

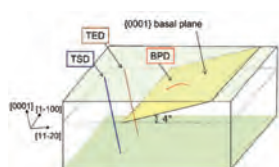
化合物半导体



• CHINA

季刊 2019年 第3期

SiC基板



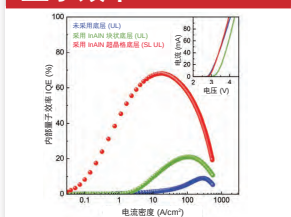
GaN透明晶体管



III-V族RF-CMOS技术



提升UV LED内部量子效率



金属箔上的 microLED





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





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

封面故事 Cover Story

10 金属箔上的microLED Making microLEDs on metal foils

美国新墨西哥州的iBeam Materials公司，在多晶柔性金属箔上沉积高质量的外延GaN，为大面积，低成本，适用于卷对卷制造的GaN基器件生产工艺打开了大门。这项突破性技术解决了大面积、低成本的更小LED阵列制造和转移的挑战，通过转换到金属箔上生长的晶体管 and LED的单片集成，使microLED显示器的制造向前迈出一大步。

- Vladimir Matias和Julian Osinski, iBeam Materials公司

编辑话 Editor's Note

04 microLED商业化还有多远? How far is microLED commercialization?

- 赵雪芹

业界动态 Industry

05 碳化硅展翅腾飞 无限想象在未来 Silicon carbide flying off with infinite vision in the future

07 Glo 即将步入 microLED 商业化阶段 Glo On Cusp Of Commercialization

09 Luumii公司宣布microLED进入量产 Luumii began to put microLEDs into mass production

技术Technology

16 溶液法生长优异的碳化硅 Superior silicon carbide

- Kazuhiko Kusunoki, Kazuaki Seki, Yutaka Kishida; NIPPON STEEL AND SUMITOMO METAL CORPORATION

- Hironori Daikoku, Hiroaki Saito, Isao Kobayashi, Hiroshi Mihara; TOYOTA MOTOR CORPORATION

21 GaN透明晶体管: 隐形接触 GaN transparent transistors: invisible contacts

- Zhihong Liu, 新加坡-麻省理工学院研究与技术联盟

- Geok Ing Ng, 南洋理工大学; Eugene Fitzgerald, 麻省理工学院

26 集成逻辑电路和无线功能 Combining logic and wireless

- Cezar Zota, Clarissa Convertino, lukas Czornomaz; IBM 苏黎世分部

科技前沿 Research Review

32 镁掺杂效率随 GaN 的平面而变化 Magnesium doping varies with the plane of GaN

33 添加铟可提高 UV LED 的功率 Adding indium ups the power of the UV LED

34 石墨烯点亮了深紫外 LED 的发展前景 Graphene brightens deep UV LEDs

36 广告索引| Advertisement Index

关于《化合物半导体》

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

About Compound Semiconductor China

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



扫一扫
免费下载电子书

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

microLED 商业化还有多远？

相比 LCD 和 OLED 显示技术，microLED 显示技术具有更明亮、更高效、更低功耗等优势，可以在阳光直射下读取显示信息，并且具有极好的可靠性、长使用寿命和坚固耐用性。基于这些优势，microLED 显示器有望取代可穿戴设备、手机及 AR/VR 中的 OLED 和 LCD 屏幕，预计未来 microLED 市场将非常巨大。

本期杂志的封面故事介绍美国新墨西哥州的 iBeam Materials 公司，在多晶柔性金属箔上沉积高质量的外延 GaN，为大面积，低成本，适用于卷对卷制造的 GaN 基器件生产工艺打开了大门。这项突破性技术解决了大面积、低成本的更小 LED 阵列制造和转移的挑战，通过转换到金属箔上生长的晶体管和 LED 的单片集成，使 microLED 显示器的制造向前迈出一大步。详细信息请阅读本期杂志的封面故事文章：金属箔上的 microLED。

近期，一些厂商已经相继展示 microLED 显示器产品，或者与其相关的技术和解决方案。

英国 Plessey 于 2018 年发表硅基氮化镓 (GaN-on-Si) 的单片 microLED 后，便与 Vuzix、JSC、Nanoco Technologies、AIXTRON 等业界伙伴合作开发相关应用。在 CES 2019 展出 microLED AR/VR 智慧眼镜后，Plessey 也于 2019 年 Display Week 发表 AR 应用的 0.7 吋 microLED 显示器。

2018 年底，日本 UV-LED 制造商 Nitride Semiconductor 声称开发了一种制作 microLED 的简易方法，可以打造性能更好的显示器。Nitride Semiconductors 成立了全资子公司 Micro Nitride，以开发和制造用于 microLED 显示器的 micro UV-LED 芯片。该公司称，micro UV-LED 已经做好了大规模生产的准备。重要的是，该公司与日本显示器供应商 V Technology 开展着合作。Nitride Semiconductors 首先瞄准的是用于下一代智能手机的柔性显示器，预计这种显示器将于 2020 年进入商业市场。

