

化合物半导体

CS COMPOUND SEMICONDUCTOR
Connecting the Compound Semiconductor Community

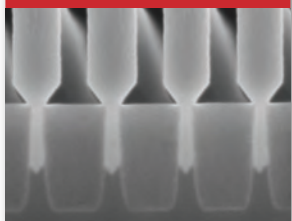
• **CHINA**

季刊 2019年 第1期

制造microLED



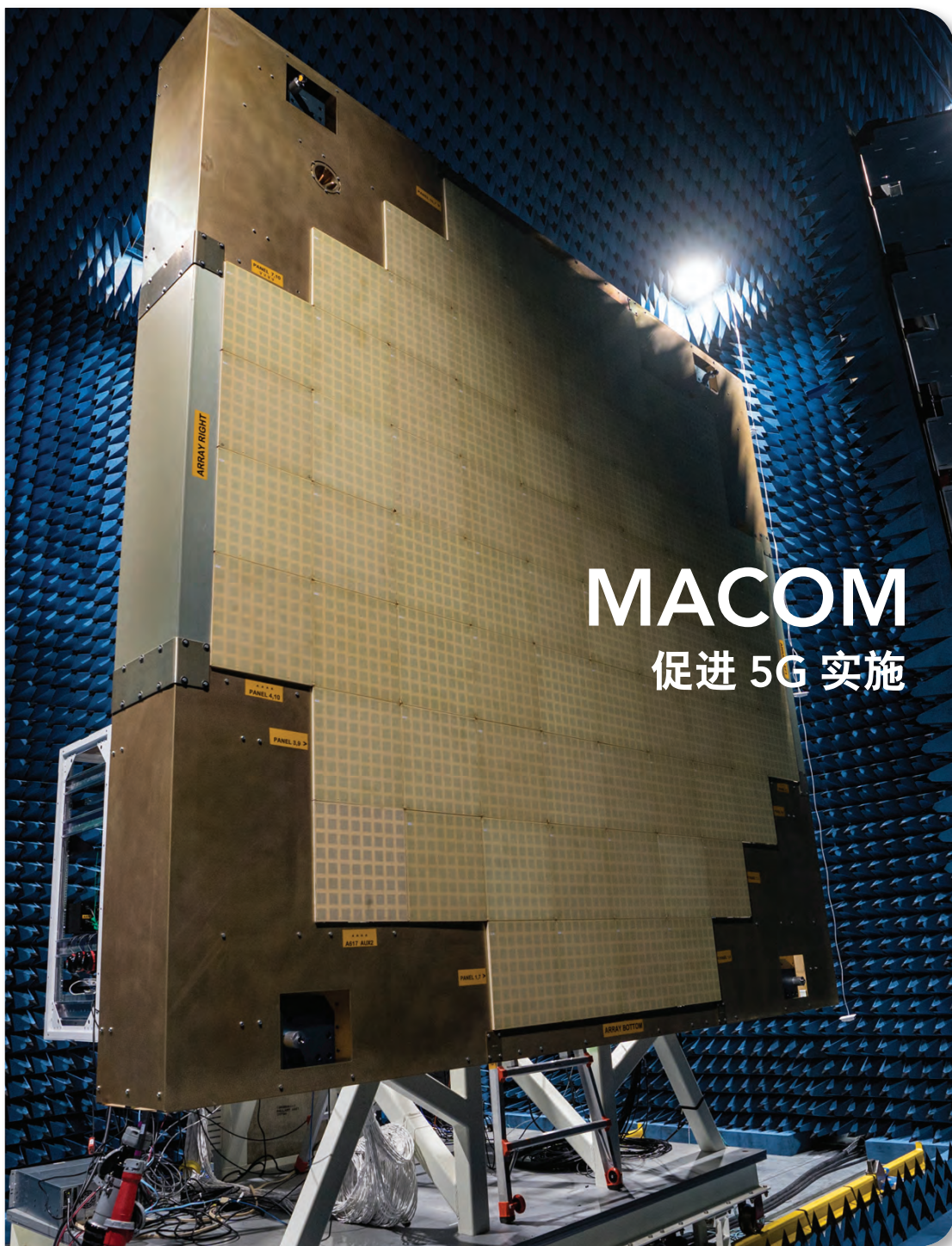
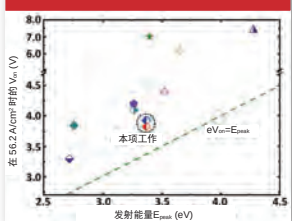
III-V族与硅集成



LED加速植物生长



改善紫外 LED



ACT





2019

Electronic Design Innovation Conference

电子设计创新大会

4月1-3日

国家会议中心，北京

来EDI CON China 2019了解最新的电子设计领域的创新。

立刻注册！



参加培训



观看产品演示



结交朋友



创新奖

与射频、微波、EMI/EMC、雷达和高速数字技术领域的业内专家面对面交流。

技术会议 + 展览 = 电子工程师、设计师和系统集成商的极佳学习机会

www.mwjjournalchina.com/edicon

使用优惠码EDICON19MWJ注册，节省50%门票费用

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

封面故事 Cover Story

10 MACOM促进5G实施 MACOM facilitating 5G

5G无线基础设施即将在全球铺开，预计这将对从移动设备连接、固定无线服务到交通、工业和娱乐应用等方方面面产生革命性的影响。5G的推出需要依赖射频和光学半导体技术、基站系统架构和网络拓扑等先进技术，也为相关的厂商提供了巨大的机会。

- Doug Carlson, MACOM公司

编辑话 Editor's Note

04 5G技术争霸战拉开序幕 The battle for 5G begins

- 赵雪芹

业界动态 Industry

05 连续渗透合成：更少的工艺步骤，更精细的特征图形 Sequential infiltration synthesis: fewer process steps, finer features

06 MACOM和ST携手合作提高硅基GaN产能，支持5G无线网络建设 MACOM and STMicroelectronics to extend the capacity of GaN-on-silicon and support the construction of 5G wireless network

07 潜力巨大的 MicroLED MicroLEDs with mammoth potential

09 山东天岳碳化硅功率半导体芯片项目开工，推进碳化硅产业化 SICC started SiC power semiconductor chip project to promote the industrialization of SiC

23 SEMI发布业界首个功率和化合物Fab厂预测报告 SEMI Unveils Industry's First Power and Compound Fab Outlook

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，亦是中國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.



扫一扫
免费下载电子书

技术Technology

- 14 在200毫米硅晶圆上制备microLED**
Making microLEDs on 200 mm silicon
- Liyang Zhang, Kai Liu, Peng Xiang, Hongjing Huo, Ni Yin, Kai Cheng; 苏州晶湛半导体有限公司
- 18 通过纳米脊形获得优势**
Gaining an edge with nano-ridges
- Bernardette Kunert, Robert Langer, Marianna Pantouvaki, Joris Van Campenhout;
IMEC Dries Van Thourhout, 比利时根特大学
- 24 园艺行业：引人注目的 LED 应用场合**
Horticulture: The compelling case for LEDs
- Alexander Wilm, 欧司朗光电半导体公司

科技前沿 Research Review

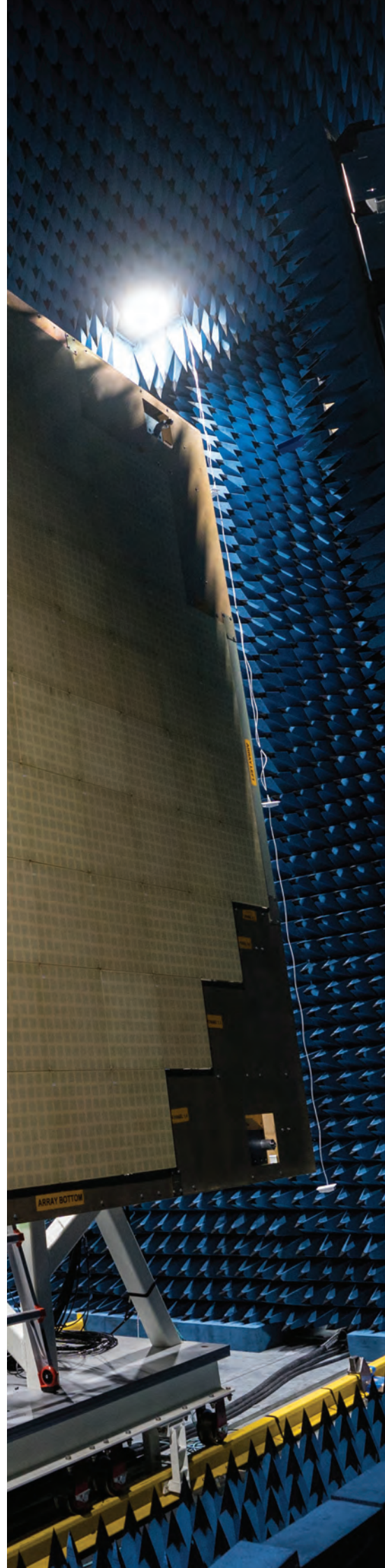
- 28 利用 ITO 改善紫外 LED**
Improving ultraviolet LEDs with ITO
- 29 仔细观察厚的 AlInN 薄膜**
Scrutinising thick films of AlInN
- 30 更好的缓冲器可提高激光器寿命**
Better buffers boost laser lifetimes
- 32 广告索引 Advertisement Index**

关于雅时国际资讯 (ACT International)

雅时国际资讯 (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——为跨国公司与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、半导体制造、洁净及污染控制、电磁兼容等领域的约二十多万专业读者及与会者。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 200,000 professional readers and audiences in fields of electronic manufacturing, machine vision system design, laser/photronics, RF/microwave, cleanroom and contamination control, compound semiconductor, semiconductor manufacturing 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



5G 技术争霸战拉开序幕

进入 2019 年, 5G 建设开始提上议事日程, 国内三大运营商已经在 23 个城市进行 5G 测试。而国际上一些国家对于华为 5G 技术的限制, 也是山雨欲来风满楼。近日, 在西班牙巴塞罗那举办的世界移动通信大会 (MWC 2019) 上, 参展厂商竞相展示 5G 相关产品与技术, 意欲抢占 5G 先机, 包括 5G 调制解调器芯片、5G 射频方案、整合 5G 基频的移动处理器、各种 5G 手机……5G 手机成为大家关注的焦点, 各手机厂商纷纷发表 5G 手机以宣示自己的技术领先性, 最吸引眼球等自然是华为 Mate X 5G 折叠屏手机, 当然价格不菲也令人印象深刻。

不过, 在目前发表的 5G 手机中, 都是以移动处理器外加 5G 基频芯片来连接网络为主, 在手机设计上不免有较多阻碍。而高通公布了新的整合 5G 基频的移动处理器骁龙 X55 5G 的 SoC, 以解决这一问题。

高通骁龙 X55 5G 成功将 5G 基频芯片和移动处理器整合至系统单芯片 SoC 中, 成为业界首款整合 5G 功能的平台。芯片体积缩小有利于手机设计的便利与弹性, 但整合芯片开发难度较高, 此次高通的整合平台, 为 5G 时代划下重要里程碑。这款骁龙 X55 5G 基频芯片采用 7 纳米制程生产, 具备最高 7Gbps 的下载速度, 以及最高达 3Gbps 的上传速度。骁龙 X55 5G 支持第 2 代毫米波天线、sub 6GHz 射频元件, 以及 5G 的省电技术 (PowerSave)。骁龙 X55 5G 预计 2019 年底左右开始供货。这对于目前也已经推出 5G 基频芯片的联发科、英特尔、三星及华为等厂商来说, 可能会造成不小的压力。

晶圆代工格芯 (Global Foundries) 展示 5G 相关射频解决方案。格芯表示: 公司深耕 RF SOI 晶圆代工技术平台, 探讨智能连结产业的发展趋势。自 2017 年 9 月推出针对移动应用的 8SW RF SOI 技术平台以来, 持续强化 RF SOI 技术平台, 其中客户端设计收益已超过 10 亿美元。随着用于 6 GHz 以下及毫米波的无线电复杂性提高, 推动多种射频功能紧密整合, 市场需要具备线性性能的射频高效能解决方案。

联发科展示首款 5G 调制解调器芯片 Helio M70, 是联发科全新的 5G 解决方案, 在 sub-6GHz 环境下的传输速率高达 4.2 Gbps, 为业界最快速, 符合目前 5G 最新的标准 3GPP R15, 在没有 5G 的环境下也兼容于 2G、3G、4G 系统。此外, 还有载波聚合、高功率终端等各项技术。联发科表示, 目前正积极与诺基亚、NTT DoCoMo、中国移动等领先的移动运营商及设备制造商合作, 共同加快 5G 部署脚步, 预计终端产品在 2020 年前覆盖移动、家居和汽车等领域。

紫光展锐是全球领先的移动通信及物联网核心芯片供应商之一, 也在 MWC 2019 上发布了马卡鲁 5G 通信技术平台及其首款 5G 基带芯片春藤 510。

春藤 510 采用台积电 12nm 制程工艺, 支持多项 5G 关键技术, 可实现 2G/3G/4G/5G 多种通讯模式, 符合最新的 3GPP R15 标准, 支持 Sub-6GHz 频段及 100MHz 带宽, 是一款高集成、高性能、低功耗的 5G 基带芯片。此外, 春藤 510 可同时支持 SA (独立组网) 和 NSA (非独立组网) 组网方式, 充分满足 5G 发展阶段中的不同通信及组网需求。

从今年 MWC 来看, 5G 时代已经来临, 相关厂商正在厉兵秣马, 牢牢抓住商机。5G 技术的竞争将愈演愈烈, 更多厂商将加入其中争夺市场。

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

雅时国际通讯 ACT International

香港九龙 B,13/F, Por Yen Bldg,

长沙湾青山道478号 478 Castle Peak Road,

百欣大厦 Cheung Sha Wan,

13楼B室 Kowloon, Hong Kong

Tel: (852) 2838 6298

Fax: (852) 2838 2766

北京 Beijing

Tel/Fax: 86 10 64187252

上海 Shanghai

Tel: 86 21 62511200

Fax: 86 21 52410030

深圳 Shenzhen

Tel: 86 755 25988571

Fax: 86 755 25988567

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



连续渗透合成： 更少的工艺步骤，更精细的特征图形

美国能源部 (DOE) 下属阿贡国家实验室 (Argonne National Laboratory) 的科学家正在寻找商业合作伙伴，以发放授权许可证并合作开发一种新型材料合成方法，该方法有可能减少半导体加工工序的数量，而且能实现更精细的复杂刻蚀特征图案。

这种被称为“连续渗透合成”(sequential infiltration synthesis, SIS) 的方法是在 2010 年发明的，源于 Argonne 科学家 Seth Darling 和 Jeffrey Elam 与他们的两位博士后研究生的一次午餐时间的交谈。其构思基于原子层沉积 (ALD)，这是一种采用交替的化学蒸汽来生长材料(一次一个原子层)的薄膜沉积方法。

