

化合物半导体



• CHINA

季刊 2017年 第4期

金刚石基 GaN



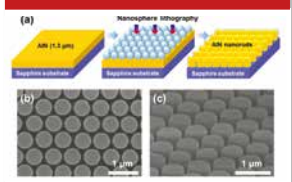
MicroLED显示器



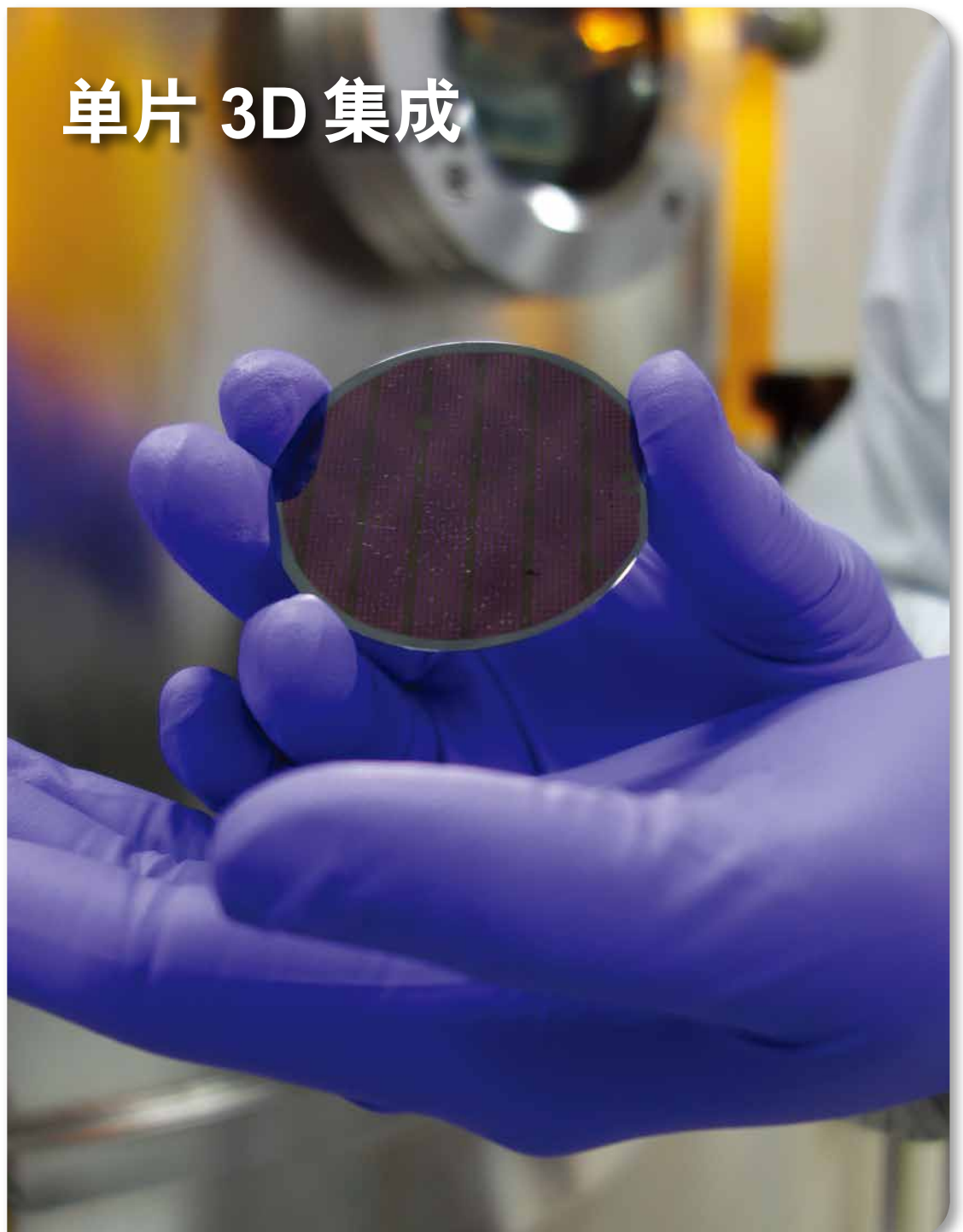
GaAs和GaN组件



深紫外 LED



高效LED



AIXTRON

Our technology. Your future.

您认为,

全球大趋势需要

性能最佳的三五族化合物材料.

我们也这样认为.

AIX 2800G4-TM

三维传感
增强现实
自动驾驶
云计算
物联网/5G
下一代显示设备



发现AIX 2800G4-TM.

实现砷磷基材料下一
代应用的创纪录设备.



使用市场顶尖的技术
实现行业内最佳良率
和最高生产力.





您的技术信息平台

一系列产品—包括国际专业技术杂志的
中文版、网上出版物、会议、培训和活动

www.actintl.com.hk

雅时国际商讯 (ACT International) 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通过它的一系列产品—包括杂志和网上出版物、培训、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国际的产品包括多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、电子制造、污染控制、激光/ 光电子、射频/ 微波、光伏/ 太阳能、光通信、LED 技术等领域的约十多万专业读者。ACT 亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT总部在香港, 在北京、上海、深圳和武汉设有联络处。

香港

852-28386298

深圳

86-755-25988571

上海

86-21-62511200

北京

86-10-67484833

武汉

86-27-59221554

SS
OTC

VisionCon
视觉系统设计技术会议

ED **Electronic Design**
INNOVATION Conference
电子设计创新大会

LaserFocusCon
激光聚会

CleanRooms
China
洁净室研讨会暨产品展示



封面故事 Cover Story

- 8 三维技术: III-V族的可行性进步
The third dimension: The logical step for III-Vs
- Sanghyeon Kim, Seongkwang Kim, Hyung-Jun Kim, 韩国科学技术部

业界动态 Industry

- 5 II-VI Epiworks: 规模扩大且更富胆识
II-VI Epiworks: Bigger and Bolder
- 6 Akash带金刚石基 GaN进入卫星通信领域
Akash drives GaN-on-diamond technology into the satellite communications

技术 Technology

- 14 MicroLED会是下一场显示革命吗?
Is the MicroLED the next display revolution?
- ERIC VIREY, Yole Développement
- 20 任意转移GaN: 从Nb₂N上来释放GaN膜层
GaN on anything: Giving GaN freedom from Nb₂N
- DAVID MEYER, BRIAN DOWNEY, D. SCOTT KATZER, MARIO ANCONA, SHAWN MACK, LAURA RUPPALT; 美国海军研究实验室
- 28 GaAs和GaN裸片组件和处理程序
GaAs and GaN die assembly and handling procedures
- Qorvo应用工程部门员工

科技前沿 Research Review

- 36 深紫外LED: 使用纳米图形增加光提取
Deep UV LEDs: Increasing extraction with nanoscale patterns
- 37 暴露GaN HEMT中的氧缺陷
Exposing oxygen defects in GaN HEMTs
- 38 LED的发光效率再创新高
New highs for the LED
- 4 编者话 Editor's note
- 40 广告索引 Advertisement Index

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.

关于雅时国际商讯 (ACT International)

雅时国际商讯 (ACT International) 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通过它的一系列产品 - 包括杂志和网上出版物、培训、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的产品包括多种技术杂志和相关的网站,以及各种技术会议,服务于机器视觉设计、电子制造、激光/光电子、射频/微波、化合物半导体、洁净及污染控制、电磁兼容等领域的约十多万专业读者。ACT亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT总部在香港,在北京、上海、深圳和武汉设有联络处。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, training, conferences and events -- ACT delivers proven access to the China market for international marketing companies and local enterprises. ACT's portfolio includes multiple technical magazine titles and related websites plus a range of conferences serving more than 100,000 professional readers in fields of electronic manufacturing, vision system design, laser/photonics, RF/microwave, cleanroom and contamination control, compound semiconductor, and Electromagnetic Compatibility. 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, Shenzhen and Wuhan. www.actintl.com.hk



扫一扫
免费下载电子书

your
EPITAXIAL GROWTH
partner



Enabling advanced technologies



- World leading technology
- Complete materials range
- MOCVD, MBE, CVD
- Advanced semiconductor wafer products
- Advanced R&D capabilities
- Multiple, manufacturing sites (Europe, Asia, USA)



www.iqep.com

GaN 技术为量产做准备

2017 年 GaN 供应链一些公司进行重大投资, 表明市场的信心, 证实了功率 GaN 技术的价值, 以及它在众多应用领域的强大潜力。主要的晶圆制造厂已经进行了大量的投资, 以增加他们大规模生产的能力; Navitas 宣布与台积电和 Amkor 合作, 提高产能; BMW i Ventures 公司投资了 GaN Systems; 台湾经济部对使用 GaN 作为清洁和绿色技术很感兴趣, 也开始与 GaN Systems 合作。GaN 技术供应链正在采取行动, 为大规模生产进行准备, 以支持市场的增长, 相信 GaN 将会是一个成功的市场。

GaN 制造商仍然在继续开发新产品并向客户提供样品, 比如, EPC 在开发无线充电系列产品。在 2017 年, 松下宣布了其 650V 产品进入大规模生产, 而 Exagan 成功地在 8 英寸晶圆上生产出了第一批高压器件。其他 GaN 厂商的产品也处于研发或认证的最后阶段, 将于 2018 年推出。制造商和客户两方面都在推动 GaN HEMT 在新兴技术中使用。

市场研究和战略咨询公司 Yole Développement 近日发表——2017 年功率 GaN: 外延、器件、应用和技术趋势报告 (Power GaN 2017: Epitaxy, Devices, Applications, and Technology Trends report)。报告概述 GaN 功率技术和市场, 包括外延、器件设计及处理价值链分析, 以及供应链的投资情况, 并详细描述了不同的市场细分、相关的驱动因素、指标和技术路线图。GaN 技术尚面临的挑战包括: 技术成熟度、封装、可靠性和质量等, Yole 的报告也都给予了关注和讨论。

2016 年功率 GaN 的市场规模达到了 1400 万美元, 与 300 亿美元的硅功率半导体市场相比, 它仍然是一个小市场。然而, 预期功率 GaN 在短期内将爆发性增长, 因为功率 GaN 适宜于高性能和高频率解决方案, 具有巨大的市场潜力。Yole 预测 2017-2022 年这个市场将出现年复合增长率 79% 的爆发性增长, 到 2022 年功率 GaN 市场总规模将达到 4.60 亿美元。

激光雷达 (LiDAR)、无线电源和包络跟踪是高端的低 / 中电压应用, 而 GaN 是唯一能满足他们需求的技术。电源方面仍是 GaN 的最大应用, 预计 2017-2022 年, 电源应用市场 GaN 复合年增长率将达到 124%。数据中心市场正在以惊人的速度采用 GaN 解决方案, 针对数据中心的现有解决方案是来自德州仪器和 EPC 公司的, 由一个 DC/DC 转换器和负载点电源组成, 在单个芯片上将电压从 48 伏降至 1.2 伏, 仍将推动市场的发展。Dialog Semiconductor 也提供带 GaN 功率 IC 的快速充电解决方案。采用 GaN 功率 IC 的解决方案也可以用来实现笔记本电脑和智能手机的 AC/DC 电源适配器, 从而进一步降低系统的尺寸和成本。预计 GaN 消费市场在未来几年将会增长, 这取决于在笔记本电脑和手机等关键市场上对于 AC/DC 适配器的接受程度。

GaN 需要尽快通过认证, 以便在 EV/HEV 市场中获得应用。因为在主要的逆变器中, SiC MOSFET 已经在取代硅 IGBT。然而, 由于 GaN 器件具有高速切换能力, 48 伏电池的 DC/DC 转换器的未来市场仍然可能被 GaN 占有。一些主要的公司, 比如 Transphorm, 已经获得汽车行业的资格, 这将有助于最终快速启动供给 EV/HEV 的 GaN 生产。

赵雪芹

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

出版社 Publishing House

雅时国际商业 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

武汉 Wuhan

Tel: 86 27 59233884

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



II-VI Epiworks : 规模扩大且更富胆识

去年底，美国光电企业 II-VI 公司的外延晶圆生产分部 II-VI Epiworks 宣布：它位于 Champaign Illinois 的最先进芯片工厂已经“破土动工”了。

II-VI 于 2016 年 2 月收购了 Epiworks 以及 Anadigics，旨在提升针对半导体激光器的生产能力，并且瞄准感测、消费电子和数据中心应用中大有前途的 VCSEL 市场。显然，为了使 Champaign 工厂的产能在未来三年中增长 3 倍而实施的 Epiworks 扩张有百利而无一害。

II-VI Epiworks 联合创始人 David Ahmari 强调指出：“我们希望建造世界领先的最先进 MOCVD 工厂，而拥有更高的生产能力是该目标的一部分。”

他补充说：“在完成了上述的公司收购之后，II-VI 立即购置了三台新的 MOCVD 生产设备。这些系统现已安装就位，目前我们正在增添更多的洁净室空间，以在未来的五年里实现产量的快速扩展。”

现今，II-VI Epiworks 正在制造 III-V 外延晶圆，以面向包括 3D 感测在内的多个市场，这些市场已被 II-VI 和 Lumentum 等 VCSEL 制造商认为将会实现大规模增长。其他的主要市场还包括光电通信、工业光电和下一代 RF 通信。

作为工厂的一部分，Ahmari 坚持认为最新的晶圆特性分析工具将有助于获取成功。一旦完工，规模扩张后的 Champaign 工厂将提供标准的能力，例如：针对 VCSEL 的光致发光和光调制反射晶圆特性分析，以及现场

MOCVD 监测，不过新的工具也将可以使用。

Ahmari 尚未对即将提供的测试类型发表评论，但是他说：“我们问过自己：业界的发展方向是什么？我们能否利用一组可用于应对未来挑战的独特测试来建立一种特性分析能力呢？”

他补充道：“因此，我们预期了将会促成未来材料和器件的新测试类型。另外，我们还将在自己的外延工艺中使用自动化流程，而且基础设施将部署到位以使下一代芯片尺寸缩小成为可能。”

不过，正如这位 II-VI Epiworks 联合创始人着重强调的那样，生产规模扩大后的晶圆工厂将不仅服务于 VCSEL，还包括高功率边缘发光器、DFB 激光器、光电探测器、高电子迁移率晶体管 (HEMT) 等。而且，制定了把所有的晶圆片生产从 3 英寸和 4 英寸平台扩展至 6 英寸生产线的计划。

Ahmari 说：“我们的大多数 GaAs 产量已经基于 6 英寸晶圆平台，但是随着此次晶圆厂规模扩大，基于该平台的产品产量将进一步增加。”

全球化设计

现在，II-VI Epiworks 在美国拥有最大的业务，不过放眼未来，该公司将扩大其全球影响力。据 Ahmari 透露，晶圆生产业务能够利用 II-VI 的全球性基础设施，并将积极地在亚太地区拓展业务。

Ahmari 的同事、同时也是 II-VI Epiworks 的另一位联合创始人 Quesnell Hartmann 强调指出：“外国半导体公司

正得到来自政府或相关实体的强大财政支持，从而使得它们从设备能力的角度来看具备竞争力，但是归根结底，关键的制造差异化因素是设备的效率和产能，而我们的目标是依靠我们领先的外延晶圆技术、工厂设施和生产能力。”

他补充说：“我们将把它与世界上最先进的特性分析工具和最强大的技术团队相结合。针对由外延晶圆生长和扩大生产规模引起的难题，你不能仅仅依靠投放设备来应对，而是必需通过拥有最佳的员工、技术和良率予以解决，其余的事情就都可以顺其自然了。”

晶圆工厂扩张项目预定于 2017 年年中完成，随后将安装新的设备。至关重要，II-VI Epiworks 将继续作为一家全球性的外部晶圆代工厂，其主要业务专注于为外部客户（而并非单单是 II-VI）提供服务。

而且，当生产量扩大时，II-VI Epiworks 的员工数量也将增加。据 Ahmari 称，该公司准备招聘工程师和技工——从拥有博士学位的高级人才一直到普通的设备操作员都在招募之列。

他说：“在 2016 年初，我们聘用了 60 名雇员，不过我们的招聘计划是非常有进取性的，我们预期在不久的将来员工队伍将扩大到约 150 人。我们招聘的人数超过该预期值最快需要多长时间取决于具体的业务状况，以及生产量提升的速度。”

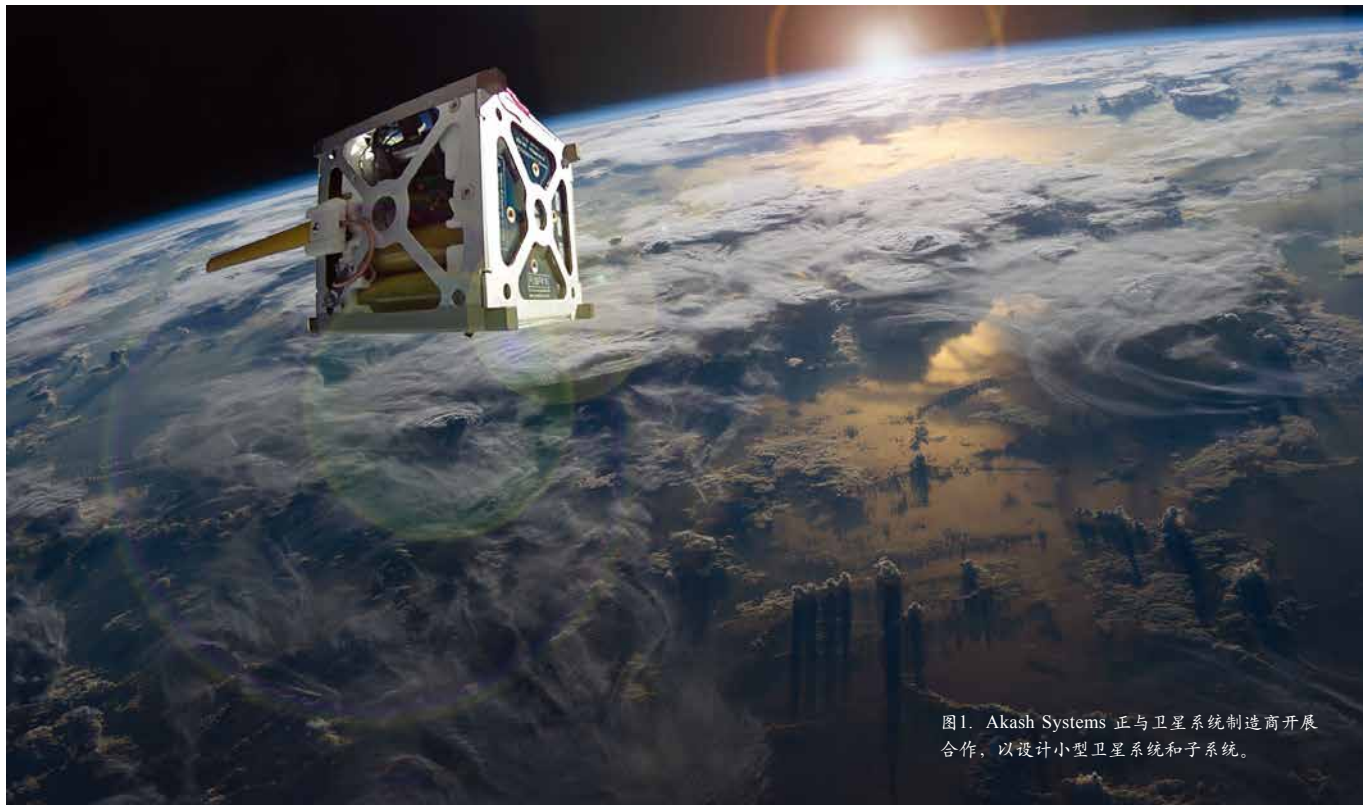


图1. Akash Systems 正与卫星系统制造商开展合作，以设计小型卫星系统和子系统。

Akash 带金刚石基 GaN 进入卫星通信领域

随着其金刚石基 GaN 功率放大器逐步进入卫星市场，Akash Systems 公司即将“触摸到”天空。— Rebecca Pool 报道。

由于全球数据的需求量猛增，且现今的通信基础设施为满足此类要求而竭尽全力苦苦支撑，因此，GaN 行业中富有经验的业者已经联合起来，通过协力合作以迎面解决这一问题。

Akash Systems 公司由 GaN 技术先驱前 Group4Labs 首席执行官 Felix Ejeckam 与 Cree 公司高管 Ty Mitchell 于 2016 年 1 月创建，旨在把金刚石基 GaN 技术稳固地推进到卫星通信领域之中。

