未来日本以外设施大批量生产的蓝图。宫城县把我们带往新的全球发展道路。”

韩国研究人员薄化 LED 衬底提升绿光 LED 光效

韩国与埃及研究人员采用晶圆薄化技术提升氮化物半导体绿光 LED 的效率。参与组织包括韩国全南国立大学、埃及贝尼苏韦夫大学，以及韩国光子技术研究院。

薄化的功效是为了减少氮化物半导体架构中的残余压应力，这种应力在 LED 架构中对降低的压电电场有撞击效应。氮化镓和蓝宝石不同的热膨胀系数制成的应力器件，在外延生长工艺冷却后会造成压应力的产生。这种电场效应将降低电子和空穴复合以产生光子的可能性。

这种衬底薄化技术通过采用研磨和软质抛光实现的，以最小化薄化过程中的损坏。衬底薄化也提升了内量子效率 (IQE) 和光输出功率，但不会降低电流与电压行为。研究人员确定较薄衬底的光萃取效率更高。光萃取率的提升归因于蓝宝石衬底吸收的光子减少了，同时光从器件的蓝宝石边际逃逸能力提升了。此外，采用衬底薄化技术光电转换效率也会得到提升。

2014 年集成电路等基础产业有望成为投资热点

赛迪智库近日发布了《2014 中国电子信息产业发展形势展望系列报告》。报告认为 2014 年我国电子信息产业发展将继续维持低速运行，内外部环境未有明显变化，但仍然存在需注意的三个主要问题：一是核心技术和关键设备成为产业提质增效的最薄弱环节；二是我国龙头企业产业链整合能力较弱；三是国际贸易壁垒有所抬头阻碍“走出去”。赛迪智库认为，2014 年我国电子信息制造业发展中有四方面热点：一是以集成电路、平板显示为代表的基础产业有望成为投资热点；二是移动智能终端引领 4G 手机、平板计算机等整机产品加速增长；三是信息技术与传统行业的融合与产品的创新加速；四是行业龙头企业国际竞争力增强。

IBM 在沪举行半导体代工技术研讨会

2013 年 12 月 13 日,由上海集成电路技术与产业促进中心 (ICC) 和 MOSIS 联合主办的“IBM 半导体代工技术研讨会”在上海成功举行。来自全国各地的 IC 设计企业、IC 设计服务公司及高校科研院所的 60 余名业内资深人士参加了会议，大家就 IBM 特殊工艺市场、IBM 特殊工艺技术细节和设计方法等问题展开研讨。MOSIS 经理袁泉和 ICC 副主任冯学吉出席会议并先后致辞。

IBM 拥有世界知名的特殊工艺晶圆代工厂，其 SiGe BiCMOS、RF CMOS、SOI 等工艺在成熟度和稳定性方面享有盛誉。此次 MOSIS 联合 ICC 共同邀请了多名 IBM 的专家，分别向会议介绍了 IBM 的基本情况、SiGe、RF、SOI 等特殊工艺的市场前景和技术细节，并详细讲解了基于 IBM 工艺资料的 IC 设计方法。与会代表们也就各自关心的问题进行了提问，并围绕半导体代工技术进行讨论。就工艺选择、器件和 pdk 等 IC 设计者共同关心的问题，和 IBM 的专家继续深入讨论。



请登机

飞向MOSFET, IGBT 和 GTOS 的高速薄膜生产

See us At Semicon China 18-20th March. Booth 3679



在多级正面或背面金属化工艺中，以及Si, GaN 或 SiC 的金属凸点封装工艺中，获得新的性能水平。Evatec的4英寸、6英寸、8英寸晶圆薄膜生产解决方案，使您的大电流、高电压电力电子器件生产提高良率并降低成本。选择BAK Evaporator 蒸发器和 Radiance Sputter溅射设备，构建完整的化合物半导体薄膜的解决方案，蒸发器平台尺寸最大至2米，辐射溅射设备带有片盒到片盒处理工具。

www.evatecnet.com/markets/semiconductor/power-devices



MORE INFO

LEDs • POWER DEVICES • TELECOMS • PHOTOVOLTAICS • MEMS • EVATEC - THE THIN FILM POWERHOUSE

www.evatecnet.com



垂直结构 LED 准备投放市场

Glo 技术总监 Nathan Gardner 告诉 Compound Semiconductor 杂志，经过近十年的耕耘，Glo 计划在 2014 年早期推出纳米线 LED 产品。



Glo 是瑞典隆德大学剥离出来的一家公司，成立于 2005 年。2014 年早期，Glo 将向市场推出高亮度纳米线 LED；事情已经筹划了许久，在近十年的研发投入之后，Glo 的三维 LED 准备挑战现有的平面 LED。

Glo 美国公司的技术总监 Nathan Gardner 表示，“目前我们的产品已到达客户手中，并准备在未来两个季度内开始发货。我们希望能提供相对平面 LED 效果更佳的绿光 LED，以及性能更好的蓝光 LED。紧接着就是纳米线红光器件，因此，我们将拥有一个完全基于氮化物半导体材料的 RGB 解决方案。”

为什么会关注到纳米线？与常见的平面 LED 异质结构相比，三维垂直结构具备好几种优势。首先，在衬底上生长垂直纳米线会防止晶圆应力的累加，与此相反，在衬底上沉积平面材料层时会产生应力。在制造过程中，不同材料的膨胀系数存在差异会导致晶格失配，由此晶圆产生缺陷会降低器件的成品率及性能。

再者，由于表面积 / 体积的比值高，垂直结构可提高光输出效率，并且与

低成本、大面积硅衬底工艺兼容。

Gardner 解释道，Glo 的 LED 包含了垂直排列的 GaN 纳米线阵列，基于 MOCVD 沉积工艺，在 GaN 或蓝宝石衬底上生长，衬底上附有沉积面积可调的掩模层。掩模层中的通孔，则通过光刻和干刻工艺来压印，主导着纳米线的生长。

事实上，二极管结构的 InGaN 有源区，它沉积在 n 型 GaN 纳米线中心的 m 面侧墙上；有源区依次生长了 p 型 AlGaN 层、p 型 GaN 以及重 杂的 p 型 GaN 接触层。

Gardner 表示，“TEM 分析显示，n 型 GaN 层中的位错很少会渗入到纳米线中，因此，有源区是沉积在一个无位错的 m 面衬底之上的。”

Glo 并没有公布技术规格，这些信息仅针对一家与之达成非公开协议的客户开放，他们正在制作样品。然而 Gardner 宣称绿光与蓝光 LED 器件的性能与今日市面上的平面器件保持同等水平。他表示，“我们的绿光 LED 的量子效率峰值可达市面上同类产品的 10%，但我们的蓝光 LED 其内量子效率可与当今市面上最先进的平面器件一致。器件的可靠性数据表明，他们满足一般客户的应用要求。”

迄今为止，Glo 专注于在蓝宝石上制作 LED。与此同时，Gardner 坚定地认为纳米线 LED 制造可与大尺寸硅衬底兼容，公司继续将精力集中在未来可预见性的蓝宝石衬底上。

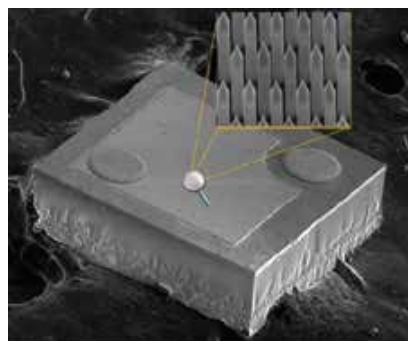
Gardner 表示，“一般来说，纳米线器件结构非常适合在大尺寸硅衬底上制作，与平面结构相比，我们无需

生长既复杂又增加成本的缓冲层。”他补充说，“然而，那些制造平面 LED 的公司，在衬底尺寸达到 8 英寸之前，并没有认识到从成本的角度硅的潜在威胁。因此一旦需求量上来了，我们将看好硅。”

哪个更重要，质量还是成本？

2013 年 3 月，Glo 的劲 敌 Aledia，一家美国的纳米线 LED 开拓者，他们公开了在 8 英寸硅片上制作的硅上纳米线 GaN 基 LED 器件原型。客户样品预计在 2014 年早期提供。那时候，Aledia 公司 CEO Giorgio Anania 告诉 Compound Semiconductor 记者，相比平面 GaN LED 而言，纳米线 LED 的生长速度快了三倍，制造成本相对常规器件的可能要少四倍左右，但该公司不会将目标定位在高性能市场。

Gardner 表示，“初期我们还不能提供最佳的 Lm/W 数值，但许多应用用不到这个，他们真正需要的是最佳的 Lm/\$”。很明显，Glo 在另辟蹊径。Gardner 声称他们公司的纳米线器件的生产时间可与那些平面 LED 一比高下，眼下的事情只有成本了。他说，“最终，纳米线器件要比平面 LED 要便宜，但我们不能确定在接下来的一年半时间里，我们是否能把产品推向市场。我们的策略一直都是如此，将纳米线拓朴结构作为 LED 的平台，并试图突破其性能，使之拓展到整个可见光范围。我们真心希望能超过平面器件的性能。”



Glo 纳米线芯片的电镜扫描图展现了独立的纳米线（放大图）。图片来源：Glo





www.EVGroup.com

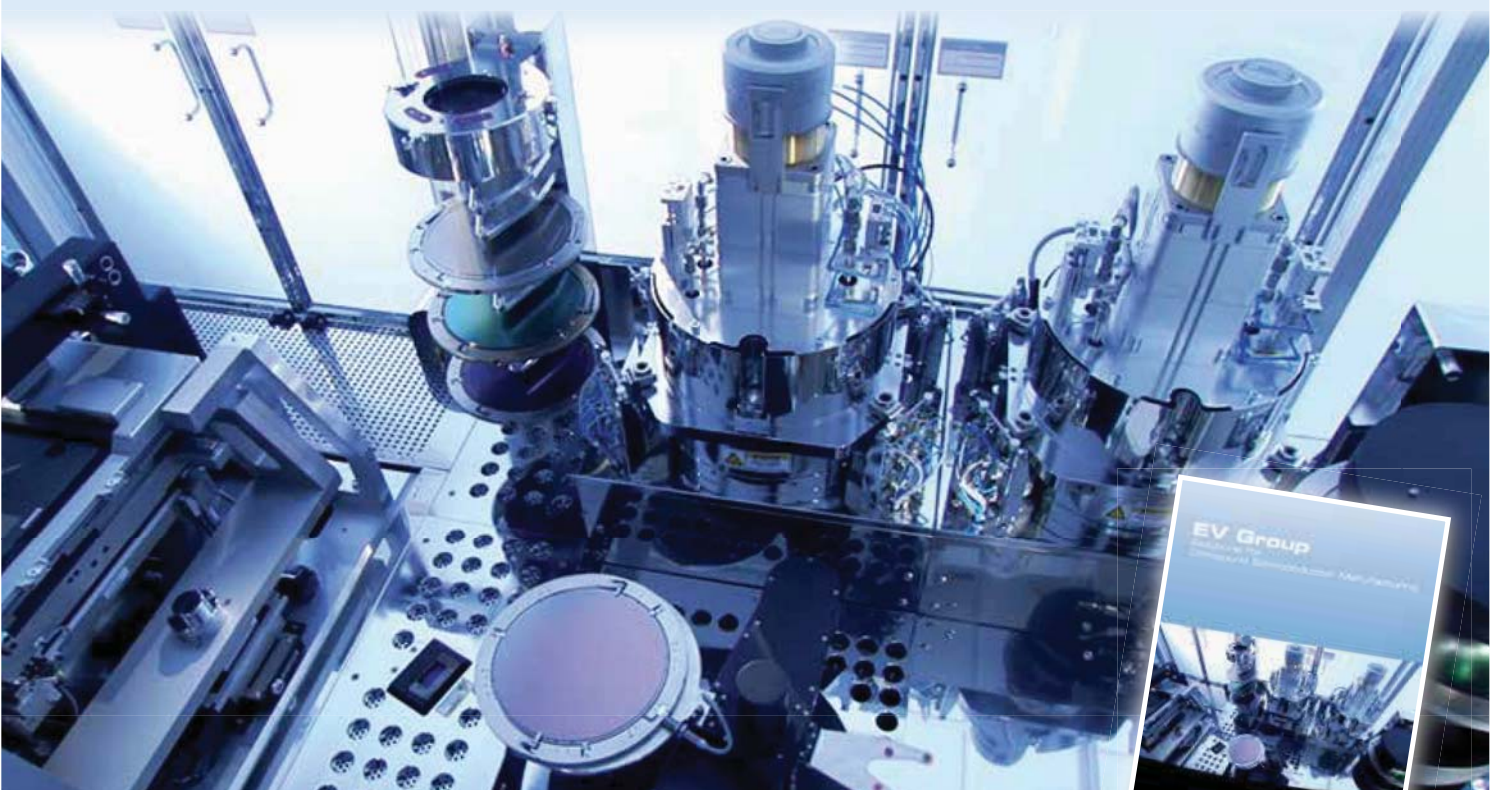
应用于化合物半导体工业生产的解决方案

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





通往真正电源转换的崎岖道路

市场化的高电压硅基氮化镓（GaN-on-silicon）功率器件已经让人等待了很长的时间。Compound Semiconductor 杂志为此咨询了 Venture-Q 的 Zel Diel，希望了解业界是否不久即可供货。

2010 年，美国电力电子分析企业 Venture-Q 的常务董事 Zel Diel 开始调研面向电源转换应用的硅基氮化镓器件将以何种方式以及在什么时候实现商品化。在几个月的时间之内他便得出结论：到 2016 年业界将会小批量生产高电压场效应晶体管，因此届时设计人员可采用它们来构建演示系统。此类结构将沉积在 200 mm 硅晶圆上，以实现与硅替代方案持平的成本。

差不多 4 年过去了，在 Diel 刚刚发布的有关硅基氮化镓功率器件商品化策略的最新报告中，他把时间范围向后推移了。他说：“目前我们距离最终的目标已经不太遥远。到 2018 年系统设计人员将能够这么说：‘嗯，我可以花 5 美元或 6 美元购买 [HEMT]，并在系统层面上达到成本持平。’”

通往真正商品化的道路仍将是崎岖不平的。正如 Diel 指出的那样，市场研究机构所做的预测在很大程度上基于供货商不切实际的产品供应时间表，因而一次又一次地低估了硅基氮化镓开发人员所面临的挑战，而且事实证明这些预测显得过于乐观了。

虽然美国的宜普电源转换公司（Efficient Power Conversion，简称 EPC）在将近 4 年之前就推出了可供应市场的低电压硅基氮化镓 HEMT，自那之后，这家公司和所有其他的供应商一直在力争提供具有商业利润的高电压（600V）器件。但是 EPC 已经一

再推迟了高电压器件的交货，而由 Transphorm 公司公开推出的仅有的通用型 600V 硅基氮化镓 HEMT 器件也只提供给特定的合作伙伴，并且必须与之签署保密协议。

那么，是什么原因导致进展如此缓慢呢？对于开创者而言，存在着各种各样的行业基础设施限制条件。他说：“我们在系统级设计中面临着一种

示说，他们没有速度快至足以测量此类器件中的开关操作的示波器。”

其次存在技术问题。虽然硅衬底和 GaN 层之间的晶格失配妨碍了开发工作的推进，但所谓的“电流崩溃”（current collapse）正逐步证明它才是阻碍发展的主要绊脚石。

这种现象是硅基氮化镓以及碳化硅基氮化镓 HEMT 器件的一种固有属性，其表现为在高电压操作期间器件的导通电阻增大，因而导致性能下降。

关键的是，电流崩溃在 400V 和更高的工作电压条件下将愈发严重（尤其是在硅基氮化镓器件中），目前是业界和学术界研发工作的主要焦点。

Diel 说：“电流崩溃是要命的东西，而且我们无法对症下药。自 1999 年以来，以此为主题撰写的博士论文至少有 1000 篇之多，人们至今仍然在为解决这一问题而绞尽脑汁。供应商们正在应对此项挑战，可谁也没能找到适合的解决方案。”