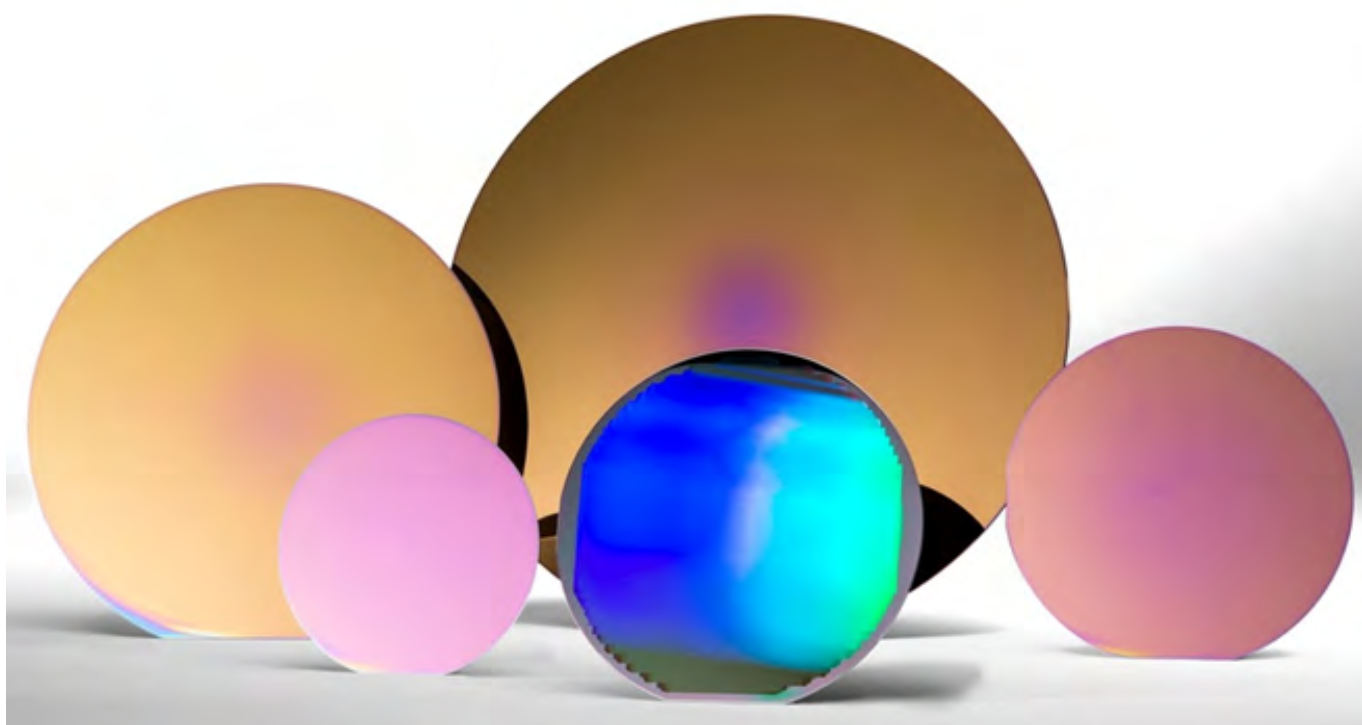
Darling 说：“我们想，‘如果一种材料的生长可以在另一种材料的内部（而不是顶部）进行，就像聚合物一样，那不是更好吗？’第一次尝试的效果非常好。接着我们开始想象可以使用此项技术的所有不同应用。”

刻蚀更多复杂精细的特征

在聚合物表面上 SIS 类似于 ALD，但是在 SIS 中，蒸汽扩散到聚合物内部（而不是顶部），在那里它与聚合物进行化学结合，并最终生长以在整个聚合物本体中形成无机结构。

采用这种方法，科学家们可做出能够帮助半导体制造行业刻蚀更复杂精细特征图案的坚固涂层，从而使它们变得更小，或者增添额外的存储及其他能力。通过运用 SIS 方法将它们涂敷在某种聚合物上，并随后去除聚合物的残留物，它们还能够调整各种不同金属、氧化物及其他无机材料的形状。

Argonne ALD 研究项目主管 Elam 说：“您可以在聚合物中取一个图案，把它暴露在蒸汽中并将其从有机材料变成无机材料。”指的是这种方法使用聚合物和蒸汽来基本制成一种具有特定属性的新材料所能借助的途径。“这是一种采用聚合物图案、并将该图案转换为几乎任何无机材料的方法。”



他们说，由于 SIS 可被涂敷至几乎所有的光阻材料上，而且能够从化学和量化两个方面对无机材料的渗透进行调整，因此对于几乎任何刻蚀方案和基底，兼容性都是有保证的。工艺工程师可选择一种能在提供强抗刻蚀性的同时消除污染最终器件可能性的渗透剂。

在给化合物半导体形成图案时，这样的灵活性是很关键的。更加重要的是，传统晶圆厂的制造流程涉及硬掩膜沉积和去除，而 SIS 为免除这里的许多工序提供了一条途径，从而将最大限度降低损坏高频和功率器件中常用的纤薄易碎基底的可能性。

更深的沟槽和图案崩溃

这种方法还解决了半导体制造行业中的一个特定的问题，即“图案崩溃”，这意味着用于制作电脑芯片上的电子元件的纤小特征的崩溃，因而使之失效。

在芯片制造过程中，当在硅芯片上刻蚀图案时，抗刻蚀表面被用作保护涂层，以掩蔽那些不想去除的区域。但是，目前常用的抗刻蚀涂层磨损得非常快，因而造成芯片制造商难以制作具有深刻蚀特征的组件，Darling 说。

运用 SIS 方法可对无机蒸汽涂层进行合理的设计，以提供更好的垂直特征保护，从而实现更深的刻蚀以及在每颗芯片上集成更多的组件。

Darling 说：“芯片上的特征在横向上已经变得极小了，但是有的时候你也希望增加它们的高度。如果抗刻蚀涂层很

快腐蚀，就无法制作高的特征，但是运用 SIS 方法后，要做到这一点就很容易了。”

太阳能电池和 LED

同样，这种方法所具有的潜力不仅有望改进半导体制造，而且还可改善硬盘存储、太阳能电池效率、光学器件和汽车防水挡风玻璃上的防反射表面。

Darling 说：“通过控制硬盘驱动器或其他存储装置上的磁记录，可以在增加存储空间的同时减小尺寸。”

这项技术另一种可能的应用是控制玻璃或塑料表面的光反射量。通过运用 SIS，科学家们能够将此类物体的表面设计成几乎完全非反射。采取这种策略，科学家可以改善太阳能电池、LED、甚至眼镜的性能。

Elam 说：“该技术在电子领域也会有许多的应用。可以用它在更小的空间里挤入更多的内存，或者制成速度更快的微处理器。SIS 光刻技术是一种很有前景的策略，可保持技术进步和摩尔定律的扩展。”

该小组的技术研究报告已发表于《The Journal of Materials Chemistry》、《The Journal of Physical Chemistry》、《Advanced Materials》和《The Journal of Vacuum Science & Technology B》。

Argonne 拥有 SIS 技术专长，他们即将发放 SIS 技术使用许可证，有兴趣使用的公司可联系 partners@anl.gov 电子邮箱，以便了解更多信息和讨论可能的合作。☞

MACOM 和 ST 携手合作提高硅基 GaN 产能，支持 5G 无线网络建设

MACOM 和 ST 近日宣布，将在 2019 年扩大 ST 工厂 150mm 硅基 GaN 的产能，200mm 硅基 GaN 按需扩产。基于 2018 年初 MACOM 和 ST 达成的广泛的硅基 GaN 协议，通过扩大晶圆供应，实现硅基 GaN 的成本优势、规模经济和产业化，满足全球 5G 网络建设的需求。

随着全球推出 5G 网络并转向大规模 MIMO(M-MIMO) 天线配置，射频 RF 功率产品需求预计将会大幅提高。具体而言，MACOM 估计功率放大器需求数量将增至 32 倍至 64 倍，相应地，5G 基础设施投资在 5 年内预计增至 3 倍多，因此，单个放大器成本估计会降至十分之一至二十分之一。

MACOM 总裁兼首席执行官 John Croteau 表示：“主要的基站 OEM 厂商知道，为满足 5G 天线现场部署的成本、频

谱和能效目标，他们需要宽带隙 GaN 器件的性能，以及能够促进升级转型的成本结构和制造规模。通过与 ST 合作，我们相信 MACOM 能够满足基站厂商的全部要求——产品性能、成本优势和高产量供应链。我们期待，这个早期的联合产能投资，可以使我们布局全球高达 85% 的 5G 网络建设市场。”

ST 公司汽车与分立产品部总裁 Marco Monti 表示：“作为全球半导体技术的领导者，ST 已经在碳化硅技术领域打下了坚实的基础，我们现在正在推进 RF 硅基 GaN 技术，支持 OEM 厂商建立新一代高性能 5G 网络。碳化硅是汽车功率转换等电源应用的理想选择，而硅基 GaN 能够提供实现 5G 所需的 RF 性能、产能和商用成本结构。ST 和 MACOM 通过这一举措旨在破除行业瓶颈，满足 5G 网络建设需求。”

潜力巨大的 MicroLED

在三星公司率先推出电视墙“The Wall”之后，LG 随即以最新的 microLED 电视进行“反击”，此举进一步推高了参与竞争的门槛。但是，这些展示活动是否会让超大尺寸 micro-LED 电视很快进入我们的家庭呢？

——Rebecca Pool 报道

2018 年 9 月，韩国电子巨头 LG 推出了一款面向超大型显示器应用的 175 英寸巨型 microLED 电视，以回应三星于当年 1 月发布的 146 英寸“庞然大物”——“The Wall”。

随着显示器市场确实为迎接下一项重大技术做好了准备，三星已经从中国台湾的 创科技 (PlayNitride) 确保了自身的 microLED 芯片供应，而业界发布的报告显示：LG 的 microLED 芯片供应来自中国台湾的晶元光电 (Epistar) 和中国的华灿光电 (HC SemiTek)。

n-tech Research 公司分析师 Boris Kobrin 强调指出：“这个行业领域虽尚处于其初期阶段，但是成长和发展的速度非常快。商业化只是今年刚刚开始，不过，所有主要的显示器企业和原始设备制造商 (OEM) 都在开发原型机，目前正将其推向市场。”

基于 InGaN 半导体器件并由时任美国堪萨斯州立大学教授的 Hongxing Jiang 和 Jingyu Lin 开发的 Micro-LED 是在本世纪初首次出现在世人面前的。相关的工作迅速地延展开来，到 2012 年，Sony 发布了其 55 英寸“Crystal LED Display”，这款显示器由大约 600 万个 microLED 组成。Sony、三星和现在的 LG 相继推出尺寸更大的 microLED 显示器，而业内人士则敏锐地预期苹果和 Facebook 也将推出更多的同类显示装置。

Kobrin 指出：“在这些超大型显示器中，可扩展性是 micro-LED 的吸引力所在。”据分析人士称，下一代数码电影需要高动态范围、超高密度、高亮度和高对比度显示器，这是最先进的投影机和屏幕完全无法提供的。同时，激光彩色视频显示器价格昂贵，而制造尺寸超过大约 65 英寸的 OLED 显示器在技术上具有挑战性，且成本很高。

Kobrin 说：“然而，microLED 提供了出众的对比度、亮度和可扩展性。一个像素的 98% 以上都是空白空间，由于微小的像素包含了非常纤巧的 microLED……因此 [系统] 成本并不与显示器的面积成正比，实际上是与显示器的分辨

率成正比，这一点对于此类大屏幕面积显示器是非常重要的。”

他补充说：“数码电影和家庭影院中的显示器即将以 microLED 为主导，因为它所具备的上述能力是任何其他技术、甚至连 OLED 都无法提供的。”

但是，micro-LED 市场并不是只盯着显示器尺寸。虽然最新的超大型电视有望以接近 LCD 的成本达到高于 OLED 的亮度，但是目前的 microLED 还提供了一流的电源效率、高对比度、高亮度和超过 OLED 的寿命。

有鉴于此，Kobrin 认为近眼式增强现实 / 虚拟现实投影机市场是值得关注的。他说：“这种应用需要非常高的分辨率、高亮度和对比度、以及轻量和小外形。microLED 非常好地满足了所有这些要求。”

将智能手表市场以及汽车平视显示器的预期需求考虑进来，Kobrin 预计全球 microLED 市场的销售收入将从 2019 年的 27 亿美元激增至 2022 年的 107 亿美元。尽管如此，也存在着挑战。

但是，GaN 晶圆片上的质量变异性困扰着制造商，比如，美国 Optovate 等公司正在开发有选择性的阵列转移工艺以应对这个问题。与此同时，据报道，有关显示驱动器以及较小尺寸 microLED 效率摇摆不定的问题也在解决之中。

对 Kobrin 来说，一个关键的问题是“巨量转移” (mass transfer)。超高分辨率、对比度和亮度应用 (即超大型显示器和近眼式 AR/VR 投影机) 需要具有非常高像素密度的显示器，此类显示器采用传统的“拾取与放置”转移工艺是很难制造的。

采用传统拾取与放置工艺时，microLED 显示器以一次一个子像素的方式装配到 CMOS 背板上。因此，对于具有大约 2500 万个子像素的 4K 电视而言，这是一个耗时且成本高昂的过程。更重要的是，许多拾取与放置工艺充其量只能处理 50 μm 像素，但是未来的显示器将容纳尺寸更小的像素。



正如 Kobrin 强调的那样，万幸的是，一直不断地涌现出众多提供各种巨量转移制造工艺的公司，在这些工艺中，成千上万的子像素同时从一个蓝宝石或硅施主载体移动至显示器基板。

例如，美国新创公司 Uniqarta 开发了一种“激光先进放置”工艺，在该工艺中，一个激光器以一小时 1 亿个单位的速率将裸片从一个载体转移至一个基板。这比传统的拾取与放置工艺快了几个数量级。

与此同时，美国 SelfArray 公司首创了一种“定向自组装”工艺，在该工艺中，包覆一层热解石墨薄膜并放在振动磁性平台上 LED 裸片在磁场引导下快速排列，然后转移到显示器基板上。该公司称，此项技术成熟之后，未来只需要几分钟便可制作出一台 4K 电视。

Kobrin 说：“我们需要看到大量芯片实现快速转移，即使对于小型器件也不例外。目前还没有研制完成的技术，但是相关公司正在开发工艺，我期望见到它们当中的一些被 Facebook 和 Google 这样的大公司收购。”

他补充道：“目前还不清楚哪种技术将会胜出，然而对我来说，似乎基于激光的转移技术是具备优势的。”