正如 Mitchell 告诉《化合物半导体》杂志的那样：“我们想要解决当今卫星通信领域中最大的问题，即数据访问和成本，而且专注于穿越地球以及在外层空间里提供快速、具成本效益和高带宽的通信。”

为此，该公司正在开发和供应下一代体积小、功能强大和经济划算的“立方体卫星” (CubeSat)，

当然，还有负责为这些系统提供驱动的 RF 功率放大器。但是如往常一样，速度和功率的获得是要付出代价的，而这就是热量的产生。

虽然如今基于 GaN 的高电子迁移率晶体管 (HEMT) 在理想情况下能够达到惊人的 40 W/mm (在 10 GHz 频率条件下) 或更高的 RF 功率，但是发热现象却把功率密度限制在大约 10 W/mm。Mitchell 确信金刚石基 GaN 器件将会有很大的不同。

他说：“看看任何的通信应用不难发现，功率放大器是系统中最耗能和最热的元件，但是金刚石基 GaN 有可能改变这种情况。与现用的任何其他衬底相比，热传导率很高的金刚石散逸放大器中热量的速度能快 4 倍之多。”

他补充道：“我们使用金刚石基 GaN RF 放大器是打算设计体积小、功能强大和具有成本效益

的卫星，从而为那些依赖于信息密度和质量的业务（诸如高分辨率流媒体视频之类）提供高得多的数据速率。”

而且，由于前 Qorvo 重量级人物 Kris Kong 和 Paul Saunier 也在一起，因此该公司快速向前发展。金刚石基 GaN 混合式功率放大器和 MMIC 功率放大器已经开始进入该市场。与此同时，旨在与卫星系统制造商开展合作以及设计 CubeSat 系统和子系统的计划进展得很顺利。

到 2019 年，Akash 的目标是提供各种规格的 CubeSat，和 300 W Ka 波段发射机，它们具有 100 Gbps 至 1 兆兆位 (Terabit) 的极快下行数据速率，以及极高分辨率的地球成像和兆兆像素视频能力。然后，到 2021 年，该公司想要拥有低地轨道卫星，从而为廉价、高速全球宽带接入、实时流媒体影像等等提供通信带宽。

Mitchell 强调说：“我们将在 2018 年期间使自己的放大器产品线得到充实和壮大，同时还将完成我们的初始 CubeSat 设计。在 2019 年，我们将继续对 CubeSat 设计进行迭代，并随后获得发射的窗口期。”

他断言：“时间进度的安排有点‘咄咄逼人’，虽说是不得不如此，但绝对是可行的，而且我们已经为如期实现上述目标制定了稳固坚实的计划”。

有效力的 IP

Akash Systems 的卫星发展抱负已经酝酿多年，起点是 2003 年，当时 Ejeckam 创办了 Group4 Labs，以开发用于制造有史以来首批金刚石基 GaN 晶圆的方法。通过把 GaN 外延从其原来的生长衬底（硅）解除并将之转移到合成性 CVD 金刚石衬底，Ejeckam 和同事们可使客户能够制造高性能 RF 和功率半导体器件。

至关重要，Group4 的金刚石基 GaN 技术是其同类技术中率先实现商业应用的。到 2013 年，该公司结束了它的美国国防部高级研究计划署（DARPA）近结热传输（NJTT）项目，而且雷神（Raytheon）和 Triquint Semiconductor 公司的合作伙伴们已分别宣布：他们的金刚石基 GaN 器件的性能优于 SiC 基 GaN。例如，在 HEMT 中，雷神公司实现了金刚石基 GaN RF 面域功率密度的三倍提升（相比于 SiC 基 GaN 器件）。

不过，到了 2013 年年中，该公司的知识产权（IP）和资产被技术合作伙伴 Element Six 公

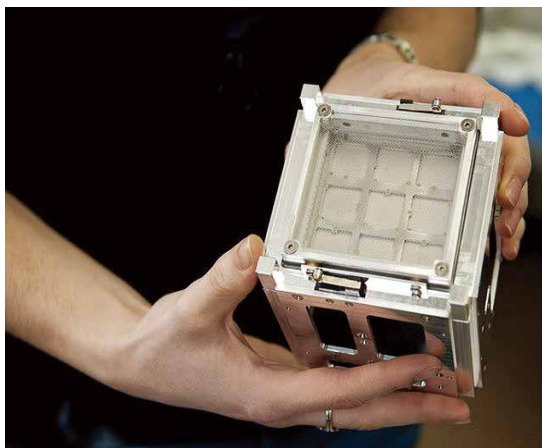


图2. Akash Systems 正在开发和供应下一代 CubeSat。

司收购。到 2016 年初，Ejeckam 离开了 Element Six，而且他和 Mitchell 开始磋商以求从 Element Six 回购 IP。

Mitchell 说：“我们此前一直在讨论这项技术在系统级上会有多么强大，因为它将解决电子系统中的发热问题。另外，之前在 Cree 我也亲眼目睹了基础性技术如何会在系统级上产生某种巨大的影响，以及扩展、甚至创立新的产业。”

他补充说：“于是我们在想，如果我们可以使用该金刚石基 GaN IP，就会取得一些非常令人兴奋的成果。”

考虑到这一点，Ejeckam 和 Mitchell 这两位与全球性的 RF 和微波组件制造商 RFHIC 公司进行了合作，以共同从 Element Six 那里买回十分重要的 IP。而且，到 2016 年年中，Akash Systems 已经同意收购 Element Six 与在卫星通信中使用的技术相关的专利和知识产权，而由 RFHIC 负责收购针对若干应用（包括无线通信）的技术产权。

那么，由于 RFHIC 为提供面向无线基础设施市场的 RF 功率晶体管 and 系统做好了准备，因此 Akash Systems 把目光坚定地放在了卫星上。现在展开制造的是 100 mm 金刚石基 GaN 晶圆，但未来扩大到 150 mm 尺寸是明确的选择。在价格方面，Mitchell 坚持认为基于金刚石基 GaN 的放大器的每瓦特成本与 SiC 基 GaN 器件不相上下，并且确信卫星权威专家能够看到他的公司的技术优势。

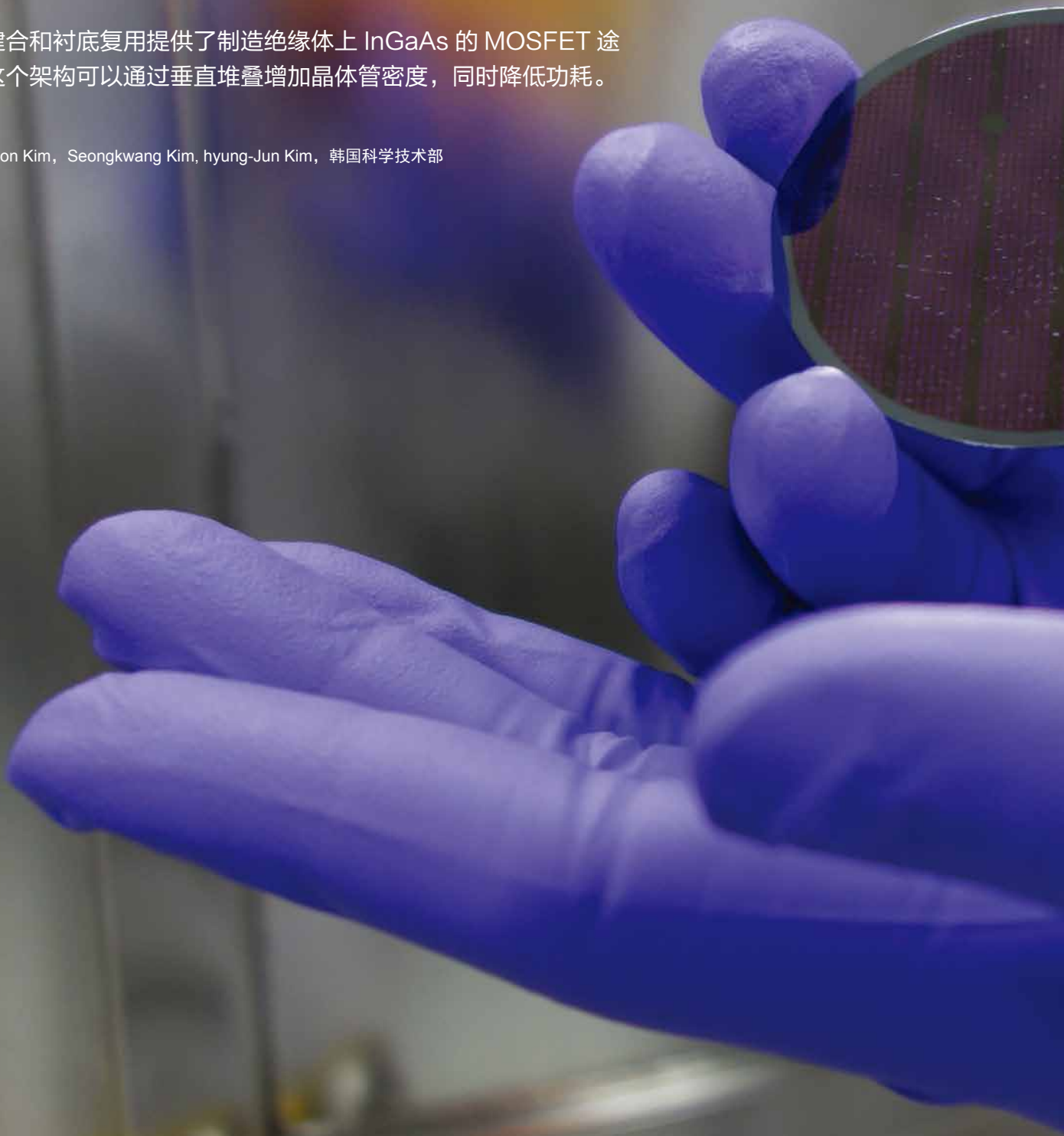
不过，正如他强调指出的那样，Akash 并未着手与 SiC 基 GaN 器件进行竞争。“金刚石基 GaN 的目标不是要取代 SiC 基 GaN，而且我相信这两种技术实际上是互补的。”

他补充说：“然而，金刚石基 GaN 将使卫星系统能够达到新的性能水平。我们希望重新定义那些被人们认定为卫星通信中的局限性的东西。”

三维技术：III-V 族的可行性进步

晶圆键合和衬底复用提供了制造绝缘体上 InGaAs 的 MOSFET 途径，这个架构可以通过垂直堆叠增加晶体管密度，同时降低功耗。

Sanghyeon Kim, Seongkwang Kim, hyung-Jun Kim, 韩国科学技术部





传统上，减小硅晶体管尺寸的一个好处就是削减其功耗。但是现在这种情况已经不复存在，而且由于这个原因，人们更加关注如何处理晶体管以及互连的功耗。

为了尝试并解决这些问题，工业界和学术界的研究人员一直在开发 III-V 族材料如 InGaAs, GaSb 以及锗用作沟道，制备高迁移率的晶体管。转向这些材料，允许电子和空穴比在硅中速度更快的运动，增加驱动电流。由此，可能会降低晶体管的供电电压，并最终降低其功耗。

当然，这并不是削减功耗的唯一办法。另外的办法包括：晶体管可以垂直和单片堆叠，称为单片 3D (M3D, monolithic 3D)。切换到这种架构可以缩短互连的长度，降低延迟和功耗；并增加晶体管密度，从而实现最终的功耗减少。此外，M3D 架构可以实现功能放大，因为它允许非数字组件，如 RF 器件和传感器的集成。

硅基 M3D 技术面临的最大挑战之一，与工艺温度的不兼容相关（见图 1）。低温工艺对于制造顶部晶体管至关重要，但目前的 CMOS 技术需要高的工艺温度，这通常为 1000-1100℃。这个温度足以熔化底部晶体管上方的互连金属，并使得底部晶体管的性能严重退化，这些从前都是在制造顶部晶体管之前制造好的。由于这种严重的热预算限制，M3D 与传统硅技术集成的到来困难重重。

使用 III-V 族材料来实现低温工艺

使用 III-V 族材料可以避免这个问题。具有这些沟道材料的晶体管通常有低于 400℃ 的工艺温度，这个温度对于防止损坏底部晶体管和互连金属都足够低。

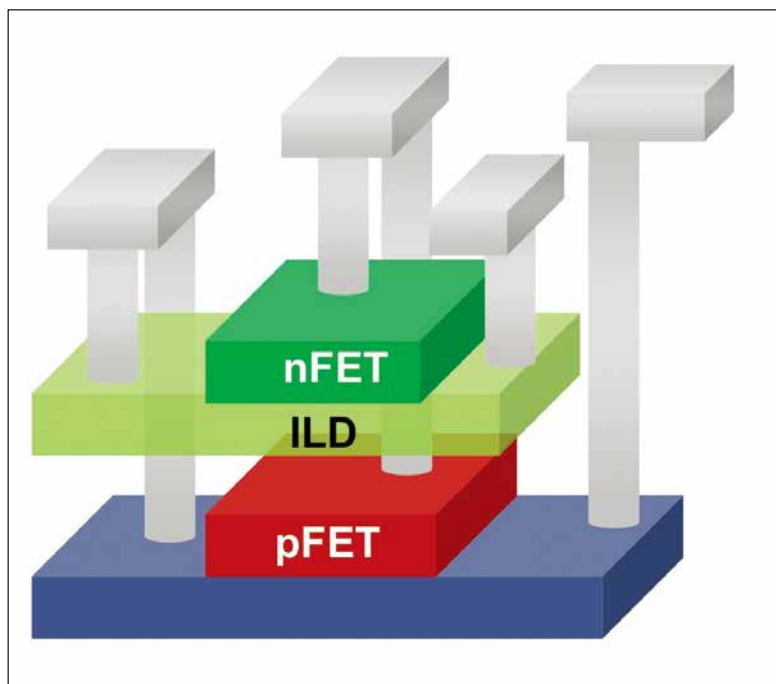


图1. 硅上单片3D集成很有挑战性，这是由于工艺温度的不兼容。这个问题可以通过转向III-V半导体来克服。

近来，高性能 InGaAs 绝缘体上的 MOSFET 报道已经有很多了。这些器件可以很好地缩小尺寸，并且它们具有非常简单的器件结构，使得有望成为 M3D 的潜在候选。但是，绊脚石就是相比硅工艺，成本的增加过高。从制造业的观点来看，这抵消了使用 InGaAs 带来的所有好处。

为了解决这个缺点，我们首尔的韩国科学技术研究所（KIST）的团队最近开发出了经济有效的绝缘体衬底上 InGaAs 的制造工艺，并用它们制造出高性能的 MOSFET。我们技术的核心是使用直接晶圆键合和外延剥离技术，在硅衬底上形成 InGaAs 层（见图 2）。该工艺的关键优点是非破坏性的晶圆分离，这实现了供体晶圆衬底的重

复使用。

器件形成从 InP 衬底上外延生长 InGaAs 有源层开始。有源层和衬底之间夹有 AlAs 的牺牲层。控制其厚度至关重要：由于 InP 和 AlAs 之间的晶格失配，这会影响外延层的质量，并且它也决定了外延剥离工艺的速度。对各种 AlAs 厚度进行的结构实验，让我们可以确定该层的最佳厚度。

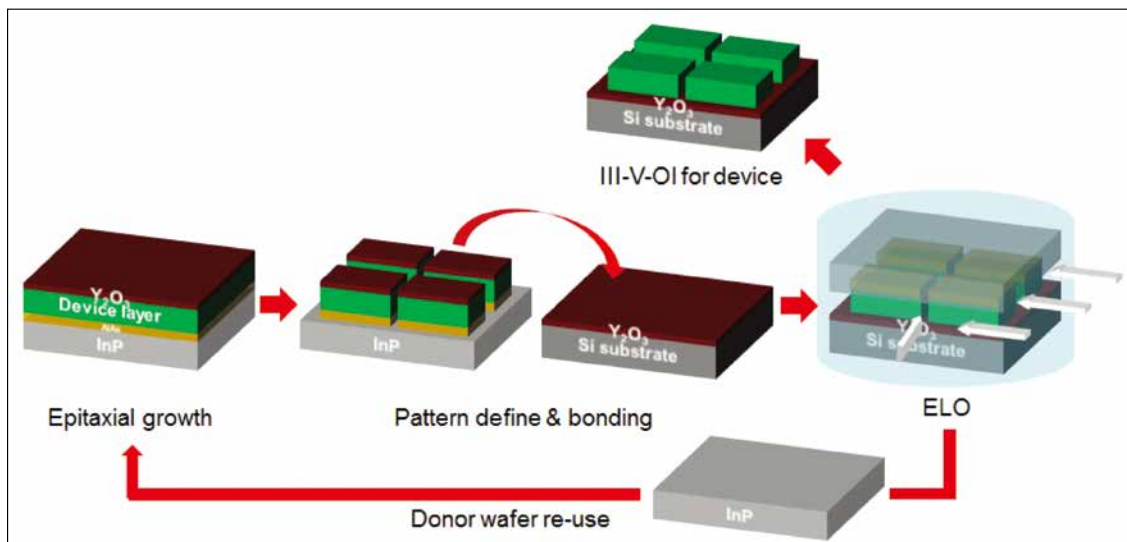
我们的下一步是在 III-V 外延晶圆和硅晶圆上沉积 Y_2O_3 。 Y_2O_3 已经通过预制的图案化工艺，为快速外延剥离做好了准备，其中还包括了扩大曝光刻蚀区域。提高外延剥

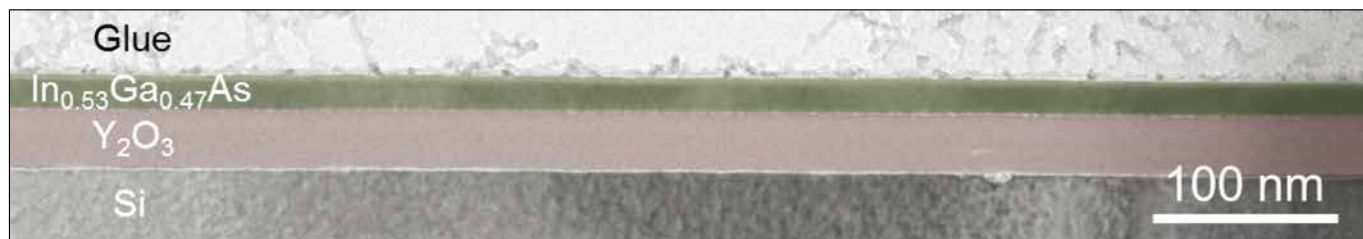
离速度的关键之一是使用亲水性表面，例如 InP，而不是 GaAs 或 InGaAs。这种类型的表面确保了溶液的流畅流动，并防止产生大的反应产物。

一旦 Y_2O_3 /InGaAs/AlAs/InP 和 Y_2O_3 /硅衬底键合到了一起，产生的结构可以在 HF 溶液中刻蚀，从而除去 AlAs 层，并形成硅衬底上的绝缘体上 InGaAs 和 InP 供体晶圆。这个过程通常需要 1 小时，是迄今为止报道的最快外延剥离技术。该步骤之后，使用绝缘体上 InGaAs 晶圆制造 MOSFET，而供体衬底可以再次使用于更多的外延生长，从而能够显著降低成本。

对这些晶圆的表征显示出我们材料的良好晶体质量，以及明显的键合行为。通过我们的透射

图2. KIST的研究人员正在通过晶圆键合处理绝缘体上InGaAs晶圆。这种多芯片/晶圆键合工艺适用于直径为300mm或者以上的晶圆。





电子显微镜图像得以观察到这些属性（见图3），并且展示了我们的工艺能力提供绝缘体上高品质InGaAs薄膜的为M3D技术重要性。

形成 FET

我们是第一个使用直接晶圆键合和外延剥离，制造硅衬底上绝缘体上InGaAs MOSFET的团队。我们的晶体管是使用挖槽栅结构和Y₂O₃/InGaAs MOS界面形成。直接晶圆键合和外延剥离工艺的结合确保了器件的高迁移率。它们的结果是良好的外延层质量，以及改善Y₂O₃/InGaAs MOS界面的专用热退火工艺。

我们的结果令人鼓舞。MOS界面处的陷阱密度约为 $5 \times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ ，这几乎就是一个新的记录，并比高 κ /InGaAs界面的典型值低一个数

量级。器件具有良好的电学性能，例如 10^6 的开关比，仅为120mV/dec的亚阈值摆幅，峰值迁移率约为 $2800 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ，这是表面沟道In_{0.53}Ga_{0.47}As MOSFET的新记录（见图4）。

注意，我们的绝缘体上InGaAs MOSFET的迁移率超过InP衬底上InGaAs MOSFET的迁移率。我们认为这种优势可能源于高的外延层质量，并且也可能源于沟道层中更有利的电荷分布。通过进一步的氧化物厚度减薄，界面改善和整个工艺的优化，我们甚至有可能获得更好的结果。

重复使用衬底

我们工艺的低成本来自于快速的外延剥离和供体晶圆的重复使用。请注意，对于许多III-V族器件，其高成本源于比硅高得多的高价本征衬底。

图3. InGaAs/Y₂O₃/硅的横截面透射电子显微镜和样品的高分辨率图像。观察到清晰的键合行为，分辨不出键合界面。



LAYERS

For all the latest news
in thin film deposition








Our thin film production solutions reduce your process development times, enhance yields and increase your throughput.