那么，这些与业界基础设施限制条件相伴的技术难题会不会导致 2018 年的商品化时间表显得过于激进了？Diel 认为不会，他着重提到了业界近期取得的一些开发成果，这些成果透露出了实际进展的信号。

2013 年 10 月，硅基氮化镓 HEMT 的开发商 Powerdec 公司演示了一款其与英国谢菲尔德大学合作生产的 600V、10A HEMT。这款器件是采用



完全不同的技术，对于该技术，电源系统设计人员此前从未遇到过，也从未有过深入的接触，更从未受过相关的培训。我们在业界没有可靠性体系，只有 JEDEC，而它是一项芯片标准，因此针对 JEDEC 进行鉴定没有任何意义；您甚至无法对器件进行鉴定及发送给客户以集成到某个系统之中，因为在其相关的技术文件上根本没有给出所依据的标准。”

另外，硅基氮化镓开发商和示波器制造商还都强调了高电压、高带宽 GaN 器件所带来的测试与测量难题。Diel 特别指出：“Tektronix 公司已经表

下转第20页



制造更明亮、 更便宜的 LED 器件

LED 制造过程所消耗的气体和化学品占据了整个器件制作成本的相当大一部分，但是如果采用一种新型喇叭口状反应室结构设计的 MOCVD 设备，可以降低上述这种成本。这种设计方法不仅能减少高达 40% 的气体消耗量，而且还能缩短各薄层的生长时间，并提高多量子阱（MQW）结构的质量。

Frank Campanale, Mike Begarney, Tom Ryan; Valence Process Equipment

LED 灯的价格的不断下降导致其销售量快速攀升。但是这种固态灯泡在成为主流照明光源之前仍然有着很长的一段路要走——需要大幅度地降低 LED 芯片的成本。降低成本的途径之一就是要在 LED 制造过程中能够对各种反应气体和化学品实现更高的利用效率。这就是我们 Valence Process Equipment (VPE) 公司的工作目标，我们公司位于美国新泽西州的 Branchburg 市。

在过去的五年中，我们一直在致力于开发一种能够比传统 MOCVD 设备高出 50% 气体利用率反应器设计，同时该设计还能降低对反应器清洗保养的需求。我们已经取得了重大的进展，从一个小尺寸概念验证用的原型机到多台由客户定制的设备系统，最终我们已经推出了具有量产规模 MOCVD 反应器系列的第一台设备，期间的工作进展十分迅速。

尽管我们工作的重点最初是放在提高反应气体的利用效率上，但是新型的反应器设计还有其他方面的优点。小体积容量的反应室可以快速地进行气体切换，由于它具有较小的热容量从而可以实现更为快速的升温。总之，这些特性使这种反应室能以一个很短时间的生长周期来制作多量子阱（MQW）结构。这不仅缩短了 MQW 的整体生长时间，具有更高的生产效率，而且还提高了量子阱结构的界面特性及其内量子效率。这意味着对使用我们设备的 LED 器件制造商来说，可以降低其每台设备的整体成本，还能增加其 LED 产品的发光效率（流明 / 瓦）。

MOCVD 反应器的设计

我们的 MOCVD 反应器能够一次加工处理 50 多片两英寸晶圆，这与当前市场上两种得到“广

封面故事 | Cover Story - MOCVD

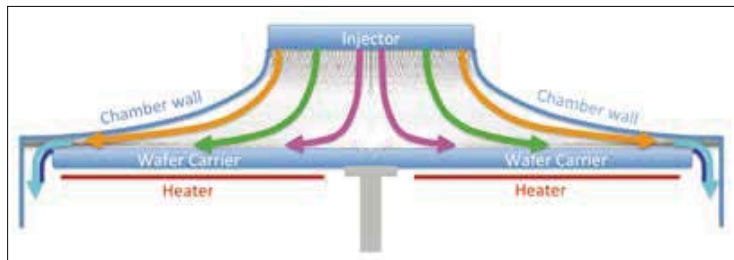


图1: 反应室的顶盖是一个喇叭口形状的设计, 用来改变气流的方向。

泛采用”的反应器设计有着明显的区别。目前市场上这两种传统设备的反应器采用的是一种径向水平或垂直型的气流设计。如果采用的是前一种径向水平气流型设计, 晶圆是放置在一个旋转的晶圆载体台盘上, 来解决反应气体的径向损耗问题。而后一种垂直气流型设计, 它具有一个与晶圆载体台盘直径相当的圆形气体喷射器, 当喷射的气体超越晶圆载体台盘上方的气流边界时, 大部分气体都将被浪费并被排出反应室。

我们的第二个发现是, 到达晶圆载体台盘中心的气体必须沿着载体台盘上表面向外流动直至排出——因为气流是不可能穿越过载体台盘的! 所以靠近晶圆载体台盘边缘的晶圆就会被这部分气体所屏蔽, 使得由气体喷射器外围区域垂直向下输送的新鲜反应气体将无法到达这些晶圆的表面, 由此在整个喷射器外围区域所输送的反应气体利用率将会受到限制。

我们的第三个发现是, 如果反应气体是通过一个直径相对较小的管道输入, 再经一个大直径圆盘状喷射器将气体喷出, 就很难做到气流分布的绝对均匀。

在气体离开喷射器喷口后, 十分重要的是要获得一个具有高度均匀流速的气流阵面。如果在喷射器各个喷口中的气流流速有变化——就像管道气流在“穿通”喷射器某些局部区域时所经常发生的那样——将形成气流涡流, 将会影响到反应器气体层流速度的均匀性。这将限制在整个晶圆载体台盘范围上控制厚度均匀性的能力, 并会导致反应副产物沉积在气体喷射器表面, 还会使这种反应副产物进入到所生长的薄层中。

我们意识到上述这些挑战都是可以解决的, 只要采用一个小直径气体喷射器与一个喇叭状弯曲反应器顶盖的组合, 即可解决传统圆筒形反应室的容积空间效率低下问题。这种设计利用了气体的一个自然特性, 即气体先是朝着晶圆载体台盘向下流动, 随后向着台盘外缘流出并扩张。我们的方法是要开发一种具有高度对称、层流型气流分布的反应器, 使得由一个较小直径喷射器所注入的反应气体能够直接到达晶圆载体台盘的边缘区域。弯曲形状的顶盖促使这些反应气体流能更加靠近晶圆载体台盘, 以便这些反应气体在排出“消失”之前能尽可能多地参与到与晶圆表面的沉积反应中。

我们工作的结果是设计了一个具有独特的喇叭口形状顶盖的反应器。气体由管道垂直引入反应室, 然后沿着弯曲的顶盖流向下旋转着的晶圆载体台盘, 当气流接近晶圆载体台盘时, 气流就逐渐转变成更具水平方向的流动。当气体进入反应室以后, 弯曲的顶盖能促使气体更加靠近晶圆载体台盘的表面。流体动力学的模拟结果表明, 当反应室弯曲顶盖不断靠近晶圆载体台盘的上表面时, 气流线将会产生会聚, 加上晶圆载体台盘半径的增加会产生其切向速度的增加, 和一个标准的圆筒型垂直反应器相比, 其气体在径向和切向速度分量上将会产生差异。

这些差异表明, 特定的气体分子将会在反应区域内停留更长的时间, 从而提高了直接参与外延生长气体材料的比例。此外, 具有这种顶盖形状的反应室还能大大减少没与晶圆发生相互作用就直接从喷射器流向排气口气体的比例。

对于任何一个 MOCVD 设备的设计者而言, 一个关键型的决策是如何将 III 族烷基和 V 族氢化物气体引入到反应器中。在我们的 MOCVD 系统中, 这两种气体一直处于相互隔离状态, 直到它们通过一个多区、多入口的喷射器阵列进入到



2013年夏推出的VPE GaN-500 MOCVD系统一次可以加工52片2英寸晶圆。

反应室中后再进行混合，该喷射器阵列的直径要明显小于晶圆载体台盘的直径，这两种气流先是进入分立的、较小的封闭腔室中，由喷口喷出后经横向扩散后再进行混合。

然后混合后的气体通过一个具有恒温装置的微型管道阵列，再进入到反应室的主腔体中。多区喷射器的设计可以按比例调节反应气体的流量，并将其传送至晶圆载体台盘的表面区域，从而补偿了在台盘径向上的气体损耗问题，这种缺点是气体横向流动型反应器的一个固有特征。我们的这种设计方式使得反应气流具有了极好的均匀性，能从多个方向上抵达晶圆载体台盘的外缘区域。

晶圆载体台盘是通过一个三区辐射加热系统来进行加热，可达到 1200℃ 以上的温度。反应室的内壁上增加了一个薄壳衬里层，这二者之间是一个气流间隙区。通过选择合适的热传输流体介质，就可以对反应室内壁和喷射器的温度进行大范围的调节和控制。我们的 MOCVD 反应器的一个吸引人的特点就是几乎没有反应产物会沉积在气体喷射器上，所以就不需要对它进行定期的清洗。因为晶圆载体台盘是放置在距离喷射器阵列足够远的地方，足以防止反应产物在喷射器上的沉积。

反应室顶盖是一个顶部装载的翻盖设计，很容易进行晶圆载体台盘的装卸及其日常维护。或许更为重要的是，这种顶部装载设计还减小了反应室的内部容积，并保持了反应室的对称性。而那些使用门阀进行晶圆载体台盘传送的 MOCVD 系统就没有这种特性。这种特性有助于实现一个全对称的气流的层流分布，以及在进行薄层与薄层间的沉积时可以实现不同反应气体的快速切换。

经过验证的性能

2013 年夏我们推出了最新型号 GaN-500 的 MOCVD 反应器系统，在晶圆载体台盘的三个同心圆环上可以容纳 52 片 2 英寸晶圆，而且不需要大的设计变更就可以很方便地扩展到容纳 59 片晶圆。对它所制作的一种典型 LED 结构进行光致发光分布测量充分揭示了这台设备的高性能，在该 LED 的外延工艺中所采用的气体流速约为 120 标准升 / 分钟——比当前“广泛使用”具有相似容积 MOCVD 反应器的正常气体流速降低了约 40%。该 LED 器件的结构为：一个 4 μm 厚的 GaN 层，加上一个 20 周期具应变释放的超晶格层和一个 8 周期的多量子阱 (MQW) 层，再在



VPE GaN-500具有新颖的气体喷射器/反应室结构，图中可以看到喇叭口状的顶盖内壁和多喷口气体喷射器。

它们的上方覆盖一层标准的 p 型 GaN 帽层。

采用 GaN 生长速率为 5 μm/h 所形成的这种异质结构具有平均值为 460nm 的光发射峰值波长 (见图 2)。整个台盘的上不同晶圆间光发射峰值波长的标准偏差 (1σ) 小于 1.8nm，晶圆光发射平均波长的最大值和最小值之间的差值小于 4nm。单个晶圆内发射波长的均匀性也非常好：其标准偏差小于 1nm，很多晶圆还显示出其标准偏差小于 0.5nm (如图 3 所示，一个具有代表性的位于中间圆环上晶圆光致发光波长的分布图，它的均匀性从标准偏差看只有 0.417nm)。

我们把这种在晶圆发光波长上的高度均匀性归因于：在晶圆载体台盘整体范围内具有很好的温度和反应气体组分的均匀性；由于晶圆与载体台盘间有着良好的热接触，在多量子阱生长温度控制上实现了充分的应变补偿；我们所具有的丰富工作经验，保证了处于载体台盘上晶圆的表面不会产生颗粒缺陷。我们对 LED 外延晶圆的

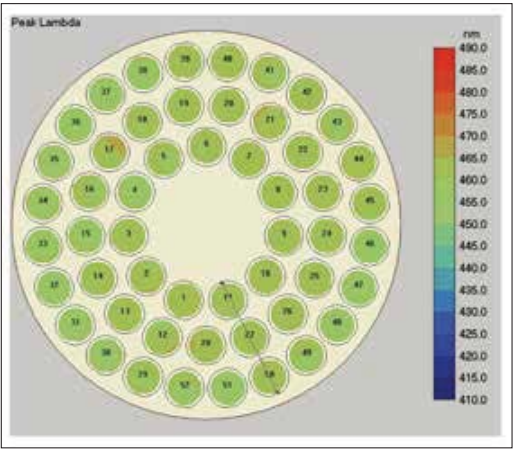


图2: 采用VPE GaN-500 MOCVD系统可以实现各晶圆间在光致发光性能上的高度均匀性。

封面故事 | Cover Story - MOCVD

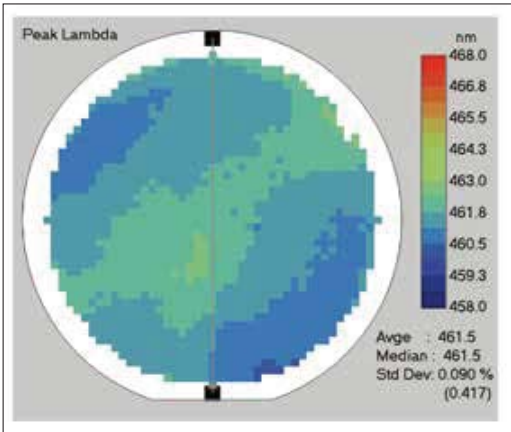


图3: 整个晶圆上的均匀性, 其发射波长的标准偏差值小于0.5nm, 该晶圆是图2中的14号样品。

表征并没有仅仅局限于对其光致发光的研究, 我们还研究了其他关键薄层, 比如 n 型 GaN、p 型 AlGaIn 和 p 型 GaN 等材料层的厚度均匀性、结晶质量及其电性能等参数, 所生长的这些材料薄层均具有很高的质量, 从而验证了这种 MOCVD 反应器设计能够达到很高的性能标准。

反应器设计中材质的影响

虽然具有优异的发射波长均匀性是 MOCVD 反应器所制作产品的基本属性, 但是能获得良好的均匀性并不一定能保证可以制作出一个发光更为明亮的 LED。这儿还存在很多会影响 LED 器件量子效率的因素, 如外延材料的基本质量、位错密度和背底杂质水平等都是明显的例子。MQW 的界面质量也是一个重要因素, 在一个典型 MQW LED 的 InGaIn 中, 其有源层必须要在精确的温度下进行生长, 而 GaIn 阻挡层可在比该温度高出 100℃ 以上的温度下生长。如果要获得原子级别的陡峭界面, 并且要将薄层与薄层之间的内扩散或沾污程度降到最低的话, 就需要反应气体能进行快速且突变的切换, 在快速升温并达到生长温度后能具有磐石般的稳定性。我们反应器所采用的新颖设计在此领域胜过了他人, 与采用圆盘状气体喷射器的传统圆筒型反应室相比, 我们这种小直径气体喷射器以及喇叭状的圆顶盖设计明显减少了反应室的气体容积, 使得残留的反应气体能够很快地被排出系统。

由于采用了一个超大功率的加热器和一个很轻薄的晶圆载体台盘, 使得其热学响应非常之迅速。在围绕晶圆载体台盘周围的气流引导装置中设置了多个热反射器, 可以最大限度地提高加热

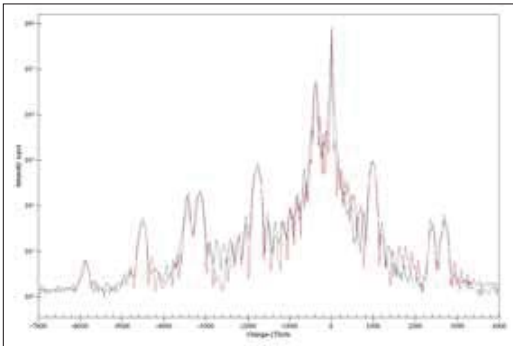


图4: 每个量子阱 (QW) 含有20个周期的应变释放超晶格层, 总共具有8个这种量子阱的多量子阱 (MQW) 结构的三轴X-射线衍射数据及其模拟结果, 可以看到狭窄以及形状对称的超晶格尖锐峰, 它与模拟的数据结果符合得很好。

