

化合物半导体



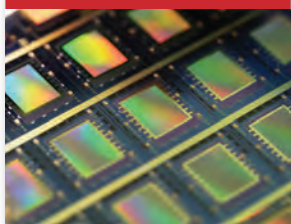
• CHINA

季刊 2019年 第4期

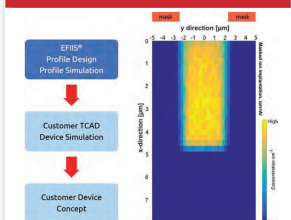
生物识别红外LED



microLED微显示器



SiC超结MOSFET



金刚石散热





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

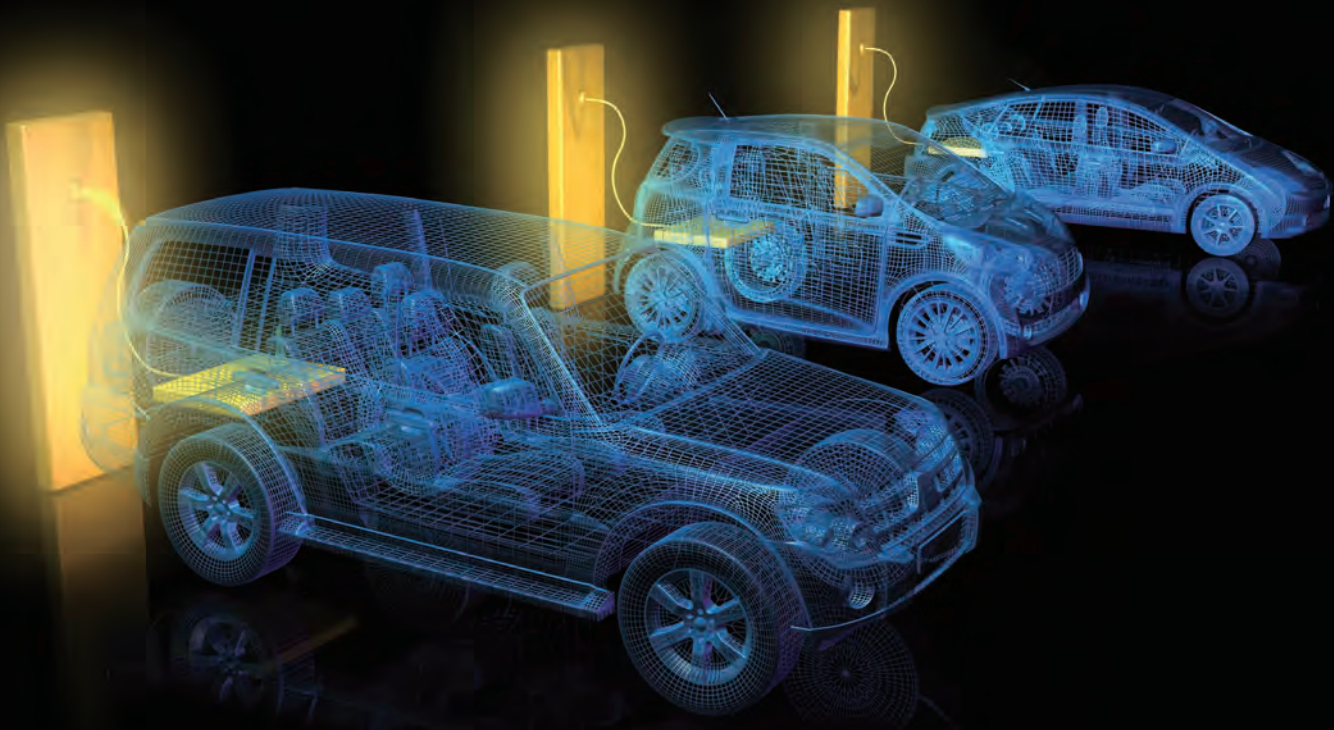
北京

86-10-84844007

武汉

86-27-59221554





实现下一代碳化硅功率器件最佳的性能
为全球大趋势提供新的解决方案

AIX G5 WW C

- 电动汽车：车载充电器，逆变器
- 基础设施：充电桩
- 再生能源：太阳能和风能
- 工业应用：马达驱动器，电源
- 配电管理：HVDC

发现全新碳化硅外延量产工具
实现单片机的性能和多片机的成本



Made
in
Germany



AIXTRON

info@aixtron.com
www.aixtron.com

封面故事 Cover Story

16 5G: 先进化再革命
5G: Evolution then revolution

5G的部署分两个阶段: 目前正在进行推广的只是低于6GHz的频段。针对第二阶段的部署, 最早要到2023年左右才开始推广, 即转移到24GHz以上毫米波频谱中更宽的频段。5G的推出将使化合物半导体行业受益。GaAs HBT和GaN HEMT的应用将蓬勃发展, 其他技术的发展也将随之而来, 例如GaAs pHEMT和硅上GaN晶体管。

- Richard Stevenson

编辑话 Editor's Note

04 新型 GaN-SiC复合材料显示节能前景
New Hybrid GaN SiC Material Shows Power Saving Promise

- 赵雪芹

业界动态 Industry

05 科锐全速推进碳化硅应用
CREE pushing ahead with SiC applications07 欧司朗迷你生物识别红外LED问世
Osram introduced mini IRLED for bioidentification08 合肥视涯硅基OLED厂投产
The biggest OLED-on-Si plant put into operation by Seeya in Hefei08 Soitec与应用材料公司启动联合研发项目, 共同开发新一代碳化硅衬底
Soitec and Applied Materials started a joint R&D project to develop the next-generation SiC substrates39 瀚天成使用AIXTRON设备加速SiC器件商业化进程
EpiWorld accelerates Commercialization of SiC Devices with new AIXTRON Tool

关于《化合物半导体》

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

About Compound Semiconductor China

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



扫一扫
免费下载电子书

观点Viewpoints

- 10 边缘发射激光器的杀手级应用悄然兴起
Killer Applications For Edge-emitting Lasers Emerge
- 13 芯片的未来：创新方法制造商业化集成型硅 III-V 芯片
The Future of Chips: Successful Way to Commercially Manufacture Novel Integrated Silicon III-V Chips

技术Technology

- 21 实现microLED微显示器的制造
Mastering the manufacture of microLED micro-displays
- Fang Ou, Lei Zhang, JADE BIRD DISPLAY
- 26 氧化镓：奠定未来成功基础
Gallium oxide: Laying the foundation for tomorrow's success
- Keith Evans, Gregg Dodson, Jacob Leach, Heather Splawn, Tamara Stephenson;
KYMA TECHNOLOGIES
- 31 解决SiC超结MOSFET的生产问题
Addressing production of SiC super-junction MOSFETs
- Michael Rueb, MI2-FACTORY
- 36 用金刚石吸出热量
Drawing the heat with Diamond
- Richard Stevenson

40 广告索引 | Advertisement Index

关于雅时国际商讯 (ACT International)

ACT 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、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



新型 GaN-SiC 复合材料显示节能前景

一种新型的“氮化镓-碳化硅”(GaN-SiC)复合材料有望在混合动力汽车、电动汽车和电动汽车充电站,以及太阳能逆变器和其他高功率应用中显著节能。

瑞典 SweGaN AB 公司近日宣布了其在材料生长方面的最新研究发展。

SweGaN AB 是一家外延片制造商,基于外延生长技术为元器件客户提供定制化 GaN-on-SiC 外延片。SweGaN AB 与来自瑞典林雪平大学和法国 IEMN 实验室的科学家合作,揭示了一种新的外延生长机制——变形异质外延 (Transmorphic Heteroepitaxy),可以用于生产下一代 GaN-on-SiC 功率器件。

合作研究的最新发现和相关细节作为专题文章发表在《Applied Physics Letters》Volume 115, Issue 22 上,文章题目:“Transmorphic Epitaxial Growth of AlN Nucleation Layers on SiC Substrates for High-Breakdown Thin GaN Transistors”(在 SiC 衬底上变形外延生长用于制造高击穿薄氮化镓晶体管的 AlN 成核层)。

SweGaN 与瑞典林雪平大学的电子显微镜和模型科学家,以及法国 IEMN 实验室的高级研究人员合作,探索这种新的外延生长机制的本质,以及 SweGaN 的精细异质结构 (QuanFINE heterostructure) 材料在高功率应用中的潜力。

根据 SweGaN 的说法,这些最新的发现使该公司处于生产 QuanFINE 异质外延技术的前沿,QuanFINE 是一种 GaN-SiC 复合材料,不仅可以用于制造射频元器件,还可以用于制造功率器件,应用于太空与国防等领域,也是未来电动车和 5G 通信基站的关键性材料。

林雪平大学教授、瑞典皇家科学院成员,该论文的合著者 Lars Hultman 表示:“这不仅是一项影响深远的创新,而且还伴随着一项新的外延生长机制的科学发现,就是变形外延生长机制,为此我们创造了一个新名词 Transmorphic。”

“这一突破可能会显著降低高功率器件的功率损耗,这将真正体现 GaN 功率器件相对于硅超结功率器件和 650V SiC MOSFET 的优越性。”SweGaN AB 公司首席技术官陈志泰 (Jr-Tai Chen) 博士表示。

新的变形异质外延机制突破了传统外延生长的限制,其中具有有序空位的原子夹层厚度不足 1 纳米,可以充分容纳第一外延层与衬底之间界面的晶格失配。

这种新的生长机制抑制了外延开始时结构缺陷的形成,使得在 SiC 衬底上可以实现无晶界 AlN 成核层和后续的高质量无缓冲 GaN 基异质结构。

在半绝缘的 SiC 衬底上,变形外延生长的 GaN HEMT 异质结构总厚度小于 300 纳米,由 IEMN 高级研究人员测试得到的数据显示:横向临界击穿场 ~ 2 MV/cm,垂直击穿电压 ≥ 3 kV。

临界击穿场比传统的厚度缓冲方法生长的 GaN-on-Silicon 外延片的击穿场高近 3 倍。这意味着其器件的导通电阻比目前可实现的值大大降低。

通过这种新的生长机制, SWEgAN 寻找到温度、压力和化合物比例的特殊最佳配方,生产新型“氮化镓-碳化硅”复合材料。他们是全球第一个能把材料做到这么薄,同时结合碳化硅和氮化镓的优势,氮化镓的高电子迁移率,碳化硅很好的临界电场且散热好,复合材料同时能承受高电流与高电压,电压可以涵盖目前的任何应用,电流比第二代半导体砷化镓高 5 倍以上。

“有了这些新成果, SWEgAN 将把 QuanFINE 技术的重点扩展到全球电力市场,还有卫星、通信和国防应用,特别是针对亚洲对于新一代 GaN 功率器件显示出的最大需求,”陈志泰说,“我们期待在不久的将来发布更多关于基于 QuanFINE 的功率器件性能的新发现。”

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

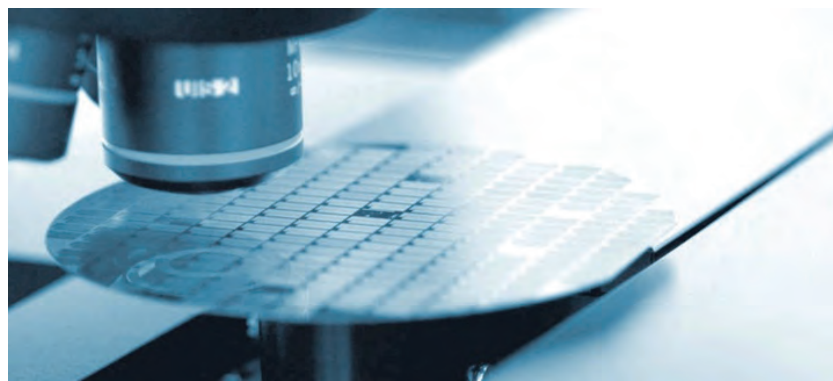


科锐全速推进碳化硅应用

作为碳化硅（SiC）技术的全球领先企业，科锐（Cree, Inc.）近期有许多大动作，吸引来自行业的大量关注。《化合物半导体》杂志在此梳理盘点一下科锐公司的最新动态，以便于读者全面了解其战略部署和未来发展方向。

建造全球最大的 SiC 制造工厂

2019 年 9 月 23 日，科锐宣布计划在美国东海岸创建碳化硅走廊，并建造全球最大的碳化硅制造工厂，以实现 30



倍的产能提升。

科锐将在美国纽约州 Marcy 建造一座全新的采用最先进技术并满足车规级标准的 200mm 功率和射频晶圆制造工厂，而与之相辅相成的超级材料工厂的建造扩产正在公司达勒姆总部开展进行。

新制造工厂旨在显著提升用于 Wolfspeed 碳化硅和氮化镓业务的产能，将建设成为一座规模更大、高度自动化和更高生产能力的工厂，这将为科锐带来连续性的未来产能扩大和显著的净成本节约。

科锐首席执行官 Gregg Lowe 表示：“碳化硅是我们这个时代最为关键的技术之一，是实现创新的核心，服务一系列当今最具开创性和革新性的市场，助力包括从内燃机向电动汽车的转型、超快速 5G 网络的部署等。”

基于在达勒姆的超级材料工厂和在毗邻尤蒂卡（Utica）的最先进晶圆制造工厂，科锐将创建一条“碳化硅（SiC）走廊”，凭借 30 多年以来在北卡罗莱纳州研发三角（Research Triangle）的研究与开发积淀，并充分利用拥有雄厚技术基础的纽约州莫霍克谷（Mohawk Valley）的丰富资源。科锐将与北卡罗莱纳州和纽约州的当地社区和四年制院校合作，

开展培训与实习计划，为两地的高科技就业和长期增长机遇提供人力资源储备。

更多合作推进 SiC 在汽车和工业领域应用

科锐致力于引领从硅（Si）向碳化硅（SiC）的全球转型，通过旗下 Wolfspeed 事业部，提供全面的碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）功率与射频解决方案，支持电动汽车（EV）、4G/5G 移动和工业市场的不断增长。

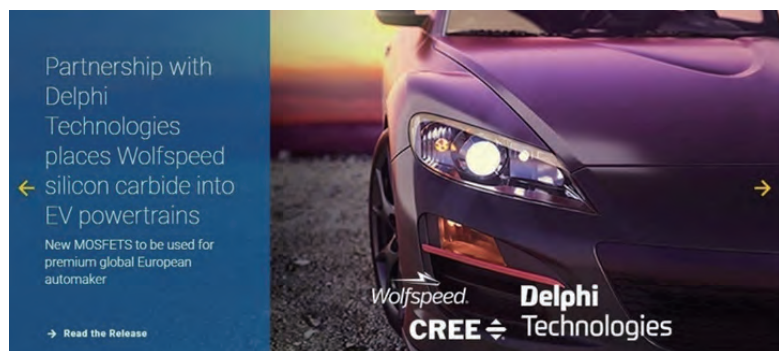
科锐与德尔福科技（Delphi Technologies PLC）近日宣布开展汽车碳化硅器件合作，德尔福科技是汽车动力推进技术全球供应商，双方的此次合作将通过采用碳化硅半导体器件技术，为未来电动汽车提供更快、更小、更轻、更强劲的电子系统。

科锐碳化硅基 MOSFET 技术与德尔福科技的牵引驱动逆变器、DC/DC 转换器和充电器技术的结合，将助力电动汽车提高行驶里程和实现更快充电时间，同时还将减轻重量、节约空间、降低成本。

约空间、降低成本。

德尔福科技新型 SiC 逆变器在 800V 电压条件下工作，为汽车工程师提供更多的灵活度，以优化动力总成系统。选项包括更多行驶里程或一个更小型的电池；超快充电或更小、更轻、更实惠的线缆；在刹车时实现更多的汽车能量回收，进一步提高行驶里程。该技术将用于德尔福科技为某一全球顶级汽车制造商设计的 800V 电控逆变器。计划量产时间为 2022 年。

与 Si 基半导体相比较，SiC 半导体能够提供显著降低开关损耗，并大幅提高开关频率，这意味着能量转换可以达





到超过 99% 的效率，极大减少能量损失，在减少二氧化碳排放中扮演着重要角色。这一先进技术帮助今后 SiC 模块在机车牵引逆变器中的采用，并且用于电力传输和电力分配的高压直流输电、太阳能和风能逆变器、储能以及固态变压器。对于电动汽车市场而言，这意味着在采用相同容量电池的情况下，可以实现更长的行驶距离和更快的充电时间。

科锐与 ABB 电网事业部近日宣布达成合作，共同扩展 SiC 在快速增长大功率半导体市场的采用。协议内容包括在 ABB 种类齐全的产品组合中将采用科锐 Wolfspeed SiC 基半导体，应用于电网、火车、牵引、工业和电动交通等市场。这将助力科锐扩大客户基础，同时加快 ABB 进入正在快速扩大的电动汽车市场。

ABB 是历史悠久的工业电力电气化解决方案全球市场领导者，科锐扩大与 ABB 的合作，将有助于在电力和汽车领域提升变革性、环保型 SiC 替代方案的采用。同时，该合作将助力 Wolfspeed SiC 进入包括电网和高铁在内的新市场，并推进其在电力、牵引、工业和电动汽车等市场的不断提升。

科锐与德国采埃孚（ZF Friedrichshafen AG）宣布达成战略合作，共同开发业界领先的高效率电传动设备。通过此次战略合作，科锐与采埃孚将强化现有的合作。采埃孚 E-Mobility 事业部负责人 Jörg Grotendorst 表示：“我们很高兴与科锐建立合作。通过结合科锐 Wolfspeed SiC 技术与采埃孚的优势，我们坚信将进一步提升我们组件和系统的效率与竞争优势。”

科锐首席执行官 Gregg Lowe 表示：“与采埃孚这样的全球领先的一级汽车供应商开展合作，在下一代电动汽车中采用 SiC 基功率逆变器，表明了 SiC 正在全面拓展其在电动汽车的应用并扮演着不可或缺的角色。”

未来采用 SiC 基功率半导体将提高电动汽车的行驶里程。鉴于电池的高成本，高效率电驱动在可预见的未来将能带来巨大的增长潜力。特别是 SiC 技术协同 800V 电压的车

辆电气系统，将为进一步提升效率作出显著贡献。

电动化动力系统对于实现全球减排目标正作出巨大的贡献，并且使得交通出行更可持续。采埃孚目前已经收到来自多家全球领先汽车制造商的 SiC 基电驱动订单。科锐技术将被用于满足采埃孚现在的订单需求。通过此次战略合作，采埃孚预计将在 2022 年之前在市场上正式推出 SiC 电动化动力系统。

科锐与意法半导体近日还宣布扩大并延伸现有多年长期碳化硅（SiC）晶圆供应协议至 5 亿多美元。意法半导体是全球领先的半导体供应商，横跨多重电子应用领域。这一延伸协议是原先协议价值的双倍，科锐将在未来数年向意法半导体提供先进的 150mm SiC 裸晶圆和外延片。这一提升的晶圆供应，帮助意法半导体应对在全球范围内快速增长的 SiC 功率器件需求，特别是在汽车应用和工业应用。

意法半导体总裁兼首席执行官 Jean-Marc Chery 表示：“扩大与科锐的长期晶圆供应协议，将提高我们全球 SiC 衬底供应的灵活性。它将进一步保障我们用于 SiC 基产品制造所需的衬底体量。我们将在未来几年实现 SiC 基产品的量产，以满足汽车和工业客户不断增加的项目数量。”



科锐首席执行官 Gregg Lowe 表示：“SiC 所带来的性能提升，对于电动汽车以及包括太阳能、储能和不间断电源 UPS 系统在内的下一代工业解决方案至关重要。科锐始终致力于引领半导体产业从 Si 向 SiC 的转型。与意法半导体协议的延伸，将保证我们可以满足在全球范围内诸多应用领域对于 SiC 基方案加速增长的需求，同时加速这一市场。”

SiC 基功率半导体解决方案在汽车市场的采用正在快速增长。业界正寻求加速从内燃机向电动汽车的转型，提供更高的系统效率，从而实现电动汽车更长的行驶里程和更快的充电，同时降低成本、减轻重量、节约空间。在工业市场，SiC 模块带来更小、更轻、更具性价比的逆变器，更有效率地转换能量，以开启清洁能源新应用。☞