但是，随着问题的逐个解决，供应链的薄弱环节仍然受到业内许多人的密切关注。大家都知道，复杂而冗长的 micro-LED 显示器供应链依然是支离破碎的，这是因为将

LED 生产与显示器制造和装配相结合并不容易。

Kobrin 说：“目前还不确定这个问题将如何结束。会由那些大公司承担解决问题的责任并创建一种垂直集成结构……还是将由半导体晶圆代工厂根据外延生长要求重新配置和更新生产线呢？现在需要看到这一点。”

美国最大石墨烯工厂扩产

美国石墨烯和二维材料生产商 Grolltex 近日完成其新的产能扩张，其在加利福尼亚州圣地亚哥的 CVD 单层石墨烯制造厂每年可生产 30,000 个 8 英寸石墨烯晶圆（在不同基底上）产品。这是加州唯一的商业 CVD 单层石墨烯生产线，也是美国同类产品规模最大的工厂。目前市场对于电子级石墨烯的需求很好。

Grolltex 公司使用加利福尼亚大学圣地亚哥分校开发的专利研究和技术，生产高质量的单层石墨烯，六方氮化硼和其他二维材料和产品。该公司是专门从事可持续石墨烯生产方法的专业公司，致力于推动石墨烯领域的发展，通过优化单原子厚材料来改善前沿材料科学和产品设计的未来。

山东天岳碳化硅功率半导体项目开工 推进碳化硅产业化

2019年2月27日，作为济南114个集中开工项目之一，山东天岳碳化硅功率半导体芯片研发与产业化项目正式开工。

碳化硅功率半导体芯片及电动汽车模组研发与产业化项目是济南2019年市级重点项目之一，据悉，该项目总投资65000万元，项目总占用厂房面积为2400平方米，主要将建设碳化硅功率芯片生产线和碳化硅电动汽车驱动模块生产线各一条，利用厂区原有厂房的空置区域建设。

据山东天岳官方消息，本项目以硅烷和甲烷在氢气和氩气条件下制得SiC衬底外延片后，经掩膜淀积、光刻、显影、灰化、刻蚀和检验封装等工序，生产SiC MOSFET晶体管，设计年生产规模为400万只/年；以碳化硅外延材料为原料，经晶圆标记、离子注入、厂板淀积、欧姆接触、肖特基电

极、钝化层制备等工序，生产SiC功率二极管，设计年生产规模为1200万只/年；以碳化硅芯片为原料，经焊接、清洗、铝引线键合灌封硅凝胶等工序，生产碳化硅电动汽车驱动模块，设计年生产规模为1万只/年。

山东天岳是山东大学晶体研究所的产业化基地，主要从事宽禁带碳化硅半导体衬底的研发与生产，广泛应用于电力输送、航空航天、新能源汽车、半导体照明、5G通讯等技术领域。

山东天岳先进材料科技有限公司成立于2010年10月，山东天岳晶体材料公司是其旗下控股公司。截至2018年底，山东天岳累计投资15亿元建成了碳化硅单晶衬底材料产业化基地。OSc



获取镀膜技术尖端讯息



POWER DEVICES

- Industry trends by Yole Développement
- Nexperia – A vision for 2020
- Wide Band Gap technologies by Yole Développement

MEMS

- Industry trends by Yole Développement
- Vaisala – Technology to keep our airports safe
- PragmatIC – Reinventing electronics for mass market applications
- Thin-film integrated passive devices (IPD)
- AlScN update

WIRELESS

- Industry trends by Yole Développement
- Magnetron sputter epitaxy of AlScN
- Stress improvement for FBAR electrodes



在线浏览或联系当地办公室获取杂志

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

T: +86 21 8019 7660, E: infochina@evatecnet.com

欢迎光临半导体中国展，3月20日-22日，展位号3251

ADVANCED PACKAGING • SEMICONDUCTOR • OPTOELECTRONICS • PHOTONICS • THE THIN FILM POWERHOUSE

MACOM 促进 5G 实施

5G 的推出需要依赖射频和光学半导体技术、基站系统架构和网络拓扑等先进技术。

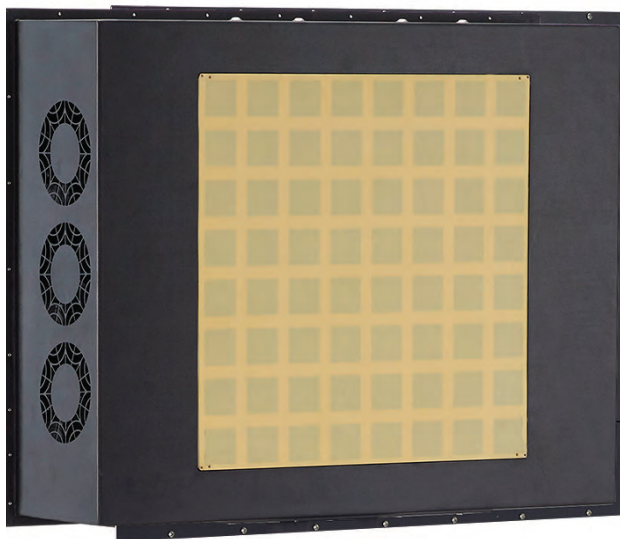
Doug Carlson, MACOM 公司

关于即将在全球推出 5G 无线基础设施的文章已有很多。预计这将对从移动设备连接和固定无线服务到运输，工业和娱乐应用甚至之外等的各方产生全面的变革性影响。通过将比现在快 10 到 100 倍数据速率结合具有处理未知数据流量的能力，全球 5G 网络预计将提供几乎即时的连接，以及看似无限的带宽弹性，这将涵盖包括人员，自动驾驶汽车，物联网设备，工业系统和民用基础设施。

在能够开始大规模部署 5G 之前，人们必须解决令人生畏的技术和监管问题。但是，这些挑战具有好的方面，它们为运营商提供了一个巨大的机会，他们以可持续的方式发展网络基础设施，在爆炸性的数据增加中实现带宽，功率，管理和成本效率的持续改进。从而，5G 的全球通信基础设施将引入全新的，自上而下的视角，从射频和光学芯片到基站系统架构和网络拓扑结构。

发展 5G 的努力与用于空中交通管制和天气监视的民用雷达的并行演变并不是巧合。精简和改进雷达基础设施的努力正在为商业 5G 技术和部署战略提供信息。这并不奇怪，因为这些民用和商业计划的最终目标是相似的：创建可扩展，经济高效且高度集成的天线技术，可实现更快，更准确和更灵敏的发送和接收功能。对于民用雷达，这确保了对飞机和天气系统的扩展视野，而对于 5G，它增加了用户覆盖范围。

在美国，这两项努力都是通过政府资助，跨机构规划和协调进行支持。其目的是将国家雷达基础设施整合到一个多功能平台上，同时释放



MACOM可扩展的平面阵列 (SPAR) 平板

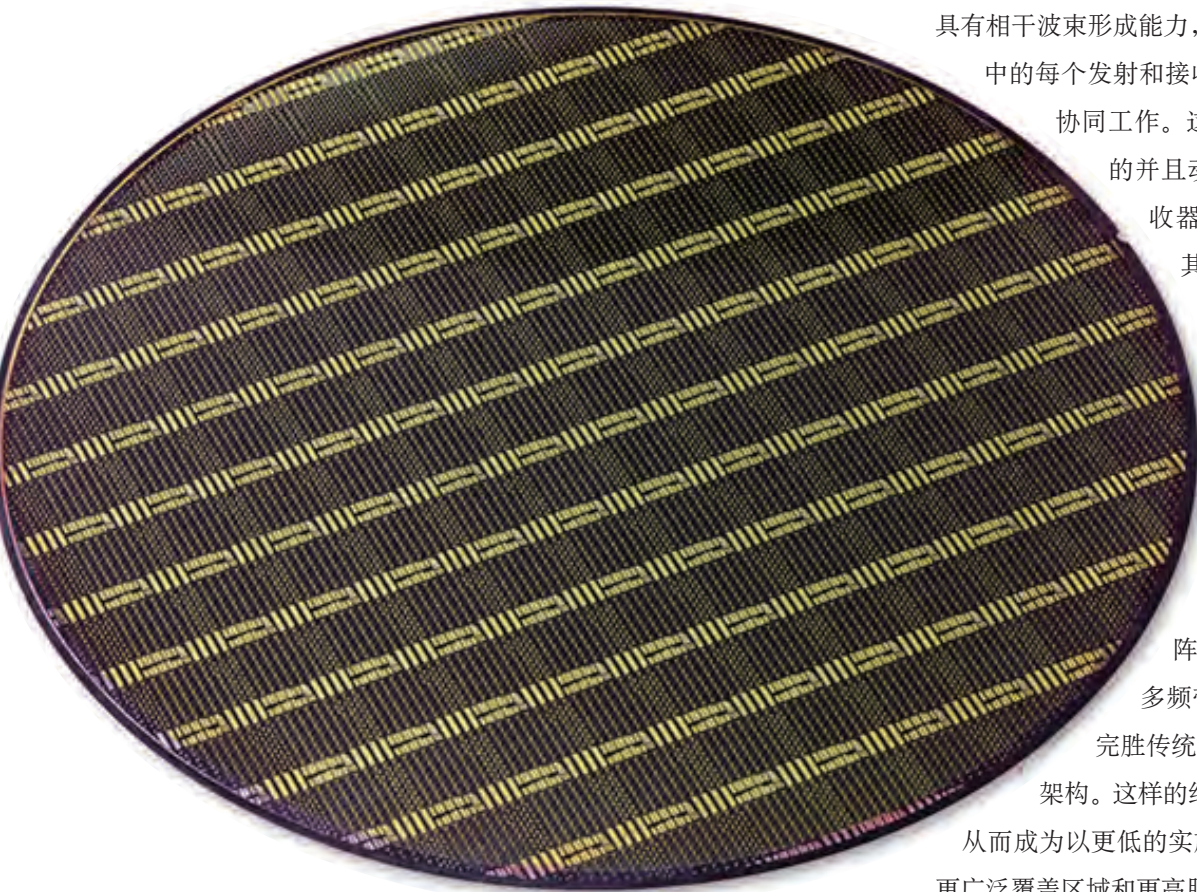
宝贵的无线电频谱，以便重新分配到商用 5G 无线服务中。该计划称为频谱高效国家监视雷达 (SENSR)，汇集了美国联邦航空管理局 (FAA)，国家海洋和大气管理局 (NOAA)，国防部 (DoD) 和国土安全部 (DHS)。

借鉴民用雷达

雷达天线的最新发展之一是引入了基于平板的平面相控阵雷达，用于空中交通管制和天气跟踪应用。这一突破为大规模 MIMO（多输入，多输出）5G 系统的架构和组件提供了引人注目的模板。利用高度集成的天线子系统以及批量的规模化商业封装和制造技术，可以使与 5G 部署相关的人员花费很少的时间来构建平面阵列，并且这些阵列可以灵活地定制和扩展以便部署于广泛的应用环境之中。这将是传统阵列架构成本的五分之一，正如针对民用应用的第一代可扩展平面阵列 (SPAR) 平板所证明的一样。

由于万向轴旋转，当前一代传统的、机械操

左图是室内平面阵列。



MACOM的8英寸硅晶圆可在批量生产中提供成本效益

纵的空中交通管制雷达的缺点是重复率较慢。平面相控阵雷达通过使用数百到数千个发射和接收元件组成的固定阵列进行电子扫描，从而解决了这个缺点。此外，平面阵列除了跟踪传统飞机之外，还可以很容易地跟踪天气模式和无人驾驶飞机系统。由于这种普遍性，许多雷达功能都集成到经济有效的单一多功能平台中。

预计 5G 大规模 MIMO 天线将与其基于雷达的同类采用相似的架构。这意味着发射和接收元件的数量将远远超出当前 MIMO 配置中的 2 到 8 个天线，并且可以任意扩展到 64 到数百个天线。

平面空中交通管制雷达阵列与 5G 基站之间的相似性并不是仅仅停留在天线架构层。两者都

具有相干波束形成能力，因此大规模 MIMO 阵列中的每个发射和接收元件都可以与其他阵列协同工作。这在用户方向上非常有益的并且动态地增加发射功率和接收器灵敏度，同时减轻来自其他源的噪声，干扰和反射。在人口密集的地区，这种方法克服了带宽和容量的限制，同时减轻了多路径问题。

相干波束形成大规模 MIMO 的另一个优点是，通过利用数字相控阵，它在延迟，宽带性能和多频带天线的使用方面，可以完胜传统的固定波束大规模 MIMO 架构。这样的结果就是卓越的频谱效率，从而成为以更低的实施成本，为用户提供更广泛覆盖区域和更高服务质量的关键。

GaN 和 MMIC 的进展

不仅仅是基站架构和波束成形技术的发展正在帮助 5G 基础设施的部署。半导体和封装技术也有进步，与传统方法相比具有引人注目的优势。

对于大规模 MIMO，特别是对于更高频率，天线配置必须紧密集群，从而需要保留可用的 PCB 空间。解决这些限制的一种方法是从使用分立 IC 和单功能 MMIC 的 5G 基站设计切换到采用多功能 MMIC 的设计。

除了多功能集成提供的节省空间的优势之外，还可以通过减少单个芯片封装，设计复杂性，测试和装配工作来降低成本。同时，减少接口数

很显然，GaN-on-silicon 比 GaN-on-SiC 更有优势的地方在于，硅上具有能够集成更多的功能的潜力。多功能集成可以大大节省空间，制作出超小型 MMIC，并且实现在单芯片上 GaN 器件与 CMOS 器件的同质集成。此外，还可以通过减少单个芯片封装、设计复杂性、测试和装配工作来降低成本。

量可以提高整体的机械可靠性。

随着所有这些因素的发挥作用，硅上 GaN (GaN-on-silicon) 成为主流的应用恰逢其时。由于具有 8 英寸和 12 英寸晶圆的可扩展性，该技术有望提供成本效率，这在可扩展的规模生产水平上远远超出了碳化硅 (SiC) 上 GaN (GaN-on-SiC)，从而极具成本效益，同时还提供了 LDMOS 无法实现的性能指标。

与 LDMOS 相比，优势显著。功率效率提高 70% 以上，单位面积功率提高 4 到 6 倍，并且具有更高频率的可扩展性。同时，全面的测试数据肯定了硅上 GaN 器件符合严格的可靠性要求，并且可以复制甚至超过 SiC 上 GaN 制造的同类产品的 RF 性能和可靠性。

硅基氮化镓在硅片级集成更多功能的可能性方面显然优先于 SiC 上 GaN。这种可能性可以产生额外的空间优化，从而实现超紧凑的 MMIC；还可以在单个芯片上实现 GaN 器件和基于 CMOS 器件的同质集成。后者为多功能数字辅助 RF MMIC 打开了大门，这些 MMIC 可以包含片上数字控制和校准，片上功率分配网络以及更多。