器的加热效率, 同时这个热反射器还屏蔽了加热器部件, 免得其直接暴露在排出的废气中。最终所形成的反应器系统能够进行非常快速的气体切换, 非常快速的热升温, 以及很快就可以达到温度的高度稳定, 使得它所生长的量子阱结构具有十分陡峭和清晰的界面, 钢惨杂的浓度也十分之均匀。通过高质量的三轴 X- 射线衍射测量数据可以详细地观察到上述这两种良好的效果 (见图 4)。

高阶卫星峰的强度和宽度会受到量子阱 (QW) 结构界面“陡峭度”的影响。快速的热循环和热稳定有益于提高 MOCVD 系统的生产量。对于由 8 周期量子阱 (QW) 构成的 MQW 来说, 其整个生长时间可以减少 40 分钟。

但是最大的益处还是对光致发光或电致发光强度的影响。在对 MQW 生长的温度控制和生长循环时间进行优化之后, 我们可以看到在其他工艺条件和生长结构都不变的情况下, 这种 MQW 的发光强度能增加 20% (见图 5)。

这种在 LED 发射强度上的增加, 以及具有更快的生长速率来提高产量, 并能减少 40% 的反应气体和烷基的消耗总量, 说明了我们的 MOCVD 反应器可能是最为理想的 LED 制造设备。总之, 我们相信 LED 芯片制造商可以用这个设备来制造出更为廉价以及更为明亮的 LED 器件。🔍

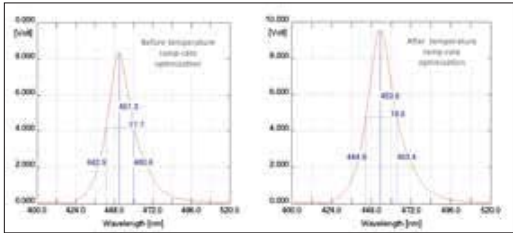


图5: 左右两部分谱线显示了在量子阱生长过程中对升温及其稳定性进行改进前后的光致发光强度, 这些改进有助于获得更好的量子阱界面质量。



通过高温下氨分子束外延生长来降低氮化物薄膜的缺陷密度

一般而言，与分子束外延（MBE）相比，金属有机物化学气相沉积（MOCVD）所生长的氮化物薄膜具有更低的缺陷。来自 SemiTEq 的 A. Alexeev 和 S. Petrov 却认为，在高温下进行氨的 MBE 可以生长出具有优越电气性能的氮化物外延层，从而使 MBE 和 MOCVD 两者在所生长材料薄层的质量上并没有什么明显的差异。

大多数氮化物层的生长与基于砷化物和磷化物层的生长有着根本性的区别，由于后者能够在原生基材上进行生长而具有极低的缺陷密度，但氮化物层往往只能生长在蓝宝石、硅和 SiC 的衬底上，这是由于 GaN 衬底的制备十分困难、价格昂贵且来源有限，相对而言其品质也不高。

在晶格不匹配的衬底上生长外延膜层的最大问题是会产生很高的位错密度。以最为广泛应用的沉积技术——MOCVD 为例，它生长的 GaN 层典型位错密度约为 10^8 - 10^9 cm⁻²，但如果将其与外延附晶生长技术相结合，GaN 层的位错密度可以降低到 10^7 cm⁻²。相比较而言，由于传统的 MBE 是一种低温生长技术，导致沉积原子的表面迁移率并不高，最终产生较差的材料层质量，MBE 生长的氮化物层缺陷密度一般可达 10^9 - 10^{10} cm⁻²。

虽然 MBE 生长的材料层具有较高的位错密度，但是与 MOCVD 相比它依然具有如下优点，其中有些则是相对于所有类型的材料系统而言的：反射高能电子衍射能够对其进行实时的生长过程监测，从而可辨认它由三维生长模式转化为二维生长模式这一过程，并且能够观察到表面重构；可以生长更为陡峭分布的异质结；是一种进行材料系统和器件研发的安全且简单的方法。

此外，MBE 对于氮化物生长也独具优势。与最为常见的 MBE 相比，等离子辅助（PA）MBE 的生长相对更为简单，并且在其生长膜层的表面不存在氢原子。更为重要的是 PAMBE 在低温下沉积有着很大的益处，因为钢的二元和三元氮化物在低温下更容易进行生长，所以这种技术能更好地生长高钢含量的 InN、InGaN 和 InAlN 膜层。此外，低温还有助于对生长膜层进行有效的 P 型掺杂。

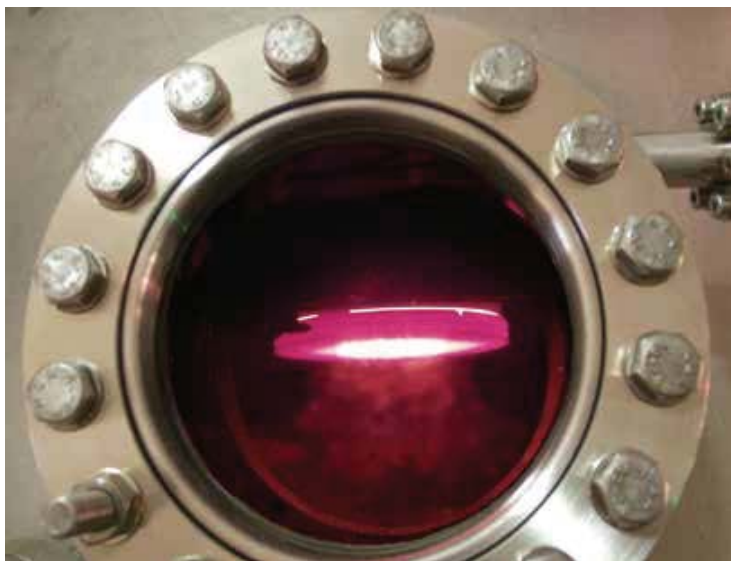
如果选择等离子辅助 MBE（PAMBE）来进行外延生长，不仅能够从过去十年来 MBE 技术发展经验中受益，还能从等离子源技术的发展经验中获益。通过优化沉积过程初始阶段的生长条件，就能够提高生长材料膜层的质量。

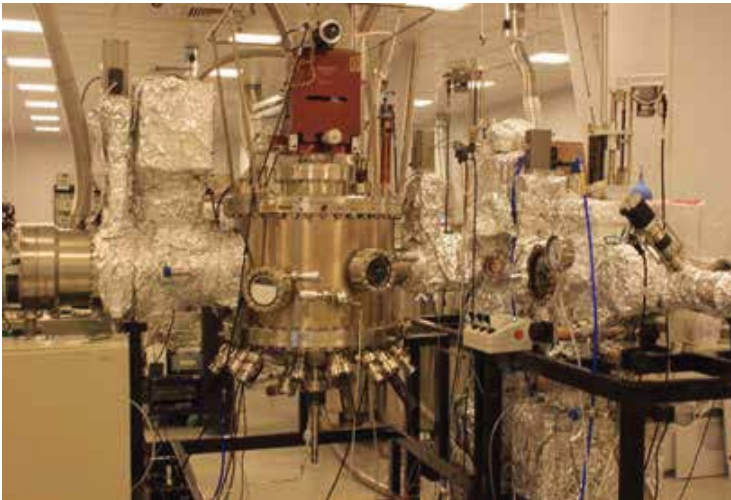
包括迁移增强外延方法等的应用实例，已经给好几个研发团队带来了效益，包括美国加州大学 Santa Barbara 分校的 Jim Speck 团队、Ioffe 物理技术研究所的 V. Jmerik 团队等。然而，PAMBE 的生长温度依然还是一个限制性的工艺因素。

由于在膜层的初始生长阶段其表面吸附原子的迁移率较小以及成核聚结较差，使得膜层具有较高的位错密度。我们需要提高生长温度来降低这种缺陷密度，而同时又要能保留 MBE 相对于 MOCVD 的固有优势。

在俄罗斯半导体技术和设备联合股份公司

SemiTEq通过高温MBE方法降低氮化物外延层的缺陷密度





SemiTEq应用实验室中的STE3N MBE系统

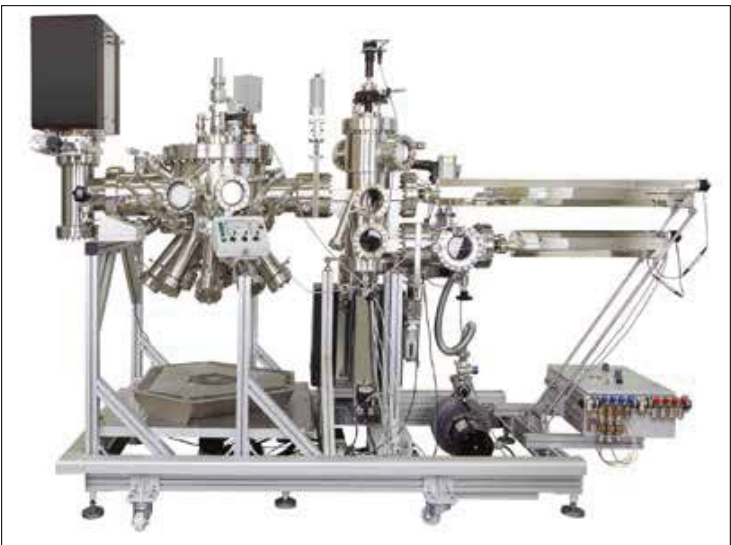
(RJSSTE)的一个下属机构 SemiTEq 中，已经为实现这一目标努力工作了十多年。我们现在已经可以提供 MBE 设备，它能够在很高的温度下来进行 GaN 和 AlN 外延膜的生长。

SemiTEq 的 MBE 设备系列在俄罗斯的本土市场销售得很好，使得工程师能够制备出具有优异电学性能并具有良好的膜层晶体质量的外延层结构。

氨 MBE

我们的设备不同于最为常见的用来生长氮化物的 MBE——即 PAMBE，而是采用了而一种新的替代方法——氨 MBE。我们不是这种 MBE 沉积技术的唯一开拓者，但是在这一技术领域中我们采用了比往常要高很多的生长温度和较大的 III-V 族膜层沉积速率。

这一方法的典型生长温度要比 PAMBE 高出 100-200℃，III-V 族化合物膜层的沉积速率也要略



SemiTEq发布了先进的紧凑型MBE系统—STE75

大一些。在这种工艺条件下，生长速率将大于 1 μm/hr。在这一领域中研究人员并不企图获得能像 MOCVD 设备那样快的生长速率，因为后者的生长温度常在 1000℃ 以上。

在较低温度下进行生长的主要缺点是膜层的缺陷密度比较高——往往要比 MOCVD 生长高出一个数量级。

相比而言，我们的设备可以非常接近 MOCVD 的生长温度。当我们从 90 年代末开始开发 MBE 反应器来进行氮化物沉积开始，这就是我们的首要奋斗目标。从那之后，我们已经在大功率 InAlGaAs 激光二极管外延晶圆的生长中积累了大量的经验，我们非常清楚，更高的生长温度将意味着能制作出更好的器件。

我们在开始研发 GaN MBE 生长设备时已经意识到了这一“市场中的空白”。在这一阶段，还没有一种商用 MBE 系统能够达到我们所认为的最佳氮化物膜层生长条件。这就让我们产生了一个能产生相当大效益回报的想法，即努力试图提供在这种极端工艺（温度）条件下能够可靠运行的 MBE 系统。

最初，我们的工作集中在提高 GaN 层的生长温度上，当然，这将会受到晶圆表面热分解温度的限制。由于氮元素要比镓元素更容易挥发，GaN 的热分解效应将受到生长膜层表面氨气流量的控制。

为了获得极高的氨气流量，我们开发了一种特殊的 MBE 设备系统，增加了液氨低温冷却板的面积。将基于这些低温冷却板的泵送系统与一个高速涡轮分子泵结合使用，即使是在非常高的氨气流量下，依然可以保持 MBE 的生长反应室处于一个极高的真空度。

由于这些方面的改进，在 400 sccm 氨气流量下，我们这种 MBE 原型设备能将生长温度提高到 970℃，同时又不会产生 GaN 的热分解。这一温度值要显著高于已经报道的氨 MBE 最高温度（约 900℃），与此同时，其生长室内的真空度还可保持在氨 MBE 的典型值 5×10^{-3} Pa 以下。有了这些新的生长工艺条件，工程师就能够提高 GaN 膜层的结构质量。然而，其位错密度仍然要高于由 MOCVD 生长的膜层。

降低位错密度

为了显著降低用氨 MBE 生长 GaN 膜层的位错

密度，我们进行了一系列实验，发现其关键是要在极高的温度（高于 1000-1100℃）下来生长 AlN 缓冲层。这种类型的缓冲层材料是通过增加晶核的聚结来改善膜层材料的质量，使得氮化物膜层的沉积很快就能由三维模式转换到二维生长模式。

我们设备的膜层生长试验表明，采用氨 MBE 而不是等离子辅助 MBE，能在一个高的衬底温度下，以超常的 V/III 族化合物生长速率（富氮模式）来生长 AlN 和高 Al 含量的 AlGaIn 膜层。相比而言，高温生长对于 PAMBE 而言是非常难以实现的，因为富铝模式对于实现 AlN 缓冲层的二维生长将是必需的，在衬底温度超过 900℃ 时铝的脱附现象就十分明显。

为了能在极高衬底温度下实现 AlN 缓冲层的生长，我们必须制造一个专门的 MBE 系统。在这一系统中，实现最佳化 AlN 生长时所使用的氨气流量要低于 GaN 生长时的用量。即使在极高衬底温度下，由于采用了大面积的低温冷却板使得 MBE 反应室依然能保持其典型的高真空度。

在这一高真空度下，结合采用一个铝渗流单元组件 (effusion cell)，就可以消除一种我们并不希望产生、且难以应对的可能寄生反应，因为在 MOCVD 反应室中通常会发生三甲基铝和氨之间的寄生反应。

我们 MBE 设备的另一个特点是，可以采用氨 MBE 或者 PAMBE 来生长器件的有源层，从而开启了生长高品质微电子或光电子器件结构的大门。这种器件结构层的生长能够一次完成，可用于制作紫外发射、探测器件和微波晶体管等，这些器件都需要高品质 AlN 层和高铝含量的 AlGaIn 层。

反应器结构

我们在 2003 年发布的 STE3N* 系列 MBE 反应器具有极高的衬底温度（高达 1200℃）、高的 N/III 族化合物的沉积速率和超过 1000 sccm 的氨气流量。加热台盘能够非常可靠地长期运行，能进行大厚度 AlN/ AlGaIn 缓冲层和有源层结构的沉积，并具有极低的膜层位错密度。

STE3N* 可以是两个或着是三个反应室结构（型号分别是 STE3N2 和 STE3N3），后者还配置有缓冲制备室。

该 STE3N* 系统可以组合配备氨气喷射器和氮等离子体源，它们与氨 MBE 相结合可以用来生长 InGaIn、InAlN 和镁掺杂 AlGaIn 有源层。这

两种型号系统都具有专门设计的铟、镓和铝渗流单元组件 (effusion cell)。在工作时，氨 MBE 设备具有很长的使用寿命和高达 2 μm/hr 的生长速率。

我们 STE3N* 生长设备的特点还包括有衬底晶圆装载器和生长控制加热台的专利设计，无论是对不同材料种类的衬底还是大至 100mm 直径的晶圆，都能够实现均匀的高温加热，使得该设备能满足研发实验室和试验生产线工程师们的需求。

我们最新的氮化物 MBE 生长设备型号是 STE75，它同样能够进行 AlN 缓冲层的高温生长，但它具有更为紧凑的低温冷却板，当然每次生长的样品数量也相对有限。

高质量膜层生长

我们已经利用氨 MBE 设备来开发一个复杂的、非常独特的 AlN/AlGaIn 缓冲层，它是在不同类型的晶格失配衬底上生长具有极低缺陷密度外延膜层的关键所在。例如，对于 c 晶面蓝宝石衬底，我们可以在 1100-1150 ℃ 的衬底温度下，先生长一个 200-400 nm 厚度的 AlN 缓冲层，随后在 900-920℃ 再淀积 AlGaIn/AlN 超晶格层和 Al_xGa_{1-x}N (x=0.1-0.3) 的过渡层。