Choose Evatec for our know-how in the precision AlScN films required for BAW filters in 5G mobile networks, evaporation solutions for "lift off" processes in RF Power Devices, or deposition of the bulk layers, contacts and mirrors for the new Micro LED technology.

To find out more about the latest thin film production solutions in **MEMS**, **Wireless Communication**, **Power Devices** and **Optoelectronics** read Evatec's LAYERS thin film technology magazine or contact our local sales and service organisations in Greater China.

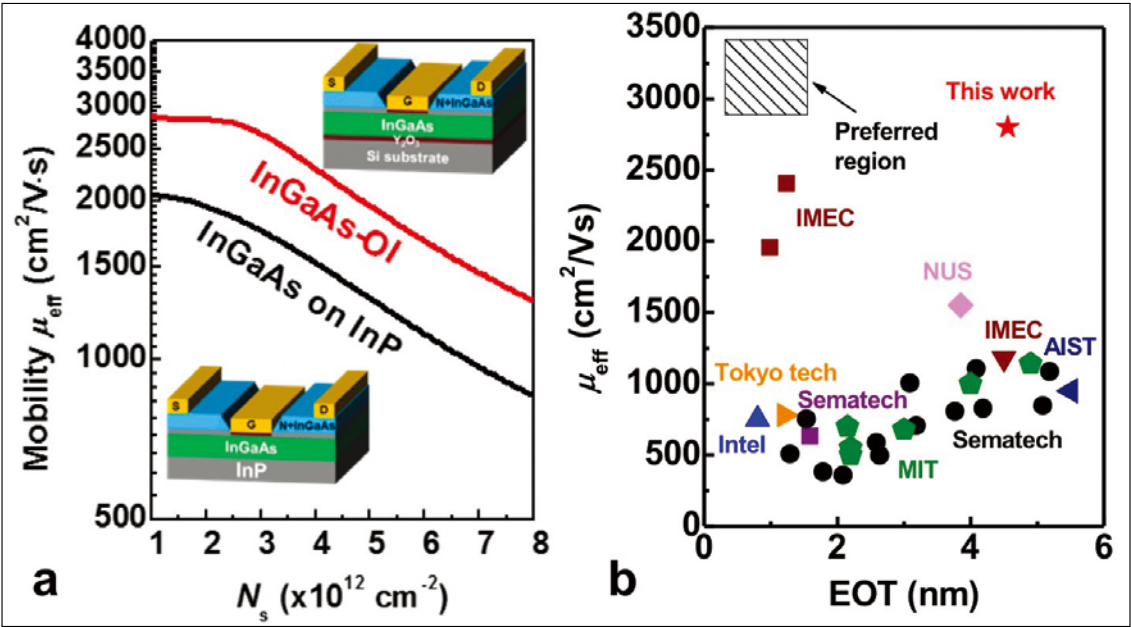
Evatec China Ltd.
T: +86 21 8019 7660
E: infochina@evatecnet.com

Evatec AG Taiwan Branch
T: +886 3 550 6951
E: infotw@evatecnet.com

ADVANCED PACKAGING • PHOTONICS • MEMS • OPTOELECTRONICS • POWER DEVICES • WIRELESS • THE THIN FILM POWERHOUSE

www.evatecnet.com

图4. (a) 绝缘体上InGaAs产生的MOSFET迁移率特性与体InGaAs的迁移率特性非常相似。(b) 对于表面沟道的In_{0.53}Ga_{0.47}As MOSFET, 迁移率基准作为等效氧化物厚度 (EOT, equivalent oxide thickness) /电容有效厚度 (CET, capacitance effective thickness) 的函数。



为了研究 InP 供体晶圆的可重复使用程度, 我们通过 InP 上生长 InGaAs 和 AlAs 层, 在 H₃PO₄ 基溶液中刻蚀这些结构来模拟外延剥离工艺, 然后进行二次生长。通过原子力显微镜, 我们发现重复使用晶圆上也能够获得新鲜 InGaAs MOSFET 外延结构的光滑表面 (参见图 5 (a))。这表明在晶圆重复使用后, 有可能保持开盒即用的 InGaAs 表面。

由于表面形态不能保证重复使用的质量, 我们还比较了新鲜和重复使用晶圆的 InGaAs

MOSFET 电学特性。令人鼓舞的是, 两种类型器件的迁移率特性几乎相同, 表明外延剥离过程之后, 供体晶圆可以重复使用 (参见图 5 (b))。这验证了我们降低绝缘体上 InGaAs 晶体管生产成本的方法。这个结果给出我们一条途径: 受益于通过绝缘层简化集成的经济有效 M3D 架构; 以及具有高质量 InGaAs 外延层的下一代逻辑电路生产方法。

我们的方法是可几个可以将 III-V 族材料与硅结合的方法之一。其竞争方法包括涉及刻蚀去

	Wafer bonding (grown on III-V sub.)	Wafer bonding (grown on Si sub.)	Aspect ratio trapping	Confined epitaxial layer overgrowth	Wafer bonding and ELO
Wafer size > 300mm	X	●	●	●	●
Cost	High	Medium	Low	Low	Low
Growing method	III-V/ III-V sub.	III-V/thick buffer/ Si sub.	III-V/ buffer/ Si sub.	Lateral growth	III-V/ III-V sub.
Channel layer quality	●	▲	▲	●	●
Back interface control	●	●	X	X	●
SCEs control	UTB or Fin	UTB or Fin	Fin	UTB or Fin	UTB or Fin

表1. 集成 III-V 族材料和硅的基准方法。

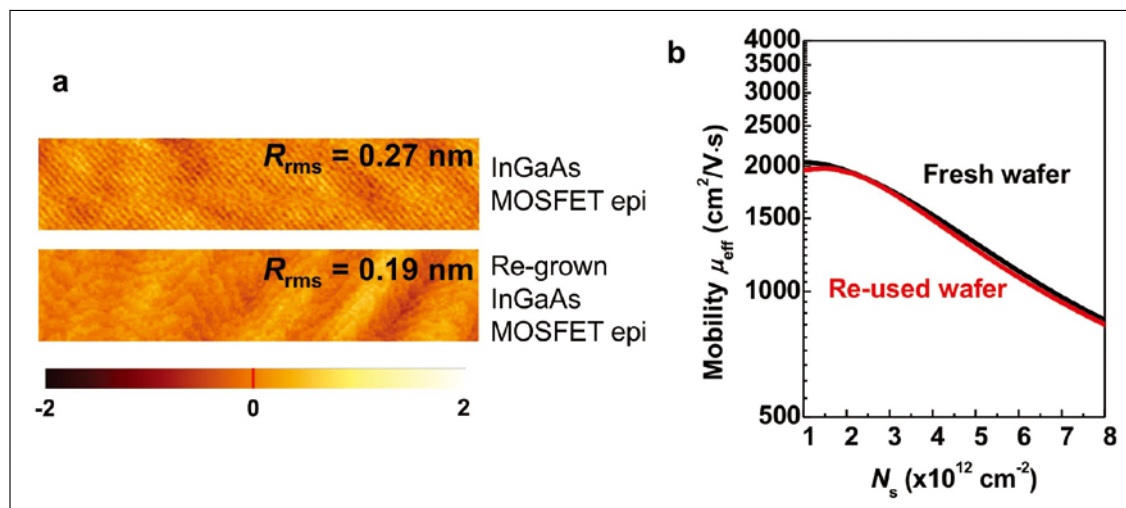


图5. (a) 在新鲜的和重复使用的InP晶圆上生长成InGaAs表面的原子力显微镜图像。两个表面都有低的均方根粗糙度。(b) 在新鲜和重复使用衬底上InGaAs MOSFET的迁移率特性非常相似。

除供体衬底的晶圆键合工艺，高纵横比捕获和限制外延层二次生长。相比之下，我们相信从器件工程化和成本降低的角度来看，我们的技术可以

提供更多优势（参见表1），同时提供了开发堆叠技术的机会，允许集成其他类别的器件，如传感器，激光器和能量收集器。

扩展阅读

S. Kim et. al. "Cost-effective Fabrication of In_{0.53}Ga_{0.47}As-on-Insulator on Si for Monolithic 3D via Novel Epitaxial Lift-Off (ELO) and Donor Wafer Re-use", IEDM, p. 616 (2016)

S. Kim et. al. Appl. Phys. Lett. 110 043501 (2017)



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

MicroLED 会是下一场显示革命吗？

基于微型 LED (MicroLED) 的显示器，不仅具有极高的对比度与广泛的色域，还有惊人的亮度和很好的坚固性，但其复杂性会阻碍实际生产吗？

ERIC VIREY, Yole Développement

尽管固态照明在快速增长，显示器背光仍然是 LED 的主要市场。十多年来，屏幕一直在使用这些器件来照明，最初放置在传统封装中，最近则是芯片级封装 - 现在已经是 LCD 中无处不在的光源。

封装 LED 的成功案例是大型视频广告牌中的照明光源，这是体育场馆，商场和视频门面都很常见的景象。其中，红色、绿色和蓝色的 LED 芯片分立封装形成单独的像素，根据显示器的尺寸及其分辨率，间距通常在 1mm 至 40mm 之间。

直至今今天，LED 从未被用作小间距消费显示器中的直接发光元件即像素。许多问题阻碍了它的发展，包括与成本和可制造性有关的问题。然而，使用 MicroLED 和亚毫米像素间距构建显示器的想法，甚至可以追溯到 LED 处于起步阶段的时期。

在过去五年中，人们开发基于 MicroLED 显示器的兴趣开始逐步付诸实践。2014 年，苹果公司收购了一个 MicroLED 显示器初创公司 Luxvue 之后，对于 MicroLED 技术和显示器方面的兴趣激增。2016 年 10 月，社交网络巨头 Facebook 旗下的增强现实 / 虚拟现实 (AR/VR) 公司 Oculus 收购了 MicroLED 初创公司 InfiniLED，而今年 5 月，现在成为鸿海富士康集团一部分的夏普公司，收购了另外一家 MicroLED 的公司 eLux。

鉴于这些收购，该技术已经不仅仅是实验室的好奇心。那么，引起消费电子 OEM 和领先大品牌巨大兴趣的是什么呢？是因为这种技术将独



立的红色、绿色和蓝色子像素作为独立可控光源，能够形成高对比度，高速度和宽视角的显示器，这些也是昂贵的 OLED 显示屏的属性。

事实上，由于更宽的色域，高出数个数量级的亮度，显著降低的功耗，更长的使用寿命，更好的耐用性和卓越的环境稳定性，MicroLED 显示器应该比竞争对手 OLED 更胜一筹。此外，正如苹果最近的专利申请所示，MicroLED 可以实现传感器和电路的集成，实现具有嵌入式感测功能如指纹识别和手势控制的薄显示器。

虽然 MicroLED 仍然尚未进入市场，但它们也远不仅仅是绘图板上的想法。回顾 2012 年的消费电子展，索尼展示了一款全高清 55 英寸



电视机，就是采用的 MicroLED。这个显示器包含 620 万个子像素，每个子像素都是分别可控的 MicroLED 芯片，它受到路过展台视频爱好者的热烈评价。然而，索尼对于商业化时间表没有任何描述，而且直到今天，也没有 MicroLED 电视进入市场。

本质上复杂的技术

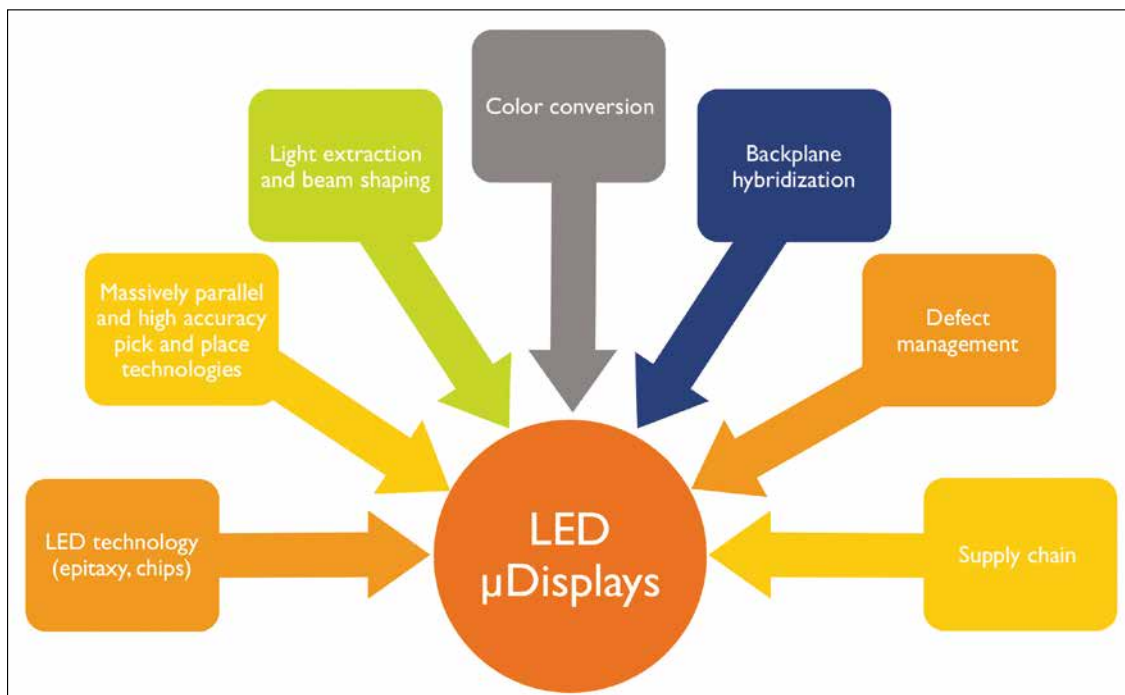
今天，对于 MicroLED 还没有普遍接受的定义。然而，一般情况下，认为是总表面积小于 $2500\mu\text{m}^2$ 的 LED 管芯。这对应于 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ 的正方形，或直径为 $55\mu\text{m}$ 的圆形芯片。根据这个定义，现在 MicroLED 已经上市了，索尼 2016 年

再次展示的小间距、大型 LED 视频墙，其中已采用 MicroLED 替代了传统的 LED 封装。

LED 和显示器行业的一个大问题是：离小间距、消费级 MicroLED 显示器还有多远？这样才可能针对手机，智能手表，电视机，笔记本电脑，以及最近的虚拟现实，增强现实和混合现实的头戴式设备。

到那个程度很不容易。制造 MicroLED 显示器的技术涉及将大量 LED 基板加工成 MicroLED 阵列，准备好拾取和转移到接收基板，集成到异型集成系统中：显示器会集成 LED，像素驱动晶体管，光学元件等。外延片可容纳数亿的 MicroLED 芯片，相比之下，传统 LED 仅数千个。

实现MicroLED 的可能潜力之前，必须克服很多挑战。



实现 MicroLED 显示有两个主要路线。一个是将 MicroLED 单独或分组拾取并转移到类似于 OLED 显示器中使用的薄膜晶体管驱动矩阵上；另一个是使用 CMOS 驱动电路将数十万个 MicroLED 的全单片阵列集成起来。

如果采用这两种方法中的第一种，则组装一台 4K 显示器，需要拾取、定位和单独连接 2500 万个 MicroLED 芯片（假设没有像素冗余）到晶体管背板上。用传统的拾放设备操纵这样的小型器件，每小时的处理速度约为 25,000 个单元。组装单个显示器就要需要一个月的时间，这太慢了。

为了解决这个问题，苹果，X-Celeprint 和其他多家公司已经开发出了大规模并行拾放技术。他们可以同时处理数万到数百万的 MicroLED。然而，当 MicroLED 尺寸仅为 $10\mu\text{m}$ 时，以足够精度拾取和定位它们就非常具有挑战性了。

对 LED 芯片，也还有一些问题要去克服。当尺寸非常小时，LED 性能受到与表面和表面下缺陷相关的劣化侧壁效应影响，如键合断开，沾污和结构损坏。这些缺陷导致非辐射载流子复合的加速。侧壁效应可以延伸超过类似于载流子扩散长度的距离，通常为 $1\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ ：这对数百微米边的传统 LED 来说并不重要，但在 MicroLED 中可能就非常致命。这些器件中，它可以限制整体芯片的效率。

由于这些缺陷，MicroLED 的峰值效率通常低于 10%，并可能当器件尺寸小于 $5\mu\text{m}$ 时小于

1%。这远远低于最好的传统蓝光“宏观”LED，后者现在可以产生超过 70% 的峰值外量子效率。让事情变得更糟的是，MicroLED 通常必须以非常低的电流密度来运行。它们通常在低于 $1\text{-}10\text{Acm}^{-2}$ 的峰值效率区以下工作，这是传统的中功率 LED 工作区，因为即使在这样的低效率下，LED 也是异常明亮。如果手机让 MicroLED 以最高效率运行，它的显示器会提供高达数万尼特的亮度，这比今天市场上最亮的手机还要高出一个数量级。屏幕会过亮，以至于让那些胆敢去看的用户产生眩光。