高性能开关

射频开关或者以分立元件或者以前端模块的形式与 LNA 和控制器集成，将在 5G 无线基站性能中发挥关键作用。有多种基础半导体技术可供选择，设计人员需要为所需的系统功能选择最佳的半导体结，同时密切关注节省宝贵的空间并最大限度地降低功耗和相关成本。插入损耗是一个关键的性能指标：插入损耗性能每增加十分之一都可以转换为范围的扩展和用户覆盖的扩大。

对于高功率 5G 天线中的前端发送 / 接收拓扑，使用 AlGaAs 和基于异质单片微波 IC (HMIC) 的开关技术可以实现极低的插入损耗。这些技术支持高频操作以实现更宽的带宽，可能有助于最大化接收灵敏度和天线覆盖范围，同时保持发送 / 接收信号的完整性。此外，通过降低功率损耗，这些技术可能实现更低的补偿，从而进一步简化 RF 信号链路。

这里举例说明以下这些优点，与同类其他开关相比，分立异质结 AlGaAs p-i-n 二极管开关可将高频插入损耗减半。这一优势可以转化为更高频段更可靠的系统性能。

光学的机会

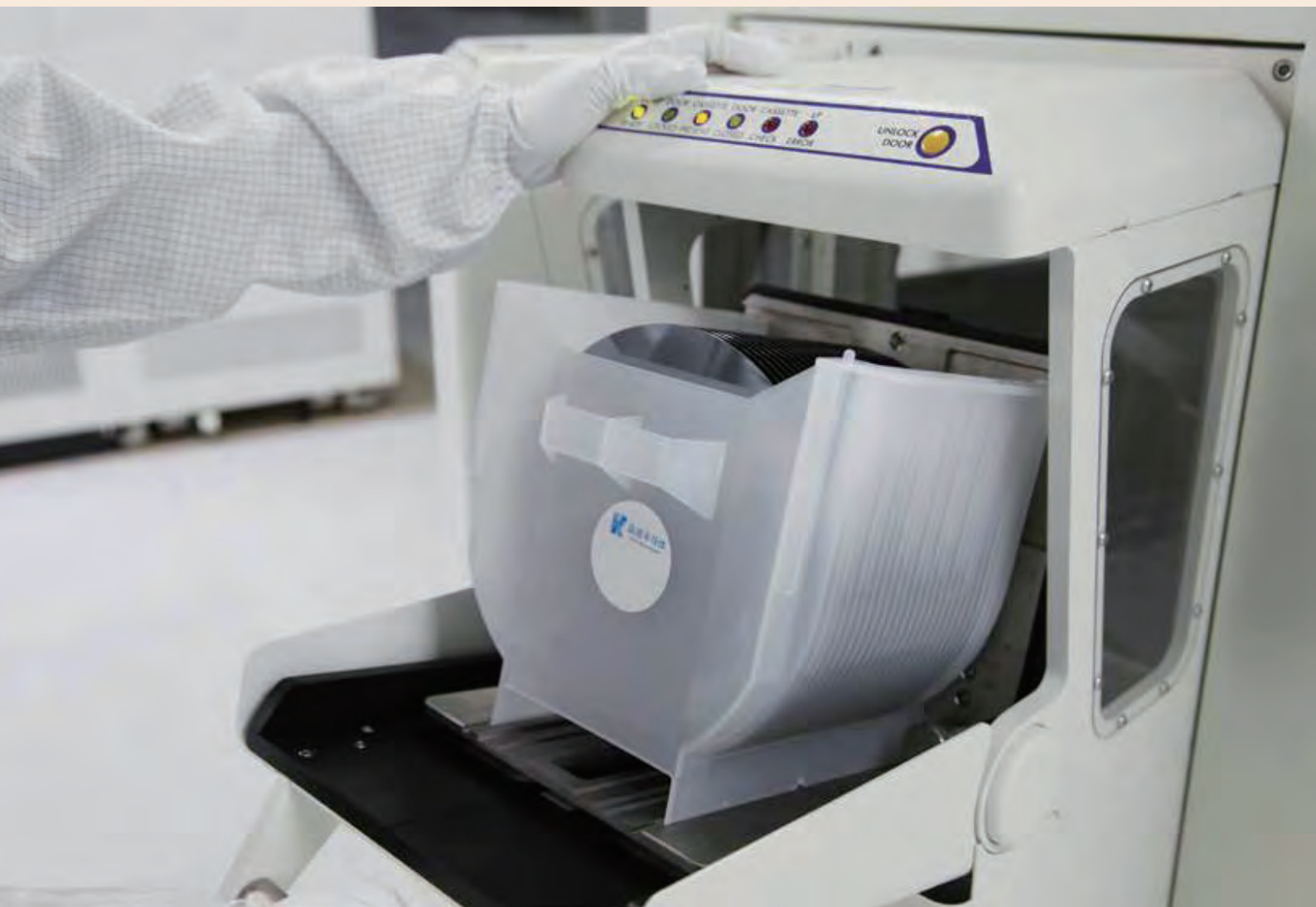
为了应对未来网络数据流量的大幅增加，新兴的 5G 网络架构预计将更加依赖于从网络骨干到基带处理以及天线的高速光学互连。这种架构（我们称之为从光纤到天线）可以减少铜缆布线，因为新的光纤会部署进入更深层次的网络。

无线前传是光学半导体和封装技术创新最佳成本结构可能如何改变当今无线网络拓扑结构的一个典型例子，目前这种拓扑结构可以从远程无线电单元扩展到基带单元。

我们预计新的 100Gbit/s，单波长 PAM-4 DSP 和先进的硅光子技术，将可以为集中式 / 云无线接入网络架构提供高性能，低成本的 100G 光互连。这将大大简化远程无线电单元的设计和维护，其中处理智能转移到集中管理，维护和冷却的基带单元，这些将在很远距离为多个远程无线电单元提供服务。

以前，通用公共无线电接口协议可以简化集中式 / 云无线接入网络架构，但数据传输速度会低于标准。缩小这一差距的方法是云数据中心采用 100G 连接，这一举措使得 100G 成本结构得到缩减。无线运营商现在已准备好利用 100G 互连的速度和成本效率来实现无线前传，为 5G 数据流量做好准备，同时实现灵活的集中 / 云无线接入网络架构，旨在实现未来的无缝可扩展性。

射频和光学半导体技术，基站系统架构和网络拓扑结构的并行发展，正汇聚一起来推动无线网络行业朝着 5G 连接的道路前进，从而实现更优雅，集成且更具成本效益的无线基础设施。借助从民用和商用技术领域所汲取的新技术，系统设计人员和网络架构师已经完全可以为 5G 网络基础设施实现更高水平的功能，性能和设备集成，同时简化从核心到天线的整个网络的数据流。☞



在 200 毫米硅晶圆上制备 microLED

最小的晶圆翘曲，良好的波长均匀性和超过 80% 的内部量子效率，200mm 硅上 GaN 外延片是制造显示器的理想部件。

Liyang Zhang, Kai Liu, Peng Xiang, Hongjing Huo, Ni Yin, Kai Cheng; 苏州晶湛半导体有限公司

基于液晶和有机 LED 的两种现有显示技术已经有了明显的发展障碍。那些以液晶为特色的产品受到复杂架构的影响：每个子像素由背光，偏光片，液晶矩阵和彩色滤光片组成。这导致效率低下。使用 OLED 可以解决效率问题，但会牺牲使用寿命和可靠性。

制作显示器的更有希望的选择是 microLED 阵列。它的每个像素都由一个尺寸小于 30 微米的 LED 形成，和其他两种具有同样的优势。另外其优点还包括高亮度和对比度，低功耗，快速响应时间，长寿命，宽范围的工作温度和宽视角。

有了所有这些属性，microLED 的功耗非常低。它仅为液晶显示器的 10%，为基于 OLED 显

示器的一半。低功耗不会抑制 microLED 显示器的亮度：它可以像 OLED 的一样亮，而仅使用 OLED 发光面积的十分之一。

除了所有这些优势之外，还有可能通过较小的像素尺寸实现收益。这使得 microLED 成为透明显示应用的理想选择，并且它为发射器，传感器和电路之间空闲空间中的集成提供了条件。采用这种方法可以构建具有嵌入式传感功能的显示器，例如指纹识别。

由于上面列出的一系列卓越性能，microLED 可以用于许多应用，包括大型电视，智能手表和可穿戴设备，虚拟现实和汽车平视显示器。因此，microLED 显示器被视为下一代显示技术的领跑者。

制造的选项

制造 microLED 有两种选择：单片集成和巨量转移。对于像每英寸小于 1000 像素的可穿戴设备这样的应用，适合于采用大规模并行转移的“拾取和放置”方法。但是，当 microLED 用于制作高分辨率显示器，即每英寸超过 1,000 像素的显示器时，拾取和放置并不可行。在这种情况下，阵列的单片集成是生产高分辨率显示器的更好方法，因为它可以通过晶圆键合技术直接将工艺加工后的 LED 晶圆转移到目标背板。

对于后一种方法，理想的生产涉及到需要有很窄波长区域范围和低缺陷水平的大面积平整外延晶圆。平整度非常重要，因为它允许外延片通过晶圆键合技术直接转移到目标背板。窄的波长

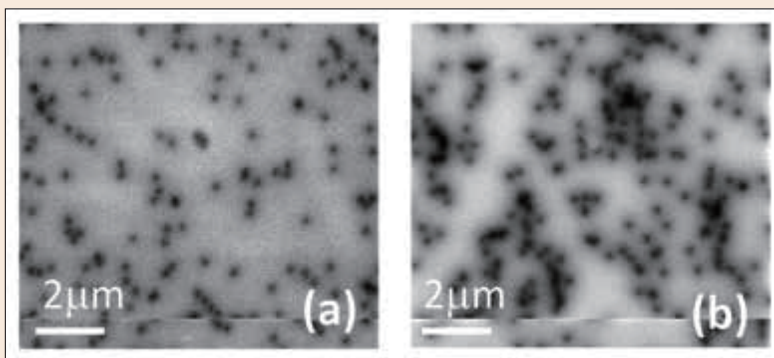


图2. 阴极荧光揭示了在 (a) 200mm 硅衬底和 (b) 100mm 平面蓝宝石衬底上的非故意掺杂 GaN 的穿透位错密度。对于 (a) 和 (b)，估算的穿透位错密度分别为 $1.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 和 $1.9 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 。

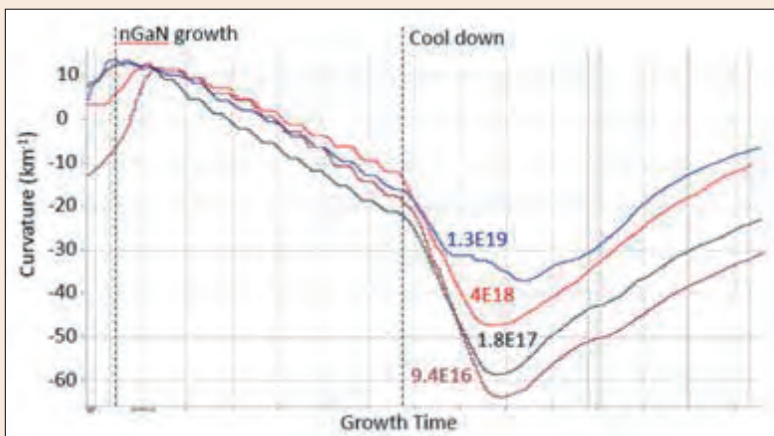


图3. 生长硅掺杂 GaN 的步骤期间所测量的原位晶圆曲率。不同曲线显示不同的掺杂浓度。

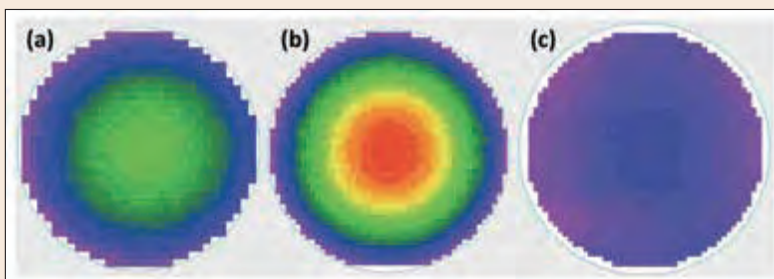


图4. 三种不同类型 LED 外延片的晶圆翘曲图：(a) 100mm 蓝宝石上 GaN LED，(b) 150mm 蓝宝石上 GaN LED，(c) 200mm 硅上 GaN。

范围是非常有好处的，因为它可以消除耗时的芯片分级；低缺陷水平对提高最终良率至关重要。

外延片的要求可规定如下：晶圆直径至少 150mm，以确保高转移效率；晶圆翘曲低于 $30 \mu\text{m}$ ，以实现高的键合良率；波长均匀性，芯片分级为 $\pm 1 \text{ nm}$ ，因此显示器生产无需芯片分级；并且需要结合高内部量子效率和高的光提取效率，确保高亮度。

硅基解决方案

在苏州晶湛半导体有限公司 (Enkris Semiconductor)，我们相信满足所有这些要求的最佳方法是在硅衬底上生产 LED 外延片。这是因为



图1. 晶湛半导体公司用于在 200mm 硅片上制作器件的 LED 外延结构。

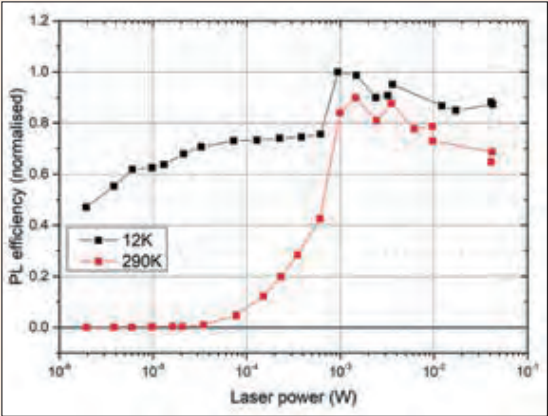


图5. 对于保持在12K和290K的200mm硅上Ga₂N LED外延片，测量的量子效率作为激发功率密度的函数。这些图表明该异质结构的内量子效率超过80%。

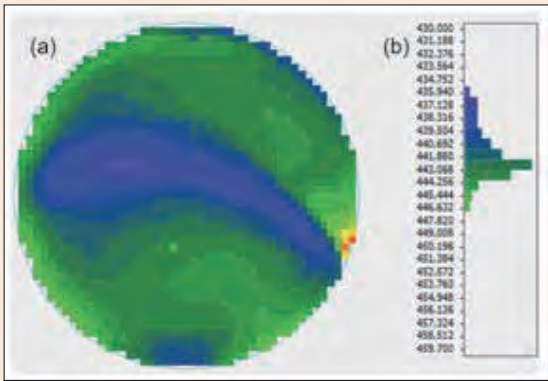


图6. (a) 我们200毫米硅基Ga₂N LED外延片的平均主波长为442nm，标准偏差低至2.4nm。(b) 平均主波长分布图。

硅的直径可达 300 毫米，成本低，200 毫米衬底的价格低于 50 美元，同时硅这种材料可为高质量和低颗粒水平的外延片提供很好的基底。更重要的是，硅上 GaN 具有与成熟的硅基制造相兼容的优势，这种制造技术已经非常非常成熟，可用于薄膜工艺和阵列的单片集成。最后但并非最不重要的是，可以在硅上 GaN 外延片中采用适当的应变工程技术，从而实现良好的均匀性和最小的翘曲。