2019 年 1 月，韩国三星在美国 CES 上，展出了 75 吋模块化 microLED 显示器，使用中国台湾 创公司 (Play Nitride) 生产的芯片，运用自家研发的巨量转移技术，将芯片转移到玻璃背板。LED 芯片大小只有其 2018 年推出的“电视墙 (The Wall)”产品的 1/15，实现了真正 microLED 等级的显示器。

2019 年 1 月，美国加州的 Glo 公司也展示了采用该公司的 microLED 制成的智能手表，并预计采用 microLED 显示屏的便携式产品很快将会面市。Glo 的可穿戴式显示器原型基于红、绿和蓝光 microLED，对角线尺寸为 1.5 英寸，每英寸容纳的像素数为 264 个。至关重要是，在与 LCD 和 OLED 显示器中使用的相同的低温多晶硅背板上，20 μ m InGaN microLED 提供了异常出众的清晰度。

2019 年 4 月，在美国广播电视产业展会 NAB 2019 上，Sony 宣布其正为日本资生堂集团在横滨的研究中心架设一台 16K 的 CLEDIS microLED 屏幕。

Rohinni 公司自 2018 年起，陆续与面板厂京东方、汽车零件厂 Magna 和设备厂 K&S 成立合资公司。Rohinni 于 2019 年 Display Week 展示 miniLED 背光灯条及灯板产品，并在 2019 年 8 月宣布 mini LED 背光键盘进入量产。

随着 microLED 进入成长期，吸引很多厂商持续投入资源进行研发，虽然仍有许多技术阻碍和设备限制难以克服，生产成本无法降低，但是，目前技术已经出现显著进展，早期的专利技术也陆续转化成实体样品展示。比如索尼和三星等公司采用 microLED 来构建尺寸较大的显示器，估计超大尺寸显示器将会是 microLED 率先导入市场的应用类别。未来随着技术成熟，microLED 商品化将继续进展，预估至 2023 年 microLED 市场将达 42 亿美元。

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

雅时国际资讯 ACT International
香港九龙 B,13/F, Por Yen Bldg,
长沙湾青山道478号 478 Castle Peak Road,
百欣大厦 Cheung Sha Wan,
13楼B室 Kowloon, Hong Kong
Tel: (852) 2838 6298
Fax: (852) 2838 2766

北京 Beijing

Tel/Fax: 86 10 64187252

上海 Shanghai

Tel: 86 21 62511200
Fax: 86 21 52410030

深圳 Shenzhen

Tel: 86 755 25988571
Fax: 86 755 25988567

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



碳化硅展翅腾飞 无限想象在未来

第二届亚太碳化硅及相关材料国际会议特别报道

随着传统的硅半导体工艺尺寸的不断缩小，逐渐接近其物理学上的极限，半导体业界正在不断积极探索新的技术发展路线，包括新材料、新工艺、新的器件结构和系统设计……在此背景下，化合物半导体技术近几年快速发展。特别是在 5G 通信、人工智能、物联网、自动驾驶、电动汽车等新兴领域的推动下，近年来，以碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）为代表的第三代半导体材料已经受到业界的极大关注。

2019 年 7 月 17-20 日，第二届亚太碳化硅及相关材料国际会议（Asia-Pacific Conference on Silicon Carbide and Related Materials (APCSCRM 2019)）在北京世纪金源大饭店隆重召开，超过 550 名来自全球化合物半导体业界的专业人士，包括瑞士、美国、日本、瑞典、德国、韩国、中国台湾等十余个国家或地区代表参加了会议。



APCSCRM 2019 会议会场

APCSCRM 2019 会议由中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟、SEMI 国际半导体产业协会、中国科学院物理所和中国晶体学会联合主办。APCSCRM 2019 会议主题包括：宽禁带半导体材料生长与外延技术；宽禁带半导体器件及测试分析技术；宽禁带半导体器件封装模块、系统解决方案及应用；半导体产业标准化及 EHS 发展。

APCSCRM 2019 大会主席，北京天科合达半导体股份有限公司首席科学家、中国科学院物理研究所陈小龙教授介绍：APCSCRM 是亚太地区关于碳化硅等宽禁带半导体相关材料、器件的产业与学术并重的一个高水平研讨会。会议围绕宽禁带半导体材料生长技术、材料结构与物性、光电子和

电子器件研发以及相关设备研发和半导体技术、产业及标准化发展等领域开展广泛交流，促进产学研的相互合作和交流。



APCSCRM 2019 大会主席陈小龙教授主持会议

“近年来，碳化硅等宽禁带半导体已成为全球高技术领域竞争的战略制高点之一，是国际半导体及材料领域研究和发展的重点。在光伏逆变器、新能源汽车和 5G 通信应用牵引下，宽禁带半导体正逐步形成规模巨大的产业。为了推动亚太地区碳化硅等宽禁带半导体产业与学术的发展，加强交流与协同创新，中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟和中科院物理研究所从 2018 年开始发起并成功主办了亚太碳化硅及相关材料国际会议。”陈小龙教授说。

APCSCRM 2019 会议内容丰富全面，近 70 个报告涉及了宽禁带半导体从材料外延生长、器件制造、封装测试、系统应用及标准建设等各方面，广泛交流化合物半导体的最新技术发展，并探讨整个产业链的完善与合作。