根据扫描透射电子显微镜 (TEM) 照片，上述样品中 AlN 缓冲层的缺陷密度为 2-4 x 10¹⁰ cm⁻²，在超晶格层上生长 AlGaIn 层的缺陷密度为 4-6 x 10⁹ cm⁻²（参见图 1）。与此同时，位于最顶部的 GaIn 有源层缺陷密度为 9-10 x 10⁸cm⁻²，这一数值已经可以与在蓝宝石衬底上 MOCVD 生长的 GaIn 层缺陷密度相当，同时远低于常规 MBE 生长 GaIn 膜层的数值。

在膜层材料质量上的改进大幅度地提高了电子迁移率，在 1.5μm 厚轻掺杂的顶部 GaIn（3-5

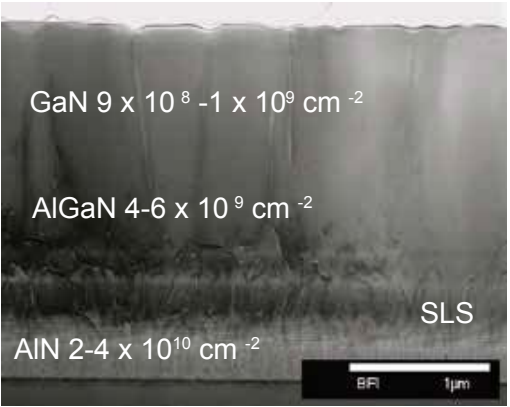


图 1: AlN/SLS/AlGaIn/GaN 异质结构的扫描隧道电子显微镜照片，揭示了 MBE 生长氮化物薄膜的缺陷密度与 MOCVD 生长膜层样品基本相当。



技术 | Technology – 外延

x 10^{16} cm^{-3} 硅掺杂) 层中电子迁移率的最高值达到了 $600\text{-}650 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 这一数值已经可以与 MOCVD 生长高质量 GaN 膜层的迁移率数据相当, 并且与迁移率和位错密度之间关系的计算值有着良好的吻合。

GaN 层可以用一组分可变的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 缓冲层来作为其顶封层。通过从 0.25 到 0.4 改变 x 的数值, 电子面密度可以在 $1.0\text{-}1.8 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 范围内变化, 而其迁移率可以在 1300 到 $1700 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 之间进行调节。这使得由二维电子气形成的沟道薄层电阻能够在 $230\text{-}400 \text{ Ohm/sq}$ 范围内进行调整。要获得更高的电子面密度可以通过用晶格匹配的 InAlN 来替代 AlGaIn, 此方法可产生 $2.3\text{-}2.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 的电子面密度, 以及 $1200\text{-}1300 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 的迁移率。

在历史上, 只有 PAMBE 可以用于生长晶格匹配的高品质 InAlN 层, 其镉含量为 18%。

氨 MBE 的低温限制由氨的分解效率决定, 在 500°C 以下温度这种分解效应可以忽略不计。

如果将温度提升达到 500°C 以上, 此时采用典型氨气流量时将会使膜层中镉的含量降低, 从而导致所生长 InAlN 与 GaN 在晶格结构上不能达到完全的匹配。

然而, Speck 团队最近已经证明, 如果能将氨气流量增大到 1000 sccm , 就可能生长出可与 GaN 晶格相匹配的 InAlN 膜层。受到这一成果的激励, 我们试图采用 PAMBE 和氨 MBE 两种方

法来生长这种膜层结构, 二者均得到了良好的结果。值得一提的是, 由于特殊的低温冷却板和泵送系统的设计, 当氨气流量达到 1000 sccm 时, 反应室的真空度几乎能保持不变! 我们设备的这一特性对于许多器件结构的制作者来说将具有很强的吸引力。

一些俄罗斯研究机构和企业都已经采用我们的 MBE 设备来生长用于双异质场效应晶体管 (DHFEET) 的外延晶圆片, 用于试研制作先进的高功率微波晶体管。对这些器件的测试结果表明它们具有高质量的有源层, 不存在电流崩塌效应。这是由于这种晶体管采用了双异质的设计, 其结构明显不同于传统的 GaN/ AlGaIn FET。

此外非常令人鼓舞的是, 由我们 STE3N* MBE 系统生长的晶圆所制造的高功率晶体管在长期老化试验中显示出了非常稳定的性能,

我们的努力使我们在一段相对较短的时间内, 从一个很小的研发公司逐步成长为俄罗斯唯一的 MBE 设备制造商, 并在与世界领先的大公司竞争中获得了成功。在这一成功背后最重要的因素是我们与合作伙伴以及客户间持续的努力工作。我们不仅向客户提供普通的技术培训, 还能提供包括面向客户的工艺开发和实施在内的强化工艺培训。我们与客户建立了紧密的关系, 并对他们的工作给予持续的关注, 以此来进一步提高我们 MBE 设备的性能。CS

上接第12页

该合作组织专有的极化超结工艺制作的, Powerdec 声称此项工艺可抑制电流崩溃。

随后, 在 2013 年 11 月, 日本的 ICT 巨头富士通公司与从美国加州大学圣芭芭拉分校 (UCSB) 抽资剥离的子公司 Transphorm 签署了一项将各自的 GaN 功率器件业务加以整合的协议。这一举动将通过利用富士通的制造工艺来增强 Transphorm 的尖端 GaN 技术的市场竞争力。简而言之, 业界不久应该就会看到大批量生产的高性能且便宜的 GaN 器件。

Diel 说: “由于在 UCSB 与 Cree 公司开展了长期的研究工作, 因此 Transphorm 的技术是非常先进的……但是进入制造领域则会面临许多复杂的问题。Transphorm 认识到了这一点,

而拥有雄厚制造实力的富士通公司的加入恰好可以提供有针对性的补充。”

可以预计, 同样的合作今后将越来越多。据 Diel 预测, EPC (目前在公开市场上唯一一家实际提供硅基 GaN HEMT 的供应商) 将与一家系统制造商展开合作, 我们很快就会看到这一幕。

他说: “如今, 越来越多的供应商逐渐意识到: 他们所应对的挑战并不像学术会议上提交的研发报告所描述的那么简单。我推测, 在我们未来的发展进程中, 类似于“富士通 - Transphorm”这样的签约合作将会频繁地反复上演, 而不这么做的供应商将会掉队。” CS



GaN 器件在大功率电子领域中的应用



宽禁带半导体材料 GaN 和 SiC 在全球范围内获得了广泛关注。根据 Strategy Analytics 的预测，SiC 器件将成为硅功率器件的主要替代技术，而 GaN 器件在击穿电压小于 600V、功率小于 5kW 的应用中将显现出其商业上的吸引力。

Eric Higham, Director - GaAs Strategic Technologies Practice

许多研究已经表明，一个国家的能源消耗量与其国内生产总值（GDP）有着直接的关联性，这种说法看起来很有道理，因为不断增长的经济会带来生产和消费水平的不断提高，这两者都会增加对能源的消耗。

全球各国的政策制定者已经意识到，对碳能源的过度依赖可能会导致经济增长的减速，因为这种碳能源正日益稀少和日趋昂贵。图 1 显示了能源消耗和 GDP 增长趋势上的密切关系。

随着各地区和全球经济的增长，经济也越来越趋向“数字化”，意味着个人、企业和政府在他们的日常活动中将会越来越依赖电子化的数据和设备。

为了确保这些电子设备和数据网络在功能上的可靠性，已有电力供电网络的地区需要进行升级或扩展，没有供电网络的地区则需要新建。为了确保经济的增长并减少对电能的消耗，一个强大、高效的传输电网则是必须的。

上述这些需求为功率电子产业的增长注入了动力。需要在面临化石燃料资源供应紧缩的情况下保持经济的持续增长，并要尽可能减少这种化石燃料所产生污染物的排放量，各个国家正转向采用替代性能源。为了寻找替代性的发电能源，并尽量减少化石燃料的消耗量，人们正在致力于提高供电网络及电力设备中功率器件的效率。

发展机遇

功率电子或者电源管理市场参与者目前所致力的工作，是提供能向最终消费实现高效率电能输送的各种电子器件，其典型应用包括有用于消费类电子设备（个人电脑，手机和电源等）中的

DC-DC、AC-DC 功率转换器等。

企业数据和云存储消费市场的增加长推动了对高性能服务器及其集群设备的需求，例如在电网连接中将 DC 功率转换为 AC 功率的转换器件，用于电动和混合动力汽车（HEV）中电动机的驱动器件，以及其他许多类似应用中的功率器件都要求具有极高的电功率处理能力。

任何的电源管理技术在进行电能转换时都会产生能量损耗，然而，随着人们越来越重视能源的效率和可再生能源，对于能优化电能转换效率（哪怕是只有百分之几）的电力设备产生了强烈的需求。分布式电网的微量发电系统作为目前的一种发展趋势，具有小规模发电的特点，将需要大量的逆变器件模块系统来将这些微量电力以尽可能高的效率输入到总电网中。

除了能在将来不再那么依赖于化石燃料，输电网还提供了一个重大的产业机遇。单以美国电网为例，据估计它包括有超过 20 万英里的高压输电线路和 550 万英里的地区送配电线路，来将以数千计发电厂所产生的电力输送到各个工厂、家庭和公司¹。

根据不同的估测，认为 2012 年全球功率电

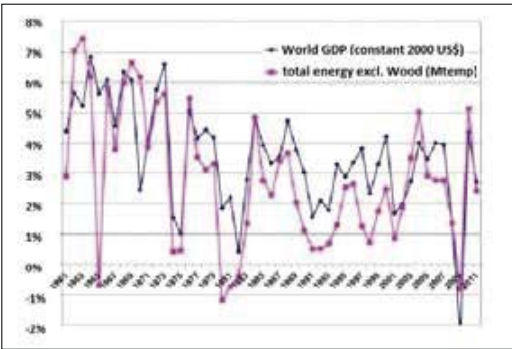


图1：全球GDP增长与能源消耗增长的比较。来源：Shift Project

子半导体器件（包括分立器件、集成电路和模块）市场规模约在 150 亿和 200 亿美元之间。鉴于未来电能的生产方式会更加多样化，企业对能源消耗量的进一步关注及消费类电子设备应用的迅速增长，这种功率半导体器件市场的规模预期将还会有迅速的增长。

功率电子器件技术

在 1940s 和 1950s 年代，功率管理器件市场主要是以真空管为主，目前已经被硅基 MOSFET 和 IGBT 器件技术所取代，现在仍有很多旨在提高这些器件性能的开发活动正在开展中。

人们越来越担忧这些传统的半导体器件技术将不足以支持电力电网所预期的演变趋势。在一些应用中对阻断电压、开关频率和效率等方面的需求已经超越了硅基半导体功率器件的基本能力。

以此为背景，人们对宽禁带半导体材料——主要是 GaN 和 SiC——产生了越来越浓厚的兴趣。人们寄希望于这种材料的使用将会提高电网的效率及其可靠性。这种宽禁带半导体材料制成的器件将具有如下电力功率特性：具有更高的开关频率、更高的阻断电压、更低的开关损耗、更

好的导热性和更高的工作温度等。

目前，SiC 器件在这些高功率电子应用中要走得更远一些。Strategy Analytics 预计在短期内 SiC 功率器件将成为硅功率器件的主要替代技术，而 GaN 功率器件则主要将在 <600V 击穿电压、<5kW 功率要求的领域开拓其初期的商业化应用。

相对于硅，宽禁带半导体材料在功率电子器件领域应用中的优点：

低的导通电阻：对电能传输具有更低的传导损失和更高的整体输送效率。

更高的击穿电压：硅肖特基二极管的击穿电压只有 300V，而第一个商用 SiC 肖特基二极管的额定击穿电压就已经达到了 600V。

与硅相比具有更高的热导率：这将降低半导体 PN 结到封装外壳间的热阻，可实现更为有效的热量传递和散发。

更高的工作温度：SiC 器件可以在高达 600℃ 的温度下正常工作，而硅器件最高工作结温只有 150℃。

随着时间和温度的变化 SiC 器件的正向和反向特性只有略微的变动。

更低的反向恢复电流：可以减少开关损耗及其电磁干扰（EMI）效应。

工作频率 >20 千赫：几十千瓦功率的硅器件是不可能达到这一工作频率的。

更高的输入 / 输出电压比率，可以实现 48V 到 1V 范围的 DC-DC 单级转换，与此相比，硅功率 MOSFET 逆变器通常需要 2 级以上的转换才能完成。

最初，GaN 基器件看起来能满足高电压和高功率应用中的要求，加上其转换效率要高于硅器件，似乎拥有很高的商业价值。然而，SiC 器件

图2：功率器件导通电阻与击穿电压的关系

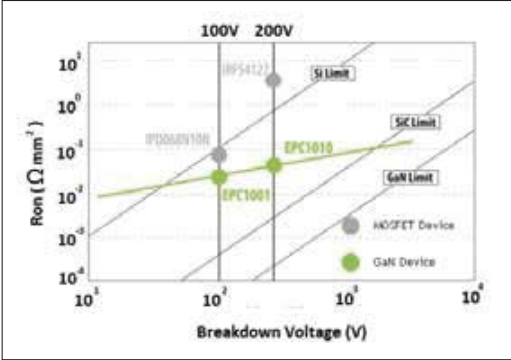


图3：GaN与硅MOSFET的“RQ”值比较。来源：EPC公司

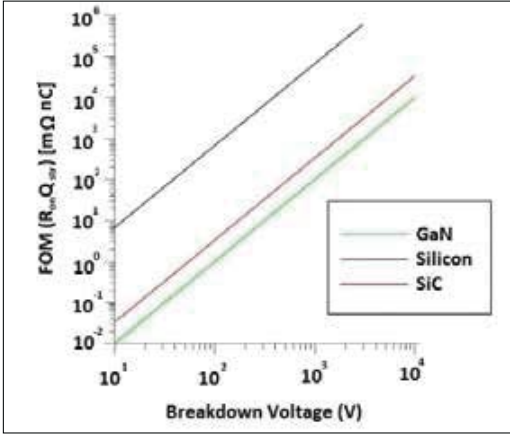
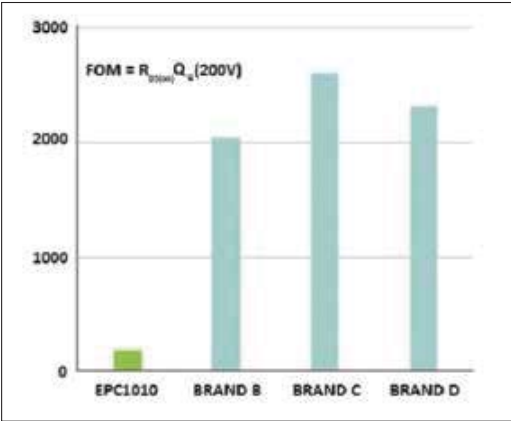


图4：三种功率器件的理论“RQ”值性能。来源：EPC公司

却在混合动力汽车的发展中已经部分证明了这种宽禁带材料在高功率电子应用中的优点，而 GaN 基功率器件则更有可能的是渗透进入到那些难以承受 SiC 器件高成本的较低工作电压的应用中。

在电源管理领域，电源逆变器为 GaN 材料提供最大应用潜力，这些应用通常需要快速、高效的开关器件，其中 GaN 晶体管所固有的高电子迁移率将能带来很大的优势。人们广泛认为硅器件已经处于或接近于其材料的性能极限，而 GaN 器件特别是在其结构和效率上还具有进一步提升的潜能。

电源管理应用中的关键是要将导通电阻 (Ron) 和开关速度这两个性能参数进行综合考虑。当前已有很多旨在提高 GaN FET 性能的开发工作，图 2 所显示的是 EPC 公司两种 GaN 器件的导通电阻性能，曲线显示这两种 GaN 器件与所列出的硅 MOSFET 器件相比，在给定击穿电压下具有更低的导通电阻数值。图 2 的曲线还说明，理论上 GaN 器件的最佳性能还将会优于 SiC 器件。