为了生产我们的 LED 外延片，我们将

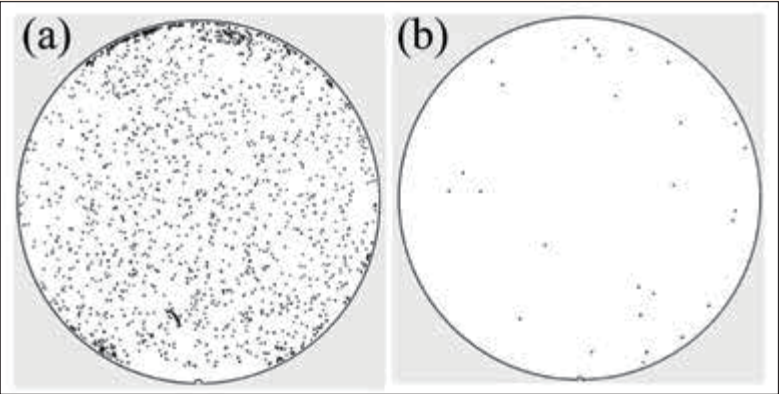


图7. 两种不同衬底的颗粒数。缺陷检查显示150mm蓝宝石 (a) 的颗粒数远远高于 (b) 200mm 硅的颗粒数。

200mm 硅衬底装入 MOCVD 反应室，并生长了氮化物叠层。生长工艺并不简单。由于“回熔蚀刻”，我们不可能直接在硅衬底上生长 GaN，这是一种镓和硅在高生长温度下形成镓 - 硅共晶的高温反应。其解决方案是在 GaN 生长之前沉积一层 AlN 成核层。此后，添加 Al (Ga) N 应变管理的缓冲层，然后再生长标准的 LED 结构。

我们通过 XRD 摇摆曲线扫描和阴极荧光测量仔细检查了我们的外延片。这些技术突显出我们材料的高结晶质量。(002) 和 (102) 方向上的摇摆曲线的半高处全宽分别是 334 弧秒和 299 弧秒。这些值对应于约 $1.5 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ 的穿透位错密度 (参见图 2 (a))。相比之下，对于平面蓝宝石上的 GaN 外延层，该数值约为 $1.9 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ (见图 2 (b))。

LED 外延片的另一个关键要求是重掺硅的 n-GaN。该层的沉积很棘手，因为它可能在存在高密度穿透位错的情况下，通过形成穿透位错的倾斜而导致压应力的弛豫。

对于不同掺杂浓度 n 型层生长过程，我们测量了我们硅上 GaN 晶圆的原位曲率 (见图 3)。绘制的曲率作为掺杂的函数都得到直线，即使对于超过 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的掺杂水平也是如此，这表明最小的压应力弛豫。这是通过降低位错密度来实现的，反过来又使压应力弛豫达到最小。优选的方法是为 microLED 制造薄的外延层，因为这样可以实现小的晶圆翘曲和更高的键合良率。我们已经可以实现这一点，生产的晶圆总外延层厚度低于 3.5 微米，厚度不均匀性仅为 1.5%。

晶圆键合的关键要求是最小的晶圆翘曲，因为这允许使用步进光刻系统和晶圆巨量转移。对于传统的蓝宝石上 GaN，外延层的应力主要取决于热失配，如果不加以控制，则会导致大的凸起翘曲。100mm 和 150mm 蓝宝石上 GaN 晶圆的翘曲典型值分别为 120 μm 和 170 μm (参见图 4 (a) 和 (b))。然而，对于我们的 200mm 硅基 GaN，适当的应力工程确保最终的晶圆翘曲小于 30 μm (见图 4 (c))。

当 LED 芯片的尺寸缩小到微小尺寸或微米尺寸时，表面织构不能再用于改善光的提取。更糟糕的是，侧壁非辐射复合变得更加严重。对于这些类型的 LED，关键是高的内量子效率。我们的晶圆满足这一要求，内量子效率预计超过 80% (参见图 5，了解我们的硅上 GaN LED 晶圆的温度和

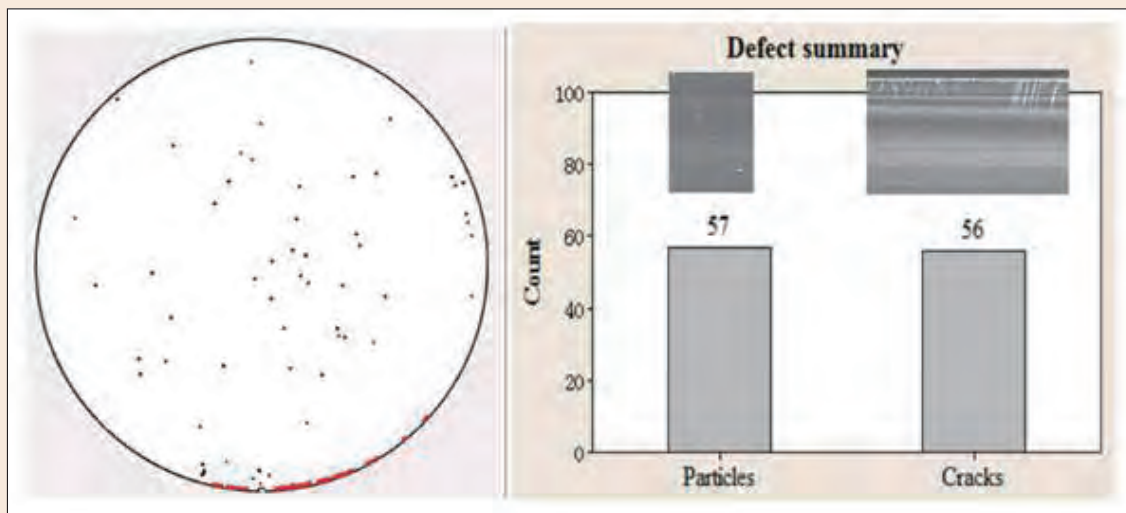


图8. 缺陷检查表明Enkris生产的200mm硅上GaN LED外延片具有高质量。

功率相关的光致发光测量)。

我们外延片的标志之一是它们极佳的均匀性，这通过光致发光映射得以显示。该技术显示平均的主波长为 442nm，标准偏差低至 2.4nm（见图 6 (a)）。由于这种高度均匀性，晶圆的 99% 都落在 7nm 波长分级范围内（见图 6 (b)）。

我们相信甚至可以获得更好的结果。为了实现更好的波长均匀性，我们将进行进一步的优化，在多量子阱的生长过程中设计晶圆翘曲以匹配异形基座托盘。这将为整个晶圆提供生长期间的均匀多量子阱温度。

硅制备衬底而不是蓝宝石制备衬底制的一个鲜为人知的好处，是低得多的颗粒水平。对于 150 毫米蓝宝石，由于并不成熟的化学机械清洁工艺和随后的清洗步骤，颗粒水平通常约为 2000

（见图 7）。相比之下，对于 200 毫米的硅，颗粒水平可以始终控制在 100 以下。由于颗粒在生长过程中是嵌在表面并损害材料的质量，所以颗粒越少，外延片质量就越好（参见图 8 硅上 GaN 外延片的颗粒数示例）。

硅上 GaN 外延片的一个潜在缺点是由于应变导致的材料边缘开裂。但是，我们已经能够控制裂纹，将其传播限制在晶圆边缘的 1.5mm 范围内。注意，即使不排除任何边缘，整个晶圆上的裂纹总数也小于 100。

我们的外延片大量测试表征表明，它们具有制备 microLED 的强大潜力。我们的材料具有 30μm 以下的晶圆翘曲，内量子效率超过 80% 以及良好的波长均匀性，可以很好地支持 microLED 显示器制造的产能爬坡。CS。



Revasum™

www.revasum.com | 886-36688225

致力于帮助晶圆制造业成功实现目标

提高性能
降低成本
高可靠性



通过纳米脊形获得优势

使用纵横比捕获（Aspect Ratio Trapping, ART）技术能够在硅衬底上制造出纳米脊形的激光器。

Bernardette Kunert, Robert Langer, Marianna Pantouvaki, Joris Van Campenhout; IMEC
Dries Van Thourhout, 比利时根特大学

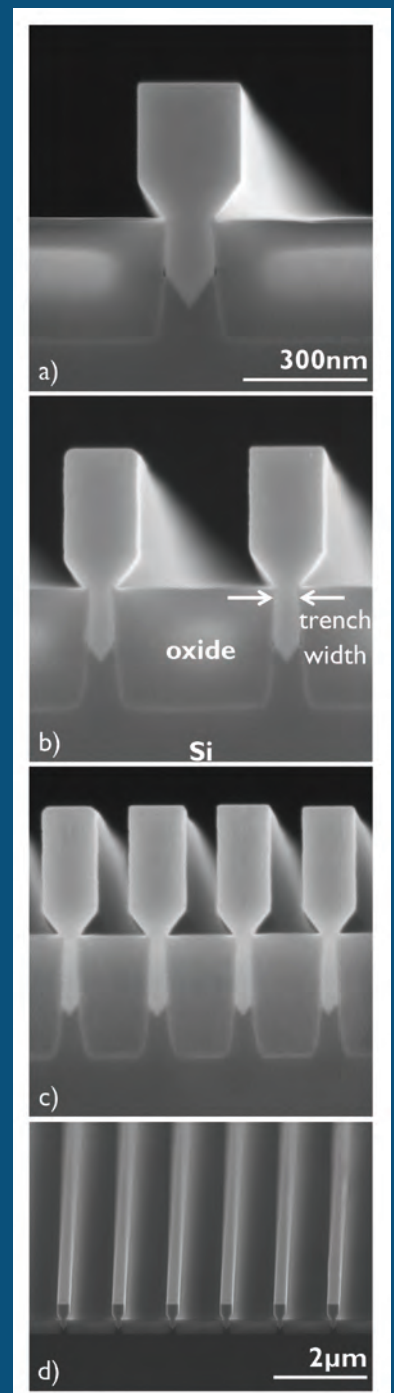


图1. GaAs纳米脊形横截面的扫描电子显微图像。(a), (b)和(c)分别显示100nm、40nm和20nm宽的氧化物沟槽顶部的GaAs纳米脊形。所有结构均是在单次生长中沉积得到。(d) 100nm宽的沟槽顶部的纳米脊形阵列的倾斜顶视扫描电子显微图像。部分图像修改和重印自参考文献: B. Kunert et al. Appl. Phys. Lett. 109091101 (2016), 经AIP Publishing授权许可。

维持摩尔定律的进程越来越困难。最近的几次是，需要引入新颖的几何形状和罕见的材料，如二氧化钨。在未来的几年中，进步可能取决于 III-V 族的使用——或者作为增加片上 RF 功能的材料，或者用于为加速片上和芯片到芯片通信提供光源。

将 III-V 族和硅技术集成的要求比实现良好的性能更加复杂。至关重要是，集成二者的工艺还必须具有成本效益并适合大规模生产。换句话说，它必须是可扩展的并且与现有的 IC 技术兼容。

成本效益、可扩展集成的关键是直接在硅衬底上的 III-V 层材料的单片异质外延生长。这种方法优于晶圆，芯片和管芯级的键合方法。然而，挑战在于要开发一种能够适应硅与大多数 III-V 族材料之间晶格失配的技术。由于应变会产生位错缺陷，因此必须控制并将它们限制在受限的区域内，以使有源的 III-V 器件层没有缺陷。

纳米脊形工程

在 IMEC，我们开创了将 III-V 与 CMOS 集成的独特方法。我们是纳米脊形工程的先驱。首先，通过选择性区域生长，在图案化的 300mm 硅衬底上形成的窄氧化物沟槽内沉积 III-V 族材料。III-V 族材料的进一步生长就产生纳米脊形。

这种方法可能看起来很深奥，但事实并非如此，它与硅 CMOS 工业中使用的标准工艺兼容。硅及其氧化物的图案化基于浅沟槽隔离工艺，III-V 族材料的生长是通过 MOCVD 进行的。

我们方法的独创性在于生长开始于在有高纵横比的窄沟槽中 III-V 族材料的沉积，也就是沟槽的高度要远大于其宽度。这是一种称为纵横比捕获 (Aspect Ratio Trapping, ART) 的技术，这已经在许多不同的异质材料系统中获得了成功。沟槽的几何形状使得氧化物侧壁处实现了非常有效的位错捕获。失配和穿透位错限制在沟槽的底部，形成没有位错缺陷的顶部区域（关于其工作原理

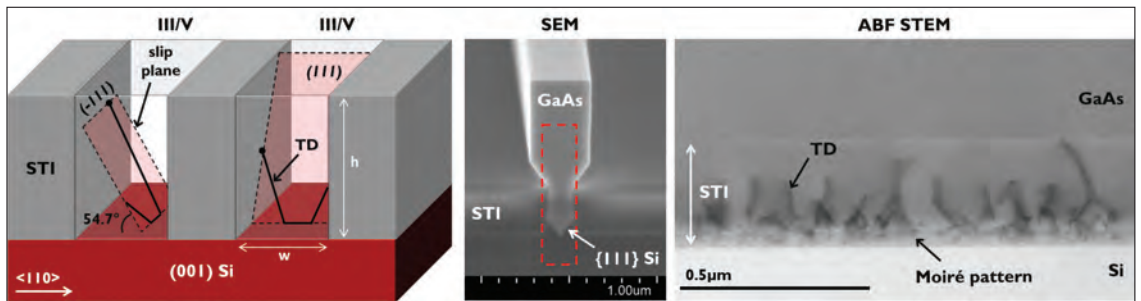


图2. 左图：{111}面中纵横比捕获的穿透位错图示。中图：箱形GaAs纳米脊形表面的横截面扫描电子显微镜图像。右图：沿沟槽横截面的GaAs纳米脊形的环形明场扫描透射电子显微镜图 (ABF STEM)。透射电子显微镜样品的体积也在扫描电子显微镜图像中用红色虚线表示出。ABF STEM图像中的暗的模糊线是穿透位错，它们都在沟槽内被捕获。V形{111}硅表面诱导靠近GaAs-硅界面的透射电子显微镜图像中的莫尔图案。

纵横比捕获的艺术

III-V 族材料和硅晶格不匹配，因此前者在后者上的生长会产生缺陷。然而，通过在高度限制的沿着 $\langle 110 \rangle$ 硅方向的沟槽中选择性区域生长，可以高效地捕获这些缺陷。关键是要使用高度远远大于宽度的沟槽。