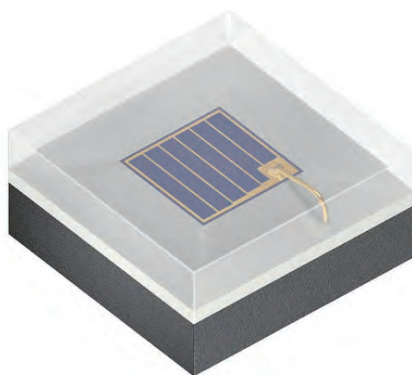
欧司朗迷你生物识别红外 LED 问世

欧司朗推出两款新型红外 LED (IRED) 生物识别产品 SFH 4170S 和 SFH 4180S。此两款新型 IRED 同时具备迷你尺寸和强大功率，不仅能帮助移动设备制造商解决数据可靠性与安全性的问题，还为产品设计提供了更多想象空间。

随着人们对智能手机、智能手表等移动数字产品的依赖程度越来越高，个人隐私与敏感数据的安全性显得愈发重要。各种基于生物识别的保护措施应运而生，为用户提供了一把坚固的“锁”，以抵御未经授权的访问。而对于移动设备制造商而言，不仅要在技术上考虑安全性，组件的尺寸在产品设计中同样起着至关重要的作用。

相较于大屏幕的智能手机，智能手表需要在更小的体积内实现各种智能化功能。欧司朗定制化的 Oslon P1616 封装尺寸仅有 $1.6\text{mm} \times 1.6\text{mm} \times 0.85\text{mm}$ ，使得 SFH 4170S 和 SFH 4180S 成为欧司朗生物识别应用领域中最小的组件。与目前市面上的同类产品相比，这两款 IRED 可节约 50% 的设计空间。

尽管尺寸迷你，这两款 IRED 产品在电流达 1A 时具有 1150 mW 的强大功率，辐射强度达 280 mW / sr ，而这对于 2D 人脸识别尤为重要。2D 人脸识别通过扫描用户脸部的二维特征，例如鼻梁长度、眼间距、嘴部长度等，与存储在系统中的图像进行比较并识别。为了更可靠地识别细微特征，红外摄像机必须能够捕获最佳图像，因此



SFH 4170S 和 SFH 4180S 使用 Oslon P1616 封装，是欧司朗目前尺寸最小的生物识别产品，尤其适用于人脸识别。（图片来源：欧司朗）

使用大功率红外光源对面部进行均匀照亮至关重要，而这便是欧司朗 IRED 产品的核心优势。

根据 IRED 最终的使用场景，客户可以灵活选择 850 nm (SFH 4170S) 或 940 nm (SFH 4180S) 两款产品。在 SFH 4170S 的波长范围内，图像传感器具有更高的灵敏度，而 SFH 4180S 则能够做到避免人眼可见的“红曝”效应，这也是消费电子应用中的普遍要求。

欧司朗光电半导体产品经理 Arne Fleißner 解释道：“生物特征识别将成为我们未来生活中日益重要的一部分。我们此次推出的两款新型 IRED 产品，可以更灵活地集成到客户的终端设备中，不但安全、可靠、节省更多空间，还能有效帮助保护用户的敏感数据，为此我们感到非常自豪。”



极致紧凑的欧司朗新型红外 LED，助力智能手表实现人脸识别“黑科技”。（图片来源：欧司朗）

合肥视涯硅基 OLED 厂投产

2019年11月21日，合肥视涯项目投产仪式在合肥新站高新区内隆重举行，标志全球最大的硅基 OLED 生产工厂正式投产。

硅基 OLED 微型显示器件是以单晶硅作为有源驱动背板而制作的主动式有机发光二极管显示器件，具有高分辨率、高集成度、低功耗、体积小、重量轻等诸多优势。合肥视涯技术有限公司前身是上海视涯信息科技有限公司，于2016年10月成立，公司核心技术横跨半导体和 OLED 新型显示两大领域，广泛应用于 AR/VR、可穿戴设备、工业安防、医疗等高分辨率的近眼显示行业。

2017年9月，合肥视涯显示科技有限公司成立，总投资超20亿元，其中一期投资12.8亿元，占地面积55亩，总建筑面积43,000平方米，其中固定资产投资超10亿元。合肥视涯是目前全球最大的专注于12英寸晶圆硅基 OLED 微型显示组件的研发生产基地。一期项目月投片量可达9000片，满产时年产值可达30亿元。

视涯董事长顾铁博士表示：硅基 OLED 显示作为半导体和 OLED 结合的一种新型显示技术，将是下一代智能穿戴显示的主要方案。项目从2018年1月正式开工建设，不



到两年的时间，就顺利实现了投产，并于今年7月顺利点亮了0.72英寸和1.03英寸两款显示屏。视涯项目成绩的取得离不开各级领导的关心和各界朋友的帮助。在全球5G网络迅速发展的背景下，视涯对行业发展进行深刻研判，研发生产出了全球技术领先的微显示屏，将为AR/VR及整个近眼显示行业的发展做出重大贡献。视涯将以投产为新起点，用技术把现实世界和虚拟世界链接起来。

该项目是合肥市及新站高新区积极布局下一代显示技术的重要举措。本次视涯项目的投产，将进一步巩固合肥市新型显示产业在国内的领先地位，从大尺寸、中小尺寸到视涯的微型尺寸显示器件，合肥的新型显示产业技术实现多元化齐头并进的局面。

Soitec 与应用材料公司启动联合研发项目，共同开发新一代碳化硅衬底

该项目旨在通过提供先进技术与产品，提高碳化硅的可用性及性能，以满足电动汽车、通信及工业应用领域对碳化硅不断上涨的需求

法国 Soitec 半导体公司近日宣布与应用材料公司启动联合项目，展开对新一代碳化硅衬底的研究。以碳化硅为衬底的芯片需求持续上涨，该趋势在电动汽车、通信及工业应用三大市场中尤为显著。然而，碳化硅的大规模应用一直受供应量、良率及成本等因素的限制。Soitec 将与应用材

料公司合作，联手突破上述限制，持续为行业创造更高价值。

此项联合项目将 Soitec 在优化衬底领域及应用材料公司在材料工程领域的行业领先解决方案强强结合。同时，Soitec 将应用其专利技术 Smart Cut™（目前该技术广泛应用于 SOI 产品生产），保障芯片制造商材料供应。而应用材料



经验累积，以及应用材料公司在材料工程解决方案中杰出的领导地位，本次合作将促进产业发展出稳健技术，推动碳化硅供应链快速成长。”

应用材料公司新市场与联盟高级副总裁 Steve Ghanayem 说道：“应用材料公司十分期待与 Soitec 展开密切合作，为碳化硅技术带来材料工程层面的创新。凭借着广泛的产品

公司将在制程技术与生产设备方面提供支持。

在此次研发项目中，两家公司将在 CEA-Leti 的衬底创新中心中增添一条碳化硅优化衬底实验生产线。此条生产线预计于 2020 年上半年开始运行，目标为在 2020 年下半年使用 Soitec 的 Smart Cut™ 技术生产碳化硅晶圆片样品。

Soitec 全球战略执行副总裁 Thomas Piliszczuk 表示：“我们非常高兴能与应用材料公司达成此项独特的战略合作项目。我们坚信凭借 Soitec 的 Smart Cut™ 技术和长达 30 年的

组合与深厚的专业技术，应用材料公司致力于帮助电力电子产业克服最艰巨的技术挑战。”

奥迪汽车电子和半导体技术中心与半导体策略主管 Berthold Hellenthal 表示：“电动汽车是奥迪的发展重点。未来交通将全面电动化，而这种科技创新则始于半导体材料与衬底层面。碳化硅将为电动汽车中使用的半导体组件赋能更高的功率密度与更优的性能。奥迪十分期待 Soitec 与应用材料公司此次业界合作所带来的技术突破。”



你在寻找 MICRO LED 的解决方案吗？

Then look no further! From passivation layers to TCOs, metals and multilayer reflectors (DBRs) Evatec has the answer. Our thin film production solutions offer the highest uniformity and process stability including capability for high aspect ratio deposition. Simply contact our local Evatec office to find out more.



To find out more please contact
T: +86 21 8019 7660
E: infochina@evatecnet.com
Or visit www.evatecnet.com/markets/optoelectronics

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



边缘发射激光器的杀手级应用悄然兴起

法国市场分析公司 Yole 阐述了将在未来 5 年中推动边缘发射激光器 (EEL) 市场成长的主要应用，涵盖了从 3D 激光雷达传感到光通信的广泛领域。

——Rebecca Pool 报道

市场研究和战略咨询公司 Yole Développement 预测，到 2024 年，边缘发射激光器 (Edge-emitting Laser, EEL) 的市场规模将比现在增加一倍多，达到 51 亿美元。

EEL 市场继续由光通信领域驱动，新兴的潜在杀手级应用将进一步拉动其增长，从而在未来 5 年中保持 13% 的复合年增长率。

Yole 的技术与市场分析师 Martin Vallo 强调说：“EEL 可用作‘直接’激光器，或者与光纤或晶体耦合以制造二极管泵浦固体激光器。因此，相应的应用领域数量也就十分可观，包括光通信、材料加工、医疗、传感、光存储，等等。”

“但是，随着汽车行业走向无人驾驶时代，面向汽车应用的激光雷达系统正处于快速开发之中。所以，3D 激光雷达传感是一种重要的新兴杀手级应用。”他补充道。

据 Yole 称，光通信是 EEL 眼下最大的细分市场，2018 年提供了高达 13.85 亿美元的市场营收，预计到 2025 年将增至 33.97 亿美元。

与此同时，相对成熟的材料加工和显示器领域将提供健康成长的机会，市场规模预计将增长约 1 亿美元甚至更多，分别达到 5.33 亿和 4.41 亿美元。另一方面，打印和光存储市场的总价值将从 1.55 亿美元“缩水”至 5300 万美元。

Vallo 指出：“光通信市场的增长率的确取决于诸如华为和中兴通讯这样的中国大公司，他们生产许多基于激光器的光学系统，用于数据通信和电信领域。”

他补充说：“因此，光通信市场的增长可弥补光数据存储市场规模的缩小。不过，汽车激光雷达系统中的新兴应用以及医疗和材料加工领域里的新应用亦可对此起到填补作用。”

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

技术竞争

现今，不同的 EEL 技术（当然，还有垂直腔面发射激光器 VCSEL）可用于所有的市场板块。

例如，在光通信领域中，1550 nm InGaAsP/InP 分布式反馈 (DFB) EEL 和 1300 nm InGaAsP/InGaP 法布里 - 珀罗 EEL 通常在 2 公里至 40 公里的传输距离和高达 40 Gbps 的传输速率下使用。然而，在 60 米至 300 米传输距离和较低的传输速度下，基于 850 nm InGaAs 和 AlGaAs 的 VCSEL 则居支配地位。

但是，对于新一波的新兴应用，在哪些领域将采用哪种技术？或许并不令人意外的是，这条路尚不明朗。首先，正如 Vallo 指出的那样，EEL 行业是极度分散的。

例如，材料加工领域的领先企业（比如：制造激光割片机的厂商）实现了垂直整合，因此将制造 EEL 器件、激光系统和介于其间的所有产品。与此同时，在即将到来的传感应用中，众多器件级挑战意味着相关公司将更加专业化，并将专注于仅生产 EEL 器件。

Vallo 说：“统一激光二极管器件市场将是件困难的事，而且我们预期将不会很快就目睹任何 [市场] 统一。虽然我们看到了面向不同应用的大量 EEL 设计，但是将仔细谨慎地观察 EEL 市场的变化情况。”

同时，VCSEL 在 3D 传感领域占尽先机并不是什么秘密。此类器件具有小外形、窄波长范围、并可在晶圆级上进

行测试，因而已经渗透到消费类应用中，最引人注目的是苹果 iPhone 中的人脸识别功能。

然而，下一代高端智能手机很可能将内置感测距离长达 5 米的后向式 3D 传感器，可穿过房间检测和测量物体。而这将有利于较高功率的 EEL。

正如 Vallo 所说：“VCSEL 的一项重大优势是其外形尺寸，以及该技术可容易地用于移动应用中的人脸识别，但是 EEL 在后向 3D 传感方面具备潜力。”

他补充道：“这确实是个问题 – 在此类应用中，VCSEL 的性能是否足够？抑或是 [制造商] 将采用 EEL 取而代之？”

当然，VCSEL 和 EEL 在未来自动驾驶汽车传感系统中的应用前景都是很光明的。举个例子，由于具有高效率 and 窄带宽，因此对于车舱内传感，VCSEL 正竞相取代 LED，以检测和警告那些发短信的驾驶者。

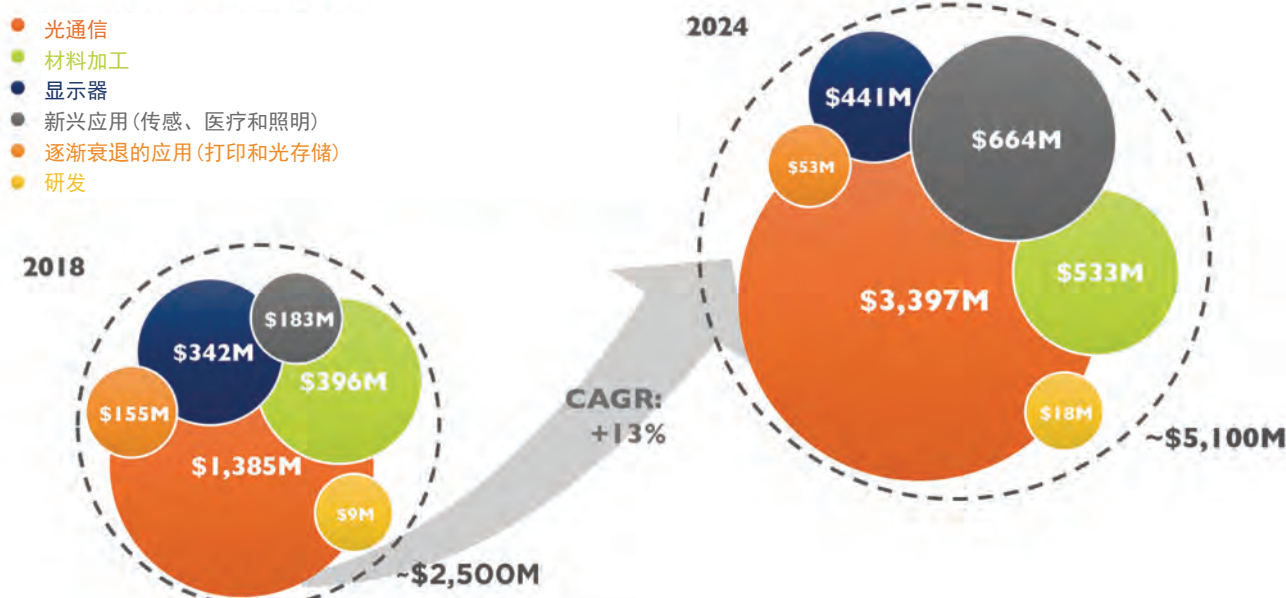
另一方面，VCSEL 和 EEL 均可用于中短程激光雷达，以提供盲点检测、车道偏离和追尾警告。

Vallo 说：“EEL 的亮度是 VCSEL 的 100 倍，这将使此类激光器更适用于远程传感应用。但是，VCSEL 是低功耗器件，可在未来的电动汽车上起到节省电池电能的作用。”

他补充说：“对于每项技术，每种应用的市场份额仍然存在疑问，而最终的集成商将始终考虑对他们来说什么是最好的选择方案。”

边缘发射激光器 (EEL) 市场营收预测 (按市场区隔划分，2018 年 vs 2024 年)

(来源:边缘发射激光器 — 市场和技术发展趋势 2019 年度报告, Yole Développement)



边缘发射激光器不断攀升的市场营收 [图片提供: Yole]

芯片的未来： 创新方法制造商业化集成型硅 III - V 芯片

MIT 在新加坡的研究企业已经开发出一种商业可行的方法来制造新型硅 III - V 芯片，从而为智能光电和 5G 设备铺平了道路。

- 商业可行的制造工艺将使集成型硅 III - V 芯片在 2020 年之前上市。
- 新方法不需要数百亿美元的工业投资 - 利用旧的 200 mm 制造技术，并在成熟和折旧的制造基础设施中注入全新的活力。
- 集成型硅 III - V 芯片将实现智能照明和显示器，而且还能克服与 5G 移动技术相关的潜在问题。

2019 年 9 月 30 日，新加坡 - 麻省理工学院研究与技术联盟 (The Singapore-MIT Alliance for Research and Technology, SMART)，即麻省理工学院在新加坡的研究企业，宣布成功开发出一种在商业上可行的方法，通过将高性能的 III - V 器件插入其设计中，来制造集成型硅 III - V 芯片。

在当今的大多数设备中，用于计算的是基于硅的 CMOS 芯片，但是它们对于照明和通信应用来说效率不足，因而导致效率低下和发热现象。这就是目前市场上的 5G 移动设备在使用后很快变得非常热，并在短时间内关闭的原因。

这也就是 III - V 族半导体的价值所在。III - V 芯片由元素周期表的第 3 列和第 5 列中的元素制成，例如氮化镓 (GaN) 和砷化镓 (InGaAs)。由于其独特的性能，它们非常适合光电子 (LED) 和通信领域 (5G 等) —— 大幅度地提升了效率。



图1. LEES 研究人员审查 200 mm 硅 III-V 晶圆片。LEES 开发的创新和商业就绪工艺利用现有的 200 mm 半导体制造基础设施来制作新一代芯片，将传统的硅与 III-V 器件相结合，而这以前在商业上是不可行的。

SMART 首席执行官兼总监 Eugene Fitzgerald 说：“通过将 III - V 族半导体集成到硅中，我们可以利用现有的硅制造能力和低成本的批量生产技术，并纳入 III - V 技术独特的光学和电子功能。新型芯片将成为未来产品创新的核心，并为下一代通信设备、可穿戴式设备和显示器提供强力支持。”

SMART 的低能耗电子系统 (Low Energy Electronic Systems, LEES) 研究项目的高级科学总监 Kenneth Lee 补充说：“然而，以商业上可行的方式将 III - V 族半导体器件与硅集成，是半导体行业面临的最困难的挑战之一，尽管业界期望拥有这样的集成电路已长达数十年之久。目前的方法昂贵且效率低下，这就推迟了行业所需芯片的上市供应。凭借我们的新工艺，能够利用现有的生产能力、以经济划算的方式制造这些新型集成式硅 III - V 芯片，并加快可推动经济发展的新技术的开发和市场接纳速度。”

SMART 开发的这项新技术在单独的衬底上构建了两层硅和 III - V 器件，并将它们垂直集成在 1 μm (人类头发直径的 1/50) 之内。该工艺可以使用现有的 200 mm 制造工具，这将使新加坡及世界各地的半导体制造商能够重新利用其现有设备。如今，投资一种新制造技术的成本达数百亿美元，因此，这种新的集成电路平台具有很高的成本效益，并将造就成本低得多的新颖电路和电子系统。

SMART 专注于为像素化照明 / 显示器和 5G 市场打造新型芯片，此类芯片的潜在市场合计超过 1000 亿美元。SMART 的新型集成式硅 III - V 芯片将颠覆的其他市场包括可穿戴式微型显示器、虚拟现实应用和其他成像技术。

该专利组合已由 New Silicon Corporation Pte. Ltd. (NSC) 独家授权，这是一家位于新加坡、从 SMART 抽资剥离而组建的子公司。NSC 是首家拥有面向单片式集成型硅 III - V