当 LED 以非常低的电流密度工作时，它们的效率非常低，从而该技术不能实现削减能耗的承诺。因此，解决这个问题，对于参与到 MicroLED 产业的公司是关键的首选事项。提高效率的选择包括引入新的芯片设计和改进制造技术。这两种方法都可以减少侧壁缺陷，并使电子载流子远离芯片的边缘。

MicroLED 的开发人员也面临与色彩转换，光提取和光束整形有关的挑战。所有这些都是大量研究活动，许可以及兼并和收购活动的主题。

现代显示屏的另一个要求是消除坏的或有缺陷的像素。在外延、芯片制造和转移方面实现 100% 的综合良率是虚幻的设想。所以 MicroLED 显示器制造商必须制定有效的缺陷管理策略。这可以包括像素冗余和单个像素修复，采用通过显示器特性和经济性控制的方法。

短期容易实现的目标

MicroLED 能够部署在从最小到最大的任何显示应用中。在许多情况下，它们将比 LCD 和 OLED 显示器的最终组合更好。但是，可行性和经济现实首先就将以产品可接受的成本为代价来限制显示器的可用器件，尽管它们提供了性能和功能方面显著或破坏性的增益。

详细检验 MicroLED 显示器可以提供给每个应用的优点，缺点，机会和威胁，已经超出了本文的范围。然而，详细的分析表明，智能手表和其他可穿戴产品，如 AR/MR 应用的微型显示器，将是最有可能在初期展示 MicroLED 显示器能力的应用。

其中，智能手表代表着短期最容易实现的市场：它有相对较少的像素数和中等范围的像素密度。这些特性使得在芯片和组装级别具有很高的成本效率。因此，显示器几乎可以接近当前 MicroLED 技术的开发状态，并且它们具有潜在的差异化功能，包括降低功耗来延长电池寿命，更高的亮度从而实现出色的户外可读性。

如果这些显示器开始使用，那么随着在显示器前端平面内引入各种传感器，例如可以读取指纹并提供手势识别，技术将有可能获得进步。

MicroLED 的另一个主要机会是增强和混合现实的头戴式视图器。与虚拟现实用户佩戴完全封闭的头戴式显示器，从而与外界视觉隔离开不同，AR 和 MR 应用将计算机生成的图像叠加到现实世界中。

这些应用的要求之一是重叠的图像要有足够亮度来与环境光线相比，特别是对于室外应用。另一个标准是，显示器不能物理上位于眼睛前方，

因为这将阻碍用户观看真实的世界。为了满足这些条件，显示必须是位于不遮挡的位置，图像投影到眼睛上，使用光学效率小于 10% 的复杂投影或波导光学器件。这些要求决定了显示器的亮度范围要从 10,000 到 50,000 尼特，是目前市场上最好手机亮度的 10 倍到 50 倍。

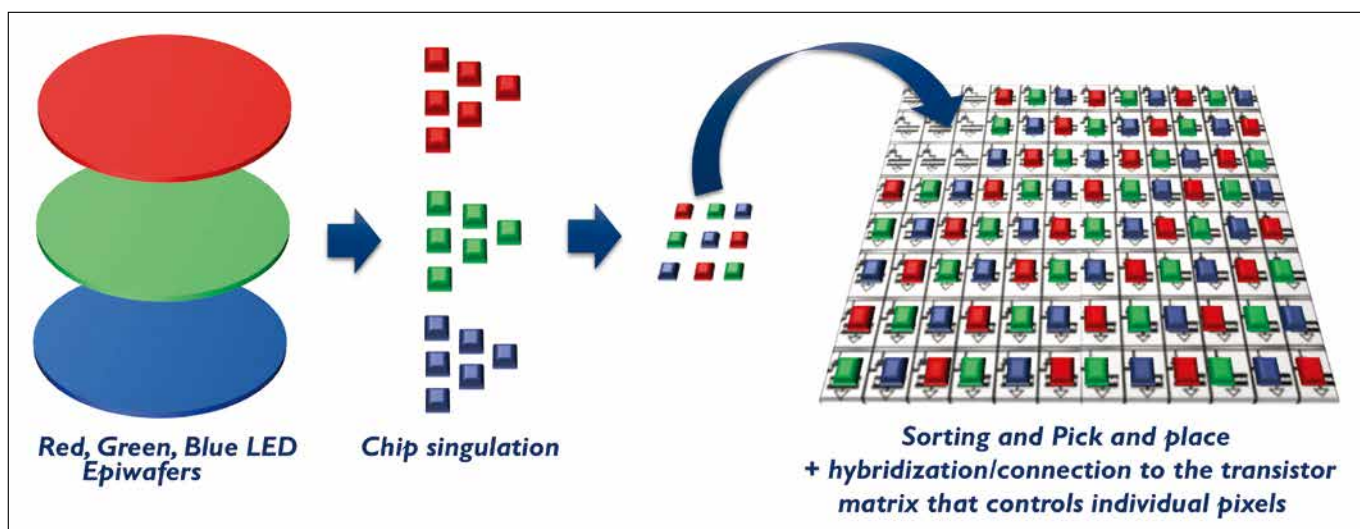
今天，MicroLED 是唯一有潜力提供这种亮度水平，同时保持合理功耗和紧凑性的候选。令人鼓舞的是，同样的推理也可以用于汽车和其他环境中的平视显示器，这些也可以认为是 AR 的一种形式。

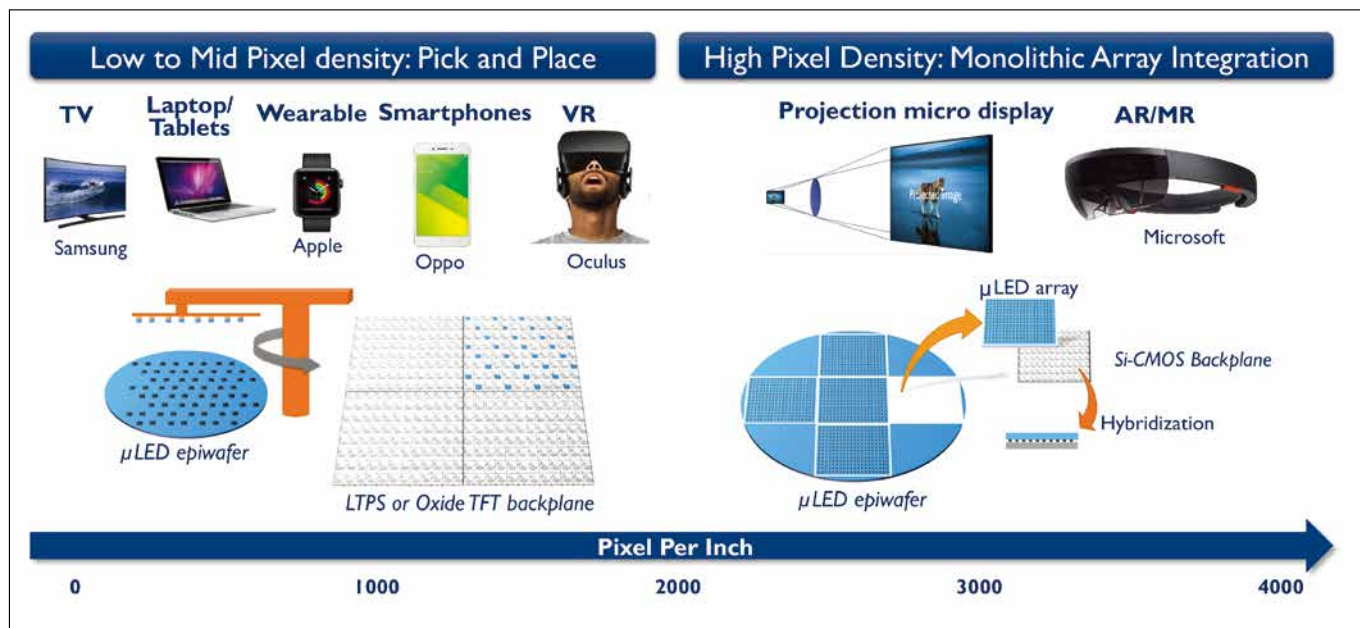
MicroLED 想要努力产生影响的市場是智能手机。这里 OLED 显示器已经能以非常有竞争力的成本，来提供卓越的性能。如果 MicroLED 想要切入进去，则子像素的尺寸必须减小到几微米。这将使其更难提供可接受的效率，并实施并行的转移方法。电视中的成功反倒可能更容易出现。在这种情况下，缺点是像素密度相对较低，在 4K，55 英寸电视中的间距约为 100 μ m。密度低会阻碍转移技术的效率，因为每个周期需要移动数千个芯片，而不是智能手机或智能手表所需的数十万个。要占领这个市场上，需要开发替代的高产能组装技术。

供应链问题

许多大公司和初创企业都开始着手 MicroLED，从诸如晶圆光电，日亚化和欧司朗等 LED 厂商，到显示制造商索尼，友达，京东方和 CSOT 等，再到原始设备制造商如苹果和 Facebook/Oculus。进行彻底的专利检索和分析，你会发现有超过一百家公司已经申请了与 MicroLED 有关的专利。

MicroLED 显示器通过将晶圆切割成微小的器件，并通过并行的拾取和放置技术将其传输到过渡背板上而制成。





MicroLED 的目标是一系列不同像素密度要求的应用。

这个市场的成功需要将三大不同技术和供应链要素组合在一起：LED，薄膜晶体管背板和芯片转移。与传统显示器相比，这创造了一个更复杂和更广泛的供应链。每一步工艺都至关重要，有效管理各个方面将是很大的挑战。

没有单一的玩家能够解决所有问题，而且也不可能出现完全垂直整合的制造商。在较小的市场如增强现实中，小公司可以汇集产品所需的不同技术。但是，大规模消费者应用（如手机或电视机）中，不大可能发生这种情况，这里需要领先的 OEM 厂商来强劲推动建立供应链。今天，苹果拥有足够的影响力和财力，能够将所有合作伙伴聚集一起。其他有能力这么做的包括投资于 MicroLED 的 Oculus，其关注重点是 AR/MR 应用。

在供应链中，每个玩家都将尝试尽可能多地获得附加值。对于 LED 制造商来说，MicroLED 有非常低水平缺陷和高分辨率特征的两项特殊要求，这意味着对新洁净室和光刻设备的大量投资。这些可能是更适合 CMOS 代工厂的标准。传统的显示器厂商也将面临新的挑战。他们习惯于在将成品面板交付给 OEM 厂商前，以集成的方式来制造后面板和前面板。

转向 MicroLED 可能会使得这些厂商只提供薄膜晶体管背板给最终显示器组件制造商；OEM 或外包半导体组装和测试人员。无论供应链是什么形式，引入 MicroLED 显示器都会有些必然的赢家。设备制造商，包括 MOCVD 设备制造商的销售额都将会增加，晶圆供应商也同样。

我们需要等待多长时间才能看到第一个消费者应用呢？科学早已完备，但 MicroLED 是一种固有的复杂显示技术，成本驱动因素与现有 LCD 和 OLED 显示屏厂商的不同。根据最新的发展以及供应链的成熟程度，大批量应用进入市场预计最早将会到 2019 年。

MicroLED 很有机会在各个领域都取得成功。但是，现在预测它会产生狂风暴雨般的影响，还是会像过去许多其他“有潜力”技术一样崩溃和一闪而过，都还为时过早。无论如何，这个领域的广泛积累和持续研发应该会结出果实，并为其其他应用带来经验。它应该会更好、更高效的 LED；高速 Li-Fi 通信；以及帮助其他行业的微型器件转移技术。

市场趋势和数据来自 Yole Développement 的报告 MicroLED Displays (Feb. 2017)

MicroLED 想要努力产生影响的市場是智能手机。这里 OLED 显示器已经能以非常有竞争力的成本，来提供卓越的性能。如果 MicroLED 想要切入进去，则子像素的尺寸必须减小到几微米。这将使其更难提供可接受的效率，并实施并行的转移方法。

3 EVENTS 2 DAYS 1 TICKET

10-11 April 2018

Sheraton Brussels Airport Hotel, Belgium

One ticket gives you access to a 2 day event which will see 3 groups of device makers gathered under one roof.

Hear over 90 presentations covering the entire spectrum of the compound semiconductor, integrated photonics and high-end sensors value chain.

Over 80 speakers CONFIRMED so far.

Book your place now. as it will be another sellout

PIC INTERNATIONAL CONFERENCE

Creating and strengthening links between chipmakers and network builders

www.picinternational.net

CS INTERNATIONAL CONFERENCE

Connecting, informing and inspiring the compound semiconductor industry

www.cs-international.net



HES INTERNATIONAL CONFERENCE

High-end sensors:
Market opportunities



www.highendsensors.net

REGISTER NOW, AND SECURE YOUR PLACE. REGISTRATION ALLOWS ACCESS TO:
CS INTERNATIONAL, PIC INTERNATIONAL AND HES INTERNATIONAL



任意转移 GaN: 从 Nb₂N 上来释放 GaN 膜层

DAVID MEYER, BRIAN DOWNEY, D. SCOTT KATZER, MARIO ANCONA,
SHAWN MACK, LAURA RUPPALT, 美国海军研究实验室

氮化镓 (GaN) 器件正在改变我们的生活, 其中 LED 是其领跑者。由于 LED 富有竞争力的价格, 极高的效率和快速响应的能力, 已被广泛地应用于家庭、办公室和公共空间的照明。此外, 整个 GaN 电子产品的市场也在显著地增长, 尤其是将 GaN 器件用于高效率的电源开关和射频功率放大器等方面。在这一领域中, GaN 已使得 DC-AC 转换器达到 95% 的高转换效率成为可能, 来为太阳能光伏和电动 / 混合动力汽车提供电力。GaN 器件应用于雷达系统和通信网络的功率放大器中, 其 RF 输出功率密度是传统 III-V 化合物半导体 (例如 GaAs 和 InP) 的 10 倍。令人值得关注的是, GaN 的应用几乎覆盖了所有的微波和毫米波频率范围。

尽管 GaN 器件具有一系列的性能优势, 但我们仍旧不能轻信这种宽带隙技术既能提供当今混合信号系统所需的所有微电子功能, 又能实现功耗节约和成本低廉。在硅 CMOS 所具备的技术先进性以及得到广泛应用的今天, 我们又为什么要选择用 GaN 来制造高密度数字逻辑或内存器件呢?

在电路设计师的理想世界中, 最佳解决方案的要义包括要将不同技术 / 材料实现无缝接合, 就像将五彩的乐高积木搭建成为一个完整的结构体。然而, 这种异构整合的概念还远未得以完全实现。

其中的主要障碍之一是在于, 用于确保电子材料高质量增长的衬底往往与关键性设计标的 (例如低热阻和成本) 并不兼容。

为了解决这个问题, 目前, 我们在美国海军研究实验室 (THE U.S. NAVAL RESEARCH LABORATORY, NRL) 的小组已经开发出一种制备器件的通用技术, 它可将 III-N 器件从昂贵的 SiC 衬底上剥离释放, 这一技术将有潜力应用于独立的 GaN 和 AlN 器件结构的制作。

实现这一技术的关键性的要素是 Nb₂N 薄层材料的性能, 它具有几个重要的属性: Nb₂N 与 GaN 具有紧密的晶格匹配性, 能与 III-N 生长温度相兼容, 以及在 GaN、AlN 和 SiC 上都可进行选择性的蚀刻。使用 Nb₂N 薄膜作为牺牲层, 工艺十分简单, 在完成前道工艺和良率筛选后, 可利用标准的制造设备实现将 III-N 器件结构层剥离并将其转移到任何所需的衬底上。

这种新技术将能激发出器件的多项潜能, 包括通过改进器件的热管理、增加对衬底的循环使用, 进而来降低成本, 提高分立器件的性能, 还包括通过进行器件级的异构集成, 来获得出色的混合电路性能。

Nb₂N 的研发

我们的工作目标集中在 Nb₂N 的 β 相上, 该金属同素异形体具有类似于 SiC、GaN 和 AlN 的

六方晶系结构（参见图 1，它与普通宽带隙六方晶系结构材料的细节比较）。

除了它们具有相似的晶体结构和阴离子外， Nb_2N 和其他 III-N 材料几乎没有共同之处。 GaN 在晶体生长期间有着很高的热动力学稳定性，其镱 - 氮原子比的变化范围可以很大。而 Nb-N 化合物族具有多达九个不同的相，使得所需的 β 相的生长变得非常困难，将高度依赖于化学计量比。更为棘手的是，Nb 的熔点高于 2500°C ，这一温度显著超过 MBE 的使用温度上限 2000°C 。

但令人值得欣喜的是，MBE 生长并不发生在热力学平衡过程中，这就为通过生长动力学来扩展单 β 相 Nb_2N 薄膜的生长窗口提供了可能。我们采用了配有电子束蒸发源的等离子辅助氮化物 MBE 系统来实现这一过程。借助这一生长设备，我们就可以克服常规 MBE 中喷发单元的温度限制问题，能够产生足够的金属 Nb 通量，以灵活地控制该材料的生长动力学过程。在 MBE 生长技术上的大量开发工作和材料表征手段使我们能在 775°C 到 850°C 温度区间在 SiC 衬底上生长出光滑的单 β 相 Nb_2N 膜层，该生长温度与标准 MBE 的 III-N 族化合物生长温度条件完全相兼容。

虽然在 SiC 衬底上实现 β

相 Nb_2N 薄膜生长具有里程碑式的意义，但更大的挑战依然存在： Nb_2N 是否能与 III-N 器件异质结构相兼容，以拓展它的功能，而不会影响到后续 III-N 层的材料质量和电气性能呢？幸运的是，我们的工作表明，可以在 Nb_2N / SiC 模板上生长出具有高结晶性和电学性能的 AlN 和 GaN 异质结构，这些膜层质量都与在 SiC 上直接生长时相类似。

一个实例可以证明生长具有器件质量外延层的可行性，我们在 Nb_2N / 6H-SiC（硅表面）上生长高性能 N 极性 GaN / $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 来制作 HEMT。这种器件结构具有很好的二维电子气性能：薄层电阻为 $350\Omega/\text{sq}$ ，薄层载流子浓度为 $1.30 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ ，霍尔迁移率为 $1400\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。与直接在 6H-SiC（碳表面）上生长的 N 极性 HEMT 器件结构相比，其迁移率的变化在 10% 以内。

有趣的是，在硅面 SiC 上金属极性薄膜的标准生长条件有可能适用于在 Nb_2N 上来生长 N- 极性薄膜。通过调整 Nb_2N 上的 AlN 成核层的生长参数，就可以实现极性控制并获得金属极性的取向。



U.S. NAVAL
RESEARCH
LABORATORY

CS INTERNATIONAL CONFERENCE

10-11 APRIL 2018
Sheraton Airport Hotel Brussels

Connecting, informing and inspiring the compound semiconductor industry.

CS INTERNATIONAL 2018 CONFERENCE SPEAKERS ANNOUNCED!

With a record breaking number of speakers and sponsors secured, the eighth CS International Conference is set to be the biggest and best yet!

Held at the Sheraton Airport Hotel in Brussels on 10-11 April 2018, CS International will once again be the must-attend event for the global compound semiconductor community.