此外，GaN 器件的优势不仅仅只限于低导通电阻上，GaN FET 在开关工作时其栅极充放电所需的电荷量比硅器件要少很多。导通电阻与栅极电荷 (量) 的乘积 (RQ) 是衡量功率晶体管品质一个很有用的参数。RQ 数值较小表明器件具有较低的导通电阻和较快的开关速度。如图 3 所示，EPC 公司声称他们的 GaN 器件的 RQ 数值要比硅功率器件小十倍以上。

EPC 公司是 GaN 器件应用于功率管理领域的主要倡导者之一，他们为这种器件技术的应用给出了一个令人不得不信服的理由。在图 4 中，他们说明了 GaN 技术与现存硅 MOSFET 和 SiC 技术在理论性能上的比较结果。

在实际应用中如果器件具有较低的 RQ 值，在通常情况下这将意味着电路设计人员不必在选择高的开关速度时要以牺牲低的导通电阻性

能作为代价。这种低 RQ 值性能还有另一个好处，即是采用 GaN 的 DC-DC 转换器能够运行在更高的带宽中。

硅功率 MOSFET 对于宽度小于 100ns (对应 250 KHz 带宽) 的脉冲进行处理时将会产生困难，而 GaN FET 可以对窄至 4ns 的脉冲实现开启或关闭。图 5 总结了 EPC 公司 GaN 器件与一些具有代表性的硅功率器件在性能参数上的对比。我们可以看到，GaN 器件的 RQ 乘积值要比最好的硅 MOSFET 器件几乎低一个数量级。

Reasons to sponsor CS International Conference 2015

- ✓ **Reach a global audience** - a great platform for your company and products
- ✓ **Increase your brand awareness** - 8 months of marketing to the global industry
- ✓ **Lead generation** - pre, during and post conference
- ✓ **Benefit from media exposure** - HTML, social media, direct mail
- ✓ **Form global partnerships** - extensive networking opportunities
- ✓ **Highly targeted marketing** - reach over 80,000 compound semiconductor professionals
- ✓ **Reach new contacts** - the only conference to cover the entire compound semiconductor industry



www.cs-international.net

Call now +44 (0)24 7671 8970 or email event@cs-international.net for sponsorship details

CS INTERNATIONAL
CONFERENCE

Connecting the leading compound semiconductor industry insiders

Manufacturer	Part #	V	$R_{\text{DS(on)}}^{\text{max}}$ (on-resistance)	$Q_{\text{G}}^{\text{max}}$ (gate charge)	"RQ"
IR	IRLB 4030	100	4.5	130	585
Fairchild	FDP0 54N10	100	5.5	203	1117
Infineon	IPP0 55N 10LG	100	6.4	163	1043
Vishay	SUD06N 10-225L	100	225	3	608
EPC (GaN)	EPC 1001	100	7	11	77

图5: GaN与硅MOSFET的“RQ”乘积值比较。来源: EPC公司

这意味着在一个点负载转换器 (POL) 中, GaN 器件单级就可以实现 48V 到 1V 的转换, 而同等的硅功率器件一般则需要先用一级转换成 12V, 再用一级转换为 1V。根据 GaN 倡议者 EPC 和 International Rectifier 公司的说法, 在更高的漏源电压下, GaN 的优势将会变得更为明显, 能够实现电源管理器件的一种全新架构。

在过去的几年里, 业界一致努力来进行增强型 GaN FET (常关) 的开发, 尤其是在电源管理上的应用。这些增强型器件的应用之所以吸引人, 是因为他们具有与当前 MOSFET 技术相类似的工作模式, 但是具有更好的特征性能。

许多日本企业, 包括由 Sanken Electric 公司, Fuji、Furukawa Electric、Panasonic 和 NEC 等公司所组成的技术联盟, 均投资进行了增强型的 GaN HEMT 的开发。在 2010 年 3 月, EPC 公司推出了多款增强型硅衬底上 GaN (GaN-on-Si) 功率管理器件, 其品牌名称为 eGaN, 目前 EPC 正在对该器件进行不断的完善与改进。

这些增强型 GaN 器件与其耗尽型 GaN 器件和硅 MOSFET 相比, 需要采用不同的驱动器。如美国的 National Semiconductor 和 Texas Instruments 等公司已经开发了能兼容增强型 GaN 驱动器件的生产线。这些在驱动器件上的努力最终将能提供一整套技术方案, 使得 GaN FET 及

其驱动器件能像 MOSFET 器件一样易于使用, 将能加速增强型 GaN 器件市场的推广进程。

为了发挥 GaN 所具有的在材料及其性能上的全部固有优势, GaN 晶体管技术的开发者将继续应对一系列的挑战。例如, 由于缺乏合适的天然 GaN 衬底将会使 GaN 器件的生产变得更为复杂, 因为难以像 GaAs 和硅晶体管的制造工艺一样, 来生长出晶格匹配、无缺陷的 GaN 外延层。当前已经有使用氢化物气相外延 (HVPE) 方法来产生较厚的 GaN 膜层, 并将该厚膜层作为一种准块体 (quasi-bulk) 的 GaN 衬底材料来使用。

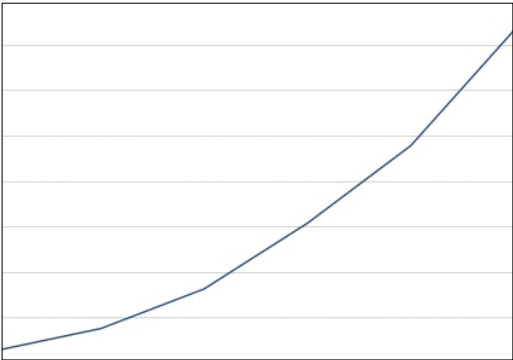
在 GaN 外延层技术上的不足促进了氨热生长技术的发展。在 2012 年 8 月, 作为 GaN 衬底上 GaN (GaN-on-GaN) 固态照明技术的开发者之一, Soraa 先生被能源局高级研究计划 (ARPA-E) 选中, 来领导一个关于块体 (bulk) GaN 衬底材料的开发项目。

天然 GaN 衬底的魅力在于其材料性能预期将能得到改善, 可以显著提高 LED 的能源使用效率。由于可以获得天然的 GaN 衬底材料, LED 市场所具有的巨大容量推动了这种技术的研发, 而且该技术还能惠及其他细分市场。

即使 GaN 衬底的生产工艺达到成熟, 预计其成本也不能与纯硅衬底构成竞争优势。然而, 天然 GaN 衬底的支持者指出, 一个简化了的工艺过程将能够节省成本, 从而使 GaN 产品的成本可获得更好的控制。

由于尚未达到生产性的规模, 单晶 GaN 晶圆的生产商必须采用其他材料的外购衬底, 如蓝宝石、SiC 或硅衬底。迄今为止, 半绝缘的 SiC 一直是制造微电子功率器件的首选材料, 因为它的晶格常数与 GaN 相对比较匹配, 并具有良好的热导性能。然而, 它的外延层质量将取决于双方的晶格的匹配程度以及下方衬底材料的品质。

图6: 高功率电子应用中 GaN 器件销售额的增长趋势



从历史上来看，半绝缘 SiC 的供应商一直在努力制造能与硅或 GaAs 衬底具有同等缺陷密度水平的 SiC 衬底材料。就在最近，随着具有更大面积衬底的诞生以及半绝缘 SiC 材料质量的进一步改善，使得 SiC 生长有可能成为比 GaN 生长更为经济可行的选择，同时这还有助于提高器件的可靠性。然而，SiC 仍然是一个难以进行生产加工和成本昂贵的材料，对价格极为敏感的大规模生产应用时将会遇到在成本上的挑战。

近年以来，高电阻率（HR）的硅材料已经在某些特定领域中成为可行的 SiC 替代材料。尽管它与 GaN 材料的晶格常数并不很匹配以及它的热学性能也较差，但是硅材料还是可以成为某些低成本应用的一种选择。

硅衬底上 GaN（GaN-on-Si）在由研发向大批量制造工艺的转移上展现出了它的发展潜力，因为它能与当前采用大尺寸硅晶圆的 CMOS 商用半导体制造工艺相兼容。有很多制造商在这方面做了大量开发工作，如 ZZURRO Semiconductors 开发出了 150mm 硅衬底上 GaN 外延晶圆，并且提出了开发 300mm 硅衬底上 GaN 外延晶圆的发展路线图。

前景

功率电子器件市场的规模和宽禁带半导体技术所具有的令人信服的优势，极大地刺激了其工艺和产品的开发力度。美国政府已经意识到电网效率及其可靠性的重要性，下属的电力传输和能源可靠性办公室（OE）已经要求在 2014 财政年度提供略超 1.69 亿美元的预算方案，来解决这一领域中目前存在的问题及其未来的发展。

随着 OE 认识到电网的问题及其解决的重要性，将需要帮助该行业来获得显著的进步，由此与 2012 年的开支相比，2014 财年预算的申请额度将会上升近 25%。

2011 年 4 月，OE 发布了自己的“功率电子技术研究和发展规划”，详细地描述了这一专业细分市场的前景、研发活动、面临的挑战、需求以及合作战略等。明确了研发活动将专注于宽禁带半导体材料，重点强调了开发和完善硅衬底上 GaN 技术的工艺和器件。到 2016 年，该项目计划希望硅衬底上 GaN 器件能工作在 5kV 的和 15A 的性能水平，到 2026 年实现 20kV 的和 50A 这一性能目标。

市场估计

日益增加的能源需求和能源替代的发展趋势已经十分明确，这将给功率电子器件市场带来极大的发展机会。

宽禁带半导体技术的优势非常引人注目，但是要取代现存的硅技术并实现一定规模的量产，还必须解决很多具有挑战性的问题。GaN 技术能在这个细分专业市场中获得发展，是因为业界和政府机构都已充分认识到这项技术的重要性，并投入了大量资源来支持这一技术和工艺的发展。

考虑到上述所有这些因素，我们估计 GaN 功率电子器件应用的销售额将会迎来强劲增长，在 2017 年预计将会超过 7300 万美元。虽然这一销售额目前仅仅占有高功率电子市场的一小部分，但 GaN 技术的平均年复合增长率（CAAGR）将会高于 108%，即平均每年约翻一番。GaN 技术在高功率电子领域的应用正处于起步阶段，我们预计未来十年将会保持强劲的增长势头，图 6 显示了我们的这种预计。

总结

能源消耗的增加、数字经济的发展趋势、能源效率的革命以及分布式发电的增加等都将引爆功率电子器件的市场。现在的主流技术是硅 IGBT 和 MOSFET 器件，但是人们正在担忧硅技术及其器件的局限性将会阻碍输电网络需求的增长及其性能的提高。

最令人瞩目的宽禁带半导体材是 SiC 和 GaN 材料，它们在性能优势上具有很大的发展前途，引起人们的极大关注。但这两种材料技术都面临很大的挑战，虽然 SiC 器件虽然已经取得了初期的进步，但我们相信硅衬底上 GaN 产品将有很快的增长，预计在 2017 年可实现 7300 万美元的销售收入。CS

参考文献

- 1. Jennifer Weeks and The Daily Climate, “U.S. Electrical Grid Undergoes Massive Transition to Connect to Renewables,” Scientific American, April 28, 2010

利用离子束沉积在二极管激光器的腔面形成高品质光学涂层

二极管激光器是大功率半导体激光器，由几个发射器以矩阵形式组装而成。通常每个二极管激光器都含有 20 到 50 个数量不等的发射器，每个发射器的宽度在 100 到 200 μm 之间。

戴夫·皮尔森博士 (Dr. Dave Pearson)，离子束高级技术专家；塞巴斯蒂安·甫博士 (Dr. Sebastien Pochon)，离子束高级工艺工程师；梁杰荣博士 (Dr. Larry Leung)，产品经理；牛津仪器等离子技术公司

一个典型的商用设备，能够产生几十瓦特甚至几百瓦特的功率输出。这些大功率二极管阵列适用于泵浦固体激光器，可用于工业、商业、军事、医学和材料加工等方面的应用，比如焊接、切割和表面处理。

半导体激光器运行在一个很窄的波长范围，因此，需要使用适当的光学涂层来增加或降低解理面的反射率。这些反射部分光的腔面，称为解理面，是由开裂形成的，可以在激光腔内产生必要的光反馈，并且对正在运行的激光器的电流阈值有很大的影响。

通常来说，光学涂层分为三类：抗反

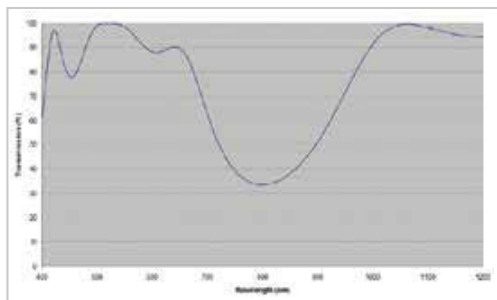
射 (Anti-reflection, AR) 涂层、高反射 (High reflection, HR) 涂层和部分反射 (Partial reflection, PR) 涂层。抗反射涂层能够极大降低解理面的反射率，主要原因是光学涂层厚度刚好匹配为光信号波长的四分之一，当光信号进入和离开时，被涂层的前后两个面反射，发生相消干涉。

抗反射涂层由单材料层或双材料层组成，单材料层无法获得很低的反射率，而双材料层却可以设计出极低的反射率。双材料层通常包含多个重复的氧化物薄层，而且由高折射率和低折射率的一对材料制作而成。

二氧化硅通常被用作低折射率材料，二氧化钛 - 二氧化硅是一种最常用的双材料层组合，因为两者间的折射率差异极大，能产生宽的波长反射带。在对精度、热稳定性和光学损失等要求极高的多层系统中，通常用 Ta_2O_5 替代 TiO_2 。双材料层的厚度均一性非常重要，它决定了涂层的反射带和效率。

除了反射性能，抗反射涂层的损伤阈值 (damage threshold) 同样重要，尤其是短脉冲 (Q-switched lasers) 激光器和大功率激光器，因为他们容易产生高温，可能影响涂层的光学或机械性能。

图1：532nm和1064 nm 双波长抗反射涂层的透射光谱。



激光器支架

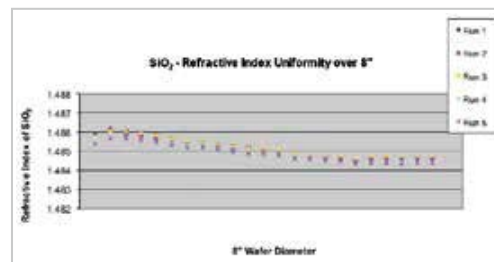
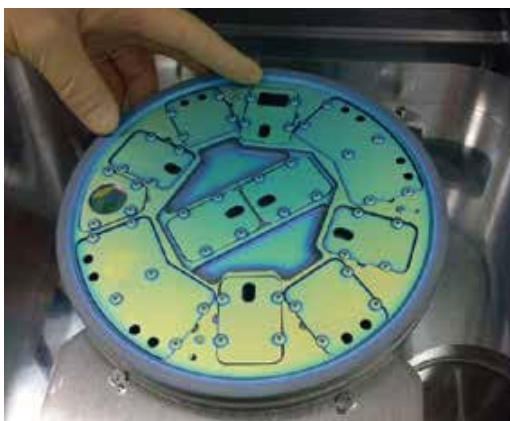