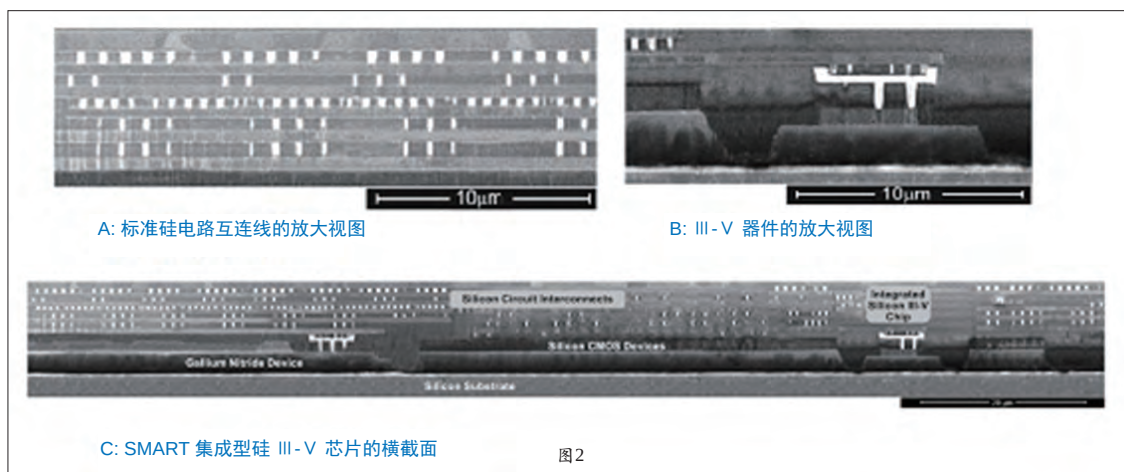


图2

电路的专有材料、工艺、器件和设计的无晶圆厂硅集成电路公司 (www.new-silicon.com)。

SMART 的新型集成化硅 III-V 芯片预计将在 2020 年之前上市供应，并预计于 2021 年前应用于相关产品。

关于低能耗电子系统 (LEES) 跨学科研究小组 (IRG)

SMART 的低能耗电子系统 (Low Energy Electronic Systems, LEES) IRG 正在创建新的集成电路技术，从而实现电子系统的功能增加、功耗降低和性能提升。这些未来的集成电路将影响无线通信、电力电子、LED 照明和显示器领域里的应用。LEES 拥有一支垂直整合的研究团队，具备材料、器件和电路方面的专业知识，包括在半导体行业内具有专业经验的多位个人。这确保研究锁定的目标是满足新加坡国内和全球半导体行业的需求。

如需更多信息，请登录：<http://www.circuit-innovation.org>

关于新加坡 - 麻省理工学院研究与技术联盟 (SMART)

新加坡 - 麻省理工学院研究与技术联盟 (SMART) 是麻省理工学院在新加坡的研究企业，由麻省理工学院 (MIT) 与新加坡国家研究基金会 (NRF) 通过自 2007 年以来的合作组建而成。SMART 是 NRF 开发的卓越研究与科技企业学园 (CREATE) 内的第一家实体。SMART 在麻省理工学院和新加坡之间充当研究互动的智力和创新中心。新加坡和麻省理工学院都感兴趣的前沿研究项目由 SMART 承接。SMART 目前由一个创新中心和六个跨学科研究小组 (IRG) 组成，即：抗微生物 (AMR)、生物系统和微机械 (Biosym)、制造个性化药物的关键分析 (CAMP)、精细农业的颠覆性和可持续性技术 (DiSTAP)、未来城市交通 (FM) 和低能耗电子系统 (LEES)。

SMART 开展的研究活动由新加坡国家研究基金会根据 CREATE 计划提供资助。

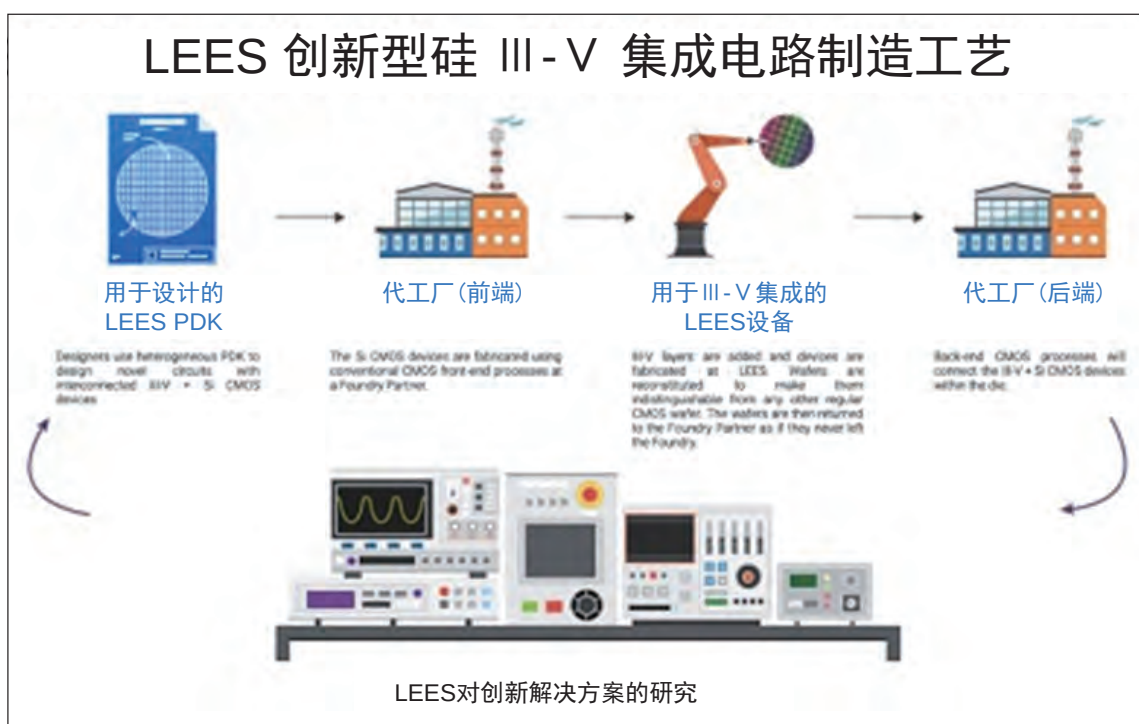


图3

**SEMICON[®]
CHINA**

FPDCHINA



2020年3月18-20日 上海新国际博览中心



国际半导体专业展

跨界全球·心芯相联

CONNECT · COLLABORATE · INNOVATE

SEMI IS MORE

SEMI连接2200多家会员企业和全球130万专业人士来推进科学和电子制造行业进步。SEMI中国推动中外产业界的交流与合作，加强政府与企业间的互动。

**SEMICON
China**

国际半导体展

**SEMI
Standards**

SEMI标准

WFD

SEMI中国
英才计划

SIIP China

SEMI产业创新
投资平台

**SEMI China
Media Platform**

SEMI中国
媒体平台

**SEMI IS
MORE**

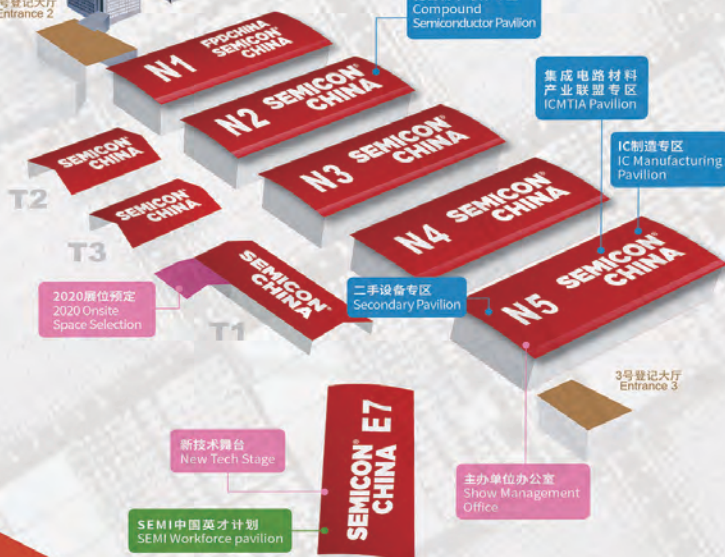
扫码 注册观展赢iPad
加入SEMI社区



开幕主题演讲
Grand Opening Keynote
贵宾晚宴
Industry Gala
大会同期研讨会和活动
SEMI Programs and Events

上海浦东嘉里大酒店
Kerry Hotel Pudong, Shanghai

7号线
花木路站
2号登记大厅
Entrance 2



www.semiconchina.org
www.fpdchina.org

5G：先进化再革命

5G 的推出将使化合物半导体行业受益。GaAs HBT 和 GaN HEMT 的应用将蓬勃发展，其他技术的发展也将随之而来，例如 GaAs pHEMT 和硅上 GaN 晶体管。

Richard Stevenson

总有些人想要最新和最好的。他们肯定会首先跟进 5G 智能手机，这些手机具有更快的连接速度，承诺可以在一分钟左右的时间内下载一部 4K 的电影。

但是，这些早期使用者可能会非常失望。如果他们生活在刚刚推出 5G 的城市中，那么他们确实将会享有更好的连接，而且当每个人都希望同时访问互联网时，这是非常有价值的。但是，如果他们希望以惊人的速度下载数据，那么他们可能会感到震惊和失望。根据许多专家的说法，速度只会增加 20%。

为什么这些期望与现实会有很大的不同呢？简单说，这是因为 5G 的部署分两个阶段进行——目前，正在进行推广的只是低于 6GHz 的频段。它的工作频率通常为 2.6GHz 或略高，并且该频段的用户覆盖范围也会不断扩大，将为运营商带来新的商机，例如工业监控。针对第二阶段的部署，最早要到 2023 年左右才开始推广，这将大大提高数据速率，这要归功于转移到 24GHz 以上毫米波频谱中更宽的频带。

只有像 Yole Développement 的分析师一样，必须了解这两个阶段部署的细节，才有可能预测

5G 的出现将如何影响 RF 化合物半导体器件的销售。Yole 的专家认为，推出 5G 将对 GaAs 和 GaN 有利。用于移动电话的 GaAs 基功率放大器的产量将增加，因为新网络的引入将使得每部电话平均需要增加一个放大器。随着运营商部署 5G 基础设施，GaN HEMT 的销售量也将增加，这些运营商将在未来几年内开始形成国家级的网络。

在韩国，英国，美国，日本和中国的城市中，已经开始部署低于 6GHz 的 5G 网络。

Yole 的功率与无线团队技术与市场分析师 Antoine Bonnabel 说：“该技术看起来很像 LTE。”由于这种相似性，Bonnabel 认为开发和实施这种形式的 5G 相对容易，只需要通过现有基站升级来包括这种新的通信技术即可。

在一些人口稠密的城市地区，运营商还通过引入小型蜂窝网络来提高覆盖范围。这已经在韩国出现了，三星已经部署了 53,000 个工作频率为 3.5GHz 的设备。运营商最初使用这些蜂窝网络来提供 LTE 覆盖，但随着时间的推移，它们将升级来运行 5G 网络。

美国也正在大量部署小型蜂窝网络。在 2018 年，Sprint 增加了 27,000 个小型蜂窝网络，遍布

9个城市。这些蜂窝网络的工作频率为 2.5GHz。

这些小型蜂窝网络的输出小于常规基站的输出。它们不是输出 240W，而是通常输出在 40W 至 80W 之间。“这也仍然是高功率的，” Bonnabel 说。“可以达到数百米的距离。”

氮化镓与硅

多年来，网络运营商不得不在硅 LDMOS 和 GaN 之间进行选择，以便提供基站的放大功能。对于新兴的 5G 网络，基站需要以相对较高的效率提供高功率，而这正好是 GaN 能够满足的要求。根据 Bonnabel 的说法，对于所有使用常规技术构建的 5G 基站，由于频率高于 2.6GHz，从而使得 GaN 成为唯一可行的选择。

随着运营商从一代通信技术转移到另一代通信技术，他们还独立地提升了自己的天线技术。一种创新是引入有源天线，此举允许波束成形和大规模 MIMO。为了提供这些技术，每个天线都采用一个小的前端放大器，而不是所有天线元件共同使用一个前端放大器。以这种方式配置基站，可以大大降低每个天线元件的功率要求，从而为在 5G 网络中使用硅 LDMOS 开辟了大门。

但是，即使 GaN 在 5G 网络中因某些任务而面对来自硅 LDMOS 的竞争，该器件的出货量仍将快速增长。据 Bonnabel 称，GaN 器件在基站市场的销售额，将从今年的 3 亿美元增长到 2024 年的 7.5 亿美元。

Bonnabel 说，目前用于生产这些 GaN HEMT 的唯一衬底是 SiC。但是，他指出，业界对于转向硅衬底的机会非常有兴趣，因为这会带来潜在的低成本，具有接近硅 LDMOS 的价格。

日本公司住友占据了 SiC 上 GaN 市场的最大份额，该公司以分立器件的形式出售其 GaN 放大器。Bonnabel 表示：“（占据主导地位的）主要原因是他们是华为的独家供应商。”他认为住友的成功是当之无愧的，因为它拥有最好的技术，而且还在不断完善。为了适应不断增长的市场，住友正在提高其生产能力，此举将有助于其继续保持领先地位，包括 Wolfspeed 和 Qorvo 也只能是追赶。

多个国家/地区由于相关安全性问题的立法，否决了华为赢得全球 5G 部署合同的企图。

“由于这项禁令，中国在 5G 部署方面的投资超出了应有的规模，” Bonnabel 说。“他们应该在三年的时间内进行的投资，实际上他们已经在一年内就完成了。”

华为在 5G 市场上与其他同行相比的一个优势是，它在制造和部署在低于 6GHz 频段内以相对较高的频率运行的设备方面，拥有丰富的专业知识。相比之下，当今美国和欧洲网络中的主要频率低于 2.6GHz，这是诺基亚和爱立信主要的服务范围。

具有讽刺意味的是，直到最近，美国才允许使用更高的频率，例如 3.5GHz 和 4.2GHz 的频段。在发展中国家，立法者更愿意允许使用更高的频

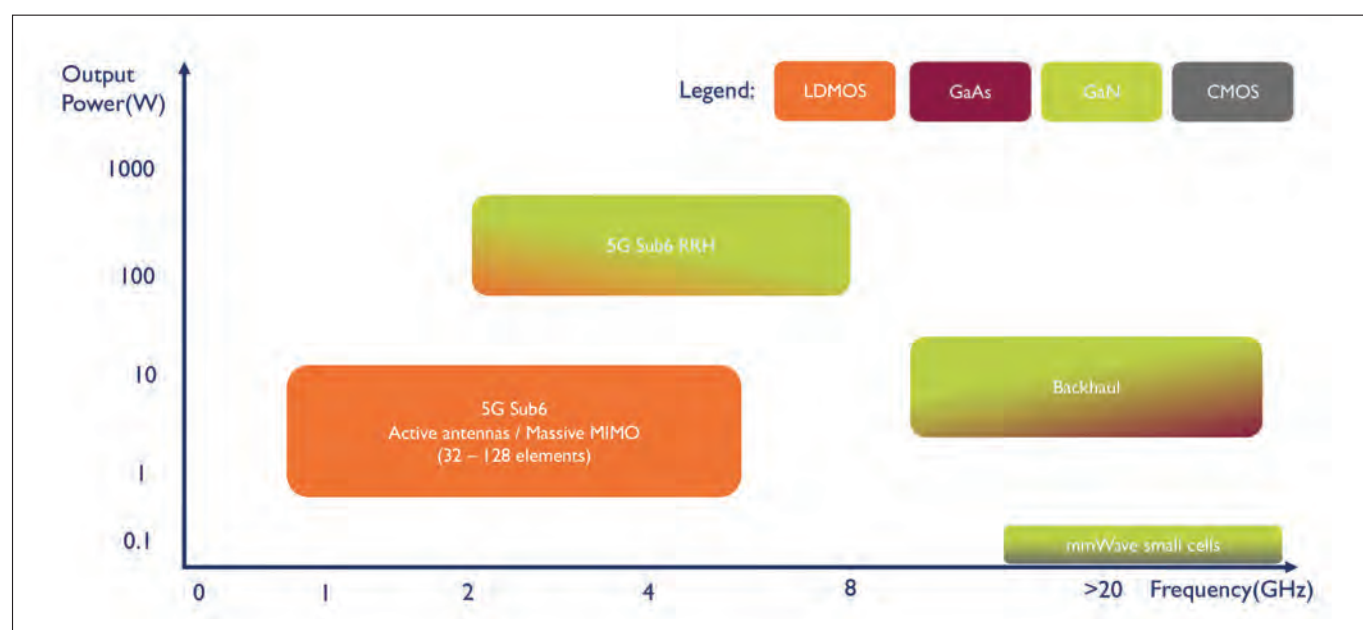


图1. 如今，无线通信的两种最常见技术是硅LDMOS和GaN，后者在更高的频率上占据上风。摘自“5G对电信基础设施的影响”（5G Impact on Telecom Infrastructure）报告，Yole Développement，2019年。



率，并且运营商正在将它们用于 4G 的部署。“他们之所以选择华为产品，是因为华为的比爱立信的便宜 30%,” Bonnabel 说。

5G 智能手机

除了推出 5G 网络外，业界还推出了一些兼容的智能手机。除了个别几个例外，目前 5G 功能还仅限于 6GHz 以下的网络。

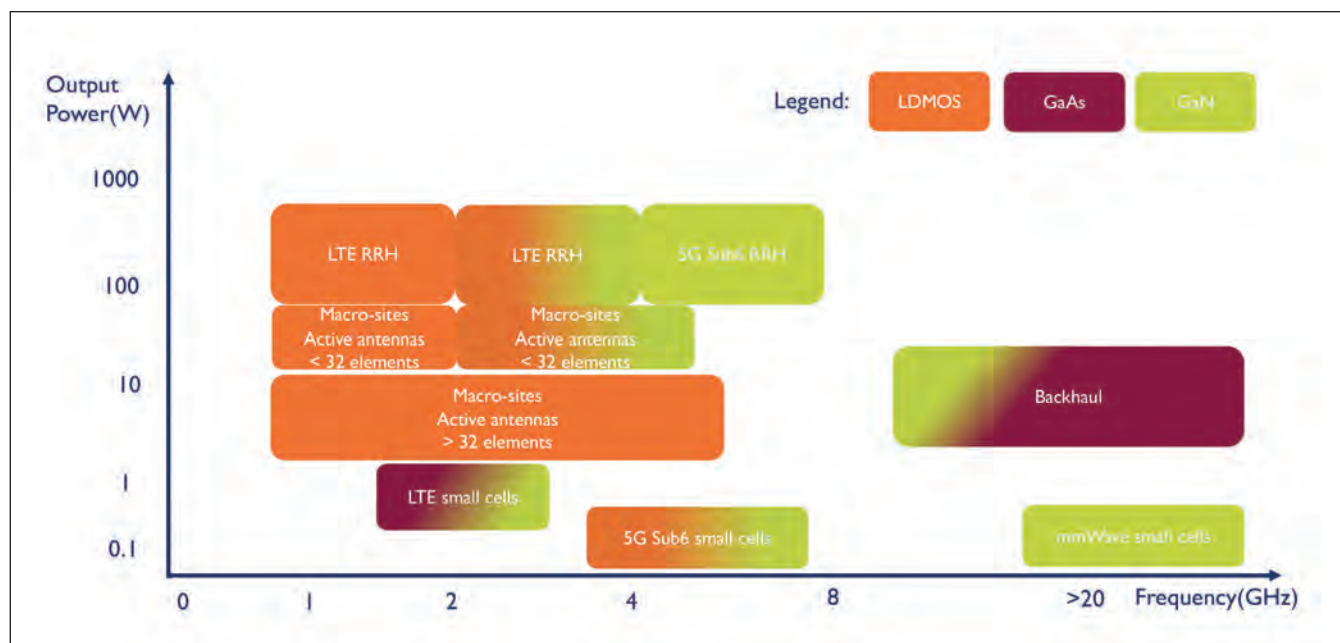
据在 Yole 的电源与无线部门工作的技术与市场分析师 Cédric Malaquin 称，到目前为止，5G 智能手机的销售总额在 500 万至 1000 万美元之间，Malaquin 的专长是研究 RF 设备和技术。此外 Malaquin 预计，即使到今年年底，5G 手机的销量也不会超过 5000 万部，并且要等到 2025 年，它们才有可能占据 30% 的市场份额。“到时候的数量大约为 6 亿只。”

智能手机中采用化合物半导体部分的形式为 GaAs 功率放大器。“功率和效率是其他任何技术都无法比拟的，尤其是 CMOS,” Malaquin 说。他预计，随着运营商对从设备到基站需要提供越来越多功率的要求来看，GaAs 功率放大器将继续占据主导地位。

如果将时钟倒转几年回去，GaAs 功率放大器的制造商，例如美国的四大厂家 RFMD, Skyworks, TriQuint 和 Anadigics, 仍在努力增加分立器件的销售。但是，目前情况已远非如此。战场需求已经改变，竞争围绕着前端模块的销售而展开，这些前端模块集成了 GaAs 功率放大器，滤波器和在频段之间进行切换的芯片。