III-V 族材料沉积在图案化的硅 / SiO_2 衬底上时，生长期间形成失配和穿透位错以释放应变。典型的弛豫机制是在生长表面处的位错半环成核，其向下滑移到 III-V 族材料和硅之间的界面以有效地释放应变。

如果位错伯格斯矢量基于 60° 失配位错，则滑移面是 {111} 面。因此，当位错半环开始沿 {111} 平面向下滑移并在宽度上延伸时，两个穿透位错的“臂”就会碰到氧化物侧壁并被捕获。当 {111} 滑移面垂直于沟槽侧壁时，这种捕获机制很容易实现。

{111} 滑移平面也可以与侧壁平行。在这种情况下，由于 {111} 面的倾斜角度为 54.7° ，只要沟槽的纵横比就是高宽比超过 1.43，沟槽得以填满，位错半环的“臂”最终会碰到氧化物侧壁。由于沟槽的纵横比远高于这个值，所以所有位错缺陷都会在这两个方向上得以完全捕获，只要弛豫过程通过沿 {111} 面的穿透位错进行滑移即可。成功取决于增强靠近 III-V 族材料和硅之间界面上的显著位错成核，以确保异质层的应变得以完全释放。

注意，堆垛层错和微孪晶作为在 $\langle 111 \rangle$ 方向上运动的面缺陷，仅能在平行于侧壁的 {111} 平面中被捕获。从而，垂直于侧壁运动的面缺陷可以穿透整个 III-V 族结构。因此，为了防止这种情况发生，必须通过优化生长条件、硅表面预处理和沟槽的制造工艺来消除面缺陷的形成。

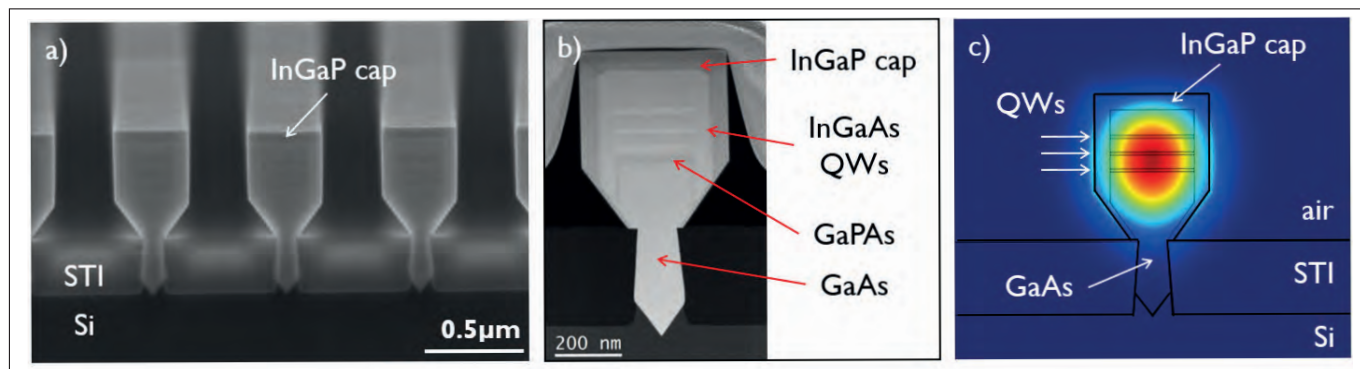


图3. (a) 60nm宽的沟槽顶部具有InGaP帽层的InGaAs/GaAs纳米脊形激光器的横截面扫描电子显微图像。(b) 位于100nm宽沟槽上的纳米脊形激光器的高角度环形暗场 (HAADF) 扫描透射电子显微镜图像。(c) 基于 (b) 中所示的纳米脊形激光器的尺寸的基本横向电场 (TE) 模式的有限差分本征模拟。部分图像修改和重印自参考文献: Y. Shi et al, Optica 4 1468 (2017)。

的更多细节可以在本文章的附文“纵横比捕获的艺术”中找到)。

当采用沿硅 <110> 方向取向的沟槽时, 纵横比捕获特别有利。这允许制备具有两个 {111} 面的 V 形硅表面。当 III-V 族材料在 {111} 硅表面上成核时, 该平面可以防止形成反相畴, 而反相畴对器件性能是非常有害的。

当选择性区域生长继续时, 沟槽中就可以生长出无位错的 III-V 族材料。调整 MOCVD 生长参数会改变纳米脊形的形状。例如, 可以选择生长条件以增宽纳米脊形, 从而增加 III-V 族材料的体积, 这可以为新的器件架构提供基础。

我们在 100nm, 40nm 和 20nm 宽的沟槽上形成了盒形的 GaAs 纳米脊形 (见图 1)。这一系列的生长表明, 基本的形状演变与沟槽尺寸无关。用扫描电子显微镜从上面观察这些结构, 可以发现纳米脊形具有高质量并且高度均匀。

我们的纳米脊形工程也有很强的优势和灵活性。通过调整生长条件, 可以将 GaAs 纳米脊形的形状调整为高的矩形, 三角形或各种类似钻石的

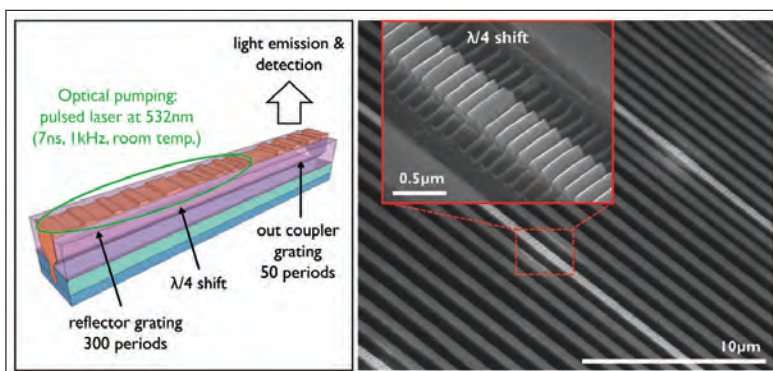


图4. 左图: IMEC制造的分布式反馈激光器设计示意图, 以及用于光学泵浦的激发几何结构。右图: IMEC制造的纳米脊形激光器的俯视扫描电子显微图像。插图为更大放大率的图像, 示出了两个反射器光栅之间的 $\lambda/4$ 相位移动部分。

形状。不同的结构来自于选择性地操纵各种纳米脊面的生长速率架构。这是高生长速率的面迅速消失, 而低生长速率的面定义出了纳米脊形的形状 (更多细节参见本文章的附文“纳米脊形工程”)。

我们并不是第一个报告脊形形状控制的。其他人已经报告了在微米尺度上的 III-V 族材料同质外延的选择区域生长, 这是外延生长的基本特征。我们通过在硅上对 III-V 族材料的异质外延

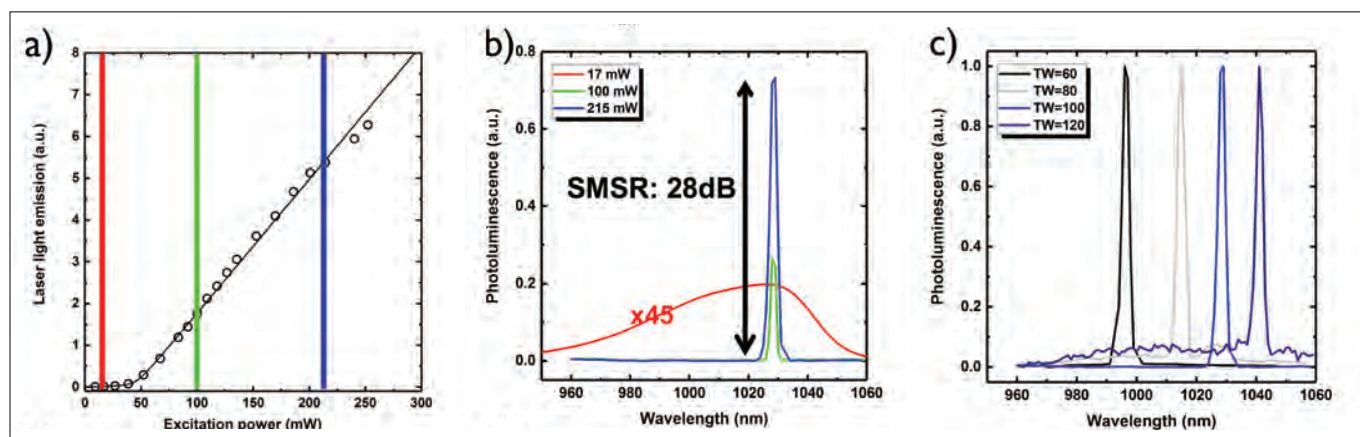


图5. (a) 100nm宽的沟槽顶部的分布式反馈纳米脊激光器 (170nm一阶光栅周期) 的激光发射与激发功率的关系。红色, 绿色和蓝色线表示的激发功率的相应发射光谱示于 (b) 中。注意, SMSR是侧模抑制比。(c) 宽度为60nm, 80nm, 100nm和120nm的沟槽的纳米脊形激光器的发射光谱比较。发射强度为便于更好比较进行了归一化。所有图转载自参考文献: Y. Shi et al, Optica 4 1468 (2017)

应用纵横比捕获技术，从而开辟了新的领域，并在纳米尺度上实现了形成纳米脊形的令人惊奇的控制能力。

纵横比捕获的有效性通过环形明场扫描透射电子显微镜获得的图像得以显示（参见图 2）。该技术揭示了可以看到为暗的模糊线的穿透位错限制在沟槽内，而氧化物图案顶部的 GaAs 纳米脊形材料中则没有这些缺陷。

我们目前正在探索采用其他计量技术，以便可以更好地进行缺陷数据统计。到目前为止，我们得到一个非常强烈的实验迹象，对于 300 纳米深，宽度为 100 纳米或更小的沟槽，位错捕获会极其有效。然而，沿着纳米脊形的长度方向，我们可以看到面缺陷，例如每隔几微米的微型孪晶。为了消除这些缺陷，我们正在投入大量精力来优

化沟槽图案化晶圆的 III-V 族成核和预清洁步骤。

激光器的优势

纳米脊形线令人印象深刻的均匀性，光滑的表面形态和几百纳米宽度脊形的组合有助于生产纳米脊形激光器，其中纳米脊形用作光波导。我们与根特大学合作开发出了这样的器件。它具有在 (001) 纳米脊形面上压应变生长的 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}/\text{GaAs}$ 多量子阱；晶格匹配的 $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ 覆盖层，环绕整个纳米脊形，确保载流子限制并提供表面钝化。

我们位于 60nm 宽沟槽顶部的器件层堆叠的横截面扫描电子显微镜成像，突出展示了从脊形到脊形的令人印象深刻的连续性（见图 3 (a)）。波导脊形周围的 InGaP 帽层易于识别，并且可以

纳米脊形工程

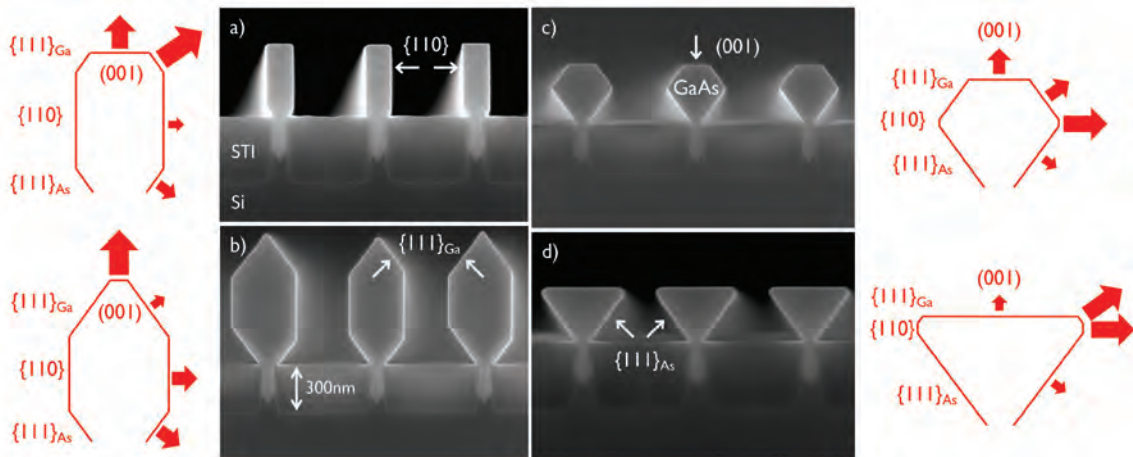
采用适当的沉积条件以及利用不同面的生长速率差异，是 III-V 族纳米脊形工程的关键。当自支撑的纳米脊形从沟槽中生长出来时，它包含多个面，暴露出不同的 III-V 族表面结构。例如，当 GaAs 在具有 V 形 {111} 硅表面的沟槽中生长时，它们通常显示为具有镓终端的顶部 {111}Ga 和砷终端的底部 {111}As 纳米脊形平面的极性。对于 {110} 和 (001) 上的表面结构，情况会明显不同。

不同面上的表面重构通过 MOCVD 生长条件决定，例如生长温度，反应器压力，前体分压和气相比。任何面的生长速率都是通过前体的扩散长度以及吸附和解吸速率来决定。改变沉积条件会增加某些面上的生长速率，同时使其它面上的生长速度减慢，并最终控制纳米脊形的几何形状。由于具有最高生长速率的面随着沉积时间会快速消

失，所以纳米脊形的形状是由较低生长速率的面来定义的。

横截面扫描电子显微镜图像显示出不同生长条件的影响，如下图所示。在 (a) 中形成的沟槽是由于 {111}Ga 面上具有非常高的 GaAs 生长速率，(001) 面上具有中等生长速率，而 {110} 和 {111} 上有非常低的沉积速率所导致。由于这些条件，纳米脊形发展成具有高纵横比的矩形。

对于结构 (b)，(c) 和 (d)，条件已改变为以不同的方式操纵生长速率的层次（注意图中红色箭头的大小表示不同面上生长速率的强度）。对于结构 (b)，(001) 面消失，而 (c) 中 {110} 面消失，而在 (d) 中 {111}Ga 和 {110} 面消失。这些条件中每个都产生独特的纳米脊形形状。不同的形状可能对于将不同类型的 III-V 族器件与硅晶圆的集成更有利。



不同MOCVD生长条件下，沉积的GaAs纳米脊形的横截面扫描电子显微镜图像，而相应的草图表明不同的生长速率层次。每个红色箭头的大小表示特定面上的生长速率（箭头越大，GaAs生长速率越高）。

确定出量子阱的位置。

通过高角度的环形暗场扫描透射电子显微镜可以提供更多细节。当这种技术用于 100nm 宽沟槽上成像纳米脊形激光器时，每层都清晰可见。该器件还包含 GaPAs 层，这可用于应变补偿和额外的载流子限制。