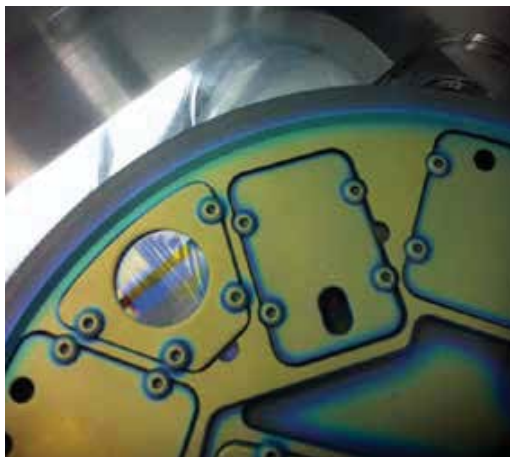
图2：离子束沉积的厚度为150nm的 SiO_2 薄膜的重复性研究。

离子束沉积形成的抗反射涂层拥有很多优势。由于沉积反生在高真空环境，能够产生低散射和低吸收损失的高品质光学涂层。而且，靶材上形成的涂层非常致密，与传统的或离子辅助蒸发形成的涂层相比，它具有更卓越的耐用性和环境稳定性。

离子束沉积的另一个优势是离子能量和离子流可以分别调控，每个参数都可以独立变化，从而控制所形成薄膜的性能（如折射率），以便获得正确的折射率。更为重要的是，辅助气体（如氧气）可以直接引入或者通过沉积和 / 或辅助离子源引入到工艺腔体。这些辅助气体，在沉积工艺中，要么取代喷射期间所消耗的氧气，在化学介质靶材上形成化学介质沉积，要么在金属原子已被氧化的处于反应态的金属靶材上形成化学介质沉积。

图 1 显示的是采用 Ionfab 300Plus 沉积形成的 532nm、1064 nm 双波长抗反射涂层的透射光谱。涂层由 8 个重复的 Ta₂O₅/SiO₂ 薄层组成，532nm 和 1064nm 分别有 99.815% 和 99.390% 的超强透射能力。

双材料涂层中每层所允许的厚度误差是抗反射涂层性能的一个重要方面。原位监控技术，如白光光学监控（White Light Optical Monitor,



激光器涂层

WLOM) 技术已被用于提高离子束沉积工艺的重复性。图 2 显示的是该工艺的可重复性，这是采用 Optofab3000 系统，连续运行 5 次，加工 115nm 厚 SiO₂ 薄膜的结果。离子束沉积工艺的高稳定性，使其成为最理想的工具，用于形成正确的抗反射层厚度，获得最低的解理面反射率

归纳来言，离子束沉积形成的光学涂层具有低散射、低吸收损失等超强的光学性能，非常适合用在激光二极管的解理面。同时，先进的原位监控技术，如 WLOM，可进行精确的厚度控制，生产出高重复性的薄膜，使得离子束沉积技术非常适合用于涂层的优化制造和生产。

中国宽禁带功率半导体产业联盟在济南成立

2013 年 12 月 22 日，中国宽禁带功率半导体产业联盟在济南成立。工业和信息化部电子信息司司长丁文武、山东省经信委主任郭述禹、济南市委常委副市长苏树伟、山东省经信委副主任廉凯、济南市经信委主任李会宝及中国半导体协会、中国电器工业协会、中国电子材料协会等政府部门和行业组织的领导出席成立大会。山东天岳先进材料科技有限公司等十余家业内领军企业代表参加会议。

联盟由工信部电子信息司指导，山东天岳先进材料科技有限公司、中国电子科技集团、株洲南车时代电气股份有限公司和国网智能电网研究院等十余家企业单位发起成立。丁文武司长代表工信部出席成立大会做重要讲话，并

为中国宽禁带功率半导体产业联盟揭牌。本次大会选举产生了联盟首届理事会和产业发展指导委员会，山东天岳先进材料科技有限公司当选首届理事会理事长单位。

宽禁带功率半导体是继硅基半导体之后新一代具有革命性意义的半导体产业，属于国家战略性新兴产业。本联盟通过成员之间的资源共享、人才互补，以及技术、资金和产品的合作，构建我国完整的宽禁带功率半导体产业链，实现我国宽禁带功率半导体产业的跨越式发展。产业链形成以后将对我国产业的转型升级，加强国防安全，发展高端装备制造业，节能减排，发展清洁能源，解决环境污染问题发挥积极而重要的作用。



用实时工艺监测来提高三结太阳能电池的良品率

在制造工艺中进行实时的监测能为多结太阳能电池的研发和生产提供大量有价值的信息。来自 LayTec 公司的 O. Schulz 表示，工艺监测可以实时探测并确定界面的质量、薄层厚度、掺杂浓度、薄层组分以及晶圆弯曲度等工艺参数。

芯片制造商总是在追求工艺的完美性，其中包括力图在整个外延晶圆上都能制作出合乎规格的器件芯片。无论构成器件产品的材料结构如何，对每一加工批次中每片晶圆上的所有芯片都希望能实现 100% 良品率的目标。

为了达到这一目标，器件结构中每一膜层的多个参数都必须具有非常高的一致性，包括膜层厚度、三元组分或者四元组分膜层的化学配比、掺杂浓度以及界面和表面形貌等参数。在过去的十年当中，这些参数的不稳定性已经有了显著的降低，这需要归功于实时检测技术的广泛采用——特别是通过对晶圆表面温度的测量，使得外延晶圆的均匀性提升到了一个新的水平。

位于德国柏林的 LayTec 公司已经成为这种工艺实时监测技术革新过程中的主要参与者，推出了用于外延晶圆生长工艺的实时监测设备。多台这种设备还被用于监测多层氮化物薄膜的沉积，该种叠层薄膜是白光和蓝光 LED 的基础结构。这种 LED 固态光源的销量正在快速地上升，使得人们在一定程度上忽视了传统 III-V 族芯片在生产上的进展。但不管怎样，实时工艺监测在制造和开发此类器件中已经取得了极大的成功，其中包括了如 HEMT 和 HBT 领域的 InP 和 GaAs 基射频电子器件，如激光二极管、VCSEL、光接收器、半导体光放大器和调制器、聚光式太阳能电池 (CPV) 等各种光电子器件。

实验室应用

上文提到的第二类（传统 III-V 族）芯片是在位于俄罗斯圣彼得堡 Ioffe 物理技术研究院的一台配备了 EpiRAS TT 监测系统的反应炉中生长的。应用了 EpiRAS TT 系统来实时监测这种基于 III-V 族和锗材料的多结异质器件的外延生长。在

Ioffe 实验室中，将多个小的 PV 芯片组装进太阳能电池组件中，而该 PV 组件是用菲涅尔透镜来将入射太阳光会聚在光电池上。

制造这种三结太阳能电池面临着一个主要的挑战，即需要在一个 IV 族共价键元素锗衬底上来生长具低缺陷密度的 III-V 族化合物膜层，以形成一种异质结构。采用 EpiRAS TT 系统可轻易地实现这一目标：它能避免在 III-V 族材料和锗的界面上形成的反相 (anti-phase) 边界；它可以通过宽频谱的反射率测量来获得多元合金薄膜的组分比及其生长速率；它还可以利用各向异性的反射率数据得到薄膜的掺杂浓度；并且可以采用经发射率校正的高温测量法来准确地测定外延生长时晶圆表面的温度。

Ioffe 实验室的研究人员利用在 2.1eV 的瞬态反射率数据研究了三结异质结构外延沉积过程中的生长速率问题（图 1a，红色）。从上述数据中还可以提取出更多的有效的信息，如 Fabry-Pérot 振荡的振幅与外延膜层的折射率之间的相关性，而折射率是一个与三元合金组分密切相关的材料参数。利用 EpiRAS 系统软件数据库和适当的拟合算法，甚至可以做到对如隧道结这种极薄膜层的组分进行实时的监测。

与此同时，短波长各向异性反射率可以用来测量膜层的掺杂浓度。在 Ioffe 实验室中，研究人员将 3.8eV 的各向异性反射率数据与离线测量的掺杂浓度数值进行了对应和关联，以建立它们自己的工艺过程控制数据库（见图 1a 中蓝线和图 1b）。利用这些信息，就可以在外延晶圆的生长过程中来估算同质界面上掺杂浓度的变化。

在锗衬底上进行第一层 III-V 族化合物单层的生长过程中，对其各向异性反射信号进行分析，将能为外延层质量提供十分有用的信息。如果各



向异性反射信号比较强，表明界面结构比较粗糙而且可能产生了锗的自掺杂现象（该现象发生在高温工艺过程中，掺杂原子从锗衬底中蒸发并扩散到外延层表面，然后再重新进入到外延层中，使得在外延层表面会出现不希望发生的掺杂浓度变化）。Ioffe 研究人员已经采取了一个改进步骤，即通过优化外延生长的工艺条件来避免这种自掺杂现象的发生。根据各向异性反射信号所提供的信息，Ioffe 团队很快就形成了能实现在锗衬底上生长高质量窗口层和 GaInP 缓冲层的外延生长工艺方案（见图 1c- 红线）。

工厂中应用

实时检测的数据主要能对工艺研发项目起到推动作用，但是在进行大批量生产的工厂中，并没有充分的时间来完成对这种实时数据的深度分析（它需要专门的技术，要花费时间来对操作者进行培训）。在大生产环境中，所需要的是能对生长过程进行更为可靠的分析，并要与实时的统计过程控制（SPC）手段相结合。

我们的 EpiTT 和 EpiCurveTT 系统的产品系列可与 EpiGuard 软件包协同工作，来共同满足实时检测的需求。这种实时的检测系统能够对外延生长工艺参数进行全面、可靠的监测。利用经发射校正后的红外高温测量法来对晶圆表面温度进行测量将有极其重要的意义，因为晶圆表面温度会直接影响到外延层的结晶质量、组分及其掺杂浓度。这种方法可以测量包括 III-V 族、硅和锗在内的多种类型衬底的表面温度。为了生长用于高效率三结太阳能电池的高质量外延晶圆，对每一外延薄层的厚度进行优化控制是非常关键的，多波长下的反射率测量对此可起到很大的作用（图 2 展示了同时在 405nm、633nm 和 950nm 波长下反射率测量曲线的截屏）。由于 Fabry-Pérot 振荡频率会随着波长的增加而减小，950nm 波长是最适用于高速率沉积形成厚膜层的测量，而 633nm 波长下的反射率更适合用来检测较薄的膜层。由于 405nm 波长下的反射会被 III-V 族材料所吸收，所以其反射率对表面状况就十分敏感，它可以提供表面形貌和界面质量方面的信息，并且还可以用来确定隧道结的宽度。

保持晶圆平整

如果工厂要追求高的良品率，这就要求其所

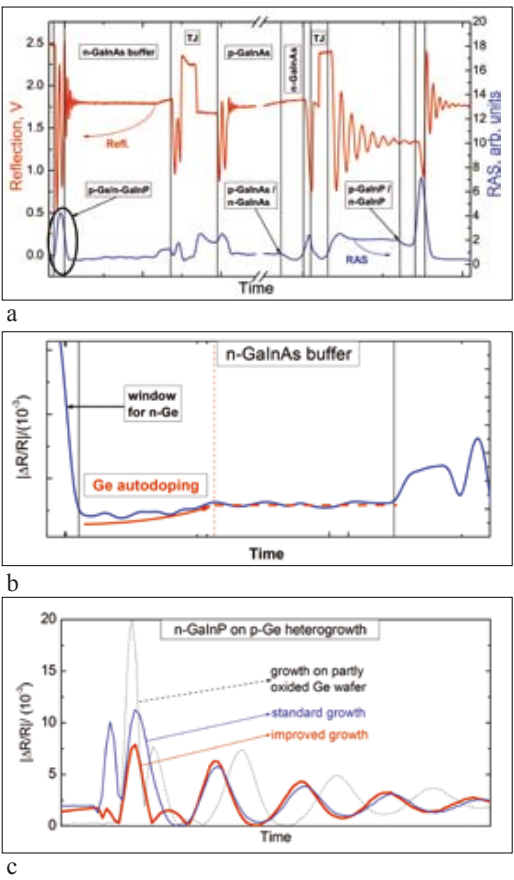


图 1：Ioffe 物理技术研究院采用 EpiRASTT 系统对 GaInP/GaInAs/Ge 三结太阳能电池的外延生长过程进行的监测。(a) 红线为 2.1eV 的瞬态反射率，蓝线为 3.8eV 的各向异性反射率。反射信号用来测定膜层的生长速率及其三元合金组分。(b) n 型 GaInAs 缓冲层的生长：蓝线为 3.8eV 的各向异性反射率，可用来估算生长过程中的掺杂浓度。(c) 在 p 型锗衬底上进行 n 型 GaInP 的异质生长。3.8eV 的各向异性反射率：蓝线为标准状态下的生长，红线为改进后的生长。可以在生长过程中来测定界面的质量。

加工的晶圆在其外延生长过程中和生长后都还能保持平整。一直以来，对晶圆曲率的测量主要集中在外来衬底上生长氮化物薄膜之后进行，这是由于此时在这些材料中产生了很大的应变，但同时却忽视了对晶格匹配 III-V 族材料晶圆曲率的测量。即使都是 III-V 族化合物材料体系，在其晶圆的冷却过程中也会由于衬底和沉积层之间二者的热失配而产生晶圆的弯曲或翘曲。而对于三结太阳能电池来说，由于赝晶和变性结构的产生，对其所产生的应变进行工程处理就变得是必不可少的措施了。

Fraunhofer 太阳能系统研究所的科学家在多结太阳能电池生产中应用了 EpiCurve TT 系

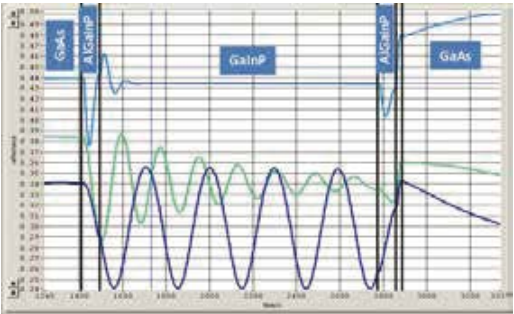


图 2：在 950nm、633nm 和 405nm 三种波长下测量多结太阳能电池的反射率。（由德国 Fraunhofer ISE Freiburg 授权提供）

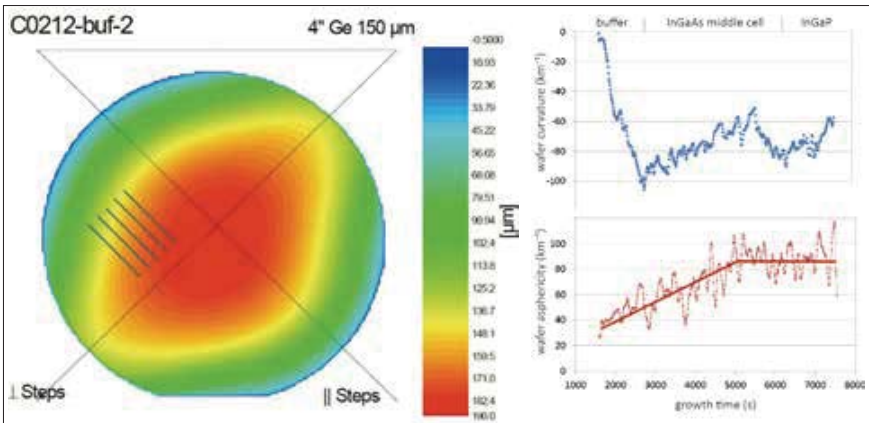
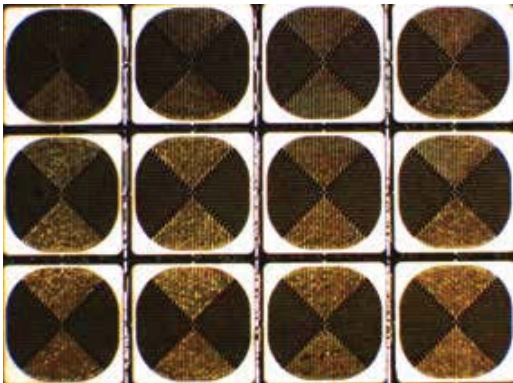


图3: (a.左图) 晶圆弯曲的离线测量结果: 锗衬底非球面弯曲的长轴与晶圆对准边呈45°角。(b.右上图) 晶圆曲率的实时测量曲线: 经应变处理的InGaAs中间电池层补偿了由变性缓冲层所引起的晶圆弯曲效应。(c.右下图) 通过高分辨实时曲率测量得到的晶圆非球面弯曲: 非球面弯曲源自于第一层晶缓冲层的弛豫效应。