在这个领域的竞争对手包括 Skyworks, Murata 和 Qorvo (由 RFMD 和 TriQuint 合并而成的实体)，它们正在利用其内部 GaAs 功率放大器的技术来制造前端模块。与之抗衡的是高通公司和博通公司，它们都通过利用台湾 WIN 半导体等 GaAs 代工厂的服务，来制造自己的 GaAs 功率放大器。

评估 6GHz 以下 5G 网络对 GaAs 功率放大器产量的影响，这并不是一件容易的事情。在某些国家，例如日本，他们已建立在高频下运行的 4G 网络，因此设计工程师可能会对 4G 和 5G 信号使用同一个放大器。但据 Malaquin 估计，这不一定会是规范。他计算出，平均而言，5G 的引入将使得每部电话增加一个功率放大器。对于 MOCVD 工具，GaAs 衬底，金属有机物源材料和表征设



备的制造厂商来说，这是个好消息，他们显然都很欢迎类似的额外业务。

请注意，前端模块中的关键组件不是 GaAs 功率放大器，因为它的生产可以外包。Malaquin 说：“更重要的是拥有合适的成本和合适的滤波器性能，”他认为，正是基于这项技术的卓越成就，才有了 Skyworks, Qorvo, Broadcom, Murata 和 Qualcomm 的成功。

毫米波网络

5G 推出的第二阶段，毫米波网络的引入，将需要基础设施方面的重大革命，而不仅仅是小的进化。在 24GHz 或更高的频率下，信号衰减要高得多，因此智能手机必须距离基站更近。从而此时需要有由小蜂窝组成的密集得多的网络。仅在体育馆等人群密集的地区部署，这种方法才显得有意义。

毫米波网络的试验正在进行中。在美国，人们对该技术有极大的兴趣，但据 Bonnabel 称，从事该领域工作的人们发现它比预期的更具挑战性。“目前，人们已经从毫米波后退了一步，他们对 6GHz 以下的频率越来越感兴趣了。”

Bonnabel 相信，毫米波的市场将在 2023 年开始发展，而且从那时起，增长也将是比较适中的。“运营商在年度部署上能够花费的资金有限，因此毫米波小型蜂窝网络的资金将受到限制，并且不会大幅增长，” Bonnabel 说。他预计，到 2025 年，小型蜂窝网络的市场销售将出现一个饱和。“我们

预期这不是一个发展速度飞快的市场，可见的设备也就数以百万计而已。”

目前尚不清楚在这些小型蜂窝网络部署中将使用哪种技术。在今天的试验中，毫米波蜂窝网络使用的是 GaN。“从长远来看，当每个小蜂窝网络中有大量天线时，您可能不会选择使用功率放大器，而尽可能能够利用 CMOS 本身，”Bonnabel 是这样认为的。

以及智能手机

对于那些居住或者工作在正进行 5G 毫米波试验场地的人们来说，他们有机会通过购买极少数的兼容手机之一来体验这一革命性的网络。这些手机包括三星 SG105G 的一个版本，以及摩托罗拉提供的一种解决方案。将新增加的技术塞入

图2. 到2025年，GaN将成为传统基站和毫米波5G中的主导技术。但是，在大规模MIMO中，硅LDMOS有望取得成功。摘自“5G对电信基础设施的影响”报告，Yole Développement, 2019年。

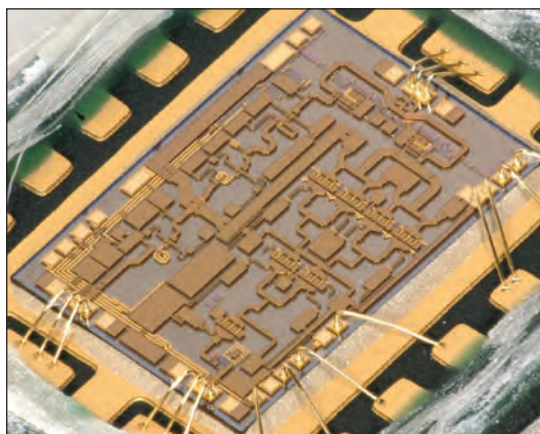


图3. 以39GHz相控阵基站和终端为目标的Qorvo 3 GHz的SiC上GaN MMIC前端模块的光学图像。



图4. 提供毫米波连接的5G Moto Mod将5G调制解调器放在塑料封装中。使用磁铁和弹簧针，该部件可以和Motorola Z系列手机电话进行连接使用。

手机中，从而使其能够在毫米波段内工作远没有我们想的那么简单。实际上，摩托罗拉甚至都没有想要去尝试，反之，他们希望针对这个频谱域使用一个单独的单元，然后将其附加到在其Z系列手机之一上来进行工作（图4）。

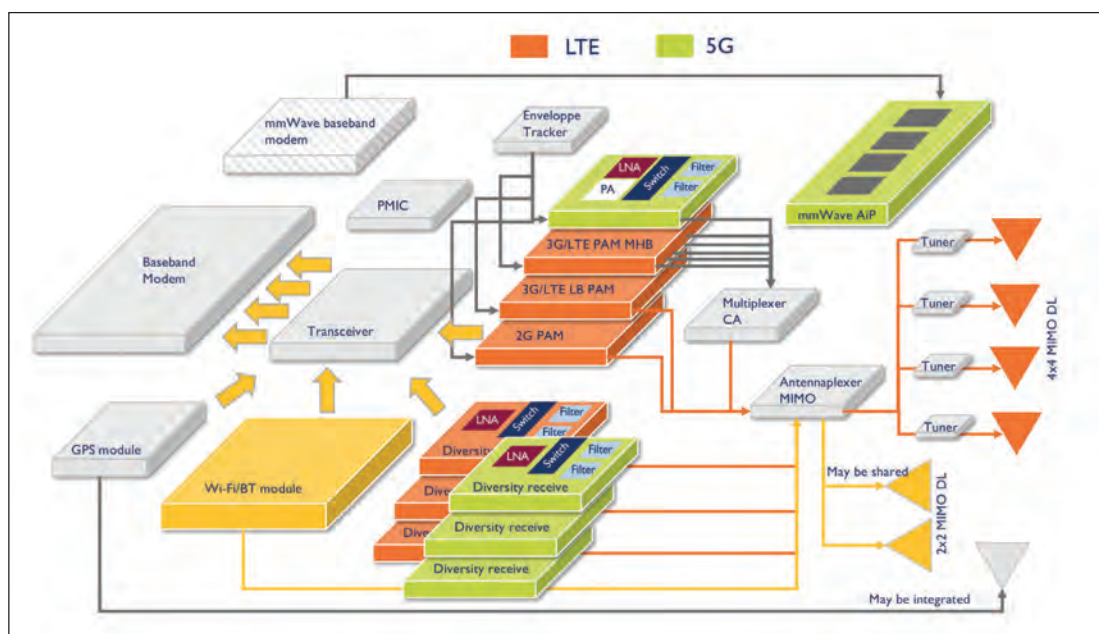
设计一个能够在这些频率下工作良好的手机，这是一个艰巨的任务。天线增益低，并且当前的CMOS功率放大器效率还很低下。“这将是你的电池寿命问题，”Malquin说。

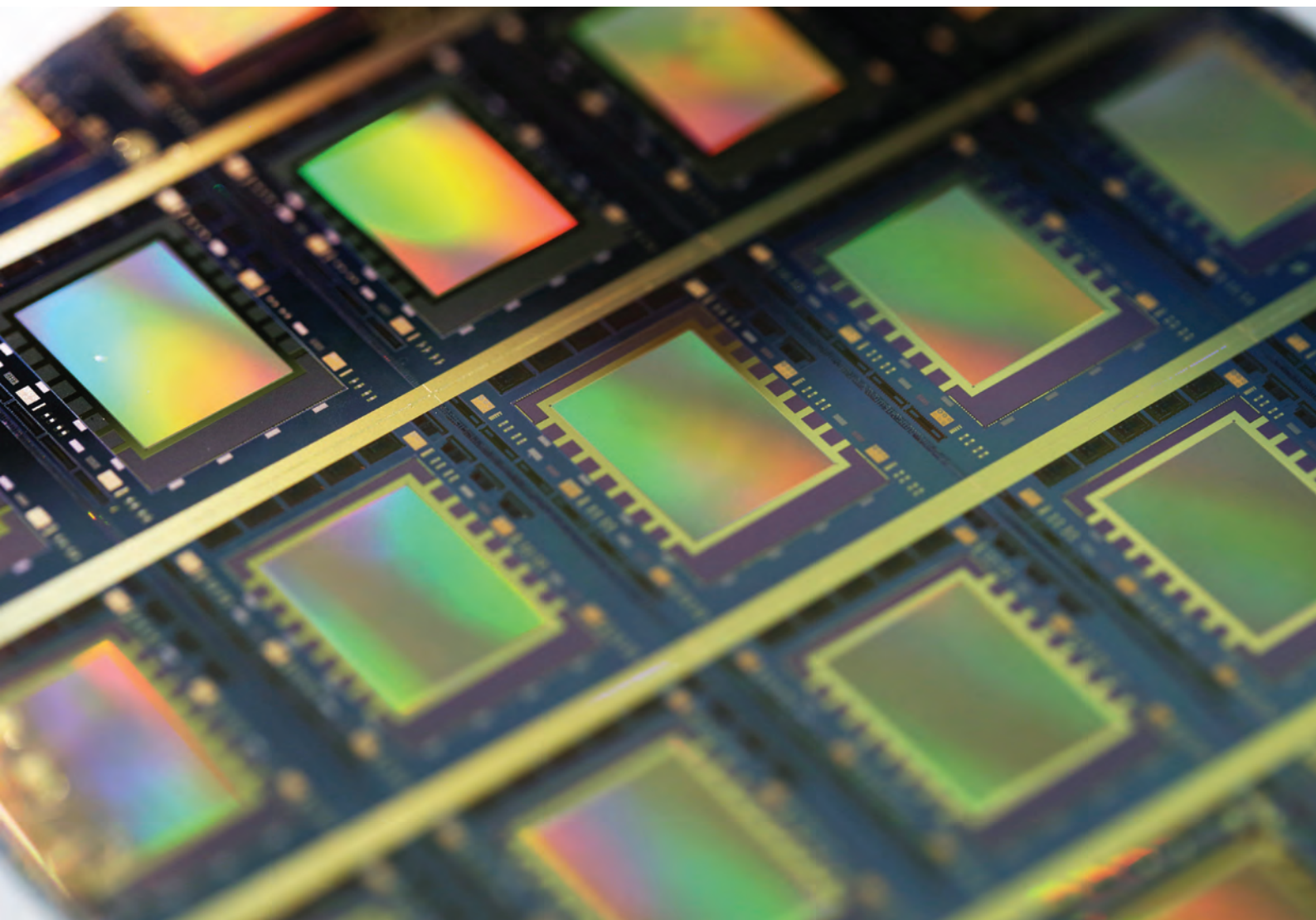
拆解摩托罗拉毫米波单元表明，它采用的是硅基功率放大器。Malaquin说：“效率相当差。”他认为工程师之所以采用这种方法，是因为这是将产品推向市场的最快方法。

在接下来的几年中，其他技术可能会脱颖而出。“在6GHz以上，今天的HBT恐怕无法胜任，”Malaquin说。“但是对于pHEMT，情况就不同了，我们完全可以使用pHEMT设计来制作毫米波放大器。”另一个候选是硅上氮化镓，该技术的困扰之一是因为人们对其可靠性的担忧。

这进一步证明了5G革命性阶段的不确定性。第一阶段肯定不是这样的，那会是4G LTE的进化，这个进化将推动GaAs HBT和GaN HEMT的产量增加。因此，从短期来看，5G对于化合物半导体行业肯定是有利的，而且展望未来，毫米波网络的推出可能会带来额外的销售。OSc

图5. 5G的引入将对移动设备的RF前端架构产生影响。摘自“5G对手机射频前端模块和连接性的影响”（5G's Impact on RF Front-End Module and Connectivity for Cell phones）报告，Yole Développement，2019年。





实现 microLED 微显示器的制造

晶圆级集成是超高分辨率 microLED 微显示器大规模生产制造的关键。JBD 公司在 4 英寸晶圆上制造了有源矩阵 microLED 微显示芯片。

Fang Ou, Lei Zhang, Jade Bird Display 公司

目前，微型显示器正在进行一场革命。包括可穿戴电子产品，平视显示器和增强现实在内的一系列新兴应用的出现，从而对这项技术的需求正在快速增长。然而，为了在市场上取得成功，这些通常具有不大于一英寸对角屏幕尺寸的小型化显示器，将必须满足当前技术未能完全

满足的严格技术要求。

用来实现这些微显示器最有前途的技术之一，是基于 microLED 的技术。这种微型的器件，微米级尺寸的 LED 直接作为像素单元集成到硅驱动器 IC 背板上。

采用这种方法，可以使化合物半导体器件

的出色发光能力与 IC 无与伦比的功能完美结合。基于在亮度 / 对比度，功率效率，响应时间和器件可靠性方面所具有的优势，这种显示器的性能优于基于液晶和有机 LED 技术的同类显示器。然而，由于化合物半导体 microLED 和硅基 IC 是具有截然不同的材料特性和制造工艺的器件，其集成带来巨大的挑战，因此它们的集成制造远非易事。

受到了 microLED 微显示器诱人市场潜力的推动，学术界和工业界许多研究人员一直都将目标瞄准克服这些障碍。并且他们许多人已将注意力转向倒装芯片技术，这是将化合物半导体功能器件阵列与硅基 IC 集成的最常用方法。

芯片倒装

倒装芯片方法的出发点是在一个基板上设计和制造 microLED 阵列，并在另外一个基板上设计和生产硅基的像素驱动器 IC。至关重要的是，这两个实体的几何布局必须相同。

接下来是芯片级制造，其中包含切割并与原始晶圆分离的 microLED 阵列单个芯片。然后利用高精度对准的键合机，用焊料阵列凸点将 microLED 阵列倒装键合到硅 IC 上。这就提供了像素驱动器电路阵列的电连接。

源自于倒装芯片技术取得的良好进展，最近一些小组报道了基于 GaN 的有源矩阵 microLED 微显示器的演示。然而，我们也应该注意到倒装芯片技术存在着固有的缺点，并且它们还可能限制 microLED 微显示器的性能和成本。

一个显著的缺点是，由于采用了芯片级的制造工艺，因此需要有精确的对准，这会妨碍产量并增加成本。此外，透明基板通常是至关重要的，因为人们趋向于在混合集成后保留 microLED 生长基板。另外还有一个问题就是化合物半导体器

件衬底和硅衬底之间存在着显著的热失配。这种差异会在微显示芯片中引入内建的应力，从而有损于制造良率和长期可靠性。

更重要的是，microLED 的像素尺寸的大小是有极限的。它取决于制造设备和倒装芯片工艺的自身能力。今天，工业上已经在努力实现小至 $20\mu\text{m}$ 的像素尺寸，但是倒装芯片工艺并没有可预见的清晰路径，能够缩小到小于 $10\mu\text{m}$ ，并同时保持合理的良率和成本。这是一个很大的问题，因为制作增强现实的显示器需要像素尺寸小于 $10\mu\text{m}$ 的 microLED。

Jade Bird Display (JBD) 青鸟显示是一家成立于 2015 年的初创公司，总部设在香港。我们正在利用创新的晶圆级技术解决传统倒装芯片技术在 microLED 微显示器上的所有缺点。其中的核心是将整个化合物半导体外延层转移到硅 IC 晶圆上。这是通过晶圆键合和衬底去除来实现的。通过采用晶圆级外延转移工艺，我们不再需要精确的对准，而这恰恰是倒装芯片技术的先决条件，并且我们最终有能力走向高吞吐量的晶圆级制造工艺。

一旦我们形成了 IC 上外延的模板，我们就可以使用标准的半导体器件制造工艺来生产具有不同功能的混合芯片。通过半导体行业中已有成熟的高精度光刻设备和工艺，我们能够以亚微米对准精度在像素驱动器电路阵列上制造化合物半导体功能器件阵列。这是在硅 IC 上混合集成微小间距器件阵列的关键，这里像素尺寸可以小到几微米（见图 1）。

我们技术的另一个重要优势是它可以利用已有的完善基础设施。利用为硅基 IC 产业开发的设备和半导体工艺，我们可以利用低成本的批量生产技术，生产集成功能混合芯片，包括我们的高性能 microLED 微显示器。

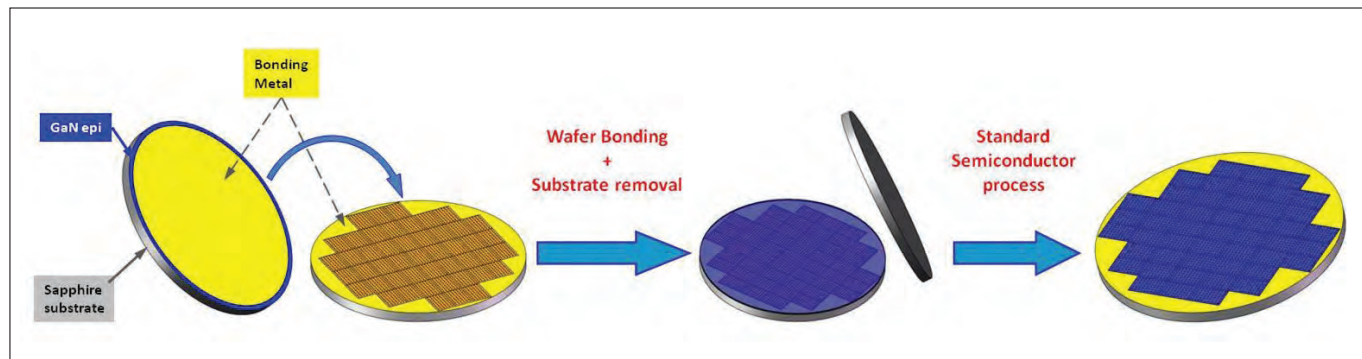


图1. JBD的晶圆级单片混合集成技术。



图2.封装好的红色、绿色和蓝色有源矩阵microLED微显示器。

潜力巨大的原型

凭借我们的技术，我们已经在 microLED 微显示器的开发方面取得了重大进展。该工作开始于 2016 年初，我们在那年年末时实现了我们的第一个里程碑：我们的首批微型显示器。它们表现出卓越的器件性能，结合了出色的亮度 / 对比度以及功率效率和小的器件尺寸。即使我们的第一次尝试，我们的原型也大大优于现有的微显示技术（见图 2）。

这些首批的单色红色、绿色和蓝色微显示器制备成了 VGA 格式，具有 640 像素 × 480 像素的标准清晰度显示分辨率。绿色和蓝色 microLED 采用 InGaP/GaN 基材料制成，而 AlInGaP/GaAs 基材料则用于红色 microLED。所有这些 LED 都具有圆形几何形状，直径仅为 6 μm ，且它们形成 20 μm 像素间距的微显示器，这对应于每英寸 1,270 像素的分辨率。在每个像素 20 μA 的峰值电流情况下，该显示器中的绿色 LED 的亮度可超过 5×10^5 尼特，这是现有基于 OLED 的自发光微显示器的 500 倍以上。

为了构建全彩色微显示器，我们可以将三个单色 microLED 微显示器与外部光学器件组合，例如交叉双色（X-cube）棱镜。虽然这种选择似乎会导致整个显示器的尺寸和体积增加，但情况不一定如此，因为我们的技术能够实现非常小的 microLED 微显示器。

除了我们目前首先进行的这种方法，我们正在考虑使用多次外延转移工艺，这样就能在同一驱动 IC 基板上的不同层中，形成不同颜色的 microLED 阵列。如果我们要实现这种方式，我们期望使用比我们的单色显示器更大的像素间距，因为具有不同颜色的 microLED 阵列的像素将必须彼此相邻地排列。另一个潜在的缺点是亮度会

降低，因为光可能被这种结构所阻挡。

为了将我们的核心技术单色微显示器商业化，我们正在寻求分布式的制造策略。我们从传统的 LED 芯片制造商那里购买我们制造 microLED 用的 LED 外延片。只要在外延晶圆与背板晶圆结合后可以成功地去掉衬底，就可以使用具有不同衬底的外延晶圆来制造我们的显示器。在大多数情况下，这可以通过对制造工艺进行微小的改变就可以实现。