我们已经建模了激光器的性能。使用有限差分本征模式求解器，我们模拟了纳米脊形激光器的基本横向电场模式（见图 3 (c)）。结果表明，我们的器件具有 9.3% 的横向电场模式的限制因子，这足以实现有效的光学增益。进入到硅衬底中的光场损耗是可接受的，其值小于 5dB cm^{-1} 。

我们的器件开发开始于根特大学制造分布式反馈激光器。构造这些设计用于光脉冲泵浦的边发射激光器涉及工艺，进入纳米脊形的顶部表面，具有 $\lambda/4$ 相移部分的一阶反射器光栅。为了将光耦合出波导进行检测，我们增加了一个二阶光栅（参见图 4，用于说明激光器的设计，激发几何结构，泵浦激光器条件以及制造的脊形激光器的顶视图）。

由于纳米脊的间距很窄，我们加工了孤立的，明显分离的纳米脊形。采用这种方法可以实现从上进行的单个纳米脊形激光器光泵浦。

这些结构的光泵浦产生了明显的阈值行为，与发射光谱的线宽明显变窄一致（见图 5 (a)）。

这些特性表明了室温下的激光工作。正如分布式反馈激光器所预期的那样，泵浦阈值之上存在明显的单模激光发射。在我们的例子中，起始点为 37 mW，相当于泵浦密度为 33.6 kW cm^{-2} 。令人鼓舞的是，215mW 激发的峰值发射强度比背景高 28dB，表现出优异的单模激光器性能（见图 5(b)）。

我们的激光器的一个有趣属性是发射波长随沟槽宽度的变化（见图 5 (c)）。这种变化源于纳米脊形体积的变化，对于某些应用可能是有益的。

尽管我们的工作还处于起步阶段，但它显示出了巨大的潜力。由于外延生长条件控制着纳米脊形工程，它可以应用于多种的器件架构和设计。这意味着我们的激光二极管不必局限于必须通过 InGaAs 和 GaAs 制备的设计，寻求更多新机会的门一直敞开。基于这一考虑，在不间断开发我们的纳米脊形激光器面向电流注入的同时，我们还将积极探索不同 III-V 族材料系统和器件应用的纳米脊形工程。因此，请留意我们的下一个成功，我们将很快给予报告。☞

扩展阅读

B. Kunert et al. Appl. Phys. Lett. 109 091101 (2016)

B. Kunert et al. ECS Trans. 75 409 (2016)

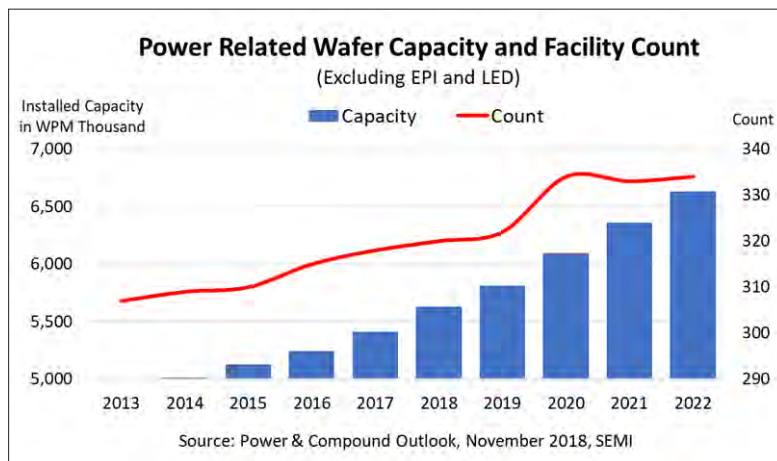
Y. Shi et al. Optica 4 1468 (2017)

SEMI 发布业界首个功率和化合物 Fab 厂预测报告

年全球半导体产业协会 SEMI 近日发布行业首个功率和化合物半导体 Fab 厂报告。这个新的报告（Power and Compound Fab Outlook）提供全面的前端半导体 Fab 厂信息，并预测 2022 年全球功率和化合物半导体的制造能力。

随着节能标准收紧以满足日益增长的高端节能消费电子、无线通信、电动汽车、绿色能源、数据中心以及工业和消费者物联网（物联网）应用的需求，功率器件的重要性日益提高。全球的半导体工厂已经对电子产品的各个方面的功率使用进行了改进，包括电力收集、交付、转换、存储和消费。成本结构和性能在电力电子领域至关重要，决定了市场增长和技术采用的步伐。

复合材料推动了功率器件能效的显著提升，Power and Compound Fab Outlook 特别介绍了半导体工厂采用的特定复合材料。对于那些对相关工



具和材料市场感兴趣以及对按区域和晶圆尺寸划分的晶圆厂中功率和复合材料性能感兴趣的人而言，该报告都是必不可少的商业工具。☞



园艺行业： 引人注目的 LED 应用场合

LED 正在逐渐取代高压钠灯，因为它们可以通过优化照明加快植物的生长。

Alexander Wilm, 欧司朗光电半导体公司



在2016-2022 年之间，预计园艺行业中对封装式 LED 的需求量将有明显的增长。可以肯定地说，LED 产业取得的成长一直是显著的，而且丝毫没有停止的迹象。

园艺师之所以出资购入 LED 照明设备，虽然部分理由与我们大家在更换白炽灯和紧凑型荧光灯时所用的理由没有差别（我们所有的人都重视灯具的高效率和长寿命），但是说到农作物生长，则还存在着其他的考虑因素。其中最重要的显然是灯光对于农作物产量的影响。

园艺师毫不怀疑 LED 是目前市面上的终极光源。实现 LED 照明即将迎来新一波植物生长性能的改善。这些改善从照明成本到可调节能力，

几乎存在于所有的方面。而且，不仅那些是使用 LED 园艺照明的作物种植者受益，就连与用于大规模作物生长的照明灯具打交道的人员和温室厂商，对这些额外的好处也是有所了解的。

优于高压钠灯

几十年来，在园艺植物生长照明方面，市场主导产品一直是一种高强度放电形式的光源：高压钠灯。其巨大的优势在于能够产生非常高的输出。不过，它有三个主要的弱点：它所发出的光分布在很宽的光谱范围内，因而并未针对植物的光合作用进行优化；它散发出巨大的热量，因此安放位置必须远离农作物，从而避免导致后者过

热和脱水；而且，它的典型寿命为 8,000 小时。这种寿命水平无法与 LED 相提并论，LED 的工作寿命可达 50,000 小时，而且能量成本与现用照明灯相比减少了 40%。

照明设备制造商必须确定其产品能够在高温（比如：高达 75℃）环境中操作。LED 可满足该要求，而且还能在常常与植物生长密切相关的高湿度和高水分含量环境中正常工作。

园艺照明 LED 销售量的迅速增加还有另一个原因，就是它们能够利用相关技术所取得的进步。这可使作物的种植者比过去更直接地控制光源，从而提高作物产量。现在，可以在色谱、波长和入射功率方面优化作物的照明。园艺的方方面面如今几乎都由 LED 提供照明支持，原因是它们能在 450 nm、660 nm、甚至 730 nm 波长为种植者提供优化的光发射，而且还可提供白光照明。通过为园艺师提供一种可调节光谱输出的照明光源，这些种植者在为其栽种的作物寻找理想照明条件时就能比以往任何时候都更加精确，如果需要连续光谱，他们甚至可以使用白光 LED。这种控制程度可凭借其自身推动 LED 在园艺市场上普及率的提升，因为该能力是高压钠灯无法有效具备的。

有经验的园艺师和产业规模较大的种植者常常在面积巨大的室内种植场里生产他们的作物。此类种植环境拥有诸多优势，包括能够避开专杀作物的有害动物、保护植物免受不良气候条件的

损害，以及调节对植物有影响的光的光谱以最大限度地提高增长率。

优化光源

为了优化产量，种植者必须研究适合其作物的最佳照明条件。对于首次从事种植的人来说，这会是一个令人生畏的经历，因为他们将有许多需要反思的东西，同时还会遇到各种各样可能看似奇怪的度量单位。然而，他们必须认真地对待，旨在对规格表和性能计算有一个更加清楚的了解，这将为采购最合适的园艺照明设备提供一定的辅助作用。

种植者可以从查阅照明灯规格表开始，此类规格表一般采用流明作为其度量形式。但是对于粗心的人来说这会是一个“陷阱”，因为流明是衡量人眼对于能量波长的响应性的尺度，而不是用于确定植物对于不同波长的光所做出反应的度量标准。

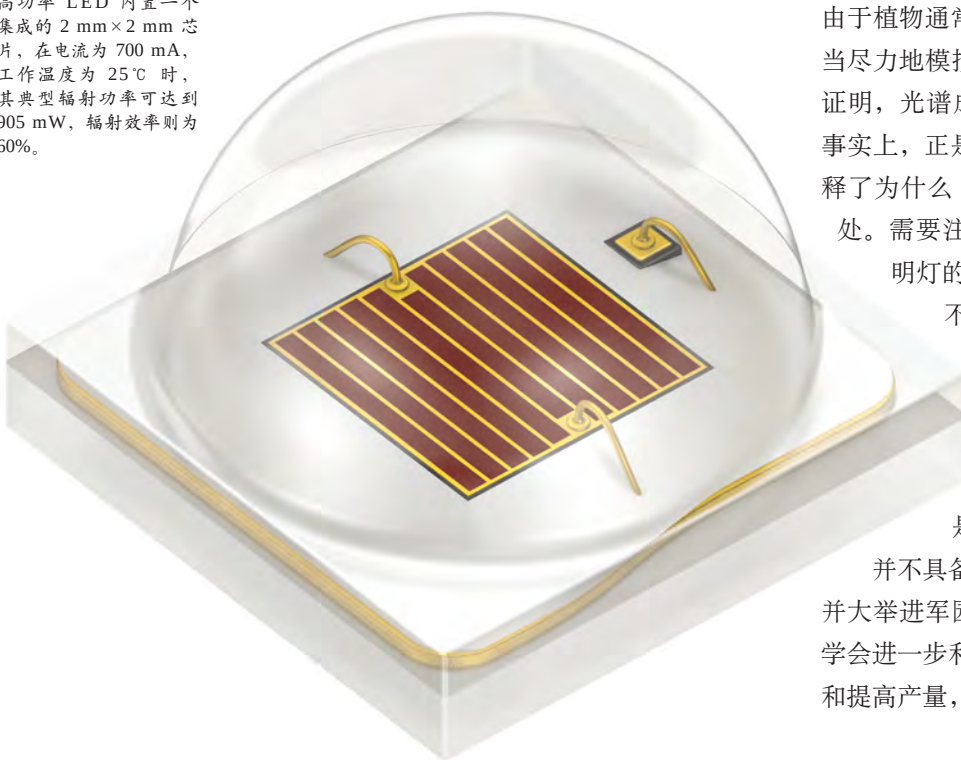
对于园艺师而言，他们感兴趣的用于评估 LED 光谱投影的度量单位有几种。包括微摩尔每秒 ($\mu\text{mol/s}$)，这是用来表示从一个 LED 发射出的光子数量的单位。微摩尔通常是用 400 ~ 700 nm 波长范围内的光合有效辐射来度量的。另外，还有光合光子通量密度，它指的是每秒到达一定面积内的微摩尔数量。

当种植者开展他们的研究时，将认识到光的颜色对农作物生长的重要性。一种常见的误解是，由于植物通常是在室外生长的，因此室内灯光应当尽力地模拟自然光。但是情况并非如此，实践证明，光谱成分会对植物生长产生剧烈的影响。事实上，正是这种对光发射分布的强烈依赖，解释了为什么 LED 给园艺行业带来了这么大的益处。

需要注意的是，在种植植物的过程中，照明灯的瓦数（功率）也是一个相关的指标，不过它不是最重要的因素，因为每个 LED 和光源都具有不同的辐射照明效率，这取决于产品。

现今，许多工业规模的温室仍然采用高压钠灯提供照明。但是，如我们前文所述，这种老式技术并不具备 LED 那样的优势。后者将继续改进并大举进军园艺照明领域，在这里，随着种植者学会进一步利用 LED 的优势以加快作物生长速度和提高产量，LED 提供的好处将越来越多。OS

Oscon Square Hyper Red 原型是欧司朗在 2017 年底举办的美国照明展 (LIGHTFAIR) 上宣布推出的，其具有 660 nm 的波长，并能够控制植物开花阶段的生长。这款高功率 LED 内置一个集成的 2 mm × 2 mm 芯片，在电流为 700 mA、工作温度为 25℃ 时，其典型辐射功率可达到 905 mW，辐射效率则为 60%。



Connecting, informing and inspiring the compound semiconductor industry

CS INTERNATIONAL 2019 CONFERENCE **SPEAKERS ANNOUNCED!**

With over 40 presentations and a record breaking number of sponsors, the ninth CS International is set to be the biggest and best yet!



Book your place NOW!

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

To be held again at the Sheraton Airport Hotel in Brussels on 26 - 27 March 2019, CS International will once more prove to be the must-attend event for the global compound semiconductor community.

Delivering over 40 talks
CS International will provide comprehensive coverage of the global semiconductor industry exploring 5 key themes

- **Propelling the power electronics revolution**
- **Pushing the performance envelope**
- **Speeding communication**
- **Opportunities for LEDs and lasers**
- **Targeting Transportation**

Each theme includes talks given by the leading decision makers and influencers within the industry.