在Ioffe物理技术研究院, 研究人员采用了装有LayTec的EpiRAS TT系统的Aixtron MOCVD设备来制造多结太阳能电池, 这种电池将用于聚光型光伏 (CPV) 系统中。

统, 来控制这种外延层的应变以及对其生长过程的优化。在锗衬底上人为生长一层晶格不匹配的III-V族材料膜层时, 晶圆会发生明显的弯曲, 并且在针对变性结构的人工缓冲层生长之后, 晶圆曲率会呈现出明显的非球面性 (见图3a)。利用LayTec的高分辨曲率解析技术, 可以区分出这种球面和非球面的曲率 (图3b和3c)。这些分析结果可以帮助工艺工程师来优化其缓冲层的生长工艺, 以及在具有决定性作用的外延过程的早期阶段就实现对应变的弛豫。

研究人员正努力提升多结太阳能电池的转换效率, 因为这可使CPV技术更具竞争力。他们正在追求一种新的设计, 但是由于增加了第四个结或者使用了反转结构, 使得这种设计通常要比前代技术更为复杂。我们的技术能够帮助他们去实现这个颇有雄心的计划, 我们可以提供实现工艺实时监测的设备, 并且由于我们与学术界具有领先地位的研究者进行了紧密合作, 凭借我们在外延工艺实时监测数据上有着广泛而深入理解分析的丰富经验, 我们可以向业界客户提供有极具价值的建议。我们的愿景是我们将可以在提升多结太阳能电池良品率及其质量的进程当中扮演一个重要的角色, 并且最终能促进太阳能电池产业的快速增长。

扩展阅读

J.f. Geisz et.al. J. of Cryst. Growth 310 2339-2344 (2008)
W. Guter et.al. appl. phys. Lett. 94 223504 (2009)
N.A. kalyuzhnyy et.al. proceedings of the 24th european photovoltaicsolar energy Conference (2009)



为氮化物 HEMT 器件简化无金线技术

一种无金线堆栈技术让 HEMT 工艺适用于晶圆厂成为可能。

来自美国麻省理工学院 (MIT)、德国爱思强 (Aixtron) 以及新加坡 - 麻省理工研究与技术联盟 (Singapore-MIT Research Alliance for Research and Technology) 的研究者共同开发了一种无金线工艺, 可形成一道包含了退火 Ti/Al/Ni/Pt 堆栈的欧姆接触结构。

为了达成这个目的, 这个国际研究团队简化了 GaN 晶体管与硅基 CMOS 数字集成电路之间的异质整合工艺。

这项工作至关重要, 原因是 GaN 与硅两项技术的结合, 使得形成一种新型电路设计成为可能。然而, 芯片要在晶圆厂制造的话, 他们必须在任何工艺中避免使用金线。来自新加坡 - 麻省理工研究与技术联盟的 Zihong Liu 解释说, “金很容易扩散到硅当中, 它会产生较大程度的电子受体与电子施体, 因此会降低硅器件的性能。”

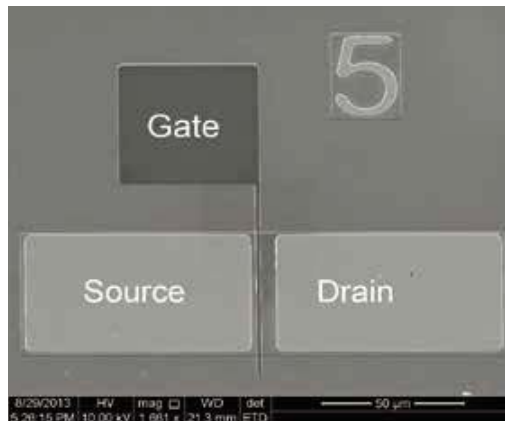
Liu 与来自 MIT 和 Aixtron 的研究者一起, 开发出一道新的工艺, 沉积 Ti/Al/Ni/Pt 金属堆栈, 并在氮气氛围下退火。

该团队并不是首个开发无金线工艺的, 但他们宣称该项研究进展相对于其他科研方法优势明显, 主要体现在“简化”二字上。

一个可选方案是在欧姆接触的金属化之前先制作凹槽。Liu 及其研究团队通过这个方法已经获得成功, 形成一个接触电阻仅有 $0.5\Omega\text{mm}$ 的 Ti/Al/W 堆栈层。然而, 形成凹槽与金属化步骤提高了工艺的复杂性。

另一个可选方案是生长一层厚的 AlGaIn 缓冲层。但 Liu 表示, 在缓冲层上必须用 SiN 层作为盖帽, 这在 GaN HEMT 器件上并不常见。

还有一种工艺, 就是往欧姆接触金属下面的 AlGaIn/GaN 材料进行离子注入, 其接触电阻仅有 $0.5\Omega\text{mm}$ 。但逐步掺杂工艺需要在典型值为 1200°C 的高温环境下进行, 但高温会产生缺陷, 导致性能下降。最终, 研究人员为实现如此低的接触电阻, 他们选定了包含钽金属在内的工艺, 不过钽金属的蒸发温度相当的高。



Liu 解释说, “对于许多电子束蒸发机而言, 比方说 BOC Edwards Auto 306, 电子枪的功率不足以熔化和蒸发钽金属。”他补充道, 一些高功率电子枪可以熔化钽金属, 但在蒸发时晶圆容易变得很热, 这会给随后的剥离工艺带来挑战。

Liu 及研究团队最新开发出的无金线工艺避免了高温的困扰, 它被用于制作基于外延结构的器件。该外延片包括一层厚 $1.5\mu\text{m}$ 的缓冲层, AlN 间隔层厚 1nm , 厚 20nm 的未掺杂的 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ 障碍层, 以及 3nm 厚的盖帽层。

其中, 外延片是采用 MOCVD 工艺在一个 150mm 的高电阻率硅衬底上生长的, 并通过 ICP (电感耦合等离子体) 刻蚀工艺在外延片上形成台面结构。在沉积 Ti/Al/Ni/Pt ($20\text{nm}/60\text{nm}/$

$40\text{nm}/50\text{nm}$) 堆栈结构之后, 在温度高达 975°C 的氮气氛围中退火 30 秒, 因此制作出源极和漏极接触。

采用过渡线法可以测量出接触电阻为 $0.6\Omega\text{mm}$, Liu 科研小组相信, 采用同种方法也能制作欧姆接触结构, 即沉积 Ti/Al/Ni/Au 堆栈层, 待 TiAlN 渗透至 AlGaIn/AlN/GaN 结构中, 最后在氮气氛围下高温退火。

然而, Liu 表示 “若弃用金线, Ti/Al/Ni/Pt 需要更高的退火温度, 并且 Ti/Al 的比例需要重新优化, 原因是 TiAlN 渗透至 AlGaIn/AlN/GaN 结构中可形成一个好的欧姆接触。”

平滑是 Ti/Al/Ni/Pt 堆栈层的特点之一, 原子力显微镜 (AFM) 图像表明, 该结构层的表面均方根粗糙度值仅有 4.6nm , 与传统采用了金线结构的 13.9nm 相比存在较大优势。

根据 Liu 研究小组的解释, 超平滑层一定对制造出门间距较短的高频器件有帮助。此外, 他们将减小电流拥挤效应, 同时能避免发生高功率器件中的可靠性问题。

无金线 HEMT 与同等 HEMT 器件相比, 金属堆栈层的变化不会给直流性能带来相当大的差别, 无金线 HEMT 的漏电流最大值为 700mA , 跨导值最大为 140mS/mm 。

Liu 透露, “下一步我们将试着开发一种低温退火工艺的无金线欧姆接触结构。温度的降低将使该项工艺适用于前栅极、硅基 CMOS, 以及硅上 GaN 的集成工艺。”

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





III-V 族晶体管在低电压时具有高性能

美国宾夕法尼亚州立大学的研究人员开发出一种新型晶体管，可能会使快速、低功耗计算器件成为可能，这些器件主要针对能源受限的应用，包括智能传感网络、植入人体的医疗电子、超级移动计算等。

这种新型器件被称作“邻接断续禁带”(near broken gap)隧道场效应晶体管(TFET)，在低电压下，利用量子隧道效应，使电子穿越超薄能量势垒产生高电流。宾夕法尼亚州立大学国家标准与技术研究所，与晶圆制造商IQE共同在国际电子器件会议(IEDM)上报告了他们的研究发现。

器件制造商正在寻找继续缩小晶体管尺寸和把更多晶体管放在有限面积的方法，隧道场效应晶体管(TFET)被认为是现在的CMOS晶体管的潜在替代者。现有芯片技术面临的主要挑战是：当尺寸减小时，晶体管运行所需的功耗并不同步减少。结果使得电池消耗更快，散热增加，从而损害脆弱的电子电路。人们正在使用硅材料以外的材料研究各种新型的晶体管结构，以克服功耗的挑战。

报告的首席作者宾夕法尼亚州立大学的研究生Bijesh Rajamohanam说，以前我们在实验室开发这种晶体管是要代替MOSFET晶体管用于逻辑应用解决功耗问题。这次我们更进一步研究它的高频工作性

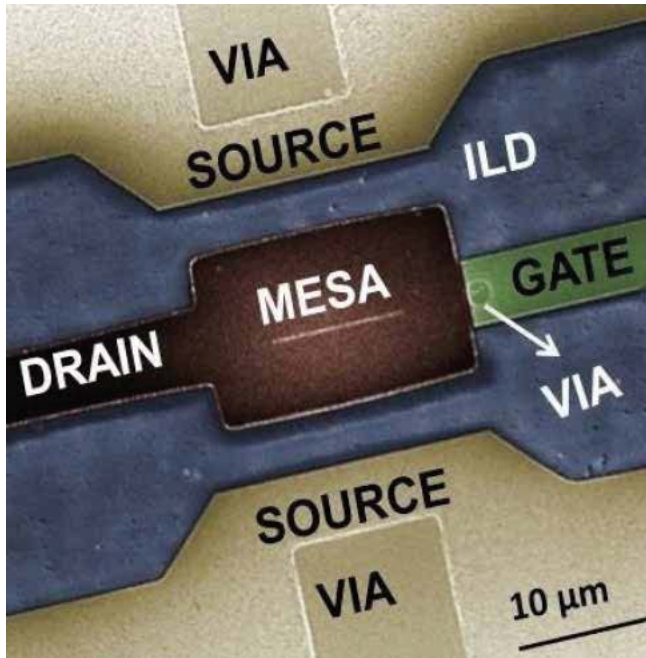


图1

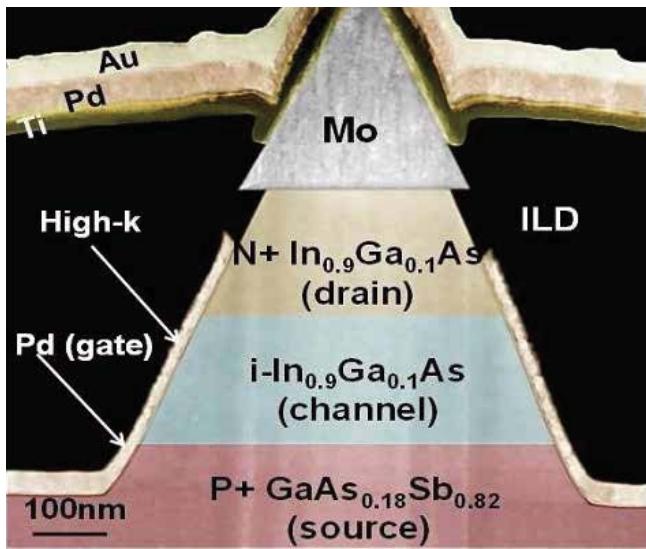


图2: 垂直式TFET的透射电子显微镜的截面图。源极(source)和沟道(channel)之间的界面是产生电子隧道效应的关键区域。ILD是层间绝缘电介质(interlayer dielectric)，用来分隔电极。顶层电极接触是金(Au)、钯(Pd)和钼(Mo)。(图片由宾夕法尼亚州立大学Suman Datta提供)

能，对于像从植入人体的设备处理和传递信息之类的应用来说，这也很重要。植入人体的设备，如果产生太多功耗和热量会伤害监测的人体组织，需要频繁更换电池，重新植入。

这个研究团队由电气工程教授Suman Datta带领，他们调整了InGaAs/GaAsSb的材料成分，以便使能量势垒(宽度)尽可能接近零——即“邻接断续禁带”(near broken gap)。这允许电子在需要时可以穿过隧道势垒，为了放大穿越效果，研究者把所有的连接电极都移到同一个平面，放在垂直晶体管的顶部表面(见图1)。

他们的论文发表在IEDM论文集中，题目是“Demonstration of InGaAs/GaAsSb Near Broken-gap Tunnel FET with $I_{on}=740\mu A/\mu m$, $GM=700\mu S/\mu m$ and Gigahertz Switching Performance at $V_{DS}=0.5V$ ”。

这个器件开发是一个更大研究项目的一部分，由美国国家科学基金会通过纳米系统工程研究中心为用于集成传感器的先进自供电系统和技术(NERC-ASSIST)研究提供资助。项目的更大目标是开发无电池(battery-free)身体发电(body-powered)的可穿戴的健康监测系统，参与机构包括宾夕法尼亚州立大学，北卡州立大学，弗吉尼亚大学，佛罗里达国际大学。



中科院物理所研究发现碳化硅晶体的新效应

中红外波段激光在分子光谱、气体探测、环境保护、医学、激光通讯、红外遥感及光电对抗等领域具有重要的应用，非线性光学频率变换是目前获得中红外激光的有效途径。常用的中红外非线性光学晶体（硫化物及硒化物等）受到低激光损伤阈值（ $<0.1\text{GW}/\text{cm}^2$ ）的限制，不能够满足当今对大功率中红外激光的迫切需求。寻找具有高激光损伤阈值的新型中红外非线性光学材料是当前中红外激光研究领域的前沿和热点。

碳化硅是一种重要的宽禁带半导体材料，由于其具有高的热导率、大的饱和电子漂移速率及高的击穿场强，从而被广泛应用于制备高温、高频及大功率电子器件。4H 碳化硅点群为 6mm，理论上存在二阶非线性光学效应。同时碳化硅优异的物理性质，如宽的带隙（2.3-3.2 eV）、高的热导率（ $490\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ）及强的共价键能（5 eV）等有利于提高其抗激光损伤能力，其损伤阈值可达 $80\text{GW}/\text{cm}^2$ 。然而，目前国际上还没有碳化硅晶体非线性光学频率变换的实验报道。

中科院物理研究所 / 北京凝聚态物理国家实验室（筹）先进材料与结构分析实验室陈小龙研究组（功能晶体研究与应用中心）博士生王顺冲、王刚副研究员等与光学物理重点实验室魏志义研究组博士生詹敏杰等人合作，发现半绝缘 4H 碳化硅晶体在 $2.5\text{-}5.6\mu\text{m}$ 中红外波段具有高的透过率，通过重新测量 4H 碳化硅晶体在中红外波段的折射率，纠正了前人的错误报道，在新测折射率的基础上确定了 4H 碳化硅的相位匹配条件。他们首次采用 4H 碳化硅晶体，通过对飞秒超连续光谱的差频，获得了波长覆盖 $3.9\text{-}5.6\mu\text{m}$ 的宽谱中红外激光输出，图 1 为实验光路示意图，图 2 为产生的中红外光谱。在 430mW 的泵浦光下，获得平均功率为 0.2mW 、最强输出波长为 $5.45\mu\text{m}$ 的中红外超短脉冲激光。他们还利用整形后的泵浦光，通过调整晶体的相位匹配角（ $76\text{-}89^\circ$ ），实现了在 $3.92\text{-}4.28\mu\text{m}$ 以及