Highlights include talks by the leaders of power electronics pioneers Transphorm, Panasonic and VisiC; presentations on the integration of compound semiconductor and silicon technologies by NAsP III-V and the co-ordinators of two multi-partner European projects; plus a talk by Seoul Semiconductor on its pioneering efforts at chip-scale LEDs amongst many others.

Delivering over 30 presentations
CS International will provide comprehensive coverage of the global semiconductor industry exploring 5 core themes

- Wrestling market share from silicon power devices
- Finding solutions with heterogeneous integration
- 5G: Where are we and what's next?
- LEDs: Magnifying margins
- Ramping revenues from RF devices

For each theme a keynote presentation and market analyst talk will be given by the leading decision makers and influencers within the industry.

Book your place NOW!

www.cs-international.net/register to secure your place

It's set to be another sellout

PLATINUM SPONSORS



GOLD SPONSORS



WIFI SPONSOR PORTFOLIO SPONSOR LANYARD SPONSOR DELEGATE BAG SPONSOR SUPPORTED BY



This two day event covers five themes

Speakers announced to date

Wrestling Market Share from Silicon Power Devices

What are the next opportunities for SiC? And how can GaN gain significant traction in the market place?

ANALYST

- **Richard Eden: IHS Markit**
The SiC & GaN power semiconductor market:
Forecasts and drivers

SPEAKERS

- **Philip Zuk: Transphorm**
Shifting gears: The “GaN-ification” of automobiles
- **Peter Friedrichs: Infineon**
Exploiting the merits of GaN and SiC
- **Hiroyuki Handa: Panasonic**
Trimming the losses in GaN GITs
- **Tamara Baksht: VisiC Technologies**
High efficiency at high power density: realisation of GaN’s promise for power electronics
- **Andy Sellars: Catapult**
Accelerating the commercial application of compound semiconductors
- **Mohamed Alomari: IMS Chips**
Fast-loop assessment of GaN/AlGaIn epitaxial layers for power applications
- **Cem Basceri: Qromis**
‘Status Updates: Volume Manufacturing of High Performance & Scalable GaN Power Devices on 8-inch Diameter QST Platform’

Finding Solutions with Heterogenous Integration

Where will the growth of compound semiconductors on silicon deliver a fundamental change? And what are the tricks to ensure success?

ANALYST

- **Zhen Zong: Yole Développement**
Presentation TBC

SPEAKERS

- **Jean-Pierre Locquet: GaNonCMOS EU Project**
Dense integrating GaN power switches with CMOS drivers
- **Wolfgang Stolz: NAsP III-V**
Building III/V-devices on CMOS-compatible Si (001)
- **Lars-Erik Wernersson - Lund University**
Integrating III-V nanowires to advance CMOS system-on-a-chip technologies

5G: Where are we and What’s Next?

What form will 5G take? And how good will 5G be for GaAs and GaN?

ANALYST

- **Eric Higham: Strategy Analytics**
Is 5G roll-out a certainty? And will it be good for GaAs and GaN?

SPEAKERS

- **Roger Hall: Qorvo**
Building the industry’s first 5G front-end
- **Liam Devlin: Plextek RFI**
MMICs - what is needed to get mmWave 5G to work?

LEDs: Magnifying Margins

Which sectors offer the best returns? Does the bottom line get the biggest benefit from streamlining manufacturing, or from optimising the chip?

ANALYST

- **Pars Mukish: Yole Développement**
Revolutionising displays with MicroLEDs

SPEAKERS

- **Andreas Weisl: Seoul Semiconductor**
Improving LEDs with a Wafer Level Integrated Chip on PCB (WICOP) architecture
- **J.C.Chen - Ostendo Technologies**
The monolithic full-colour LED and its applications
- **Keith Strickland – Plessey Semiconductors**
Horticultural lighting offers growth opportunities

Ramping Revenues from RF Devices

What are the opportunities for III-Vs in defense and civilian markets? Will higher frequencies open up new sales?

ANALYST

- **Asif Anwar, Strategy Analytics**
Defense sector trends and the associated market outlook for compound semiconductors

SPEAKER

- **Nick Cataldo, Efficient Power Conversion**
Wireless charging with GaN devices



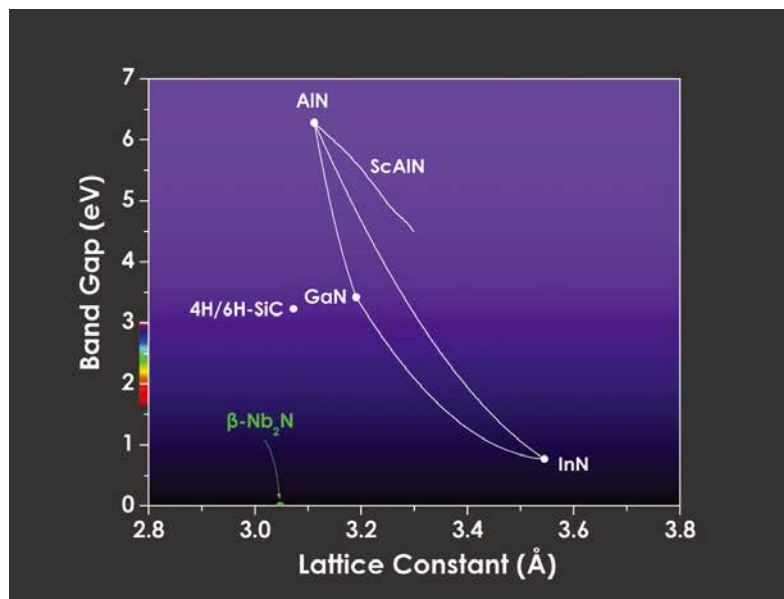


图1. 几种六方晶体材料的能量带隙和晶格常数。

对单晶金属薄层的生长能力可为 III-N 器件设计师提供新的工具。研究者们在一系列实验中探索了不同厚度的 Nb₂N 薄膜的生长，证实该材料确实是金属性的，其体电导率约为 40 μΩ · cm。随着其膜层厚度降至 10 nm 以下，电导率略有增加，但即使是在 4.4 nm 厚度时，Nb₂N 的薄层电阻也仅为 236 Ω/sq。

这些膜层的金属属性在进行 III-N 的过度生长之后仍得以保留，这意味着 Nb₂N 层可以用作微带传输的集成接地层，或用作主动 / 被动

垂直型器件的埋地接触层。由于 Nb₂N 和 AlN 在 1500 °C 时会达到热动力学平衡，由于固态反应的限制，埋地的或顶部的 Nb₂N 电极应该可以耐受高的热负荷，并表现出高的可靠性，这意味着 Nb₂N 和 AlN 能够承受比常规肖特基栅极接触更高的结温。

引起固体物理学家的兴趣的是，我们的 Nb₂N 薄膜在 10 K 温度左右将会转变为超导材料。令人感兴趣的是，这将为开发一种在具有极化特征的超宽带隙半导体材料体系中集成一种纳米厚度超导材料的新型器件提供了可能性。

Nb₂N 除了作为电极材料之外，它还具有另一项富有潜力的属性，并可能会产生更大影响：Nb₂N 易于、且具有选择性地从其他 III-N 材料上实现剥离。利用非等离子气体 XeF₂ (XeF₂ 通常用于硅的微机电系统的加工工艺中) 进行刻蚀，Nb₂N 可以在埋层的情况下实现垂直和侧向的快速去除，同时保证 GaN、AlN 或最常见的金属和电介质层不会被蚀刻。或者，利用硝酸和氢氟酸的选择性湿法化学蚀刻，也可以除去 Nb₂N。在这两种蚀刻方法中，通过插入 Nb₂N 薄层，就可将一个完整的 III-N 器件与其衬底彻底地剥离开来。

转移技术

利用 Nb₂N 所具有的选择性蚀刻属性，我们

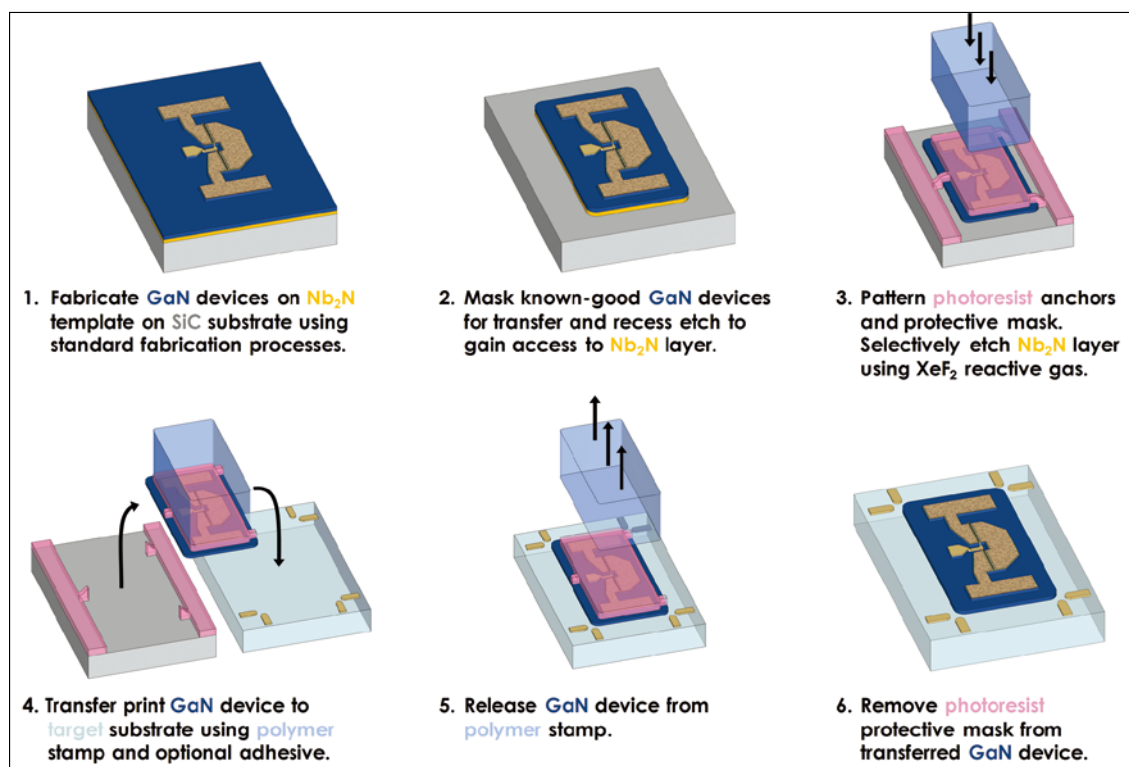


图2. 在美国海军研究实验室 (NRL) 开发的外延剥离 (ELO) 技术，它可以应用于在 Nb₂N / SiC 上生长的 GaN HEMT 器件结构的制作工艺中。

开发了一种外延剥离 (ELO) 技术, 可将 III-N 材料、器件或电路转移到另一个衬底上 (参见图 2 的综述)。高技术首先需要制作一个 Nb_2N / SiC 模板, 在进行传统的前端工艺步骤之前先用外延制作好 III-N 异质结构, 以形成器件或电路。随后进行电测试和 / 或良率筛选, 用于识别的哪些已知是好的器件或电路来用于转移。对掩模层进行器件图形化以便于实现 ELO, 利用深层台面干法蚀刻来暴露出 Nb_2N 埋层。在利用 XeF_2 进行释放蚀刻步骤之前, 先将光致抗蚀胶固定并对其顶部保护层进行图形化, 来将器件临时固定在一个适当位置上。

微转印 (micro-transfer printing) 是一项用于转移系链器件的技术。该技术由美国 Illinois 大学, 现西北大学的 John Rogers 团队率先开发, 并由 X-Celeprint 公司实现了商业化。它的关键技术是使用聚二甲硅氧烷 (PDMS) 的弹性“印章”从源晶圆拾取器件, 并将它转移放置在目标衬底上。

这种方法具有很大的操作自由度, 因为 PDMS “印章”可以定制成各种客户所需的形状和尺寸, 来确定 PDMS “印章”和分离释放器件之间的接触面积。此外, PDMS “印章”还可实现多个器件的批量式转移。

在进行器件转移时, PDMS “印章”先与需转移的器件接触, 随后“印章”回缩以彻底打破器件与源晶圆的系链, 并使器件能粘附在 PDMS “印章”上而与源晶圆完全分离。为了将器件转移到目标衬底上 (可以是另一个半导体晶圆, 或玻璃、纸、金属或任何其他材料), 此时粘附着器件的弹性“印章”与新的衬底进行接触, 此时“印章”还需要作一定程度的横向 (剪切) 运动并以较慢的速度回缩, 以减小器件和“印章”间的粘附力, 最终将器件放置并驻留在目标衬底上。

在器件转移之前, 可以通过在目标衬底上涂覆粘合剂薄层来改善器件与衬底间的粘合性。随后也可以进一步对已经转移器件的目标衬底进行处理, 这是由于转移器件的放置精度优于 $2\mu\text{m}$ 。

在使用 ELO 将器件转移到目标衬底之后, 我们对 N 极性 HEMT 的电性能进行了评估。为了提高器件与目标衬底的粘合性, 我们在转移过程前线涂敷了一层厚为 80nm 的层间介电聚合物层。

我们进行了电学测量来比较与不同目标衬底结合的器件的性能 (参见图 3, 其中包括硅上转移器件的扫描电子显微图)。经释放转移后器件的

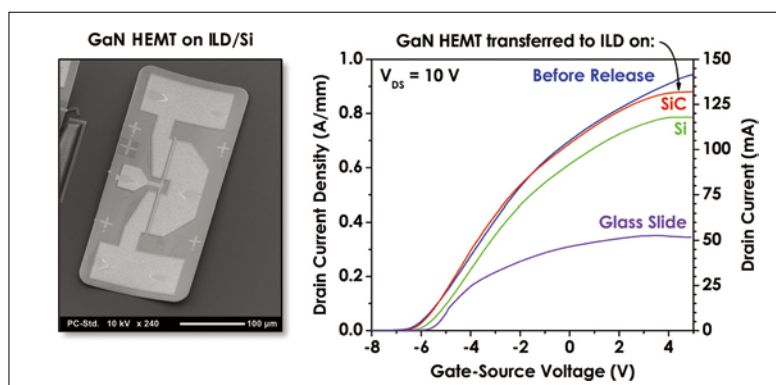


图3. (左图) 转移到硅衬底和80nm层间电介质上的N-极性GaN HEMT ($2 \times 75\mu\text{m}$) 的扫描电子显微镜照片。(右图) 用层间绝缘胶粘各种衬底后器件的传输特性。1.5μm厚粘附层器件传输曲线轻微向下是由器件金属电极合金化工艺的应力所致, 因为未经加工的III-N异质结构材料的释放区域相对较为平坦, 且具有与目标衬底的优良结合特性。目前正在对残余应力进行调查和寻求解决措施。期望通过改变所释放器件薄层的几何形状, 和/或改变临时外部应变补偿光刻胶层或介电层, 来在粘合步骤期间中减小它的弯曲程度。

漏极电流数值有所下降可能是由器件自身的热效应引起的, 这可以归因于器件 / 衬底接界面处的热阻, 以及与目标衬底之间的热导率差异所致。

在电路设计师的理想世界中, 最佳解决方案的要义包括能将不同技术 / 材料实现无缝的结合, 就像将五彩的乐高积木搭建成为一个整体。然而, 这种异构整合的概念还远未能达到完全实现。

其中主要的障碍之一是在于, 用于确保电子材料高质量生长的衬底往往与关键设计目标 (例如低热阻和成本) 并不兼容。

应用机会的评估

由于将 Nb_2N 作为 ELO 的牺牲层是一种全新的想法, 因此很难预测其对化合物半导体的影响。然而, Nb_2N 在以下几个方面确实有着它的发展潜力: 可用来制造提升了散热性能的射频功率放大器; 为异构整合提供一种新的工艺途径; 柔性衬底上制作 LED 器件以及下一代无线通信中具有更高频率的 RF 滤波器。我们将一一讨论在这些方面的应用。

基于 GaN 的 MMIC 的最大弱点之一是, 其性能虽然明显超越传统 III-V, 但它在功率方面还存在如降低了峰值结温, 易造成芯片早期故障等问题。为了解决这个缺点, 研究者们提出了几个解决方案, 以改进 GaN HEMT 的热管理性能, 例如 DARPA 近结端热传输 (NJTT) 和芯片间和芯片内的增强冷却 (ICECool) 等方法。而利用我们的技术采用的是一个与 NJTT 相类似的方法, 是将器件或 MMIC 膜层从 SiC 衬底转移到单晶金刚石晶圆上。这将使得器件能置于导热率高五倍

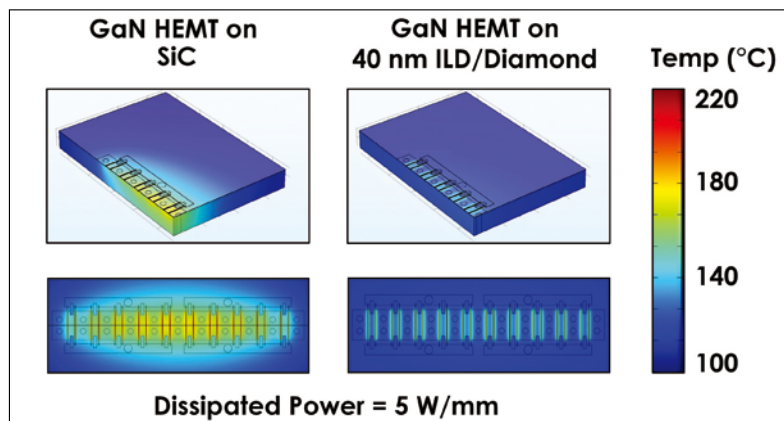


图4. 对在SiC衬底上的 $20 \times 150 \mu\text{m}$ GaN HEMT (左图)和具有40nm层间电介质层单晶金刚石衬底上器件(右图)进行的热学模拟。

的衬底上,从而改善了芯片的热管理性能。据模拟结果显示,即使当GaN器件和金刚石之间的层间电介质为40nm厚度时,芯片依旧具有优越的散热性能(参见图4)。

我们异构电路的ELO工艺可以使得每个电路功能都能采用最为合适的材料。DARPA正在通过多种可行异构集成(DAHI)项目来在该领域进行努力,该项目涉及GaN功率放大器与其他半导体技术(如硅CMOS, InP和SiGe)的集成问题。

使用ELO可把GaN电路或器件直接转移到硅衬底上,所增加的前端工艺能以高的效益成本比来制作具有最短信号通路的混合型电路。如果在转移之后再能加工出器件的通孔,则可以提供器件间的垂直连接通路。

作为一热门产业的可穿戴式显示器,也可从我们的技术中受益。如今,在柔性衬底上制造微型LED显示器的需求正在增加。这就需要先在

SiC衬底上生长和制备高品质的III-N LED器件,然后再使用我们的ELO工艺将这些器件转移到玻璃或塑料衬底上。所释放的LED经光刻加工后其图形具有很小像素及节距尺寸,仅有几微米左右,而我们的ELO工艺可以去除和回收AlN块体衬底材料,这将会使器件的深紫外的性能大为受益,因为AlN块体衬底会吸收LED发射的紫外线,导致降低了LED的效率。