利用 ITO 改善紫外 LED

用基于锡的金属有机物进行清洗可提高 ITO 的透射率，并降低采用该二极管的 LED 的工作电压。

紫外 LED 的成本包括复杂的器件处理，比如倒装芯片封装或衬底剥离，这是解决 p 型 AlGaIn 的低空穴密度问题所需要的。但是，据一支来自中国中山大学的研究团队称，p 型 GaN 的相关问题可通过引入一种采用 MOCVD 工艺生长的 ITO 透明电极来克服。

该研究团队的发言人 Gang Wang 表示：“我们认为自己的 MOCVD-ITO 技术能够在长波紫外线（UVA）和中波紫外线（UVB）的波长范围内实现高透射率，并使 UV 光电器件的制造既廉价又容易。”

该研究团队的技术有另一个优势，即：对于给定的电流密度，它使得 UVA LED 能够在较低的电压下工作（见图）。

ITO 在蓝光 LED 中常用作一种透明导电氧化物，但是将其转移到 UV LED 并不容易，这是因为 p 型氮化物的高功函数会阻碍 ITO 电极与 LED 的 p 型半导体上层之间形成欧姆接触。

Wang 解释说：“通过界面处理，我们改变了界面属性，从而降低了 ITO/LED 界面上的肖特基势垒。”

这支研究团队尝试使用了多种界面处理方法，用氧气、三甲基铟（TMI）和四（二甲氨基）锡来清洗界面。结果证明，采用后者（被称为 TDMASn）是改善 UVA LED 性能的最有效的界面处理方法。

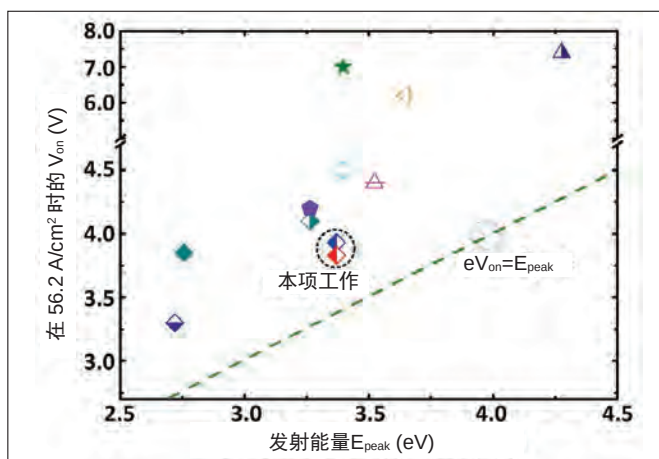
Wang 指出：“我们想强调的是，原位处理可能仅采用 MOCVD 工艺实现。如果 ITO 是采用其他方法生长的，比如磁控溅射或热蒸发，那么原位处理似乎是不可能的。”

ITO 薄膜是采用该公司自制的一种 MOCVD 工具添加的。

Wang 解释道：“我们构建了自己的实验室制作的 MOCVD 系统，因为我们认为用于氧化物的 MOCVD 系统可能更便宜。”他指出，用于生长氮化物的类似工具更加复杂。“设计人员必须将生长室与大气相隔离，以抑制氧污染物。”

对于氧气，显然不存在与氧污染有关的问题。所以，MOCVD 工具的设计大为简化，而且其成本低得多。

研究人员揭示了使用 TDMASn 方法进行清洗的好处（采取基于 AlGaIn 的 LED 结构，并运用 MOCVD 工艺沉积 85 nm 厚的 ITO 层）。对于控制，他们直接在器件上沉积 ITO；另外，他们还推出了两种替代方案，包括使用 TMI 或



用四甲基氨基锡进行清洗可改善 ITO 和 GaN 之间的界面，从而形成具有较低正向电压的 UV LED。

TDMASn 的中间 6s 清洗。

采用这些外延片制作 250 μm $\times$ 760 μm LED，工程师也运用三种不同的处理方法来制作隔离式 ITO 薄膜，以确定这些工艺对于氧化物穿透率的影响。所有三个样本都具有超过 90% 的穿透率（在 368 nm 波长），而采用 TDMASn 界面处理方法形成的薄膜变型则具有最高的透射率，数值达到 95.9%。

TDMASn 清洗的其他好处包括表面粗糙度的下降、薄层电阻的减小、以及正向电压的降低。当驱动电流为 100 mA 时，该 LED 工作在 3.83 V，比采用其他工艺制成的同类 LED 的工作电压低 0.1 V 以上。

Wang 解释说：“目前，我们在倒装式芯片 UVA LED 中将我们的 MOCVD-ITO 用作电极。”在传统的倒装式芯片 LED 中，金属反射镜具有双重作用，兼用作反射器和电极。然而，由于反射镜的反射率不如分布式布拉格反射镜，因此 Wang 和他的同事们正试图将分布式布拉格反射镜与 ITO 相结合以提高取光效率。

“另外，我们还专注于大尺寸、1W、高功率 UVA-LED 及其在 UV 固化中的应用。”

参考文献

W. Tu et al. Appl. Phys. Express 11 052101 (2018)

仔细观察厚的 AlInN 薄膜

一系列的特性分析方法表明：虽然氮化铝铟 (AlInN) 薄膜具有一些极佳的属性，但是表面凹坑会使其让人失望。

为了生产晶格匹配的 GaN 基激光器，覆层材料必需从传统选择 (AlGaIn) 转变为 AlInN 合金。

遗憾的是，对于厚度与覆层相当的 AlInN 层的特性，人们知之甚少——但是来自日本的研究人员正在弥补这一缺憾，采取的方法是在蓝宝石上制作此类结构，然后使用一系列方法对它们进行仔细观察，包括 x 射线衍射、横断面透射电子显微镜和光谱椭圆仪。

在名古屋理工大学和名城大学近期的这次合作之前，对于厚度大于 100 nm 的 AlInN 薄膜的报道非常少，而对于那些较厚的薄膜则尚未提供细节。

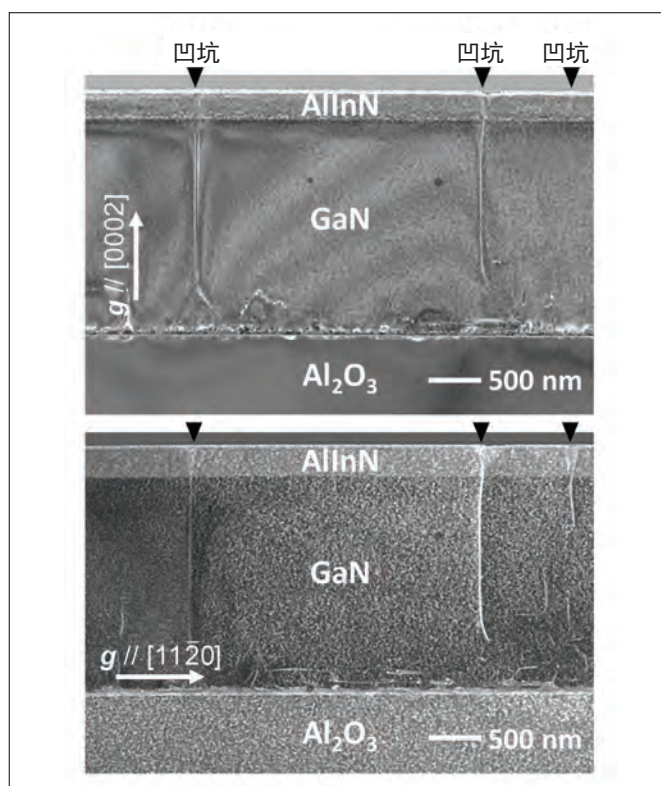
为了研究厚的 AlInN 薄膜，这支来自日本的团队采用了一块 2 英寸的蓝宝石基 GaN 模板，将其装入一个 MOCVD 反应室，并沉积厚度为 40 nm、90 nm 和 300 nm 的 $\text{Al}_{0.17}\text{In}_{0.83}\text{N}$ 层，采用的是传统的前驱体，基座温度为 830 °C，压力为 13.3 kPa。

AlInN 薄膜以 0.6 μm /小时的速度沉积，这明显比用于 GaN 的生长速率低。通信作者 Makoto Miyoshi 解释说：“不过，考虑到传统 AlInN 生长，这种生长速率未必是缓慢的。”

x 射线衍射扫描产生一个很强的尖峰（对于 AlInN）和周期性的尖峰。综合起来，这表明 AlInN 是一种单晶薄膜，很有可能与 GaN 形成一个突变界面。x 射线光谱与某个对应的仿真具有很高的关联度，这就确认了 AlInN 合金的厚度和成分。

为了确定晶体质量，研究人员转向 X 射线摇摆曲线、原子力显微镜和横截面、暗场透射电子显微镜（沿着两个不同的晶体方向）。这些方法的运用结果显示 AlInN 薄膜具有：在很大程度上依存于底层 GaN 的镶嵌度；包含平坦区域和凹坑的表面，凹坑的尺寸随着薄膜厚度的增加而增大；而且，这些由于底层 GaN 中的穿透性位错而产生的凹坑是“纯刀刃”型位错和“刀刃/螺旋”混合型位错。

300 nm 厚 AlInN 薄膜表面的均方根粗糙度为 1.82 nm。据 Miyoshi 和他的同事们称，这个数值虽然不如原子级平坦表面的那么小，但考虑到凹坑的影响，它仍然是“相当不错的”。



沿着两个不同晶体方向获得的横断面、暗场透射电子显微镜图像显示：薄膜表面上的凹坑源于底层 GaN 中的穿透性位错。

然而，该研究团队认为：这些 AlInN 薄膜对于制作激光器并不够好。Miyoshi 说：“我们必需减少表面凹坑”，他补充说薄膜的厚度将必须增加至 500 nm 左右。

Miyoshi 和同事们已转向使用椭圆偏振光谱测量来确定薄膜的厚度，还有它的光学常数和带隙。这种方法显示：AlInN 薄膜的带隙数值为 4.02 eV。

该研究团队计划对 AlInN 薄膜进行更多的实验。它们开展的工作将包括：了解 AlInN 生长的机理、生长穿透性位错较少的独立式 GaN 衬底、生长 500 nm 厚的 AlInN 薄膜、以及控制 AlInN 薄膜的杂质掺杂和导电性。

参考文献

M. Miyoshi et al. Appl. Phys. Express 11 051001(2018)

更好的缓冲器可提高激光器寿命

高质量的缓冲层将量子点激光器的寿命延长到数百万小时

加利福尼亚的研究人员称，通过降低 GaAs 缓冲层中的穿透性位错密度，为硅基 III-V 族 1.3 μm 激光器创造了新的寿命记录。

它们形成的量子点激光器工作寿命达几百万小时，可为旨在实现大规模硅电子器件和 III-V 族光子器件单片集成的研发工作提供帮助。

作为加州大学圣芭芭拉分校和 Intel 公司研究人员之间合作项目的发言人，Daewhan Jung 解释说：“我们的工作所取得的突破是将硅基 GaAs 模板中的穿透性位错密度从 $3 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 降至 $7 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 。”

这种较低的穿透性位错密度将激光器的寿命提高了 5 个数量级，达到 1000 万小时以上。相比之下，现用的硅基 III-V 族技术（基于 GaAs 的量子阱激光器）是在过去的 10 年里开发的，往往仅工作几百个小时就会因暗线缺陷而导致器件故障。

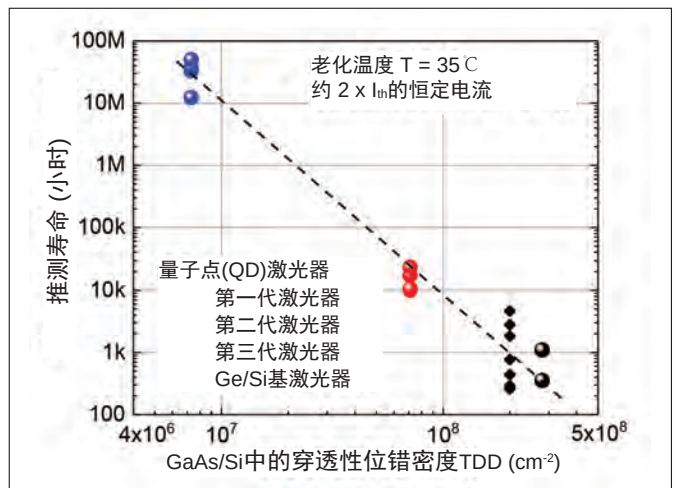
通过评估在不同质量的硅基 GaN 结构上形成的量子点激光器的寿命，美国西海岸的这支研究团队突显了高质量缓冲层的重要性。

对于所有的激光器而言，底层结构包括一个采用 MOCVD 工艺生长的 45 nm 厚 GaP 伪形态层，这个 GaP 伪形态层没有应变弛豫和反相畴。Jung 补充说：“通过在薄膜生长之前进行特殊的热处理和表面预处理，可在同轴 (001) 硅上生长高质量的 GaP，而不会有任何有意的错误切割。”

第一代激光器是在 GaAs 缓冲层上制作的，该缓冲层是在两种不同温度下采用 MOCVD 生长工艺形成的，而第二代激光器件的制造则增添了 4 个热退火周期。另外，通过从第二代激光器制造方法入手并增加应变超晶格（由 InGaAs 和 GaAs 的配对形成），该研究团队还生产了第三代激光器。这些超晶格是专为充当位错过滤器而设计的。

利用电子通道衬度成像仔细观察所有三种形式的缓冲层，结果显示：穿透性位错密度可从 $2.8 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 减低至 $7.1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ ，再通过从用于第一代激光器的工艺进步到用于第二代和第三代激光器的工艺，还可降低到 $7.3 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 。

在进行这些测量之后，工程师将所有三种形式的模板



降低穿透性位错密度可实现量子点激光器寿命的大幅提高。

装入一个 MBE 反应室，并生长 GaAs/AlGaAs 渐变折射率分别限制异质结构。在第一代和第二代激光器中使用的是 7 个调制掺杂量子点层。同时，第三代激光器件包含 5 个非故意掺杂量子点层——在室温条件下，这个活性区有望导致较低的阈值电流。

工程师将外延片加工成具有 3 μm 至 5 μm 脊形波导宽度和 1 μm 至 1.64 μm 腔长的激光器。为了改善性能，其中的一个激光器腔面上涂覆了一层反射率为 99% 的薄膜。

在 Intel 公司进行的可靠性测试显示：第一代激光器的寿命（其被定义为使门限电流倍增所需的时间）在 35 $^{\circ}\text{C}$ 温度下仅为 355 小时。相比之下，第二代和第三代激光器件的寿命则分别为几万小时和几千万小时。当第三代激光器件的温度达到 60 $^{\circ}\text{C}$ 时，寿命缩短至大约 65,000 小时。

Jung 说，在数据中心里，激光器可能必须在 60 $^{\circ}\text{C}$ 至 80 $^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内工作。“我们选择 60 $^{\circ}\text{C}$ 作为第一步，以测试我们的激光器在升高温度下的有效工作期限。我们计划将测试温度提高到 80 $^{\circ}\text{C}$ 。”

参考文献

D. Jung et al. Appl. Phys. Lett. 112 153507 (2018)

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—为跨国公司与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、镭射/光电子、射频/微波、化合物半导体、半导体制造、洁净及污染控制、电磁相容等领域的约二十多万专业读者及与会者。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
86-10-84844007

武汉
86-27-59221554

S/S
OTC

VisionCon
视觉系统设计技术会议

EDI
Electronic Design
Innovation Conference
电子设计创新大会

LaserFocusCon
激光聚会

CleanRoom
Conference & Products Display
洁净室研讨会暨产品展示

CHIP
China
芯片研讨会



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	BC
CS International Conference		www.cs-international.net/register	27
EDI CON China	电子设计创新大会	www.mwjournallchina.com/edicon	IFC
Evatec Ltd.		www.evatecnet.com	9
IQE		www.iqep.com	1
Revasum		www.revasum.com	17

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服务设施。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)
 Sunnie 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
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

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

化合物半导体



·CHINA

季刊 2019年 第1期





全球大趋势需要 性能最佳的三五族化合物材料 AIX 2800G4-TM

- 三维传感
- 增强现实
- 自动驾驶
- 云计算
- 物联网
- 下一代显示设备

发现 AIX 2800G4-TM
实现砷磷基材料应用的创纪录设备



Made
in
Germany



AIXTRON

info@aixtron.com
www.aixtron.com