对于背板，我们将驱动器 IC 的设计外包给在该领域具有丰富专业知识的公司，而驱动器 IC 背板晶圆的批量流片则通过代工厂服务在标准的 8 英寸 CMOS 线上进行。我们使用 4 英寸 LED 外延片进行演示。为了适应它们的尺寸，我们将 8 英寸 CMOS IC 晶圆切割为 4 英寸，以便进行后续器件工艺。这部分生产工艺是在我们的一个战略合作伙伴所运营的试验工厂中完成的（见图 4）。

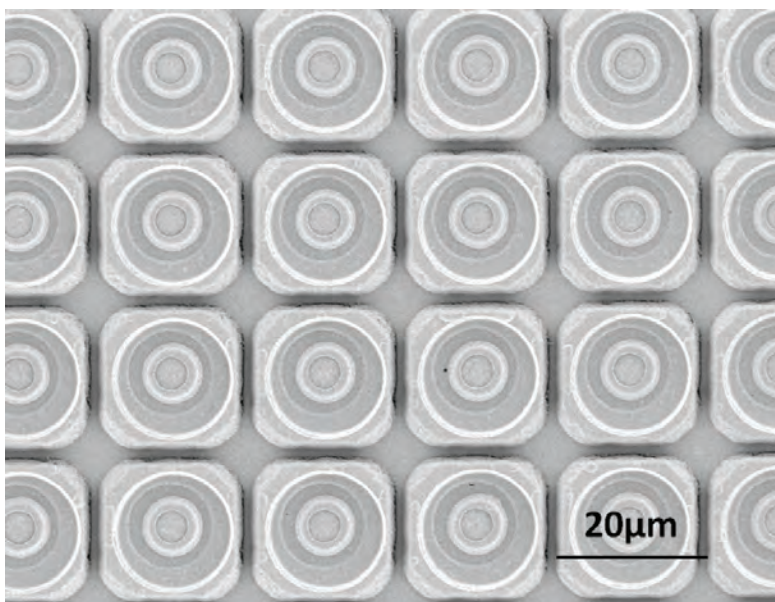


图3.有源矩阵microLED微显示器上的20 μm 间距像素阵列。

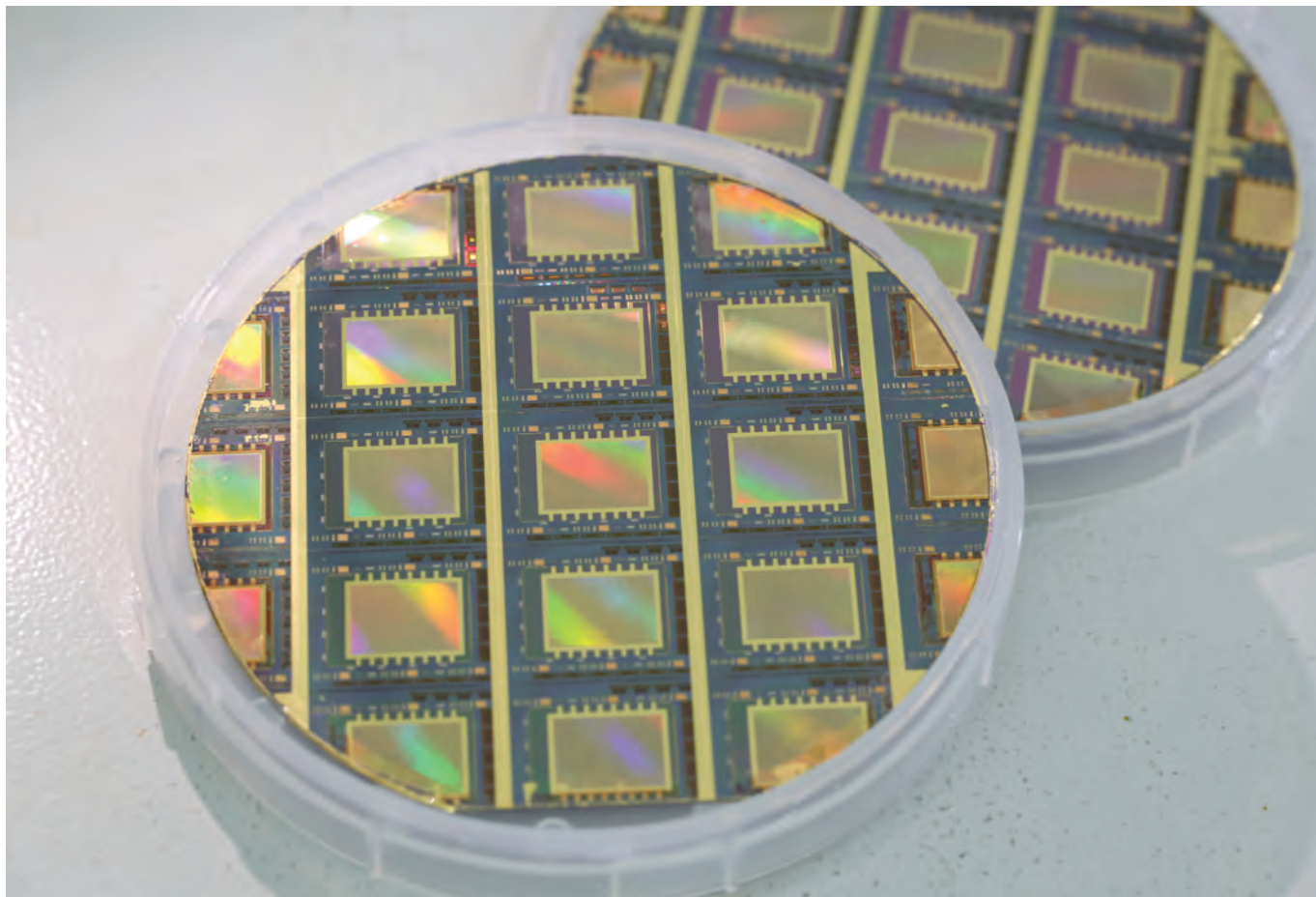


图4.采用JBD单片混合集成技术制造的4英寸有源矩阵microLED微显示芯片的晶圆。

请注意，通过切换到更大的 LED 外延片，可以轻松地将生产扩展到大于 4 英寸直径上。

我们制造工艺的一个主要好处是其高度的灵活性。我们可以根据外延片可用性，IC 设计能力以及 CMOS 代工厂所提供服务的，来进行选择。最终，通过外包，我们降低了资本投资相关的成本。

继 2016 年底我们在 microLED 上的初步成功之后，我们在两个关键领域取得了进一步的进展：亮度和分辨率。两个方面的成功分别提高了我们的技术在投影仪和增强现实方面的竞争实力。

超高亮度

microLED 微显示器的重要市场机会之一是各种形式的投影仪，包括便携式投影仪和背投电视机。对于这些应用，微显示面板的高亮度是至关重要的。对于 microLED 微显示器，要满足这一要求非常有挑战性，并且障碍来自多种因素，包括 LED 外延质量，microLED 像素的特定器件结构以及制造工艺。

凭借我们在半导体行业的深厚研发经验，我

们已经进行了广泛的工作，考虑了诸如器件结构的改进，制造工艺的优化以及高亮度 LED 外延片的选择。这些劳动的成果包括减少了载流子泄漏和 microLED 的光损失，以及它们的光提取效率优化。得到的这些器件亮度更高，效率更高，并且使我们的微型显示器上绿色 LED 的亮度增加到超过 10^6 尼特，这是在与初始演示时相同的驱动器背板上制造的。对于红色，绿色和蓝色 microLED 阵列，外部量子效率分别为 9%，12% 和 18%。

与此同时，我们仔细研究了 microLED 的空间发光特性，研究是否有可能提高投影应用的亮度。许多形式的 LED 具有固有的大发散角，这会使投影系统的光学效率降低。对于许多 microLED，这种低效率的根本原因是从器件发出的大部分光，都位于投影系统的接收角之外，所以就被浪费了。然而，采用我们的新技术，我们克服了这些问题。这是因为我们的技术并没有覆盖 microLED 阵列的生长衬底。相反，微光学阵列加到了 microLED 阵列的顶部，用来减少发光的发散和增强光的投影效率。

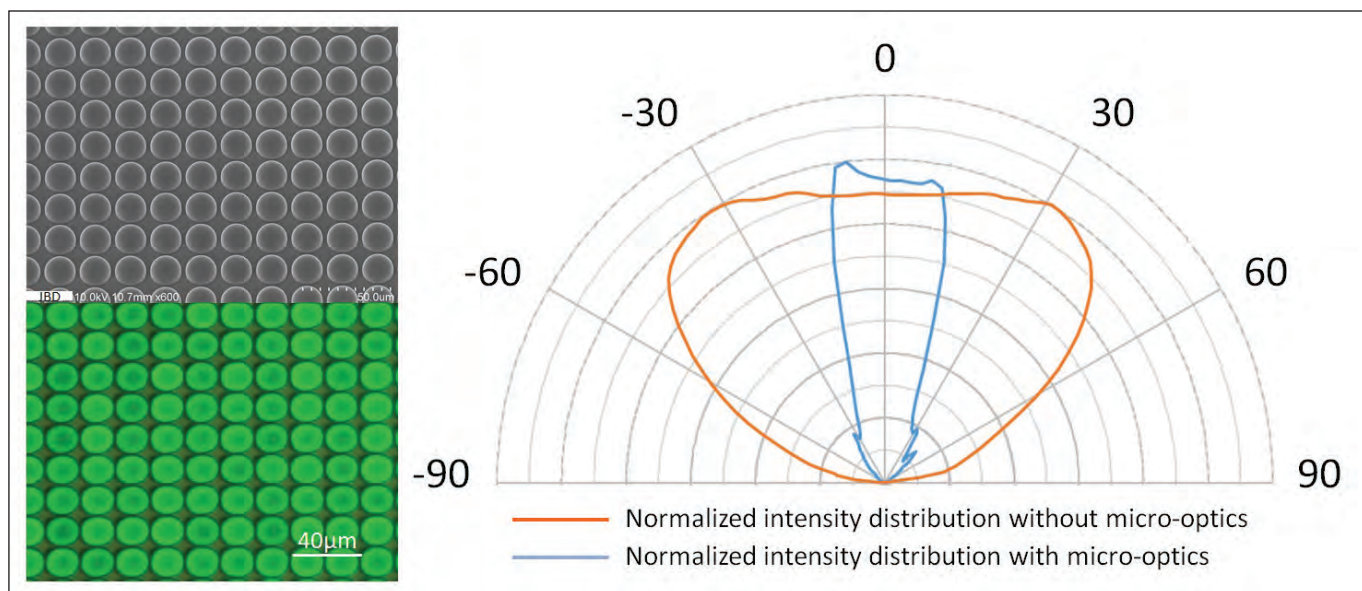


图5.集成在有源矩阵microLED微显示器面板上的微光学器件以及测量的具有/不具有微光学器件的发光角度分布。

使用这种方法，我们已经制造出了具有微反射器和微透镜阵列的微显示器。这些改进使法线方向的亮度增加了六倍，推动绿光亮度超过 3×10^6 尼特（见图 5）。

还有分辨率

增强现实是微显示器的一个更大市场，甚至可能是这项技术的最大市场。对于这种应用，由于要在强环境光背景下户外操作，从而有高亮度和对比度要求与高分辨率需求相结合的强烈需求。后者更加至关重要，因为它允许微显示器面板在不损害图像质量和系统紧凑性的情况下，能够实现大视场。

我们的技术非常适合满足这些要求。为了展示其增强现实的潜力，我们制作出了每英寸超过

5,000 像素的微显示器（见图 6）。

采用直径仅为 $2\mu\text{m}$ 的 microLED，像素间距仅为 $5\mu\text{m}$ ，我们相信这一壮举将为高分辨率有源矩阵 microLED 微显示器树立新的基准。

甚至更高的分辨率应该也是可以实现的。我们相信，通过改进器件设计和制造工艺，像素密度可超过 10,000/英寸。当结合远高于 105 尼特的亮度水平时，这将会实现超高分辨率的有源矩阵 microLED 微显示器，而这正是增强现实最理想，最有前景的解决方案。

为了实现这一目标，我们现在的重点是将微显示器原型转换为产品，并将其推向市场。在我们努力实现这一目标的同时，我们将通过不断突破微显示技术的极限来应对市场需求，并致力于完善高性能 microLED 微显示器。OSc

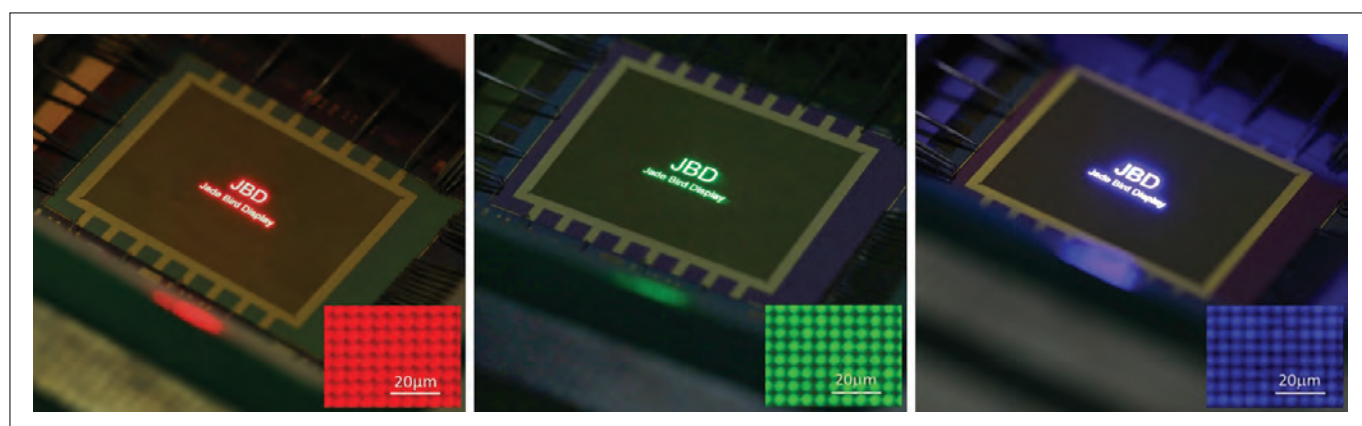


图6.有源矩阵microLED微显示器的晶圆级测试，分辨率高于每英寸5,000像素

氧化镓：奠定未来成功基础

快速、高质量生长氧化镓层为超宽带隙电力电子器件的出现提供支持

Keith Evans, Gregg Dodson, Jacob Leach, Heather Splawn, Tamara Stephenson; KYMA TECHNOLOGIES

我们有充分理由去关心我们这个星球的未来。由于二氧化碳排放量的增加，全球平均气温毫无疑问在升高，在能源需求增加的情况下这一趋势还会继续下去。

针对这种黯淡的背景，两束希望之光分别是风能及太阳能等可再生能源的增加以及电动汽车的巨大潜力。在这两种情况下，提高电力电子器件的效率是可能的。如果在这方面取得成功，通过提高升压和降压的效率以及交流和直流转换的效率，会有更多的可再生能源被输送到电网中；汽车电池能量转换成驱动车轮能量的效率将会提高。后者是一个主要的增长点——它降低了汽车的行驶成本，提高了它的行驶范围，由此可以带来销量的增加，最终形成更好的规模经济。

如今，大多数现有功率器件都是用硅制造的。这让二极管和晶体管的低成本制造成为可能。然而，硅的固有特性不如那些拥有更大带隙的材料，特别是 SiC（碳化硅）和 GaN（氮化镓）。这些竞争对手由于拥有更宽的带隙，会有更大的临界场，使得它们能够在所有关键性能指标体系上脱颖而出，例如 Baliga 指标体系、Baliga 高频指标体系、Johnson 指标体系和 Keye 指标体系等。这些更高的指标体系使得 SiC 和 GaN 器件能够阻断更高电压，在开关电流时更加高效，在开关闭合导通的状态下通过电流的效率也更高。因为这些特点，宽带隙材料在所有电力电子应用中都比硅更加高效节能。

最近，这些设备一路行来。在上个十年末期，几乎所有的 SiC 和 GaN 电力电子产品的开发都在研发实验室开始。但是数年间这种情况发生了巨大的变化，随着器件达到成熟状态，受到商业牵引，这在 SiC 器件上尤为明显。

随着性能的大幅度改善，宽带隙半导体器件的销售量正在逐渐增加。例如在电力开关过程中，效率损失可以降低 90%，这在混合动力和全电动汽车的再生制动，以及连接风电厂和电网的电力变流器中都有发生。但这并不是这些宽带隙功率器件唯一的重要特性。与硅器件不同的是，它们不需要冷却就能正常工作。此外，它们可以做的更小，以适应工作在较高的开关频率且包含较小无源元件的电路。结果是更小、更高效的单元需要更少的冷却，而且更加可靠和强健。

从宽带隙到超宽带隙

这些宽带隙材料正带领电力电子走上一条并不只限于 SiC 和 GaN 的发展道路，而是更进一步发展到一类超宽带隙的半导体材料。这些不太为人所知的材料，包括 AlN、AlGa_{0.5}N、Ga₂O₃ 和金刚石，有望使电子元件的尺寸、重量和效率得到进一步的发展。（如图 1，采用 Si、GaAs、4H-SiC、GaN、β-Ga₂O₃、AlN 和金刚石制作的单极电子器件的性能表征）。

在北卡罗来纳州罗利市的 Kyma 技术公司，我们正在不断拓展开发宽带隙和超宽带隙材料相关的系列技术。我们的努力包括开发晶体生长工艺和制造这些材料的工具。我们常规地生长 AlN、AlGa_{0.5}N、GaN、Ga₂O₃ 和金刚石等薄膜材料；我们也常规地制造 GaN 器件。

我们目前有开发 Ga₂O₃ 器件的计划。我们已经掌握了用氢化物气相外延法 (HVPE) 生长高质量、n 掺杂的 Ga₂O₃ 薄膜，下一个挑战是器件的开发。

如果超宽带隙材料要发挥其潜力，制造中必

须要使用大面积衬底，用于在较高生长速度下生产高品质外延片。大面积衬底是成功的先决条件，因为它提高了制造效率并且大幅减少了每个器件的生产成本。正是出于这个原因，硅技术已经从1英寸圆片上的研究发展到最初100mm晶圆上的生产，然后是直径为150mm、200mm和300mm晶圆上的生产。这并不是极限——现在也有450mm的晶圆片，但尚未广泛使用。在外延方面，制造垂直器件的一个关键要求是在大面积衬底上生长厚的、可控掺杂的n型漂移区。这必须在每单位面积外延层成本最低的条件下完成。由于上述所有原因，当我们开发外延技术时，应当确保它们与大面积衬底材料兼容，并确保较高的纯度和生长速率。

我们的 Ga_2O_3 产品包括 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基片、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 同质外延片、蓝宝石衬底上生长的 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 外延片以及用于生长这些外延片的工具（如图2所示）。通过垂直集成技术，我们可以控制衬底的最终光洁度，然后再进行外延生长。我们也提供这方面的服务。客户可以提供衬底给我们，甚至可以提供自己生长的外延片给我们抛光。此外，如果需要的话，我们可以提供一个确定角度的斜切服务。

15年来，我们一直使用氢化物气相外延法（HVPE）生长GaN、AlN和AlGaN材料。早在2015年年末，我们决定改变其中一个GaN氢化物气相外延工具，以便为一个提供衬底的合作伙伴生产 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 同质外延片。