我们技术的另一个应用对象将会是无线领域。无线领域目前所面临的情况是:电磁频谱内频带分布越来越拥挤,这正在通过更为智能化的带宽管理技术来给予解决。实现智能带宽管理的关键技术是需要能在S波段以上运行的可重构、小型化和高品质因子的滤波器。这种滤波器需求量大,但是难以实现量产,其原因是现代手机中的双向器的制作所需要的一种AlN膜层,它是由溅射工艺形成,材料质量很差。该膜层厚度只有几十分之一微米,由于该材料的质量问题,使得远超几千兆赫的体声波(BAW)和轮廓模式谐振(CMR)滤波器的中心工作频率无法得以提升。而我们的Nb₂N模板技术可以解决这个问题:它可以生长出厚度小于200nm的高结晶质量AlN膜层,或者改进例如ScAlN等压电材料的生长质量。这些薄膜可以通过部分去除位于其下方的Nb₂N膜层来使其处于悬浮状态。为了评估这些器件的潜在性能,我们模拟了200 nm厚度AlN的CMR特性,结果见图5。

我们的Nb₂N技术除了能提供以上可能应用

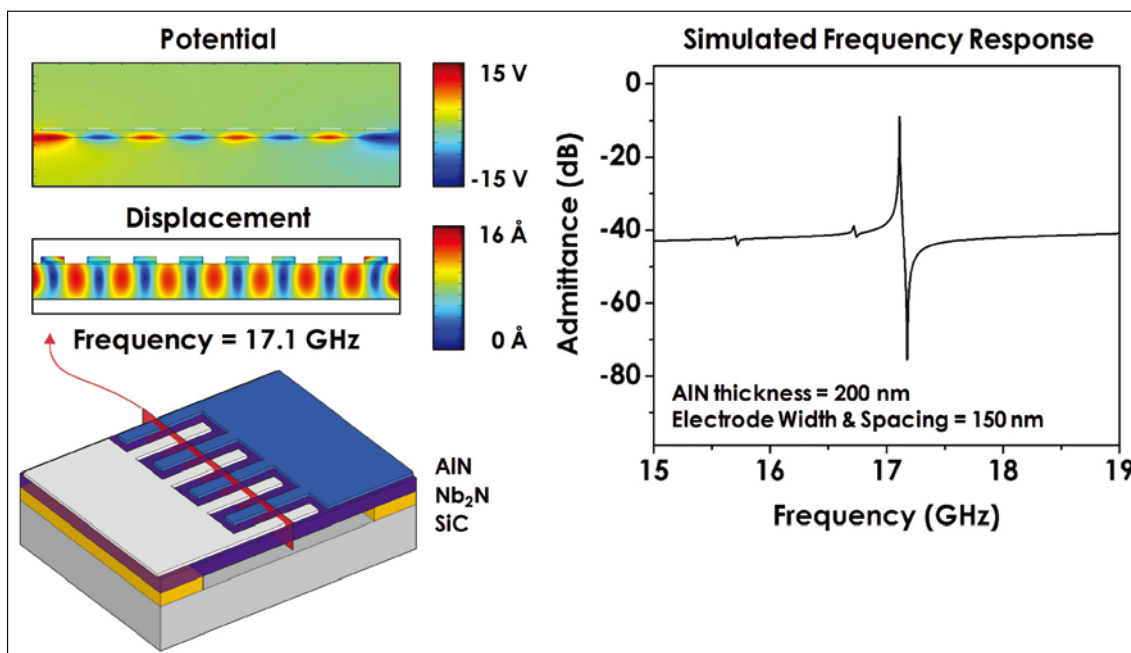


图5. 对单晶AlN轮廓模式谐振器的仿真,它可以作为数GHz无线通信的滤波器。

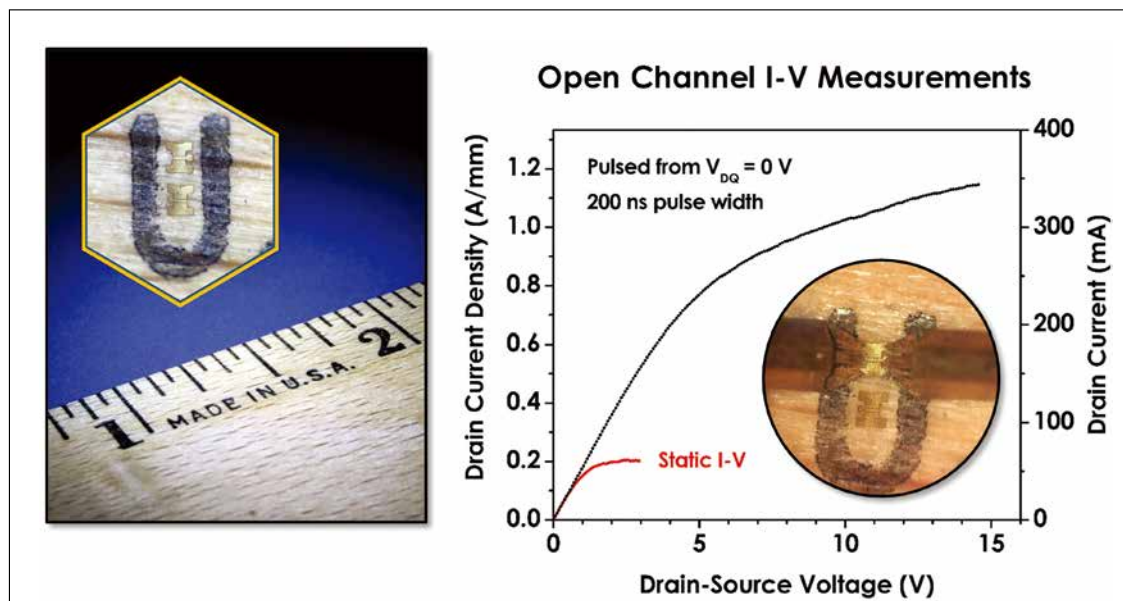


图6. 转移到木尺上的非门N极性GaN HEMT器件的静态和脉冲电流-电压特性。

之外，它还可以将 III-V 与许多不同类型材料（如纸张和塑料）进行整合。由于 ELO 技术可与微转移技术相兼容，人们可以想像今后的 LED 显示屏将会成为一张纸，或能将功率放大器和天线集成到汽车的挡风玻璃上。

Nb_2N 也将会在新能源和医疗领域获得应用，包括在柔性塑料衬底上对多结太阳能电池进行微组装，或在生物可吸收聚合物上形成具有高数据传输速率的无线通信电路。为了展示将器件转移到不同类型衬底上的应用潜力，我们将我们的一个 N 极性 GaN HEMT 转移到了木值标尺上（参见图 6，器件的静态和脉冲漏极电流曲线）。

我们感到非常高兴能够探索 Nb_2N 技术在 III-N 上的应用。 Nb_2N 可用于 ELO 和转移技术，与采用离子注入或光电化学蚀刻的剥离方法相比， Nb_2N 具有许多优点。我们的 ELO 除了能生长出原子级别光滑膜层，所释放的器件或电路背面可立即进行键合以外，它还可以实现对衬底材料的无限次循环使用，从而显著降低了成本。

据预测， Nb_2N 和 AlN 的热力学稳定性温度高达 1500℃。利用 Nb_2N 具有的这一高热力学稳

定性，结合典型的 III-N 生长方法，就能够制备出标准的器件异质结构，它具有后续加工工艺所需的高热预算。虽然在微电子学领域中，外延导体材料仍属于相对尚未开发的技术前沿，但很容易想象它在未来将有着广泛的应用前景。

致谢

作者非常感谢美国海军研究部和国防部高级研究计划署（D. Green）的研究经费支持。本文的意见、观点和 / 或发现仅代表作者的观点，不代表国防部或美国政府的官方观点或政策。作者还要感谢 D.Jena, S. Mohny, C.Bower, K. Ghosal, N.Nimil, V. Wheeler, M. Hardy, D. Storm, J.Champlain 和 N.Green 提供的研究支持和进行的有益讨论。

扩展阅读

- D. S. Katzer et al. Appl. Phys. Express 8 085501 (2015)
- B. P. Downey et al. Electron. Lett. 52 1263 (2016)
- D. J. Meyer et al. IEEE Trans. Semicond. Manuf. 29 384 (2016)
- D. J. Meyer and B. P. Downey, "Lift-off of epitaxial layers from silicon carbide or compound semiconductor substrates," U.S. Patent Application No. 14/331,440 and PCT Application No. PCT/US14/46609

GaAs 和 GaN 裸片组件和处理程序

本文概述了电子组件中使用 GaN 和 GaAs 微波单芯片集成电路 (MMIC) 的适当处理方法、元件布局、最佳贴装方法以及互连技术。

Qorvo 应用工程部门员工

元件布局

注意: GaAs 和 GaN MMIC 对静电放电 (ESD) 非常敏感。应对接地设备、环境、工作站和操作人员采取适当的预防措施, 以最小化 / 消除在裸片处理、组装和封装期间的 ESD。操作人员应佩戴适当的 ESD 接地手环。测试和组装设备和基站应适当接地并定期测试, 以确保符合 ESD 规范。

元件布局涉及元件在电路和微波模块组装中的拾取和布局。只能使用自动或半自动拾取系统和适当的拾取工具来拾取 GaAs 和 GaN MMIC。真空笔和 / 或真空筒夹是首选的拾取方法。尽管可以使用镊子, 但可能导致 MMIC 边缘出现缺口。这些缺口可能会使裂纹蔓延整个 MMIC, 产生可靠性问题。拾取参数需要仔细定义, 以免损坏 MMIC 的上表面或下表面。任何自动布局时, 应避免空气桥位置, 防止造成空气桥变形以及其他损坏。在自动操作模式中, 由于 GaAs 器件的脆性, 拾取和布局期间的冲击力至关重要。GaN MMIC 更为稳固些, 但由于上述原因, 处理裸片时仍应小心谨慎。在 GaAs 和 GaN 产品上进行拾取和放置操作之前, 应进行一次评估, 以确定具体设备可接受的力量配置。

元件布局组件注意事项:

- 真空笔和 / 或真空筒夹是首选的拾取方法;
- 避免在拾取和布局时避开空气桥;
- 自动配置模式中, 冲击力至关重要。

焊接

建议使用溶剂清洗预成型焊片和基板 / 封装, 以去除加工、封装、处理等过程中任何已有的表面污物。GaAs 和 GaN MMIC 在回流之前可使用氧气或等离子清洗流程进行清洗; 然而, 如果 MMIC 在干氮环境中存储适当, 便无需清洗。

利用回流工艺进行焊接, 在此期间预成型焊

片应达到其溶解温度, 并应将 GaAs 和 GaN 裸片贴装至基板或基片材料上。当合金与两个表面均已加热时, 贴装操作也就完成了, 合金会在特定温度下熔化, 具体取决于其元素组成。由于其金属特性, 焊接合金可在两个表面之间实现最佳的电气和热连接性, 以及机械完整性。

由于金锡合金 (金锡含量比为 80/20) 可与金基元件完美兼容, 且具有长期可靠性, 因此是业内 GaAs 和 GaN 焊接装配最常用的合金。AuSn 焊料往往作为预成型焊片提供, 通常厚度为 0.5-2 mil, 切割后比待焊接 MMIC 小几 mil。

由于 AuSn 焊料是硬焊料, 而 GaAs 是非常易碎的材料, 所以必须特别小心, 以确保基板或基片材料的热膨胀系数 (CTE) 与 GaAs 的 CTE (5.73 ppm/°C) 匹配。虽然与 GaAs 相比, SiC 基 GaN 使用 AuSn 焊料时更为稳固, 但在组件设计过程中仍应注意基础 CTE。可接受的典型 CTE 范围 (CTE 值为 6 至 10 ppm/°C) 会使 GaAs 处于稍微受压的位置。在这个 CTE 范围内的一些材料包括 Al₂O₃、Cu-W、Cu-Mo 以及常见的铁镍合金 Alloy 46。不得使用 CTE 低于 GaAs CTE 的材料 (铁镍钴合金或氮化铝合金), 因为在组装期间或在环境暴露或调节时, 器件所用材料的应力破裂性可能会进一步发展。适用于 GaAs 的基础材料亦可用于 GaN 器件, 且不会造成任何损坏。GaN 可采用具有不同 CTE 值的材料, 但是必须进行适当的机械分析, 以确保所用方法的热循环具有适当的接合强度和鲁棒性。

大多数微波组件在采用合成气体气氛的传送带式熔炉中进行回流。由于熔炉内的还原气氛, 在贴装操作期间无需使用助焊剂。合成气体或氢气气氛可适当减少贴装表面上的氧化物。在许多情况下, 需使用固件将 MMIC 对齐和 / 或压低到位, 以防止在通过传送系统移动期间组件内部发

生位移，并防止由于焊料达到其熔点时裸片下方弯月面成形而可能导致的 MMIC 浮动。

图 1 显示了适用于传送带式熔炉系统的通用 Au-Sn 焊接曲线。注意，焊接曲线取决于所用熔炉的类型、焊接裸片的尺寸和数量、整个组件（包括传送盘、固件等）的热质量；需针对给定组件确定最终曲线。

从 MTTF 角度来看，在 320℃ 或以上温度下延长时间对 GaAs 器件是有害的。例如：对 Qorvo 0.25μm pHEMT 工艺来说，暴露在 320℃ 温度下 30 秒相当于在通道温度为 140℃ 的条件运行了约 545 小时，类似示例还包括各种 GaAs 工艺和运行通道温度。由于 GaN 器件具有较长的使用寿命和更高的温度处理能力，暴露在 320℃ 以上的温度下不会对器件 MTTF 产生严重影响。建议 GaAs 和 GaN 的最高回流温度为 320℃，最长回流时间为 30 秒。

尽管焊接设备产热的最简单方法就是使用热板，但空气中使用热板的材料的典型回流通常都需要助焊剂。助焊剂是一种松香基材料，可通过清洁待配合使用的两个表面提高材料的湿润性，同时还可移除氧化物和污物，并在贴装操作期间防止配合面氧化。由于助焊剂一旦暴露就会出现电气和机械降解，所以不得用于 GaAs 和 GaN 器件的组件中。在热板上使用合成气体层，便无需使用助焊剂。合成气体气氛可提供一个适当的还原环境，以便在回流过程中防止氧化物形成。正是出于这个原因，当不能使用助焊剂时，常使用这些类型的合金站进行返工。

由于无助焊剂焊接，所以通常不需要进行焊后清理。对 AuSn 焊点进行目视检查可确定焊接工艺是否满足要求。明亮光滑的银色焊点表明回流时间/温度适当，而黯淡粗糙的或者金色焊点则表明超过了理想的回流温度。

从电气和机械角度来看，实现无空洞的焊接至关重要。无空洞的焊接面可降低 MMIC 裸片的地与组件外壳之间的阻抗。更重要的是，实现无空洞的裸片贴片可优化组件散热器的热导率，确保裸片在尽可能低的通道温度下工作。这可优化器件在给定环境温度下的电气性能，同时实现最佳的器件 MTTF。功率放大器中有源器件区域的空洞会导致足够高的操作温度，从而至少导致输出功率性能低于标准，并有可能出现过热引起的早期器件失效。裸片焊接位置的空洞会导致裸

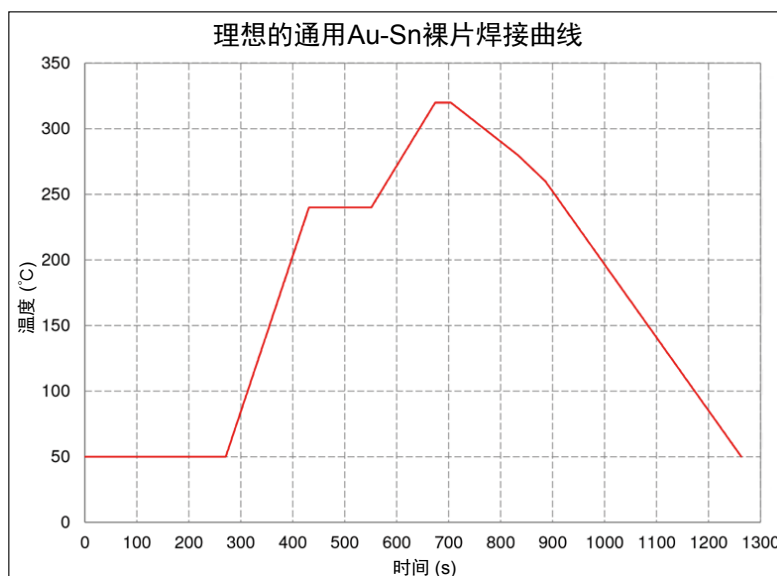


图 1. 通用 Au-Sn 焊接曲线。

片在施加线焊工具的超声波振动和压力时发生破损。使用 X 光或声学（例如 C-SAM）检查方法可查出焊接面的空洞程度。最佳检查方法就是检查组件类型和组件所用材料的功能。

焊料回流工艺组件注意事项：

- 金锡合金（金锡含量比为 80/20）是目前 MMIC 裸片贴装最常用的合金；
- 热膨胀系数匹配对于确保长期可靠性至关重要，尤其是对 GaAs MMIC 来说；
- MMIC 应存储在干氮环境中；
- 使用还原气氛的传送式熔炉是进行初装的首选热源；使用还原气氛的热板合金站可用于组件返工；
- 不得使用助焊剂；
- 最高温度限制为 320℃，且不得超过 30 秒。

环氧树脂贴装

可使用有机粘合剂（例如环氧树脂）将 GaAs 和 GaN 器件贴装在基板上。在过去，只有在不存在器件热传导问题的低功率应用中才建议使用这些有机物。环氧树脂技术（例如：AbleBond 84-1、ATROX D800HT5）已经改善至热管理和电气性能接近 AuSn 焊料性能的高度。然而，使用环氧树脂贴装大功率 MMIC 器件不仅取决于环氧树脂的热导率，还取决于待贴装器件的耗散功率和热通量，以及基板的特性（热导率和 CTE）。使用环氧树脂实现较薄的结合层（0.001 英寸以下）有助于减轻环氧树脂的热导率影响。实现这些较薄的结合层需要精心设计点胶模式以及固化

过程中的裸片布局和固定。较厚的结合层可能有助于减轻裸片 CTE 与基板的 CTE 之间的不匹配，尤其是 GaN 裸片（能够处理较高不匹配性），但却会导致可能无法接受的热阻提高问题。较厚的结合层可能并不会对低功耗器件（LNA、控制元件等）造成大问题。

尽管采用了有机贴装法，基板与 GaAs/GaN 器件的热膨胀系数（CTE）匹配问题仍令人担忧。在不匹配的情况下，由于有机物能够吸收压力，所以可能不会出现初期失效。相反，在环境变化后，当有机粘合剂发生变化时，例如由于聚合物链的额外交联聚合作用而出现硬化，促进不匹配基板的应力传递，可能会出现失效。至于 AuSn 焊接，GaAs/GaN 贴装基板的首选 CTE 范围为 6–10 ppm/°C。此外，SiC 基 GaN 可承受的 CTE 不匹配性更多一点，但是由于适用于 GaAs 器件 CET 的材料很常见，GaAs 的 CTE 值应同样适用于 GaN 器件。

环氧树脂在 100 °C 至 200 °C 的温度下固化，减少了 AuSn 焊接所需高温带来的影响。固化工艺应在对流烤箱内进行，且该烤箱应配备用于在固化过程中排放稀释剂和溶剂的排放装置。采纳环氧树脂制造商的点胶和固化建议，确保最佳裸片贴装效果。微波或辐射固化技术可能会导致组件加热不均。这可能会因黑体过度加热而导致 GaAs 器件失效，在这种情况下器件升温快于周围元件，并且会吸收产生的所有热能。