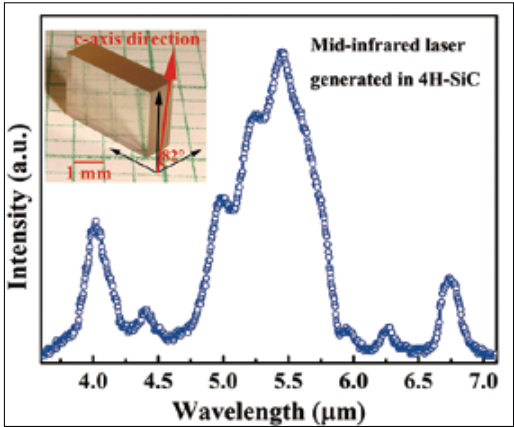


图2：差频后获得的中红外激光光谱，左上为用于差频实验的4H碳化硅晶体。

$4.87\text{-}5.25\mu\text{m}$ 波长范围内的可调谐中红外激光输出。由于 4H 碳化硅可以获得高质量的大尺寸晶体，并具有高的损伤阈值和较大的二阶非线性光学系数，因此有望进一步实现大功率的中红外激光输出。相关结果发表在近期出版的 *Laser & Photonics Reviews* 杂志上。

上述工作得到了国家自然科学基金委、科技部和中科院的支持。

（中科院物理研究所）

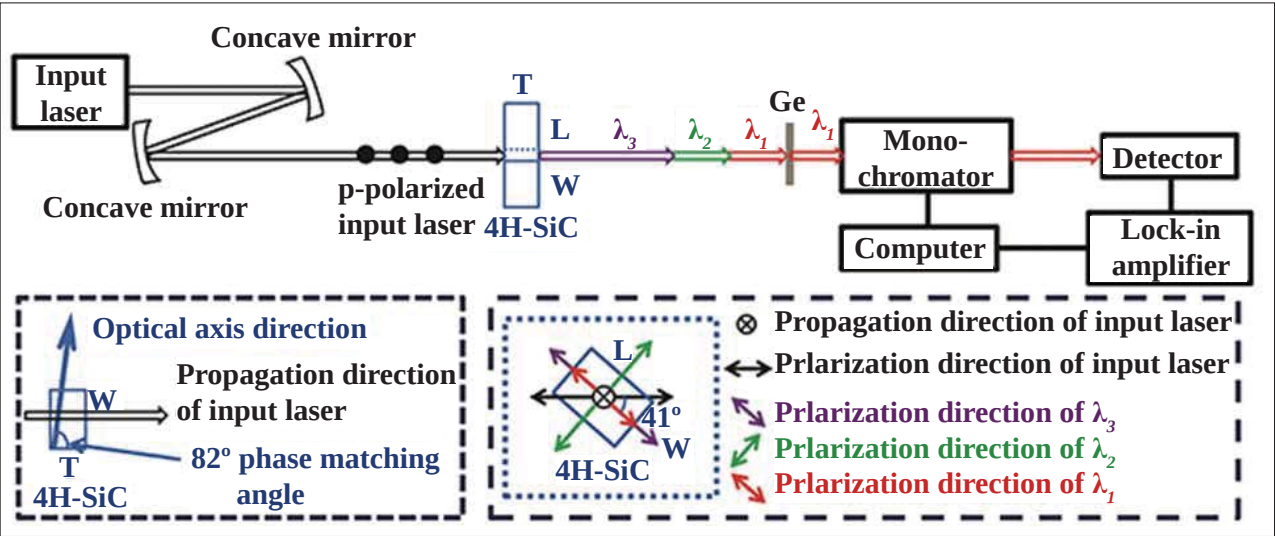


图1：差频实验光路示意图。

改进的电子阻挡可提升 UV 效率

由 AlN 和 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$ 形成的电子阻挡层几乎可使效率提高一个数量级。

来自德国的一个科学家团队通过在器件中引入上佳的电子阻挡结构而改善了紫外 LED 的效率。通过用一个厚度超过 3nm 的 AlN 层和一个 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$ 层的配对取代传统的 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$ 电子阻挡层，该研究小组将其 290nm LED 的效率提高了 8 倍以上。

这种效率的提升将有助于开发亮度更高的紫外 LED，此类 LED 有望成为水质净化、养护和光线疗法的适用光源。目前，这些紫外线发射器的外部量子效率通常只有几个百分点，原因是：载流子限制特性不佳（这可以利用一种优越的电子阻挡结构来解决）；缺陷密度高；以及载流子注入差强人意。

这支德国研究小组是由柏林科技大学和莱布尼茨高频技术研究所的研究人员通过合作而形成的，其研发工作开始于一系列不同 LED 结构的仿真。他们的计算采用了一种一维漂移-扩散模型。

在这两所大学均担任职务的小组成员 Micheal Kneissl 承认，很难弄清这种模型的准确度有多高。这是因为其准确度取决于用于表示材料特性的数值，例如：有效质量、载流子迁移率、能带偏移和镁受体电离能。

“最后，仿真为我们提供了实施异质结构设计优化的指导，而这种指导必须通过试验来加以确认。”然而，事后的迹象表明在试验结果与仿真之间存在着很强的相关性，这使我们能够更好地洞悉如何改善紫外 LED 的性能。

试验工作涉及两个结构系列的制作：

第一个系列具有一种电子阻挡异质结构，此结构组合了一个 4nm 厚的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层（x 的数值为 0.8、0.9 和 1.0）和一个 25nm 厚的 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$ 层；第二个系列则具有一种 AlN/ $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$ 电子阻挡异质结构，其中 AlN 层的厚度为 0 nm 至 8nm。

这些电子阻挡区对 LED 的性能具有很强的影响，LED 采用 MOCVD

钢基 n 触点。当第一个系列样本中的 4nm 厚 AlGa_xN 层中的铝含量从 80% 增加至 100% 时，输出功率几乎将达到原来的 3 倍。同时，第二个系列的试验显示：假如 AlN 层的厚度至少为 3 nm，则输出功率将提高到原来的 8.5 倍（与 AlN 层厚度完全达不到 3 nm 时相比）。

最佳的 290 nm LED（其采用了一种由 3nm 厚的 AlN 层和 25nm 厚的 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$ 层构成的电子阻挡异质结构）具有 1.1 mW 的最大输出功率和

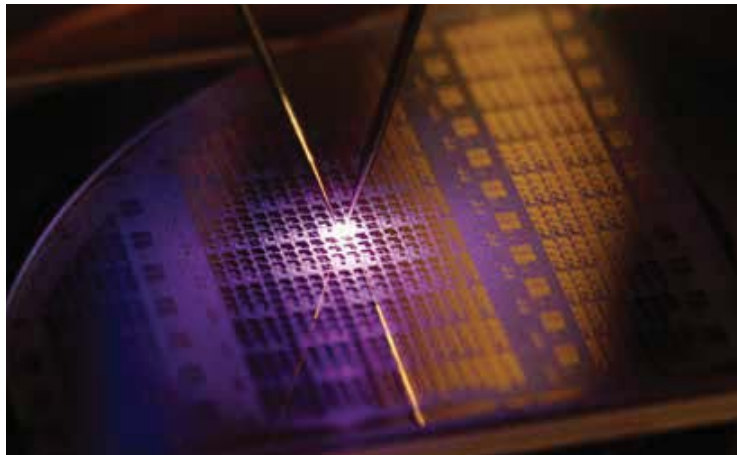
0.4% 的峰值外部量子效率。后一项指标几乎达到了其他具有相同发光波长的 LED 可提供的最佳数值的两倍。

Kneissl 指出：“我们应当注意到，一些其他的研究小组所报告的工作在相邻的 UV-A 或 UV-C 光谱范围的 LED 具有更高的外部量子效率。”在他看来，为了评价所有这些 LED 的性

能，有必要考虑测量是在晶圆上进行的，还是在封装好的器件上进行的。

Kneissl 说：“我们报告的外部量子效率结果针对的是在晶圆上进行的测量。光的萃取效率相当低——在 LED 内部产生的总紫外光中只有 6% 至 9% 被耦合出来。”然而，利用最优的芯片和封装设计，该萃取效率有可能达到 50%。

该研究小组的新型电子阻挡结构应当会使波长较短的 LED 获益更多。Kneissl 说：“这是我们当前工作的重点，我们瞄准的是波长低于 265 nm 的 LED。我们已经从该光谱区中的第一批试验获得了非常令人鼓舞的结果。”



在晶圆上进行的测量显示：通过优化电子阻挡层，紫外 LED 的外部量子效率可达 0.4%，差不多是其他研究小组所报告的最佳器件同一指标的两倍。

工艺在 AlN/蓝宝石模板上生长，并且包含：基于配对的 130 层 0.8 nm 厚 AlN 和 0.8 nm 厚 GaN 的短周期超晶格；一个 600 nm 厚的 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 层；一个 4.1 μm 厚的硅掺杂接触层；一个具有三个 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 量子阱（其被厚度相同的 $\text{Al}_{0.46}\text{Ga}_{0.54}\text{N}$ 势垒所包围）的活性区；一个基于配对的 30 层镁掺杂 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 和 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ （厚度均为 2.5 nm）的短周期超晶格；以及一个 20 nm 厚的镁掺杂 GaN 帽层。

为了激活镁，采用氮气对外延片进行了退火。随后，形成具有 150 μm x 150 μm 钼基 p 触点的器件，其具有一个在晶圆的裂边缘上沉积而成的



重掺杂硅实现了化学剥离

采用草酸来刻蚀氮化镓 (GaN) 牺牲层可改善 LED 光萃取效率

将蓝宝石衬底从 GaN LED 去除可以提高光萃取效率，这是一条经过尝试并得到验证的途径。该工艺一般需要采用一道激光剥离工序来使衬底与外延层分离，但这么做会损坏材料，因此目前有多家研究小组正在从事化学剥离技术的研发。眼下，

这些技术尚处于其最简单的形式，相关的改进工作也在实施之中，而这些都得益于中国研究人员近期的辛勤努力。

由来自中国台湾中兴大学 (Chung Hsing University) 和逢甲大学 (Feng Chia University) 的科学家组成的研究小组倡导了一项化学剥离技术，该技术采取的方法是在草酸溶液

中对一个薄的重掺杂硅氮化镓 (GaN) 层进行刻蚀。相比之下，其他的研究小组则采用了由诸如氮化铬 (CrN)、氧化锌 (ZnO) 和氮化铝 (AlN) 等化合物材料制成的更加彻底的牺牲层。

来自逢甲大学的研究小组成员林家峰 (音) 说，利用这种刻蚀工艺分离出来的无掺杂蓝宝石基氮化镓模板可用于在 MOCVD 系统中重新生长氮化镓 (InGaN) LED 和掺杂硅 GaN 结构，从而减少沉积一个完整 LED 结构所需的时间和成本。

为了使 LED 与衬底分离，研究人员首先在一个 0.1 μm 厚的重掺杂 GaN 牺牲层上生长了一个相当传统的器件。具体而言，在 2 英寸蓝宝石上实施的用于生产外延片的 MOCVD 生长需要进行以下沉积：一个 30 nm 厚的缓冲

层；一个 1.4 μm 厚的非故意掺杂 GaN 层；一个具有 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 硅掺杂水平的 0.1 μm 厚 GaN 层；一个 1.0 μm 厚的无掺杂 GaN 层；一个具有 9 个 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子阱的多量子阱区；一个 30 nm 厚的 p-GaN 帽层。

在沉积厚度 250 nm 的钨锡氧化

不过，这种纳米多孔 N 型硅层并不会妨碍实现高性能。林家峰说：“通过在靠近台面区的地方形成纳米多孔 GaN，在 InGaN LED 中将出现很高的光散射，从而可在 LED 芯片的法线方向上实现高的光萃取效率。”

该科学研究小组将其 LED 的性能

与一个未经受化学剥离工艺的对照样本进行了比较。两个样本的电致发光光谱都存在法布里-珀罗 (Fabry-Pérot) 干涉条纹，表明刻蚀工序并未对 LED 底面的平坦度产生重大的影响。

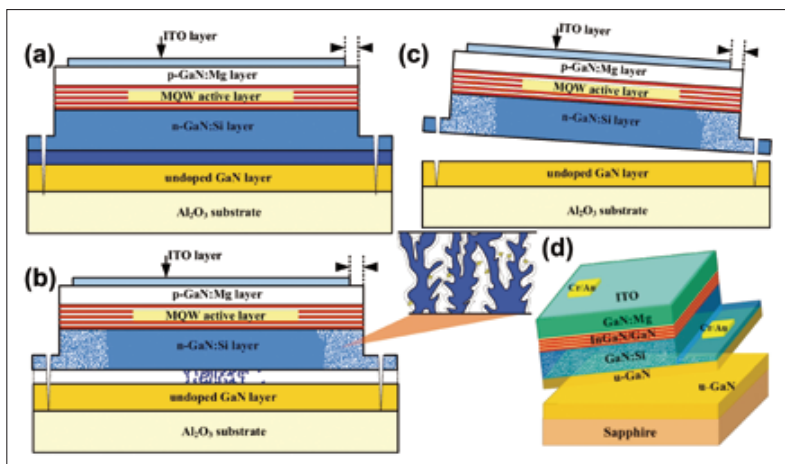
当以 20 mA 电流进行驱动时，这种无蓝宝石衬底的 LED

所产生的输出功率可高出对照样本达 2.1 倍。

研究小组将这种绝佳的亮度归因于底部剥离 GaN 表面上光散射过程的增加以及 LED 芯片周围的 GaN 纳米多孔结构。

林家峰认为研究小组的工艺符合大批量制造的要求。他依据的理由是对外延结构所做的修改极少，并指出其可兼容一种垂直 LED 工艺，因为能够在芯片上电镀一种图形化金属结构。

目前，研究人员正计划制作此类器件，而且还通过提高硅掺杂浓度来增加横向湿法刻蚀速率。后者将影响上述 LED 结构的结晶质量，但据林家峰说，这个问题可以通过转而使用一种替代的异质结构加以解决。



LED 的制作工序包括：激光划线；横向湿法刻蚀，形成纳米多孔 GaN；最后自动分离，量产芯片。

物薄膜之前，采用一种等离子体进行干法刻蚀至 2.2 μm 的深度将限定台面区，以提供一个透明的导电层。成对的铬和金提供了用于 LED 的金属触点，它们虽然彼此隔离，但仍然采用一种激光划线工艺连接到衬底。

为了去除牺牲层，需把样本浸没在 0.5 M 的草酸溶液中达 40 分钟，同时采用一个 400 W 水银灯对其进行照射并施加 15 V 的 DC 偏压。

林家峰说：“草酸对掺杂硅的 GaN 层进行腐蚀以形成一种纳米多孔结构。”按照他的说法，硅掺杂浓度越高，GaN 的刻蚀速度就越快。

牺牲层中的横向刻蚀速率为每小时 315 μm，以生产 240 μm x 180 μm 尺寸的芯片，此类芯片在较厚的 N 型硅层（其硅掺杂水平低于牺牲层）中具有 30 μm 宽的纳米多孔结构。



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	IFC
CS international Conference		www.cs-international.net	23
Evatec Ltd.		www.evatecnet.com	9
EV Group		www.evgroup.com/compoundsemi	11
The 13th CleanRooms China Conference & Products Display	洁净室研讨会暨产品展示	www.crcevent.com.cn	1



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 (雅时国际通讯)
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 (麦协林)
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

SMTChina

表面组装技术

电子书(eMagazine)

smtchinamag.com



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

SMTChina
表面组装技术

广告索引
Ad Index

目录 Contents
P.6-24 P.26-47

推荐朋友
Refer a friend

免费赠阅
Subscribe

Navigation icons: back, search, zoom in, zoom out, forward

ACT logo

中国电子制造专业人士的刊物

www.mySMTchina.com讨论区

2013年12月/2014年1月
ISSN: 1997-0870

SMTChina

表面组装技术

www.smtchinamag.com

第17页:

用于28纳米 FPGA的



洁净室

CleanRooms CHINA

污染控制的实施、工艺和技术

半导体、制药、医疗设备、食品等行业污染控制专业人士的刊物

电子书(eMagazine)
cleanrooms-china.com



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