从生长GaN到生长 Ga_2O_3 的转变其实不利于晶粒的生长。多年来，氧一直是晶粒生长的大敌，但是现在如果我们想要成功的话，它在结晶体中含量

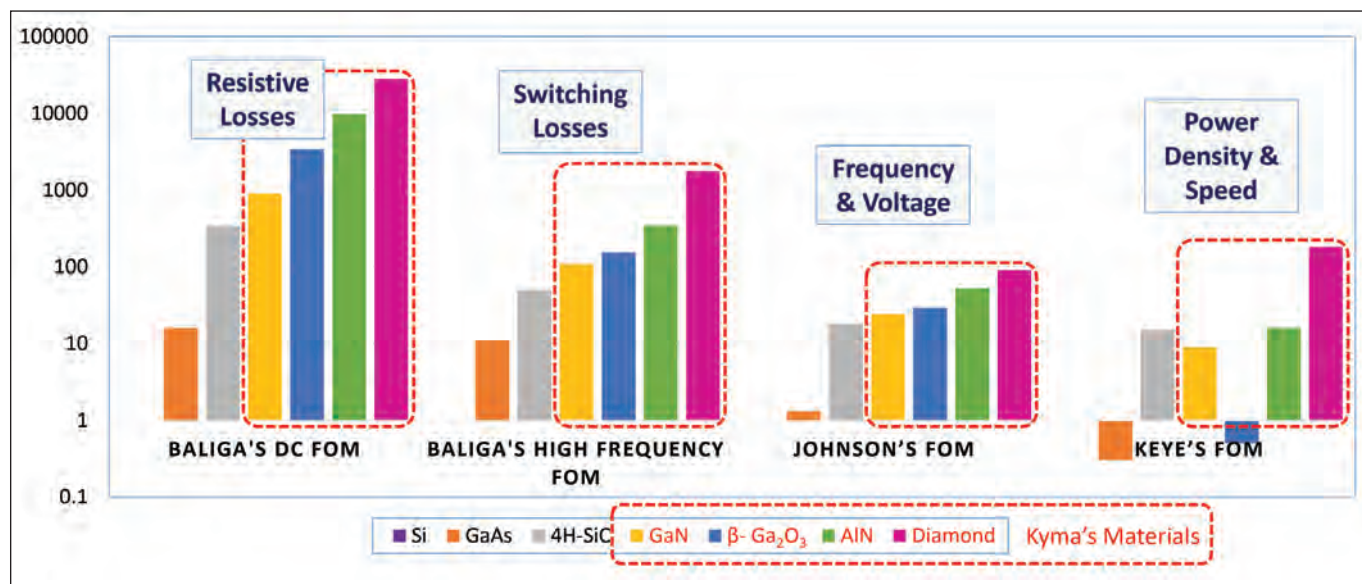


图1. Si、GaAs、4H-SiC、GaN、β-Ga₂O₃、AlN和金刚石等单极电力电子器件的4种常见性能指标（FOM）。Kyma公司正在开发和销售的产品由红色虚线圈出。

必须比砷高。这一转变带来了许多问题。

我们是否需要我们的设备中增加一个纯净的氧气源，还是清洁干燥的空气就足够了？我们的 GaN 优化工具对于生成 Ga_xO_{1-x} 形式的微粒有多脆弱？而且在 GaN 生长工艺中能够实现的高化学纯度，是否在 Ga₂O₃ 生长能力要求下也能达到？

幸运的是，我们在解决这些问题时得到了帮助。以往的文献中有很多信息 – 我们特别感谢日本研究人员难得地分享了他们的发现，公布了

他们在 Ga₂O₃ 方面得到的令人兴奋的结果，包括 HVPE 技术的应用。这些观点帮助我们建立了生产高质量的 β-Ga₂O₃ 同质外延薄膜和 α-Ga₂O₃ 异质外延薄膜的 HVPE 工艺，其生长速率在 2μm/hr~20μm/hr 之间。

我们发现，用 HVPE 法生长 β-Ga₂O₃ 薄膜时，准备合适的衬底和切角对获得良好的表面形貌和高质量的外延层至关重要。在新制备的 β-Ga₂O₃ 衬底上很难检测到亚表面的损伤，但在 β-Ga₂O₃



图2. Kyma公司氧化镓相关产品和服务

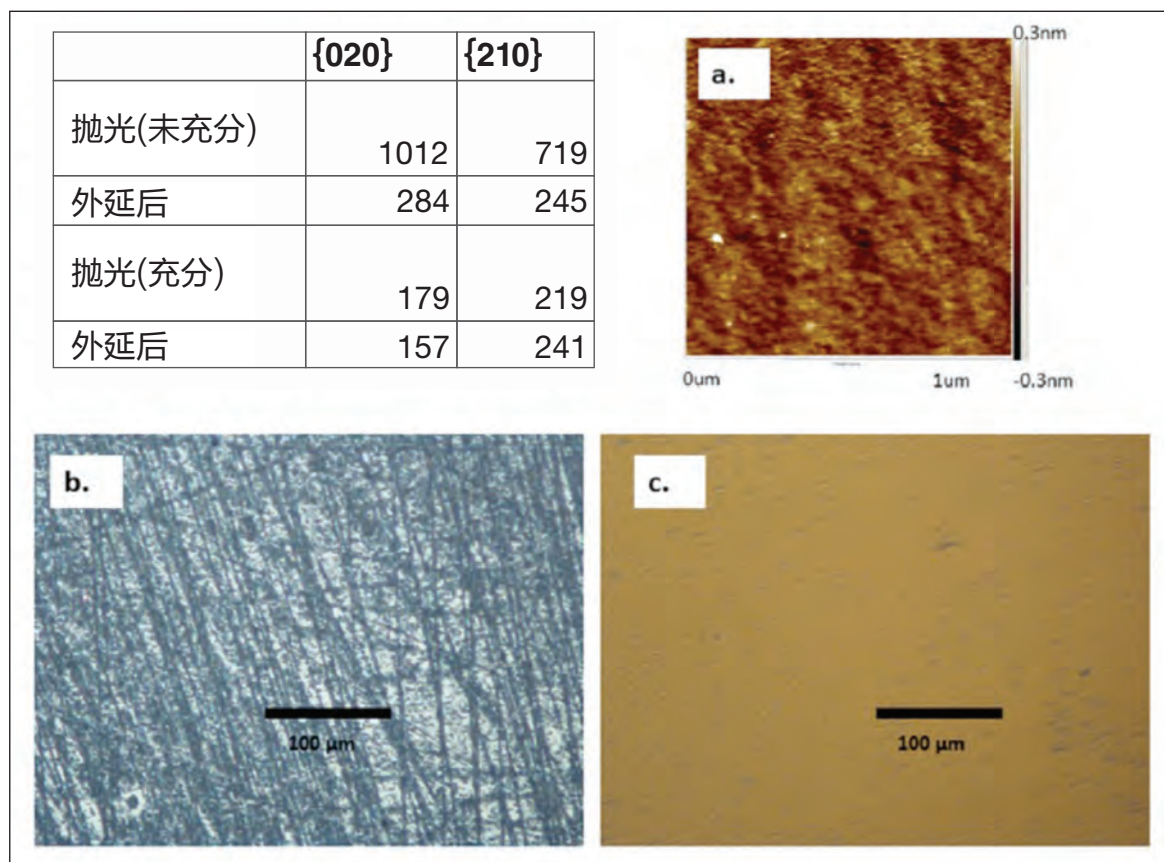


图3. 采用未充分抛光和充分抛光的方法处理衬底, 并分别对衬底和PVPE生长的薄膜测试X射线衍射的弧秒线宽, 定义为半峰全宽。(a)使用 β -Ga₂O₃(010)抛光衬底的原子力显微镜(1x1) μ m图像, 以及生长0.5 μ m厚的 β -Ga₂O₃同质外延层的光学显微镜图像, (b)衬底未充分抛光, (c)衬底充分抛光。

氢化物气相外延过程中, 亚表层存在的任何缺陷都会带来形貌问题。

从在 x 射线衍射扫描的线宽中可以看到材料质量的明显下降 (见图 3 中的表格)。这些结果帮助我们改进了抛光工艺, 使其能够充分消除亚表层的损伤。由原子力显微镜图像 (见图 3(a)) 可以看出, 抛光衬底有一个相对平坦的表面, 在以 HVPE 法生长 β -Ga₂O₃ 薄膜后得到一个更好的表面 (比较光学显微镜下的图 3(b) 和 (c))。

光学显微镜的图像还凸显了表面切割对外延层表面形貌的影响。我们利用这一技术比较了 1000 °C 同一生长条件下两种 β -Ga₂O₃ 同质外延薄膜的表面形貌。我们使用的这对衬底一致名义晶向 (010) 的块体, 但一个是沿轴切割的, 另一个是以 2° 的斜角沿优选方向切割的。由拥有 nSPEC 人工智能的 Nanotronics 公司提供的快速检测工具采集的图像清楚地表明, 以一定斜角切割的衬底会产生更加优越的表面形貌 (参见图 4)。

在提出表面斜切优化方法、消除了亚表层损伤和优化了生长化学之后, 我们继续生产了一系列具有不同的电子浓度的 n 型 β -Ga₂O₃ 同质外延

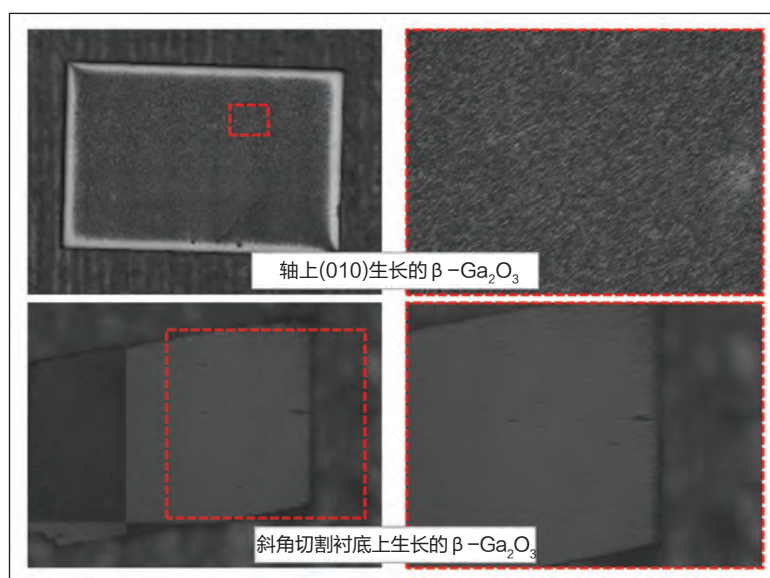


图4. β -Ga₂O₃薄膜的光学显微镜图像是使用Kyma在2013年引入的人工智能支持的快速检测工具获得的。这个工具在Kyma重负荷运行, 用来测试生产的几乎所有的外晶片或衬底, 并详细检查使用前的进料。图中左边为低放大倍率的图像, 右边为高倍率的图像, 在适当斜角切割的衬底生长的 β -Ga₂O₃同质外延薄膜(下)的形貌要比沿衬底轴上生长的薄膜(上)要平滑得多。

薄膜。霍尔测试结果表明, 当电子浓度从 10^{19} cm^{-3} 下降到 10^{17} cm^{-3} 时, 迁移率从 (90~120) $\text{cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 下降到 (50~60) $\text{cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。生长速率在 (2~20) $\mu\text{m/hr}$ 范围内是可控的。如图 5 所示。

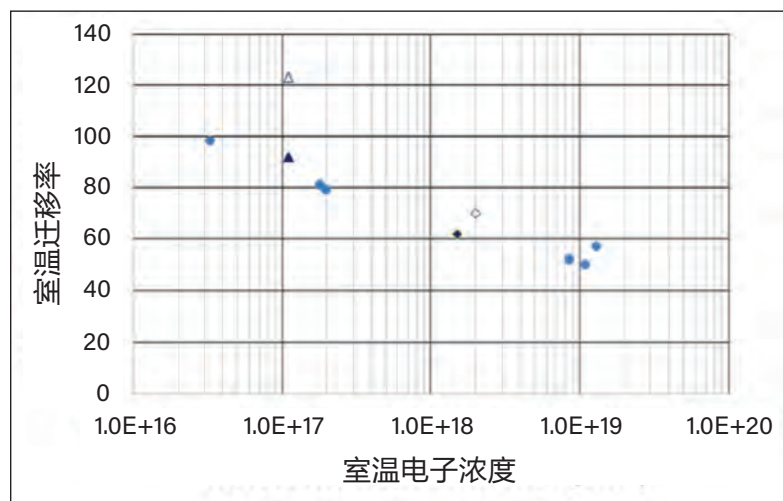


图5. 室温迁移率随着块状 β - Ga_2O_3 上生长的薄膜中的电子浓度变化。三角形和菱形表示在相同条件下生长的薄膜，除了菱形表示主动掺杂硅薄膜，而三角形代表被动掺杂薄膜。空白三角形和空白菱形代表高结构质量的块状衬底上的生长物—这些外延层显示了{020}面反射小于100弧秒的线宽。

是不能在熔体中生长，所以 α - Ga_2O_3 薄膜必须生长在非自身衬底上。

考虑到 α - Al_2O_3 是 Al_2O_3 晶体在热力学上更倾向的晶型，并且在 α - Al_2O_3 上生长 α - Ga_2O_3 是可能的，所以蓝宝石是显而易见的选择。与同质外延 β - Ga_2O_3 薄膜的情况一样，表面处理是生长高质量薄膜所必需的。光学显微镜下的图像凸显了这一要求，清楚地展现了在适当抛光和不适当抛光的蓝宝石衬底c-plane上生长 α - Ga_2O_3 的形态差异（如图6）。通过优化衬底表面，获得优异的表面形貌是可能的。

我们在 Ga_2O_3 方面取得了重大的进展。我们现在能够很好地控制衬底制备、生长化学、n型掺杂、表面形貌和背掺杂等方面，这让我们很兴奋。这

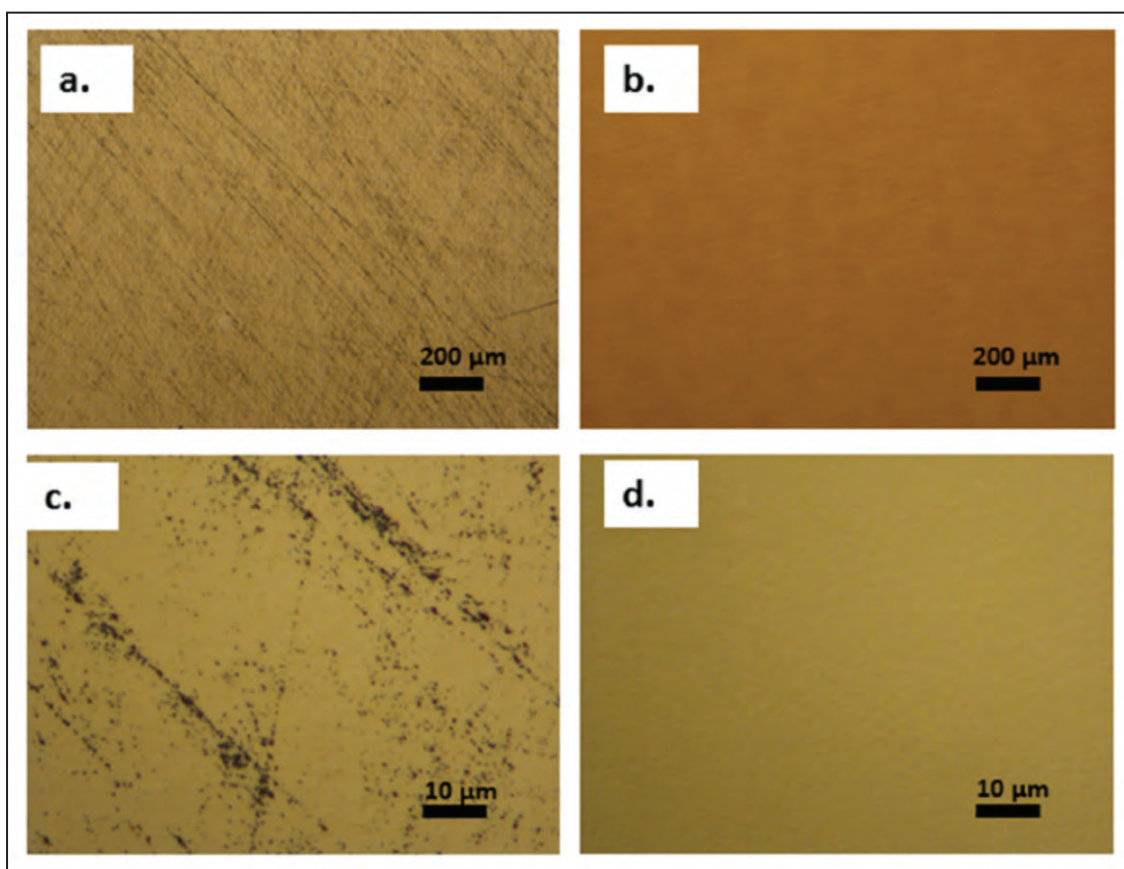


图6. 1 μm 厚的 α - Ga_2O_3 薄膜的显微镜图像：(a)(b)的放大倍率为20倍，(c)(d)的放大倍率为100倍。在经过适当抛光的衬底上生长的薄膜(b)(d)，其表面形貌远好于在未适当抛光的衬底上生长的薄膜(a)(c)。

我们还研究了 α - Ga_2O_3 薄膜的生长。与热力学稳定的异构体 β - Ga_2O_3 相比，这种多型体处于亚稳态，具有更高的晶体对称性和更宽的带隙，因此是器件应用中一个趣向选择。它的主要缺点

些能力将为我们进行器件开发奠定基础。我们相信两种类型的氧化镓中，最有潜力得到商业应用的是 β - Ga_2O_3 ，特别是在高压功率开关中。由于在 α - Al_2O_3 上生长 β - Ga_2O_3 的方法具有更成熟的衬底供应链的优点，只要我们的客户支持，我们将对这种方法保持积极的态度。我们希望在未来几年内，在把这些技术推向市场的过程中发挥作用。☞

扩展阅读

J.H. Leach et al. APL Mater. 7 022504 (2019)

解决 SiC 超结 MOSFET 的生产问题

一种新颖的离子注入技术改进了 SiC 功率器件，包括超结 MOSFET 的制造。

Michael Rueb, MI2-FACTORY

在千禧年之际，硅的电力电子行业发生了一场无声的革命。当时，由于在单极、高压器件中引入了超结结构，商用晶体管的导通电阻急剧下降了 3 到 10 倍。为了实现这种器件，需要在 n 掺杂垂直漂移区中，创建 p 型高纵横比的柱子来形成超结（见图 1）。

可以针对特定的导通电阻，制造更小因而更便宜的芯片。更重要的是，这些芯片可以装入到更小的封装中。

最近，硅功率器件的销售面临着来自 SiC 的更强力的竞争。该竞争对手正在为高压二极管和晶体管的效率设立新的基准，这些二极管和晶体管已经在太阳能电池板、风力涡轮机和电动汽车中得以使用。然而，SiC 芯片成本很高，因此，它们需要提高它们的单位价值回报。

紧跟硅的脚步

实现这一目标的一个好方法是将 SiC 超结器件推向市场。这将实现导通电阻的大幅度变化，并将能效提高到新的高度，特别是针对 1.7kV 或更高的最高阻断电压。这些特性将使得产品能够用于高速列车中的固态变压器和高效能量传输系统。

请注意，相关的 SiC IGBT 器件无法胜任此任务：它的阈值电压很高，通常为 2.7V，同时双极性材料的劣化也是个问题。尽管后一个问题有可能克服，但迄今为止，最常用的解决方案只能是选择非常昂贵的种子材料，以及显著更厚的外延层，从而导致了额外的成本增加。

SiC 超结器件也有望降低这种宽带隙技术的

价格，因为芯片可以更小，因此可以更便宜。请注意，随着标称击穿电压的升高，超结设计与传统单极器件之间的漂移层导通电阻之差也会增大，从而有可能更大幅度地减小芯片尺寸（参见图 2）。

可以说，与 SiC MOSFET 商业化相关的最大挑战，是开发适合的大批量工艺来制造这些晶体管。由于硅和 SiC 两种材料之间的显著差异，不可能简单地采用用来制造硅超结 MOSFET 的技术。

可以说，与 SiC MOSFET 商业化相关的最大挑战，是开发适合的大批量工艺来制造这些晶体管。由于硅和 SiC 两种材料之间的显著差异，不可能简单地采用用来制造硅超结 MOSFET 的技术。