上述材料准备 / 清洁以及无空洞裸片贴装注意事项和确定的相关信息适用于使用环氧树脂和焊料的裸片贴装工艺。

粘合剂贴装组件注意事项：

- 有机贴装可用于低功率应用，还可用于对环氧树脂、基板材料 CTE、结合层厚度、功耗以及待贴装元件的热通量进行了审慎选择、考虑了系统运行环境的一些大功率应用；
- 固化工艺应在对流烤箱内进行；出于安全考虑，该烤箱应配备适当的排放装置；
- 由于加热不均匀，不得使用微波或辐射固化工艺。

互连

组件互连包括通过使用焊线和 / 或焊带实现组件内部元件的电气连接。针对 GaAs 和 GaN 组件，焊线和焊带通常为含量为 99.99% 的黄金。热超声线焊工艺是最常用的技术。在热超声焊接

工艺中，焊线或焊带由压力、热和超声能量形成。热量通过焊接阶段提供，简单来说，就是在一个温控板上放置模块 / 组件，焊接工具的移动向焊线或焊带施加压力，而超声能量则通过焊接工具从换能器传输至结合层。这与更古老的热压缩技术（结合层主要是通过热量、压力和时间形成）形成强烈对比。

在热超声焊接工艺中，焊接阶段的温度通常保持在 150 °C 左右；建议最高阶段温度为 200 °C，以最小化器件损毁。压力或力、结合时间、超声功率、环路配置以及结合位置都是自动焊接设备中的程序化参数。力、时间和超声功率对被焊器件的可靠性至关重要。

大多数互连都是通过使用球焊线形成。焊线一端由球焊实现电路连接，另一端使用楔形焊接或缝合的方式连接。在某些情况下，使用楔形焊接（两端带楔形的焊线，而不是一端带球形的焊线）和带式焊接（使用矩形金丝带，而不是圆柱形焊线）。通常，楔形和带式焊接用于毫米波应用等必须将引线电感保持在最低限度的情况，可通过降低球焊所需的环路高度实现；或用于满足较高的电流要求，在这种情况下可使用少量带式焊接替代大量球焊。电气性能的需求要求在所需焊线数量和执行焊接操作所需时间中取得平衡。自动球焊往往比楔形焊接或带式焊接更快，并且如果需要同时使用线焊和带式焊接，还需要时间更换工具。

使用 0.001 英寸（25 微米）金制焊线的球焊或楔形焊接的最小接合焊盘尺寸为 0.004 英寸×0.004 英寸（100 微米×100 微米）。由于焊盘尺寸限制，小型分立式 FET 器件通常使用 0.0007 英寸（18 微米）焊线进行楔形焊接。带式焊接通常使用 0.001×0.003 英寸焊带，也可以使用其他尺寸。

由于 GaAs 和 GaN 器件目前都配备了镀金焊盘，所以只能使用金制焊线或焊带进行互连。由于金属间增生以及因此在焊接面中产生的“柯肯达尔孔洞”，铝线会导致可靠性问题，因此不得使用。

互连工艺组件注意事项：

- 热超声球焊是首选的互连技术；
- 力、时间和超声波都是至关重要的参数；
- 焊盘尺寸较小的分立式 FET 器件应采用 0.0007 英寸焊线进行焊接；
- 最高阶段温度不得超过 200 °C；
- 不得使用铝线。⚠



全球高规格的产业聚会 30 YEARS

SEMICON China 历经持续增长，已连续6年成为全球最大、影响面最广的集技术、产业、投资于一身的半导体产业盛会，吸引了全球半导体产业精英汇聚上海。

前沿技术的研讨平台 30 YEARS

SEMICON China 是一个全球合作交流、拓展商机的理想社交平台。与展会同期举办多场高端论坛和技术研讨会，探讨全球产业趋势、前沿技术和市场机会。



中国半导体发展的历史见证者 30 YEARS

作为中国半导体30年的合作伙伴，SEMICON China 见证了中国半导体产业的茁壮成长、加速发展的历史，也必将为未来的强盛壮大作出贡献。

全球最大的半导体产业盛会 30 YEARS

行业观众预计逾70,000人，展览面积逾60,000平方米。

展会同期会议

功率及化合物半导体论坛 | 开幕主题演讲 | SIIP China: 产业与技术投资论坛 - 中国 2018 | 合作共赢, 做大做强中国集成电路产业链 | MSIG国际物联网论坛
2018 中国显示大会 - 新兴显示论坛 | 智能汽车电子论坛 - AI Inside | 中国存储器产业发展论坛 | 智能制造论坛 | 绿色厂务科技论坛 | 半导体新技术发布会



关注 SEMIChina 官方微信
完成观展预注册

Contact

Customer Service
SEMI China

Tel: +86.21.6027.8500
semichina@semi.org

www.semiconchina.org



Connecting, informing and inspiring the HIGH END SENSOR industry

HIGH END SENSORS INTERNATIONAL CONFERENCE 2018

The inaugural High End Sensors conference will be held at the Sheraton Airport Hotel in Brussels on 10 -11 April 2018. HES International will be held alongside CS international and PIC International.

High-end sensor devices are an increasingly significant share of the global machine sensory market that is expected to exceed 30 billion devices by 2020 with revenue of (USD) \$20 billion. We will explore opportunities for the most advanced sensors that deliver higher performance, ruggedness and longer operational lifetimes. We will examine new technologies that are cutting costs while increasing effectiveness. We will explore product development within major high-end sensor categories and ways that researchers and manufacturers are investigating to enhance performance, reduce power consumption, and improve efficiency.

Two days, 10 topics, over 25 inspiring presentations

The presentations will be based around ten topics which collectively provide complete coverage of the high-end sensor market.

- Defence, Security, Aviation and Aerospace High-End Sensors
- Imaging and Optical Sensing Advances
- Maximizing Sensor Data Acquisition and Analysis
- Optimizing IoT and IIoT Sensor Networks and Security
- New Approaches for Power Control and Energy Harvesting
- Radar and LiDAR Innovations
- Advances in MEMS Sensor Development
- Metrology and Test for High-End Sensors
- Enhancing Sensor Performance: Embedded, SoC and Machine Learning
- Emerging Opportunities and Applications

<https://highendsensors.net/home>

- Bernhard Straub **Infineon Technologies**
- Rainer Minixhofer **AMS AG**
- Tristan Rousselle **Aryballe Technologies**
- Henry White **BAE Systems**
- Pierre-Damien Berger **CEA-Leti**
- Nicholas Burgwin **Fibos**
- Wilmoth Muller **Fraunhofer IOSB**
- Richard Dixon **IHS Markit**
- Denis Pasero **Ilika Technologies**
- Wim Van Thillo **imec**
- Marianne Vandecasteele **imec**
- Sergey Yurish **IFSA**
- Speaker TBC **IST AG**
- Sergio Nicoletti **MIRPHAB**
- Johan Pedersen **Sigma Designs**
- Speaker TBC **Evatec**
- Pim Kat **Technobis**
- Peter O'Brien **Tyndall National Institute**
- Iwan Davies **VIDaP Consortium**
- Iñigo Artundo **VLC Photonics**



Book your place NOW!

It's set to be a sellout

CS INTERNATIONAL CONFERENCE

The 8th CS International conference will build on the success of its predecessors, with industry-leading insiders delivering more than 30 presentations spanning five sectors.

Together, these talks will detail breakthroughs in device technology; offer insights into the current status and the evolution of compound semiconductor devices; and provide details of advances in tools and processes that will help to drive up fab yields and throughputs.

Attendees at this two-day conference will gain an up-to-date overview of the status of the CS industry, and have opportunities to meet many other key players within this community.

PIC INTERNATIONAL CONFERENCE

Photonic Integrated Circuits International

Sales of PICs are soaring, with their deployment helping to boost the capacity of networks and data centres. To aid this industry, we are strengthening the relationships between the makers and the users of these integrated circuits by organising the 3rd PIC International, a global conference dedicated to this industry.

Attendees to the conference will hear industry-leading insiders delivering more than 30 presentations spanning five sectors. The conference will equip the delegates with an up-to-date overview of the status of the PIC industry, and provided them with many opportunities to meet other key players within this community.

3/2/1 Register for one conference and gain access to **THREE** cutting edge complimentary events plus **ONE** dedicated exhibition featuring leading industry players from across the globe.

Registration at one conference allows access to all other conference sessions

PLATINUM SPONSORS



MEDIA SPONSORS



WIFI SPONSOR



SUPPORTED BY



PIC INTERNATIONAL CONFERENCE

10-11 APRIL 2018
Sheraton Airport Hotel Brussels

Creating and strengthening links between chipmakers and network builders

PIC INTERNATIONAL 2018 CONFERENCE SPEAKERS ANNOUNCED!

With a record breaking number of speakers and sponsors secured,
PIC International 2018 is set to be the biggest and best yet

On Tuesday 10 and Wednesday 11 April 2018
in Brussels at the Sheraton Airport Hotel,
PIC International will once again be the must-attend
event for the global integrated photonics community.

Highlights include talks by Facebook, Nokia-Labs,
imec, Phoenix Software, Finisar, IBM, NEC
Corporation, Hewlett Packard Enterprise, Intel, plus
many more...

Delivering over 30 presentations
PIC International will provide
comprehensive coverage of the
PIC industry exploring 5 core themes

- Moving the data: PICs for cloud computing and telecoms
- Refining the PIC: achieving the next milestone in performance
- Delivering the goods: advances in PIC manufacturing
- PIC Design, simulation and packaging: A blueprint for future success
- PIC horizons: new and emerging applications for integrated photonics

For each theme a keynote presentation will be given by the leading decision makers and influencers within the industry.

Book your place NOW!

www.picinternational.net/register to secure your place
It's set to be another sellout

PLATINUM SPONSORS



GOLD SPONSORS



MEDIA SPONSORS



WIFI SPONSOR



DELEGATE BAG SPONSOR



LANYARD SPONSOR



SUPPORTED BY



This two day event covers five themes (Speakers announced to date)

Refining the PIC: Achieving the Next Milestone in Performance

What are the leading approaches for integrating key building blocks at the chip-level and how can we bring together electronics and photonics more efficiently?

SPEAKERS

- **Michael Lebby: Lightwave Logic**
Scalable PIC platforms: The impact of using polymer PICs for 100 and 400Gbps datacom applications
- **Wim Bogaerts: Ghent University/imec**
Programmable photonic ICs: making optical devices more versatile
- **Luis Henrique Hecker de Carvalho: BrPhotonics**
Converging photonics and microelectronics: applying advanced technologies to ramp up PIC performance
- **Tan Yong Tsong: Institute of Microelectronics**
Coupling electronics and photonics – promising paths for device-makers to explore
- **Radha Nagarajan: Inphi**
Highly integrated silicon photonics to push PICs to the next level
- **Sasan Fathpour: CREOL, The College of Optics & Photonics**
Silicon photonics beyond silicon-on-insulator - emerging solutions for integrated photonics
- **Yvain Thonnart: CEA-Leti**
Integrating photonic building blocks towards complete electro-optical computing
- **Shinji Matsuo: NTT Photonics**
III-V membrane lasers on silicon for datacom and computercom applications

Moving the Data: PICs for Cloud Computing and Telecoms

Data centres and networks need smart solutions to manage the sharp growth in traffic. What can integrated photonics bring to the table and how can developers make sure their products appeal to key customers?

SPEAKERS

- **Vincent Zeng: Facebook**
PIC opportunities for datacentres
- **Yuichi Nakamura: NEC Corporation**
Big data analysis - a golden opportunity for silicon photonics
- **Martin Schell: Fraunhofer HHI**
The Zettabyte is not enough: Volume handling for InP, silicon photonics, and hybrid photonic integration
- **Weiming Yao: JePPiX/PITC**
III-V photonic integrated circuits for telecoms and beyond
- **Peter Winzer: Nokia Bell Labs**
Massive array integration and the need for a holistic digital/analog optics/electronics co-design
- **Eric Mounier: Yole Développement**
Data centre technology - the big PICture, opportunities for energy efficient photonics

Panel: Has Silicon Photonics got the Required Scalability to Displace InP?

Silicon photonics has attracted the interest of many in large corporations, SMEs, and academics as a potential replacement to the incumbent PIC technology InP. Given these conditions, the question remains to ask if SiP can be truly scalable towards \$1/Gbps at 400Gbps data rates and above (for any distance)?

Bert Jan Offrein – IBM

Di Liang - Hewlett Packard Enterprise

Robert Blum – Intel

Sean Anderson – Cisco

PIC Design, Simulation and Packaging: A Blueprint for Future Success

How can we implement ideas faster and what needs to be considered to keep the final device cost on track?

SPEAKERS

- **Peter O'Brien: Tyndall National Institute**
PIXAPP – Open Access Opportunities for Advanced PIC Packaging
- **Christopher Cone: Mentor Graphics**
From schematic to layout – overcoming today's PIC design challenges
- **André Richter: VPIphotonics**
Scalable design of integrated photonic and optoelectronic circuits

PIC Horizons: New and Emerging Applications for Integrated Photonics

How can developers capitalize on opportunities for optical platforms in growth areas such as medical diagnostics, industrial sensing and biological analysis?

SPEAKERS

- **Milan Mashanovitch: Freedom Photonics**
Low size, weight and power (SWaP) instruments for sensing applications - cutting edge PICs
- **Sascha Geidel: Fraunhofer ENAS**
Adding the 'tech' to biotech - opportunities for photonic integrated circuits
- **Andrew Sparks: Analog Devices**
Putting liquid crystal waveguides in the fast lane automotive applications for PICs

Delivering the goods: Advances in PIC Manufacturing

What are the latest tools and techniques that can be deployed in the fab? And what are the options when it comes to evaluating the output?

SPEAKERS

- **Jessie Rosenberg: IBM**
Inline wafer-scale photonic testing to boost PIC manufacturing efficiency
- **Jack Xu: Finisar**
Meeting the challenge of producing PICs at high-volume
- **Arne Leinse: Lionix International**
Silicon nitride based TriPleX PIC modules in a broad range of applications
- **Henk Bulthuis: Kaia Corporation**
Vertical integration: bringing key elements together to match PICs to the market
- **Scott Jordan, Physik Instrumente**
Presentation title TBC

Panel: High Volume Transceiver Opportunities for PICs

Will transceivers ever achieve super high volumes to allow scalability in cost and performance, and if so, what would be the common large volume platforms, and more specifically, what would be the transceiver format/form factor?

Aref Chowdhury – Nokia

Drew Nelson – IQE

Vipul Bhatt – Finisar

深紫外 LED：使用纳米图形增加光提取

AlN 纳米柱阵列上生长的深紫外 LED 增加了 LED 的光输出。

来自韩国的研究人员通过引入具有空气隙的周期性纳米尺度图案，提高了深 UV LED 的光提取效率。他们通过 4 英寸蓝宝石衬底上的纳米级光刻和外延层二次生长，获得 280nm 的发光结构，实现了晶体质量和光提取的改善。

该团队的发言人、来自首尔国立大学的 Euijoon Yoon 认为，这项工作最重要的进展是在 1050℃ 温度下使用的外延层二次生长。

“据我们所知，

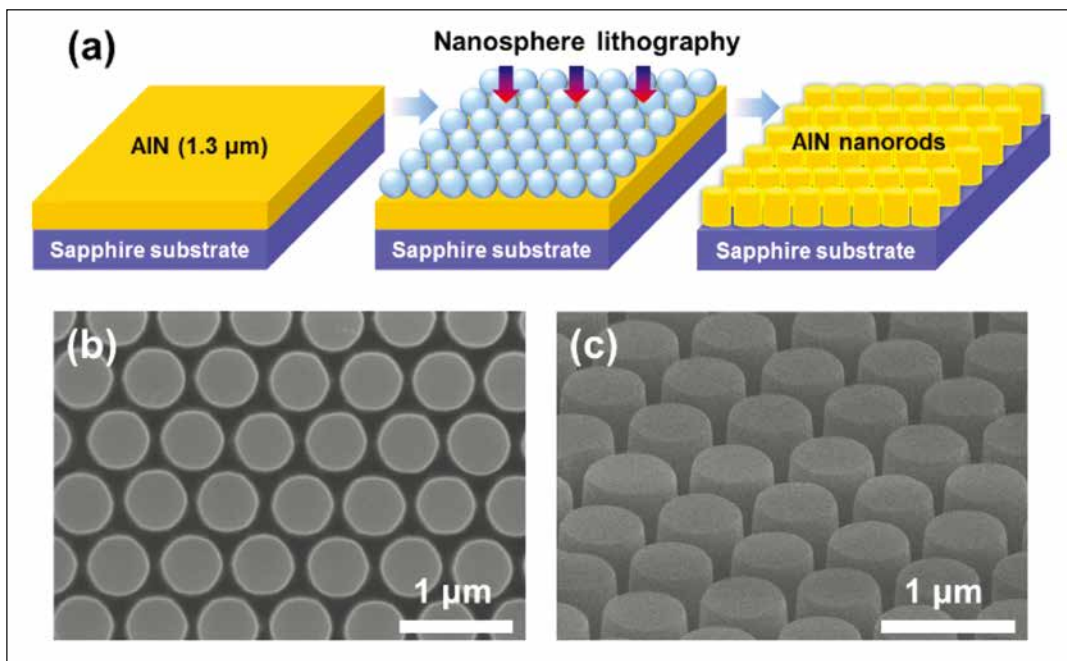
1050℃ 是 AlN 外延层二次生长的最低温度，” Yoon 说。据他介绍，MOCVD 反应室中微观外延层二次生长的典型温度为 1300℃ 至 1400℃，而纳米尺度的温度范围则是 1100℃ 至 1200℃。

首尔国立大学的 Yoon 团队与浦项科技大学和三星电子的研究人员合作开始制造深紫外线 LED，首先通过加载 4 英寸的 c 面蓝宝石衬底到 MOCVD 反应室中，沉积厚度为 1.3 微米的 AlN。

之后，在 AlN 层上旋涂平均直径为 700nm 的二氧化硅纳米球，然后使用氯基刻蚀将图案转移到下面的 AlN 上（参见图）。这形成了典型直径为 630nm，高 1.3 微米的纳米柱。将衬底浸入氢氟酸中从而除去了残留的纳米球。

研究人员将图案化衬底加载到 MOCVD 反应室中，在其上生长一层厚度为 5.2 微米的 AlN 膜，随后生长 LED 外延结构。尽管生长温度低，2μm 的二次生长仍然实现了完全的合并。这样的薄膜可以保证低的制造成本。

围绕 AlN 纳米柱，位于二次生长 AlN 层和蓝宝石之间，存在着周期性的空气隙，这会带来两个明显的好处。一是通过减少外延层和下面蓝宝石之间的接触层，从而缓解了 AlN 膜的应力；另外就是形成了 AlN 和空气之间周期性的



(a) 纳米图案化的蓝宝石上 AlN 模板形成了深紫外 LED 的改进基础。(b) 和 (c) 纳米图案蓝宝石的扫描电子显微镜图片。

折射率对比，从而提高了光提取效率。在这些周期性结构上，Yoon 和同事们实现了 300 微米 × 300 微米的 LED，其中有 5 个周期的多量子阱和 15nm 厚的掺镁 AlGaIn 电子阻挡层。他们还制作了未图案化 AlN 模板上生长的对样品。

根据扫描电子显微镜图像，纳米图案的引入让 n 型 AlGaIn 层的穿透位错密度从 $6 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 减少到 $4.4 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 。