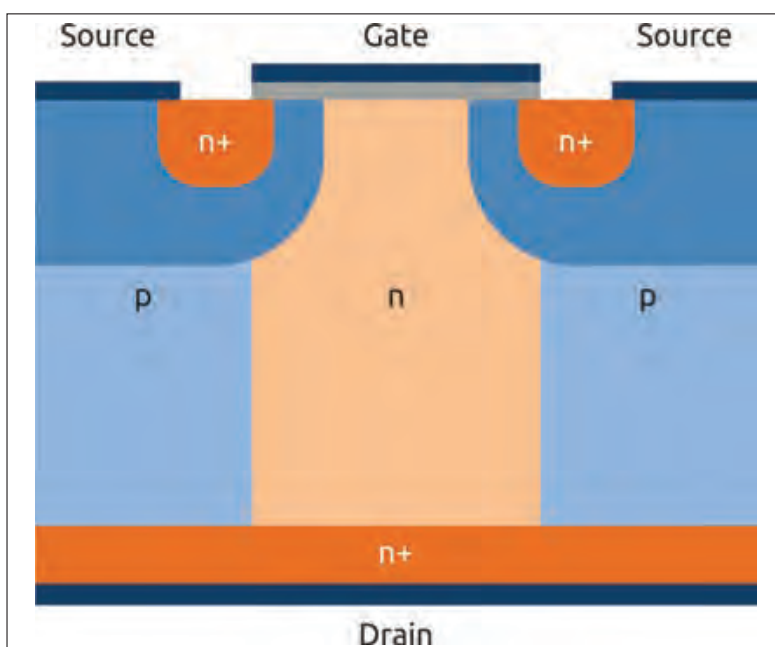
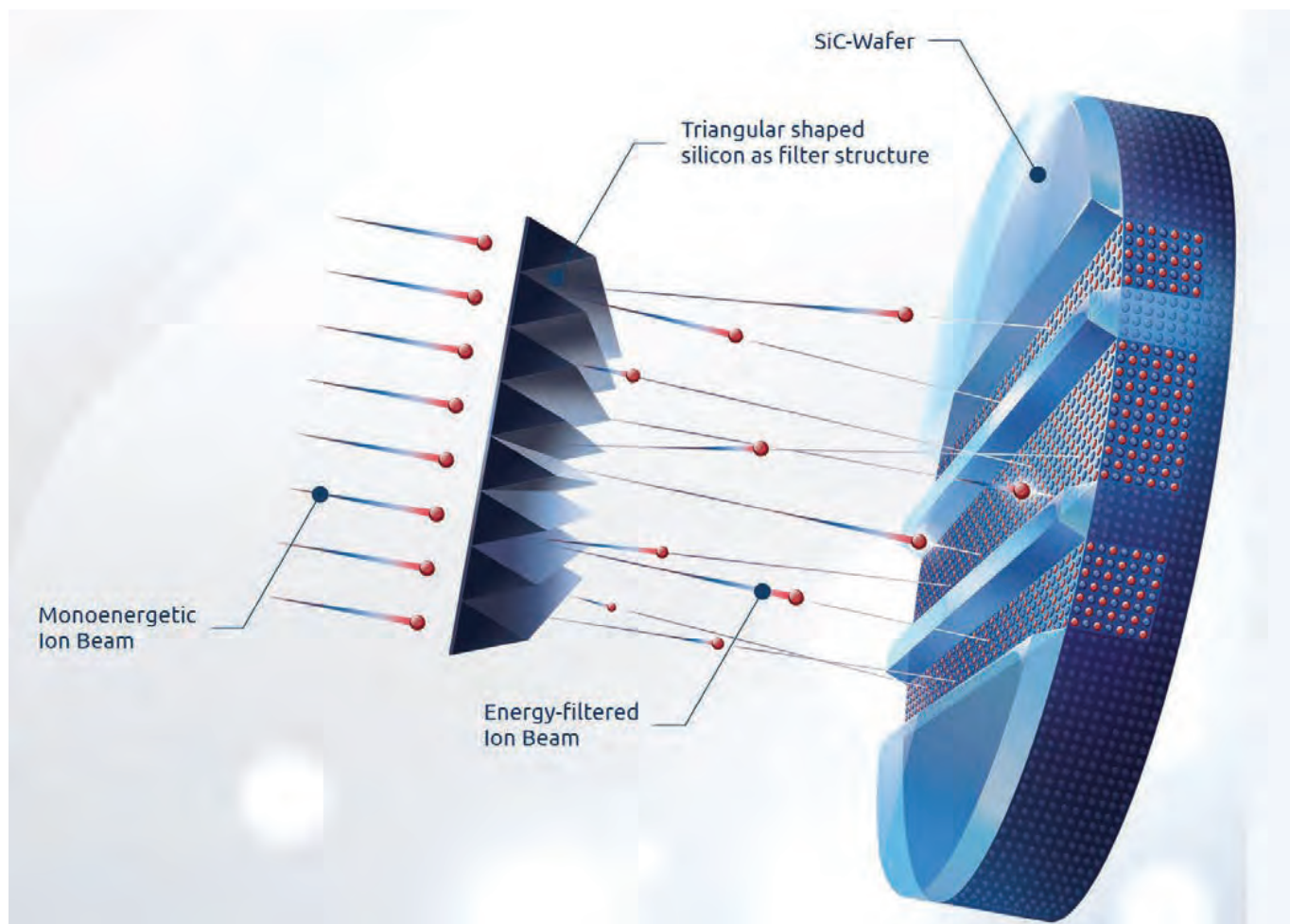


图1. 垂直的硅超结器件的横截面。



对于硅超结器件，制造往往涉及多次外延的方法。它首先在未掺杂的外延层中并排地离子注入 p 和 n 型区域，从而来定义 p 型柱。而在重复注入工艺之前，要在顶部沉积另外一层外延层。重复这些步骤五到十次，形成欧姆的 p 和 n 柱，然后再进行高温扩散工艺（见图 3）。

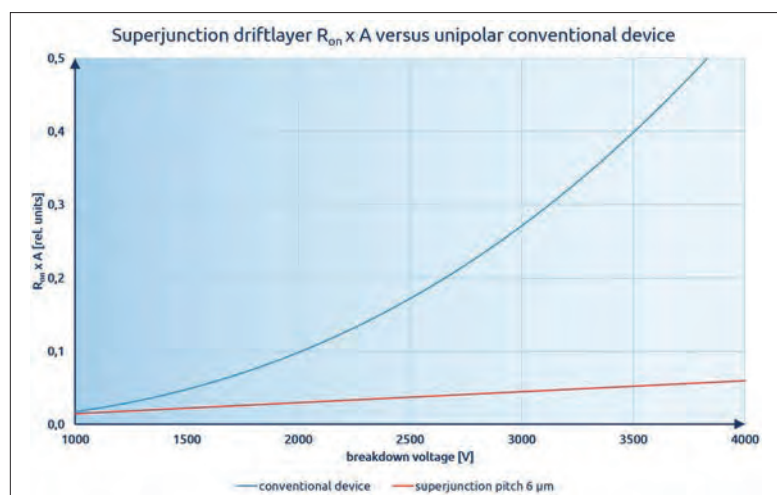


图2. 传统和超结SiC功率MOS的漂移层导电电阻，来源于日本专利9701201.1中所描述的理论。

对于 SiC，这种方法不是一种选择。这是因为传统的掺杂剂，如铝和氮，具有极低的扩散系数。这意味着在 SiC 超结设计中需要扩散 3-5 μm 的距离是不可行的。

无论使用何种方法，都必须确保器件中的电荷平衡，因此必须实现高精度的掺杂。这就排除了外延 p 掺杂的沟槽填充等技术，因为在 SiC 外延层的大批量生产中，掺杂的精度很少优于 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 之间。

好消息是，有一种解决方案适用于大批量生产：离子注入，但没有扩散。我们在德国耶拿的 mi2 工厂 (MI2-FACTORY) 开创了这种技术形式。我们的技术能够生产深度客户定制的掺杂形貌，虽然它在半导体制造中的应用是全新的，但实际上它已成功应用于重离子癌症治疗很多年，我们只是略微改变了一点点而已。

我们的方法不同于传统方法，传统方法是单能的离子“注入”到预定义深度的区域，这称为投射范围。在这种情况下，对于给定的基板和离

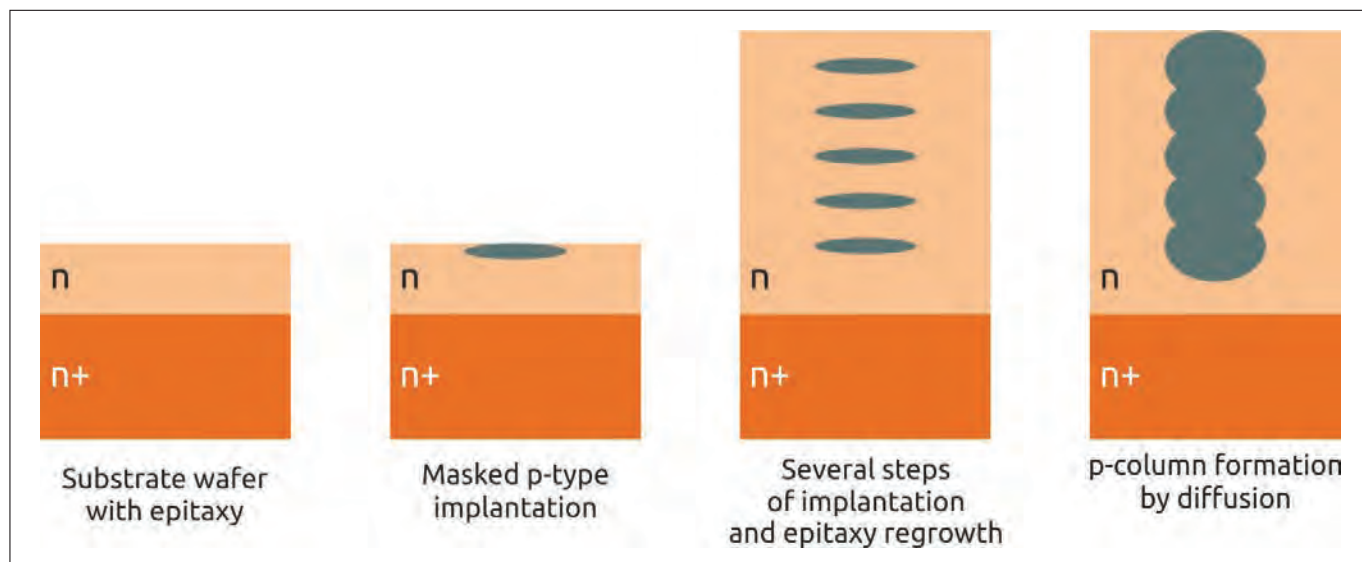


图3. 包括多次外延制造步骤的硅超结器件制造。

子组合，投射范围仅由离子能量限定。单次注入会产生注入离子的高斯峰。然而，可以通过每个源自不同注入能量的高斯分布，从而实现许多高斯分布的序列，由此来形成扩展的分布（参见图 4）。

不幸的是，扩展的分布需要很多次的注入。模拟表明，几微米的扩展深度范围需要 25 到 50 次具有不同能量的单次注入的序列。这很昂贵、复杂并且容易出错。

我们倡导了一种更简单的方法：一次注入，一种离子能量和一个非常特殊的滤过滤器。通常这被称为离子注入的能量过滤器，我们的技术就涉及搭配使用微图案膜，它可以将单能离子束转换成连续的离子注入能量（参见图 5）。将该膜放置到离子通过的路径中，离子就不单单注入到某

个深度，而是同时注入到各种深度，其中最大深度是由最初的离子能量决定的。通过这种方法，我们就可以以一种非常直接的方式，获得连续深度的剖面形貌（见图 6）。

凭借我们的技术，大规模生产 SiC 超结晶体管成为了可能。我们的方法消除了对扩散的需求，取而代之的是提供了极高精度的技术。生产成本由此也很低，因为离子注入只需要一步，就可以实现采用铝的 p 型掺杂和采用氮的 n 型掺杂工艺。

我们这个方法的主要限制之一，就是用于 SiC 晶圆制造的兆电子伏特的离子束的可用性很有限。为解决这个问题，我们为 SiC 芯片制造客户提供了一个循环工艺的选项。这适用于那些试生产的，以及那些制造数量达到中等批量生产规模的，即每月数百个晶圆。对于更高的产量，我们建议工厂安装工业串联加速的注入机。更进一步的发展，我们计划改进我们的技术，使其与更简单的离子注入设备兼容，而不仅仅是今天工业上应用的静电串联加速设备。

虽然这种离子注入技术中，作为能量过滤器的膜是消耗品，但这并不妨碍它们支持稳定、可靠的工艺。根据离子剂量，可以仅用一个膜来注入多达一百片六英寸的晶圆。鉴于每次注入所需的膜成本非常低，使用我们的技术时，芯片成本通常会下降，因为其优点包括减少通过超结设计器件的相关尺寸。

虽然我们的离子注入技术可能使其对超结晶体管的影响最大，但它也可以通过提高掺杂精度来改善其他 SiC 功率器件的性能（见图 7）。

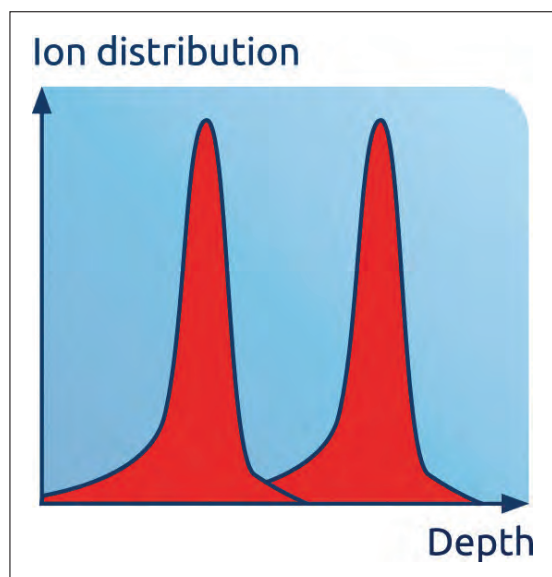


图4. 不同能量的两次离子注入基本上会得到高斯峰。

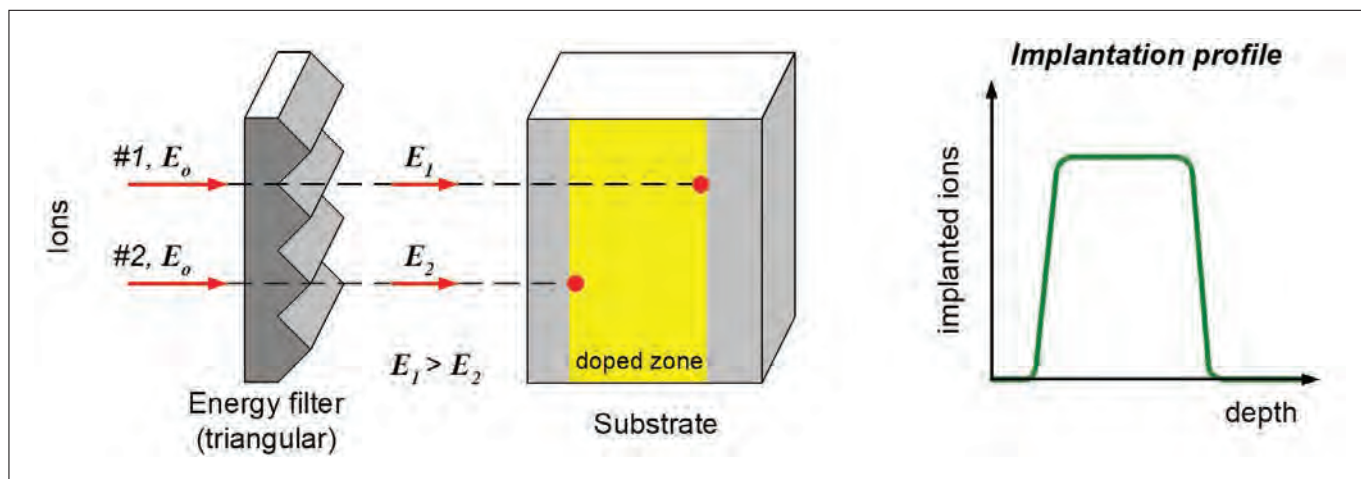


图5. 由mi2工厂开创的离子注入能量过滤器。根据各个离子必须穿过滤器膜的路径长度，来修改最初离子的能量。通过峰的长路径会导致高的能量损失，而通过谷的短路径会导致低的能量损失。

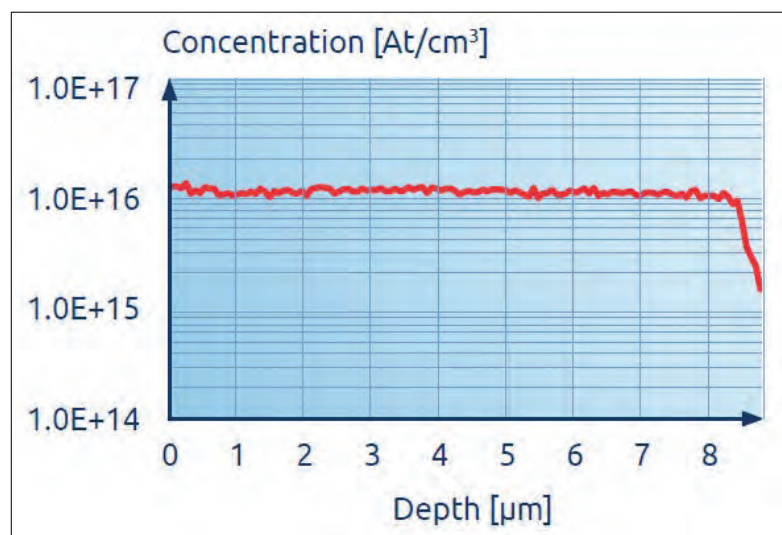


图6. 1200V SiC器件的氮深度曲线。

例如，600V 和 1200V SiC 二极管可以从我们的技术中受益。在这些器件中，正向电压的下降主要由漂移层掺杂水平和厚度决定，优化这两

个特性通过可用的外延工艺技术决定。例如，为了避免由工艺变化引起的非故意低掺杂水平的影响，SiC 二极管通常设计得比能够获得最佳工艺条件时的更大。通过将外延沉积过程中的原位掺杂，切换到我们用于离子注入技术的高性能能量过滤器，我们估计可以将 1200V 器件的面积缩小约 20%。

我们在几年前开展的工作支持我们这里的芯片尺寸减小的说法。早在 2014 年，在与一个产业合作伙伴合作时，我们参与了一个研发项目，来研究掺杂精度的影响。在这个项目中，我们比较了常规生产的 600V 合并 p-i-n 肖特基二极管，与采用我们的离子注入技术形成器件的关键特性的变化。我们发现差分电阻，阻断电压和漏电流的参数分布要窄得多，突显出我们的离子注入技术应用的能量过滤器对于减小芯片尺寸的潜力（见图 8）。



图7. 由mi2工厂开发的离子注入技术的能量过滤器可用于制造二极管和晶体管。

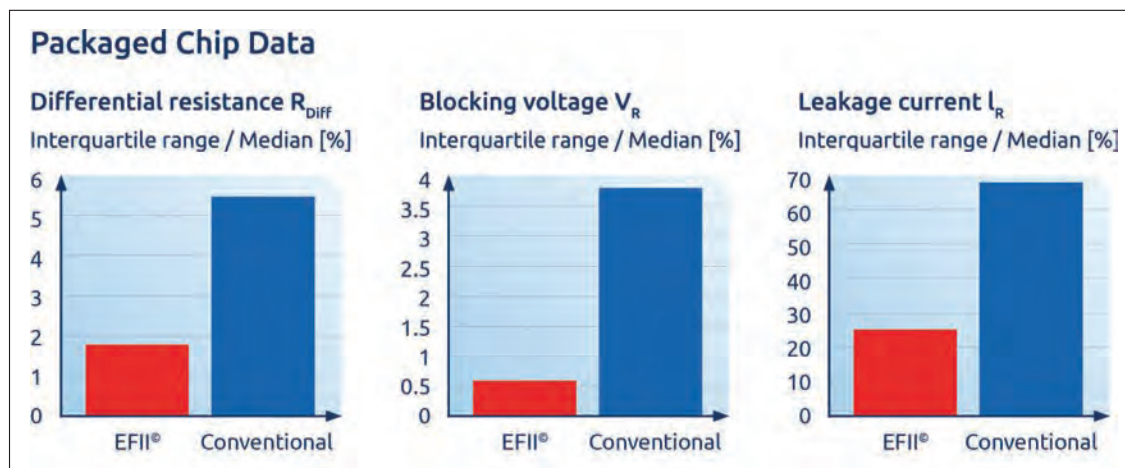


图8. 早期与芯片制造行业合作伙伴的研发项目结果，突显出二极管关键属性在展宽方面的减小。

今天，我们的技术已经站稳脚跟，可以很好地提供二极管和超结所需的基本均匀的掺杂分布。未来，这些器件的设计将不断发展，通过引入渐变漂移层掺杂分布，可以将效率提升到一个新的水平。我们打算支持这一发展，已经开始开发一种我们技术的先进形式，能够提供更复杂的掺杂分布。

为了支持这项工作，并最终支持我们的客户，我们开发了一种软件工具，能够模拟所有类型的过滤器 - 基板组合。这包括掩模基板（见图9）。我们相信对我们技术的兴趣将会不断增长。SiC超结注定会提高功率晶体管的效率，而我们用于离子注入技术的能量过滤器是实现这些器件生产的关键技术。其他二极管和晶体管也将受益于我们的掺杂方法，因为我们的技术能够提供更高的精度，从而可以实现尺寸的减小，由此可以显著节约成本。

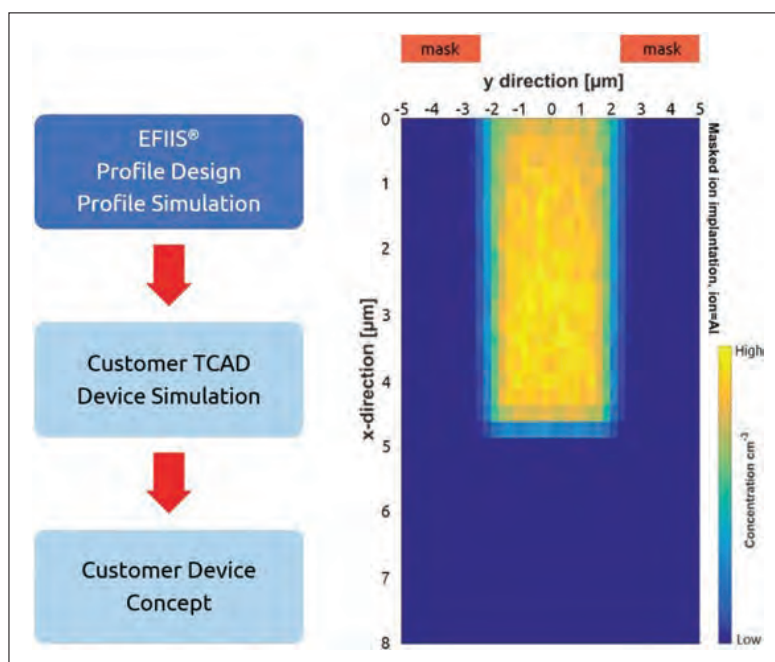


图9. 左图：mi2工厂采用的方法，用离子注入能量过滤器支持客户的器件设计。右图：使用能量过滤器的离子注入在SiC中形成的5μm深p柱。

扩展阅读

- T. Fujihira et al., "Semiconductor device with alternating conductivity type layer and method of manufacturing the same," Jpn. Patent 9701201.1 (1997)
- G. Deboy et al. IEDM 683 (1998)
- F. Udrea et al. IEEE Trans. Electron Devices 64 713 (2017)
- R. Rupp et al. Materials Science Forum 858 531 (2016)
- S. Agostinelli et al. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res 506 250 (2003)

用金刚石吸出热量

由于面向该技术的供应链不断强化，因此利用金刚石薄膜将热量从 GaN 晶体管中吸出的做法将变得越来越普遍。

RICHARD STEVENSON 报道

金刚石拥有许多优良的特性。它以辉煌耀眼的光泽闻名于世，这使其成为制造珠宝的非常不错的选择；它具有很高的硬度，因而可在用于切割、钻孔和锯切的工具中使用，也可在唱机悬臂的顶端上使用（以跟踪黑胶唱片中的调制）。

虽然知道的人较少、但是同样很优异的特点是金刚石的导热性。由于具有强共价键和低声子散射，因此其导热系数约为 $2000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ，该数值是铜的 5 倍。

这种高得让人难以置信的导热性吸引了电子业界的浓厚兴趣，他们一直在研究金刚石从 GaN HEMT 提取热量的能力。在这个方向上的努力可以回溯到 2003 年，首次成功的尝试是制作了金刚石基 GaN 结构。从那时起，里程碑式的事件包括 2006 年首个金刚石基 GaN 晶体管的问世，以及美国国防部高级研究计划局（DARPA）于 2011 年启动的近结热传输（NJTT）项目，该项目对这项技术的发展起到了助推作用。

近期又取得了进一步的进展，为支持金刚石基 GaN 技术的商业化奠定了基础。目前，多家公司在这个刚刚起步的新兴行业中起着重要的作用，其中不少公司都参加了 2019 年 1 月底在英国布里斯托尔举行的为期一天的“金刚石计划启动日”（Diamond D-day）会议。在此次由布里斯托尔大学 Martin Kuball 组织的聚会上，与会者包括金刚石沉积工具供应商、金刚石基 GaN 外延片和晶圆代工服务提供商、以及器件制造商。

在太空中

金刚石基 GaN HEMT 的先驱之一是 Akash Systems。这家位于美国加州旧金山的公司致力于开发小型卫星、卫星发射机、以及为前者提供运行支持的 RF 功率放大器。

该公司负责材料的副总裁 Daniel Francis 代表 Akash 发表了讲话，他以“金刚石是卫星的最佳拍档”作为开场白。他认为，增添一个金刚石基底可使功率密度增加三倍，并大幅降低工作温度。他援引了美国空军研究实验室所做的工作，指出：与硅基 GaN 和 SiC 基 GaN 器件相比，增加一个金刚石层可使通道温度下降 40% 至 50%。

这种降幅具有重要的意义。需注意的是，太阳光可以将卫星温度推高至 180°C ，而辐射是散热的唯一选择，因此尽可能多地从器件中提取出热量是至关重要的。Akash 采用 4 英寸晶圆来生产其金刚石基 GaN 器件。Francis 说：“如果不是完整的晶圆片，那就不是生产。”

他概要描述了三种用于形成金刚石基 GaN 结构的可能选项。一种是直接在金刚石上生长 GaN 层，但是这需要使用中间层，而金刚石衬底相对较小的尺寸无法为其提供安置空间。另一种选项是键合，但是需要使用“粘接剂”将 GaN 与金刚石粘合起来。非晶态 SiC 是一种受欢迎的选择，但是它的导热系数仅为 $1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ，因而有损于金刚石层所具备的优势。

第三种方法（Akash 热衷采用）是在基于 GaN 的外延结构上生长金刚石。这家美国西海岸

公司的工程师们从具有 SiN 过渡层的硅基 GaN 外延片入手，该过渡层的厚度 $< 35\text{nm}$ ，导热系数约 $10\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ ，并提供了一个良好的介质分界面。器件的制造包括将外延层与硅衬底分离。

在改善生产方面所做的努力实现了一致性的提升，这与去除 AlGaIn 缓冲层、更好地控制粘附层的厚度（现被控制在 5 nm 以内）、以及将晶圆翘曲度减低至 $< 20\text{ }\mu\text{m}$ 是相关联的。

工程师们期望的金刚石层目标厚度是 $125\text{ }\mu\text{m}$ 。为了确保这一目标的实现，他们沉积了更多的材料，并随后运用一道抛光工序，以将金刚石减薄至所需的厚度。

Francis 指出，当金刚石的生长开始时，会产生具有低导热系数的纳米晶体。但是，随着生长

的继续，颗粒变大，从而提高了导热系数。

在加工晶圆上进行的电容 - 电压测量显示一个“低且平坦的电容”。这归因于低的界面充电。相比于硅基 GaN，出现的情况与 SiC 基 GaN 的类似程度要高得多。

对最新多指型器件（multi-finger devices）所做的研究结果显示，功率附加效率在 60% 左右。据 Francis 称，这个数值可与工作频率为 10 GHz 的标准器件相媲美。

金刚石基 GaN 外延片

倘若金刚石基 GaN 器件的开发人员更喜欢使用这种材料的外延片开始其制造工作，那么他们就可以选择从 RFHIC 购买 4 英寸晶圆材料。



在 Diamond D-Day 大会上，RFHIC（美国）公司董事兼总经理 Won Sang Lee 在他演讲一开始就表示，SiC 基 GaN HEMT 外延片市场的“走势强劲”。不过，他认为金刚石基 GaN 将是“下一步”。

RFHIC 希望成为金刚石基 GaN 半导体行业的先驱。它做好了充足的准备，拥有 63 项与该技术有关的专利，以及据说覆盖面非常广泛（仅商用卫星领域除外）的独家专有知识产权。该公司已经确定了金刚石基 GaN 的多个潜在市场，包括自动驾驶汽车、军用雷达、以及工业、医疗和科学领域。

Lee 比较了被他视为用于 RF、高功率器件的三大主要技术，即：硅 LDMOS、SiC 基 GaN、和金刚石基 GaN。他认为，只有后者能够提供高达 100 GHz 的工作频率，从而使其在面向未来的候选方案中一马当先。

据他预测，金刚石基 GaN 的成功将随着其在 5G 基站中的部署应用而拉开序幕。这种材料组合的优点并不限于高功率密度，还包括：更高的线性度（源于优越的载流子传输）；和更好的可靠性（得益于芯片的工作温度较低）。

RFHIC 早在 2015 年就启动了其金刚石基 GaN 技术的开发，如今能在韩国大批量生产金刚石基 GaN 材料，并在其位于美国的研发机构进行小批量生产。该公司的计划是在今年第二季度开始向其客户运送工程样品。

今后的目标包括将金刚石基 GaN 的生产量增加至每个月 100 颗外延片，优化器件层以改善性能，并提高良率（目前仅为 40%）。

器件晶圆代工厂

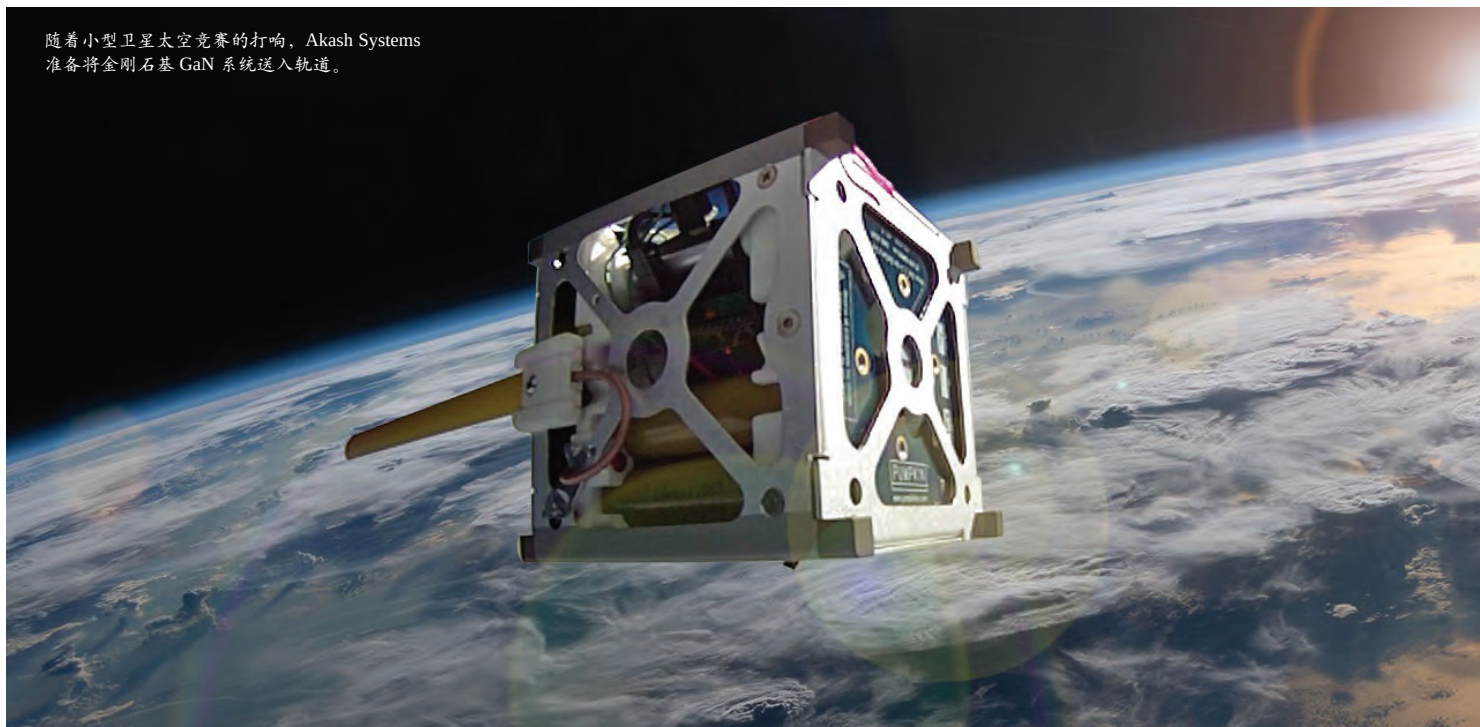
化合物半导体晶圆代工服务提供商 GCS 是一家有能力将 RFHIC 的金刚石基 GaN 外延片加工成器件的公司。在布里斯托尔，该公司的一位发言人 Daniel Hou 详细阐述了采用这种方法存在的一些挑战和可获得的回报。

一个不利之处是，在自动化晶圆厂里，有些工具或许无法处理这些外延片。这可能是由材料中的拉伸应变引起的，造成高达几毫米的晶圆翘曲度。这样的扭曲会严重影响光学步进曝光机（i-line steppers）的印刷工艺。Hou 解释说，针对这种问题的解决方案是选择一种具有适当热膨胀系数的载体。通过组合使用多孔 SiC 载体、干法和湿法蚀刻步骤、热释放胶带粘结和高温聚合物粘结，可将晶圆翘曲度减小至仅为 20 μm 。

Hou 指出，另一个问题是离子注入隔离步骤会导致“巨大的”漏电流。漏电流飙升了 6 个数量级。

GCS 的工程师们借助用于表面处理的附加步骤解决了这种漏电流的激增问题。这形成了与硅基 GaN 相似的 DC 特性：最大电流为 1 A/mm，峰值跨导为 250 mS/mm，击穿电压超过 100 V，

随着小型卫星太空竞赛的打响，Akash Systems 准备将金刚石基 GaN 系统送入轨道。



且开关比高于 106。

对这些器件进行的 RF 测量结果是令人鼓舞的。当给 0.65 μm HEMT 施加 10% 的占空比，并把电压从 50 V 提升至 100 V 时，将在 2 GHz 频率条件下使功率密度从 15.5 W/mm 增加到 22.5 W/mm。

另外，GCS 还将工作重点定位在开发一种穿越衬底的过孔工艺。该工艺包含：从正面激光打孔；镀金以部分地填充过孔；溅射一种籽金属；然后在正面和背面上镀金。

采用这种工艺制造的多指型器件能够产生一个 11.2 W 的输出和 15 ~ 19 dB 的增益。Hou 将这些结果描述为“相当好”，并表示，它们提供了过孔工艺“可行”的证据。

全金刚石器件

凭借 5.45 eV 的带隙（比氧化镓的带隙更高），金刚石也可以被看作是一种用于制造高功率器件的有前途的材料。

欧洲航天局的 Andrew Barnes 在一次演讲中简要地论述了采用金刚石器件所获得的一些结

果。他提到了具有 20 GHz 最大振荡频率和约 7.7 GHz 截止频率的晶体管。这实现了高达 22 dB 的增益，被 Barnes 描述为一个“相当令人鼓舞”的结果。

不过，他提醒聆听演讲的观众：金刚石是存在自身缺陷的，包括价格十分昂贵，而且非常难以进行掺杂等。

设法回避使用金刚石器件存在另一条更有力的理由，是由卡迪夫大学（Cardiff University）的 Oliver Williams 提出的，他说：“我的博士学位就是关于金刚石器件的，研读过程并不顺利。”在他看来，n 型掺杂不起作用，而且同质衬底的直径被“卡”在半英寸，尽管早在 20 年前就有预言说直径 1 英寸材料的问世“指日可待”。

因此，根据 Diamond D-day 会议上的演讲和展示，最好是将金刚石在化合物半导体行业中的作用限制在从 GaN HEMT 中吸出热量上面。当被用来完成这项任务时，它能够做得非常好。而且，随着供应链的不断增强，金刚石基 GaN 器件即将迎来在太空中开始得到广泛应用的契机，并且越来越多地部署在距离普通家庭近得多的应用中。☞

瀚天天成使用 AIXTRON 设备加速 SiC 器件商业化进程

近日，全球领先的半导体行业沉积设备供应商 AIXTRON 爱思强股份有限公司宣布，AIXTRON 已为瀚天天成电子科技（厦门）有限公司提供了一台 AIX G5 WW C 设备，支持其进一步开发下一代碳化硅（SiC）外延片产品，主要用于制造电动汽车中的功率器件。AIXTRON 的高产能机台已于 2019 年第三季度运至中国厦门瀚天天成的洁净室。

AIX G5 WW C MOCVD 使用基于经过量产客户验证的 AIXTRON 行星式反应器®平台，并导入全自动化卡匣式（C2C）晶圆传输系统，实现了业内单腔最大片数（8 x 6 英寸）及最大产能。它同时提供了灵活的 6 英寸和 4 英寸配置，旨在将生产成本压缩到最低，同时保持优良的产品质量。

瀚天天成寻求进一步扩大其产能，以满足客户日益增长的需求。作为一个领先的中国生产商，瀚天天成已建成 4 英寸和 6 英寸生产线，为客户提供 600 伏，1200 伏和 1700 伏碳化硅功率器件的外延片产品。

“近年来，我们已被汽车和其他行业的器件制造商评为领先的 SiC 外延片供应商，在这个极具挑战性的行业里建立了良好的口碑。至目前为止，我们已经为全球 100 多个客户提供一流的服务。随着 AIX G5WW C 的引入，2019 年我们的年产能将增加到 6 万片。我们最近完成了 18000 平方米新工厂的一期扩建，为年产 40 万片的目标提供洁净室空间。我们和我们的客户都有高质量的标准，我们依赖于行业领先者，例如 AIXTRON 和他们成熟的系统来满足这些要求。我们十分期待使用 AIX G5 WW C 来实现 SiC 外延片的大规模量产。”瀚天天成总经理冯涂博士说。

AIXTRON SE 爱思强股份有限公司总裁 Felix Grawert 博士评论道：“我们很高兴与领先的外延代工厂合作，进一步加速碳化硅器件的商业化进程。碳化硅功率器件将助力众多高端电力电子应用的发展，这意味着我们正在为电动汽车及可再生能源等国际大趋势铺平道路。

Advertiser	广告商名称	网址	页码
AIXTRON SE	德国爱思强股份有限公司	www.aixtron.com	1
CS International Conference		www.csinternational.net/register	IBC
Evatec Ltd.		www.evatecnet.com	9
IQE		www.iqep.com	11
Semicon China 2020		www.semiconchina.org	15

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、封测技术, 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)
sunnies@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)
gavinh@actintl.com.hk
Tel: 86-755-2598 8571

Shanghai (上海)
Hatter Yao (姚丽莹)
hatter@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 (边团芳)
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

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)
Regional Sales Director
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

3 EVENTS **2** DAYS **1** TICKET

31 March - 1 April 2020

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 100 presentations covering the entire spectrum of the compound semiconductor, integrated photonics photonics and global sensor supply chain.

CS INTERNATIONAL
CONFERENCE

Connecting, informing
and inspiring
the compound
semiconductor industry

www.csinternational.net



**Talk to us about sponsorship NOW
as it will be another sellout**

PIC INTERNATIONAL
CONFERENCE

Creating and
strengthening
links between
chipmakers and
network builders

www.picinternational.net

SSI INTERNATIONAL
CONFERENCE

Sensor Solutions:
Market opportunities



www.sensorsinternational.net

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



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4期

化合物半导体



•CHINA

季刊 2019年 第4期

化合物半导体



•CHINA

季刊 2019年 第4期



www.compoundsemiconductorchina.net