由于引入了微小的空隙，所以在 20mA 驱动下的 50 个 LED，其室温测量显示出光输出功率增加了 67%。

空隙也使得工作电压得以降低，从 10.8V 下降到 9.3V。尽管如此，电压仍然很高，部分原因是使用了可见光的 n 和 p 接触。

“我们正在努力通过引入低电阻欧姆接触方案，以及优化 n 型 AlGaIn 和 p 型 GaN 接触层的生长和掺杂条件，从而提高我们深紫外 LED 的电学性能，” Yoon 解释说。

提高深紫外 UV LED 效率的另一个选择，是将器件进行封装。“由于光提取效率和散热性能的提高，我们预计 LED 性能会改善。”

参考文献

D. Lee. et al. Appl. Phys. Lett. 110 191103 (2017)

暴露 GaN HEMT 中的氧缺陷

阴极荧光揭示出 GaN 基 HEMT 上 Al_2O_3 电介质中与氧相关的缺陷

来自日本的工程师团队通过空气退火步骤，修补了 Al_2O_3 层内和周围的缺陷，从而改善了金属氧化物半导体 HEMT 的性能。

将 InAlN/GaN HEMT 在 300°C 下空气中退火 12 小时，跨导线性性和亚阈值斜率都得以提高。然而，富士通实验室和北海道大学研究人员在这项工作中的最大意义，不是器件性能的改进，而是使用阴极荧光法对氧相关缺陷的曝光和分类，这是一种基于电子束探测样品并测量所发射光谱的技术。

该技术可能吸引许多追随者，因为 InAlN/GaN HEMT 中的氧化膜减小了高的泄漏电流。 Al_2O_3 由于其很好的特性成为深受欢迎的选择：非常宽的带隙、高的介电常数和高的击穿电压。

为了防止 Al_2O_3 降低跨导和阻碍 RF 性能，该层必须不能太厚。实现这一点，需要采用原子层沉积形成。

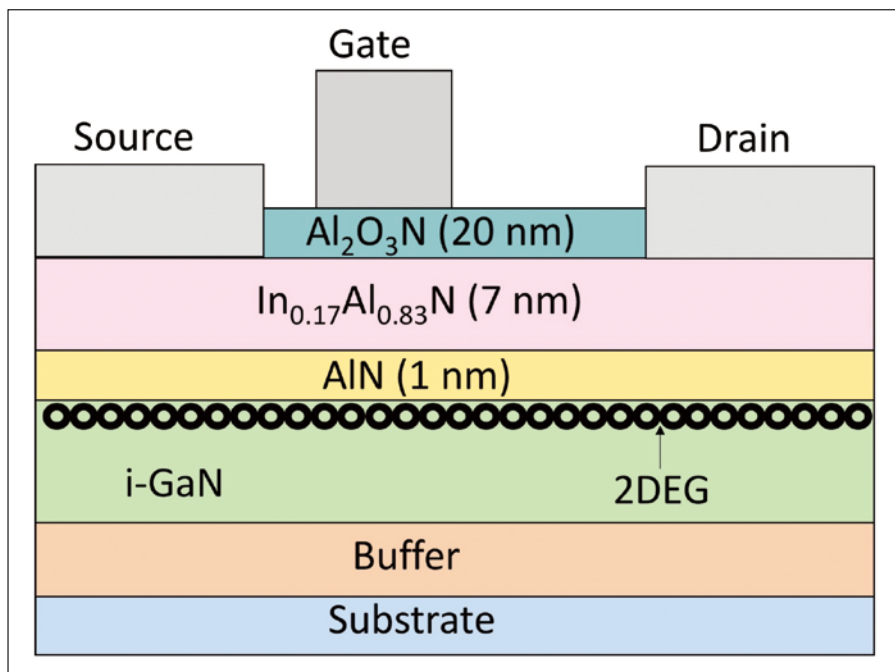
Al_2O_3 的另一个要求是其与 InAlN 界面处的低电子状态密度，实现这一点可以实现稳定的阈值电压和栅极控制。确保低的态密度并不容易，目前的器件通常受制于低的漏极电流，高的栅极泄漏，正向偏压下的跨导大幅度减少，以及严重的电流崩溃。

为了研究这些问题，团队使用空气退火的 Al_2O_3 进行了 InAlN/GaN HEMT 的性能评估。退火旨在控制 Al_2O_3 内部的缺陷水平和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{InAlN}$ 界面的电子状态。

制备的 HEMT 栅极长度为 0.5 微米，栅极宽度为 50 微米，栅极 - 漏极长度为 10 微米。原子层沉积为 300°C 下 20nm 厚的 Al_2O_3 薄膜。

在以前的研究中，该团队研究了几种不同的方法来改善 Al_2O_3 中的缺陷水平和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{InAlN}$ 界面的电子状态。技术包括沉积后和金属化后在各种温度下，在不同的气体中和持续时间的退火。

“目前，金属化后的 300°C 下空气退火 12 小时，得到了最好的结果，”富士通的 Shiro Ozaki 解释说。这些条件用于提高最新器件的性能。



阴极荧光暴露 Al_2O_3 中氧相关的缺陷水平和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{InAlN}$ 界面的电子态

对于控制对比和退火器件的测量表明，退火在 2V 的栅极电压下，将最大漏极电流从小于 900mA/mm 增加到超过 1100mA/mm ，并将开态电阻从 $7\Omega\text{mm}$ 减小到 $5.3\Omega\text{mm}$ 。退火也改善了亚阈值摆幅：从 127mV/dec 下降至 75mV/dec 。

对原子层沉积生长的蓝宝石上 Al_2O_3 薄膜的阴极荧光研究精确定位出了退火的好处。它产生了阴极荧光光谱中峰值的下降，这与俘获一个和两个电子的氧空位相关。这表明退火减少了 Al_2O_3 薄膜中氧空位的数量。

有趣的是，在氮气中退火后，并没有观察到这种行为。这促使 Ozaki 和他的同事们假设空气退火增强了 Al_2O_3 薄膜中悬挂键包括氧空位的弛豫和钝化。

空气退火的另一个影响是 Al_2O_3 薄膜的 10% 收缩，导致了张应力的增加。这种收缩增强压电场，并对随退火的面电阻减小负责。

Ozaki 认为仍然需要解决的一个问题是，与等效的 AlGaN/GaN 相比，他们 HEMT 的电压偏移相对较大。

参考文献

S. Ozaki et al. Appl. Phys. Express 10 061001(2017)

LED 的发光效率再创新高

Soraa 公司称其 LED 的光生成和提取效率再创新高。

图 为 Soraa 生产的三角体倒装式器件的扫描电子显微镜图像。该 LED 的光提取效率为 90%，内量子效率的峰值为 95%。

Soraa 公司称其已经打破了照明灯具内高的电流密度和温度下 LED 转换效率的纪录。

最新的器件与之前的器件同为“三角体”设计，但是显著的改变是在于前者采用了倒装结构来使其两个接触都位于器件的同一侧。

Soraa 公司的 Christophe Hurni 说道：“我们的改进设计在光的提取、外延、电能转换效率等所有环节上都是十分优秀的，因而更有力地证明了 GaN-on-GaN 技术所具有的极大潜力”。

该公司在美国西海岸的机构采用了 HVPE 生长的 GaN 衬底来制作 LED。根据 Hurni 所说，该衬底相比蓝宝石、硅和 SiC 衬底有着更多的优势，其中包括有：由于衬底的位错密度低而使材料质量更好，并且在高功率密度时 LED 具有更高的光提取效率。

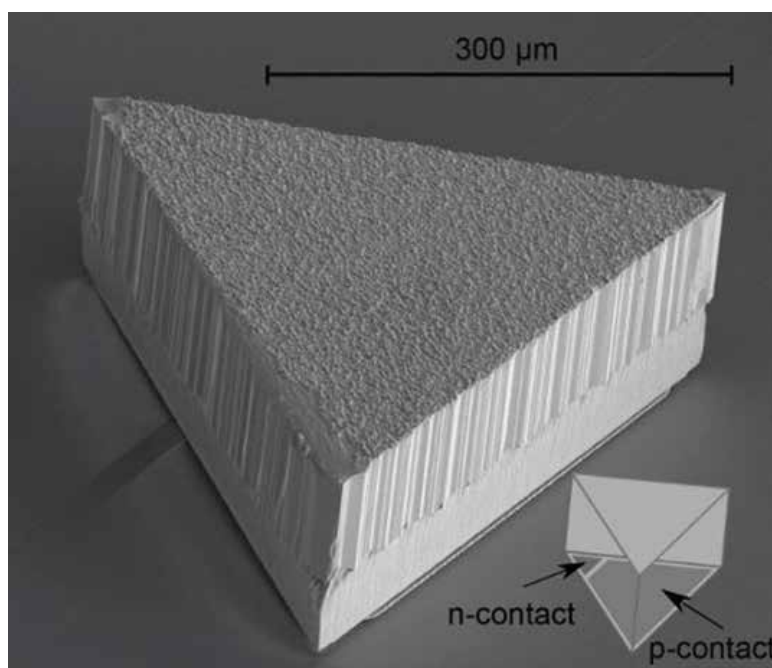
最新的三角体 LED 能发射出 415nm 左右波长的光，器件的边长为 400 μm ，在其结构底部具有 n 型和 p 型接触。该器件的电光转换效率在 25 $^{\circ}\text{C}$ 时为峰值的 84%，在 100 A cm^{-2} 时为 70%，在 85 $^{\circ}\text{C}$ 温度下仍可维持这一性能水平。

Hurni 认为，器件在这一高温下所具有的高性能至关重要，“现实世界的照明系统都会在运行过程中升温，即使在散热良好的情况下，器件的结温也通常在 85 $^{\circ}\text{C}$ 以上”。

该团队已经评估了所有会影响电光转换效率的各种因素，包括对封装的透光效率、器件的光提取效率和内量子效率等的综合作用进行了评估。

根据光线跟踪软件的计算，它的封装体透光效率（芯片发射的光子与透过封装体光子的比率）为 94%。该封装尚未针对该芯片进行过优化，因为这样做在实际上并没有什么太大的好处，Hurni 表示：“在实践中，封装的透光效率只对磷光转换的白光会产生影响”。

Soraa 的工作表明，光提取效率（逸出器件的光子与器件有源区发射光子的比率）受到 LED 常规薄膜结构的限制。调节其表面粗糙度和芯片形状能够提高对所有方向发射光的提取效率，该团队建立的先进模型显示，新结构的光提取效率比常规薄膜器件结构提高了 10%。在一系列芯片上对光



图为 Soraa 生产的三角体倒装式器件的扫描电子显微镜图像。该 LED 的光提取效率为 90%，内量子效率的峰值为 95%。

提取模型数据和实验结果进行比较，表明最新器件的光提取效率达到了 90%

控制 LED 电光转换效率的第三个因素是内量子效率，它会受到材料缺陷、有源区域设计、电流密度引起的效率下降和热效应等的影响。使用天然衬底有助于减少这些效率损耗效应，因为这样会减少外延层中的缺陷，并且在结构的设计中获得更大的自由度。

测量表明，器件的内部量子效率在 25 $^{\circ}\text{C}$ 可达到其峰值的 95%，并在 85 $^{\circ}\text{C}$ 时达到 92%。说明它的效率下降效应很小，其内量子效率在实际的运行条件，即温度为 85 $^{\circ}\text{C}$ 、电流密度为 100 A cm^{-2} 时仍能维持在 85%。

该研究小组已经采用著名的 ABC 模型来绘制内量子效率对电流密度的函数曲线，这种包含了对相空间填充效应的模拟证实了 Soraa 的观点，即俄歇散射是导致效率下降的主要原因。

C. Hurni et. al. Appl. Phys. Lett. 106 031101 (2015)



Messe München
Connecting Global Competence

智在创新

点胶注胶

Soldering and
dispensing

表面贴装

Surface-mount
Technology

技术应用
竞赛
Technology
application
contest

自动化

Electronic manufacturing
automation

电子制造服务

PCB & EMS

产线操作
演示
Demo
production
line

线束加工

Cables, Coils & Hybrids

材料设备

Production materials/
equipment

创新论坛
Innovation
forum



扫描左侧二维码
进行**观众注册**
赢取**精美礼品**

电子化工材料历届部分展商



参展联系: 刘海珍 女士 电话: 021-2020 5516

参观联系: 朱婧婧 女士 电话: 021-2020 5526

传真: 021-2020 5699 E-mail: jenny.liu@mm-sh.com

传真: 021-2020 5699 E-mail: joyce.zhu@mm-sh.com

International Trade Fair for
Electronics Development and Production.

2018年3月14-16日

上海新国际博览中心

productronicachina.com.cn



productronica China 2018

慕尼黑上海电子生产设备展

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 2018		www.cs-international.net/register	22-23, 32-33
EDI CON China 2018	电子设计创新大会	www.mwjournallchina.com/edicon	IBC
Evatec Ltd.		www.evatecnet.com	11
IQE		www.iqep.com	3
PIC International Conference 2018		www.picinternational.net/register	19, 34-35
Semicon China		www.semiconchina.org	31
Vistec		www.vistec-semi.com	13
慕尼黑展览 2018		www.productronicachina.com.cn	39

欢迎投稿

《化合物半导体》(CSC) 是针对中国化合物半导体及光电市场出版的专业杂志, 用简体中文出版。

本刊主要报道化合物半导体相关的材料、工艺、设备、器件、模块/组件、封装技术, 及其发展趋势和相关厂务设施。与读者一起紧跟行业发展, 共同面对在研发、制造过程中遇到的问题及挑战。

本刊的读者是活跃在化合物半导体及光电行业的技术管理人员、项目经理、科研人员、工程师以及从事开发、制造、工艺的专业人士。

本刊文章精选自英国物理协会著名杂志《Compound Semiconductor》, 翻译并编辑成形; 我们也报道全球平面显示制造商和研究机构的最新技术与资讯, 以及撰写其他与本地市场息息相关的新闻和文章; 并选编专业投稿。

本刊欢迎读者和供应商投稿, 文章一经采纳, 将在印刷版本和网上刊登。CSC 将为设计者和管理人员, 提供一个展现国内外厂商的最新成果的平台。

文章投稿指南

1. 文章主题突出、结构严谨、短小精悍, 中文字数不超过 3,000 字;
2. 文章最好配有两幅至四幅与内容相关的插图或表格; 插图与表格分别用图 1、图 2 或表 1、表 2 的次序编号, 编号与文中的

图表编号一致;

3. 请注明作者姓名、职务及所在公司或机构的名称。作者人数以四人为限;
4. 请勿一稿多投;
5. 请随稿件注明联系方式(邮编、地址、电话、电子邮件)。

新产品投稿指南

1. 新产品必须是中国市场新上市、可以在中国市场上买到;
2. 有关新产品来稿的内容应包含产品的名称、型号、功能、主要性能和特点、用途;
3. 短小精悍, 中文字数不超过 300 字;
4. 来稿请附产品照片。最好是在单色背景下简单的产品实物照片, 照片的分辨率不低于 300dpi;
5. 注明能提供进一步信息的人员姓名、电话、电子邮件。

优先刊登中文来稿(翻译稿请附英文原稿)。来稿请用电子邮件寄到: sunniez@actintl.com.hk。

如果您有什么意见或建议, 或者有什么想法同本刊编辑探讨, 请不吝赐教。

行政及销售办公室 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

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

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

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

Sales Director (销售总监)
Steven Gan (干辉)
steveng@actintl.com.hk

UK Office (英国办公室)
Angel Business
Communications Ltd.
6 Bow Court,
Fletchworth Gate,

Burnsall Road, Coventry,
CV56SP, UK
Tel: +44 (0)1923 690200
Chief Operating Officer
Stephen Whitehurst
stephen.whitehurst@angelbc.com
Tel: +44 (0)2476 718970

销售人员 Sales Offices

Asia (亚洲)
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852-2838 6298

China (中国)

Shenzhen (深圳)
Jenny Li (李文娟)
jennyli@actintl.com.hk
Gavin Hua (华北平)
gavinhu@actintl.com.hk
Tel: 86-755-2598 8571

Shanghai (上海)
Hatter Yao (姚丽莹)
hattery@actintl.com.hk
Amber Li (李歆)
amberli@actintl.com.hk
Linda Li (李承珍)
lindali@actintl.com.hk
Tel: 86-21-6251 1200

Beijing (北京)

Cecily Bian (边因芳)
cecilyb@actintl.com.hk
Tel: 86-135 5262 1310
86-10-6748 4833

Wuhan (武汉)

Sky Chen (陈燕)
skyc@actintl.com.hk
Tel: 86-137 2373 9991
86-27-5923 3884/1564
Eva Liu (刘婷)
eval@actintl.com.hk
Tel: 86-138-8603 3073
Grace Zhu (朱婉婷)
gracez@actintl.com.hk
Tel: 86 159 1532 6267

Taiwan, Singapore, Malaysia
(台湾, 新加坡, 马来西亚)
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

Korea (韩国)

Lucky Kim
semieri@semieri.co.kr
Tel: 82-2-574-2466

US (美国)

Janice Jenkins
jjenkins@brunmedia.com
Tel: 724-929-3550

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

Europe (欧洲)

Shehzad Munshi
sm@angelbcl.co.uk
Tel: +44 (0)1923 690215
Jackie Cannon
Jackie.cannon@angelbc.com
Tel: +44 (0) 1923 690205

EDI CON China
强势回归北京!



2018

Electronic Design **Innovation** Conference

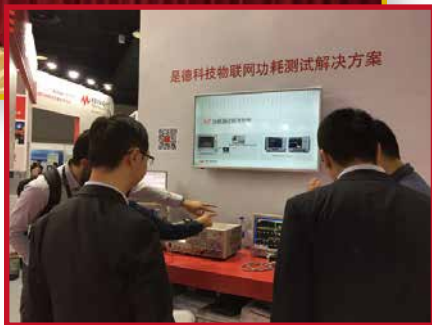
电子设计**创新**大会

立刻预定展位，迎接射频、微波和
高速数字设计领域的工程师们的拜访

3月20-22日

国家会议中心

北京



马上计划参展!

与工作在下列领域的专业人士深入交流:

- 射频和微波
- 信号完整性和功率完整性
- 高速数字设计
- 半导体
- 测试和测量设备
- 材料和封装
- EDA/CAD
- EMC/EMI

征文正在进行!

大会包括技术报告会、赞助商研习会、专家论坛、
短课程、张贴论文和全体会议。

2017年11月30日 - 提交论文摘要截止

2018年01月02日 - 通知论文是否录用

2018年02月27日 - 论文终稿截止

立即签约选择理想的展位! www.mwjournalchina.com/edicon

首席赞助商:



钻石赞助商:



企业赞助商:



主办单位:



化合物半导体



·CHINA

《化合物半导体》中国版（CSC）于 2005 年创刊，是全球最重要和最权威的杂志 Compound Semiconductor 的“姐妹”杂志。

《化合物半导体》中国版旨在通过对于全球化合物半导体工业的深度分析、实时信息报道和评论，扩展中国地区读者的专业焦点和全球视野。《化合物半导体》中国版以简体中文按季度出版。编辑内容由 Compound Semiconductor 的专业记者提供，他们具有研究背景，其技术文章和专栏文章得到来自化合物半导体协会主要成员公司的认可。全球电子业领先的独立市场研究咨询机构 IHS IMS Research 也在杂志开设定期栏目。

除了 10,000 名经过审查认证的合格读者，我们亦会在各个地区重要业界活动中免费派发杂志，对于希望在中国市场加强影响的化合物半导体公司，《化合物半导体》中国版是最有效的平台和目标媒体。

免费索阅