7 月 17 日，会议第一天，在北京世纪金源大饭店金祥厅会进行了 APCSCRM2019 暖场会议——“宽禁带半导体技术与产业发展高峰对话”，来自业界前沿的专家和代表们对目前宽禁带半导体技术产业发展的现状与未来进行了深度探讨。到场的专家认为：目前宽禁带半导体技术正处于一个高速发展期，中国在这个方面进步很快，宽禁带半导体技术在理论研究及商业应用也已经趋向成熟。

APCSCRM2019 会议邀请了日本三菱电机公司首席科学家 Gourab MAJUMDAR 博士来做报告，Gourab MAJUMDAR 介绍了宽禁带半导体材料及器件的研究进



三菱电机公司首席科学家Gourab MAJUMDAR博士做报告

展，以及 APCSCRM 国际会议对其将产生的影响。Gourab MAJUMDAR 表示：“随着气候变化成为一个至关重要的全球性问题，电力电子和功率器件在应对电力和能源转换和存储挑战方面的作用受到了广泛关注。在电力电子应用中，与系统设计相关的功率密度因子在过去二十年中得到了显著提高。这一增长的主要贡献来自及时开发更新的电力设备，这些设备是通过 IGBT 等电力芯片技术、封装结构和功能集成概念的多维重大突破而实现的。近几十年来，在各种应用需求的驱动下，IGBT 和智能电源模块（IPM）历经几十年的发展，已广泛应用于工业电机控制、家用电器、铁路牵引、汽车动力总成电子、风车、太阳能发电系统等各种电力电子设备中。在宽禁带功率器件方面也取得了很高的研发成果，特别是利用 SiC 作为未来电力电子的基础半导体材料。”

SEMI 中国区总裁居龙先生介绍了全球半导体产业的新变局新形势，他分析了全球半导体行业的现状，并预计全球半导体行业将经历另一个扩张周期，其动力来自新的智能应用终端市场，以及人工智能、机器学习和 5G 等新核心技术领域的增长机遇。

意法半导体公司市场战略总监（瑞士）Filippo DIGIOVANNI 先生的报告题目是：当今市场中的功率宽频带半导体解决方案。他认为：当前，制造业正努力应对日益增长的电力需求，这也导致大家对于更高效的能源转换解决方案的追求，同时可以为汽车行业带来更广泛的电动交通变革。电动汽车的发展，无论是电池混合动力车（BEV），还是轻度混合动力车（MHV）等，已经开始从概念转向预期的大规模生产。在此背景下，宽禁带功率半导体器件，包括碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN），可以通过在任何功率转换过程中削减功率损耗来降低能耗，从而在降低能耗方面做出显著贡献。

Alpha and Omega Semiconductors 公司张清纯教授（美

国）的报告题目是：SiC 和 GaN 功率器件的设计、商业化和应用。他介绍了其公司开发的 SiC MOSFET 和 GaN HEMT 功率器件的进展和重要成就。他表示：功率半导体器件是决定电力电子系统能量调节效率、尺寸和成本的重要元件。功率器件的进步使电力电子产品发生了革命性的变化，而今天的市场也为不同的应用提供了各种器件。尽管有了这些进步，Si 功率器件的性能已经接近极限。像碳化硅和氮化镓这样的宽禁带半导体材料由于其可以使功率器件在更高的效率、更高的功率密度和更高的温度下工作，而引起人们广泛的关注。目前，宽禁带功率器件，尤其是 SiC 功率 MOSFET 在电力电子领域得到广泛应用的主要障碍是与硅器件相比损耗高。

碳化硅行业将持续强劲增长

面对 2018 年以 SiC 和 GaN 为代表的宽禁带半导体电力电子领域 4.4 亿美元的市场规模，看着国内 SiC 和 GaN 电力电子器件市场未来五年 38% 的复合增速，我们不禁感叹——

宽禁带半导体产业未来的投资机会在哪里？

宽禁带半导体技术瓶颈有哪些？

SiC 和 GaN 谁的前景更广阔？

Ga2O3 会异军突起吗？

终极半导体金刚石何时实现应用？

……

围绕这些问题，业内知名企业家、顶级技术大咖和专家学者，在 APCSCRM2019 会议上共同探讨了宽禁带半导体的技术与产业的发展趋势，分享当前宽禁带半导体技术研究及产业发展现状，探寻宽禁带半导体技术与产业未来发展趋势和投资机会。

碳化硅功率器件具有耐高压、耐高温、切换速度快，可降低电力传输或转换时能量损耗等优点，已成为太阳能、电动汽车及充电基础设施建设、智能电网等领域关注的新兴产品。据行业市场研究机构预计，未来 10 年，全球碳化硅功率半导体市场规模将大增 10 倍左右，从 2018 年市场规模不足 4 亿美元，到 2030 年全球碳化硅市场规模有望达到 45 亿美元以上，主要推动力来自电动汽车、电力电子和光伏逆变器应用市场的增长。

透过这几天热烈的 APCSCRM2019 会议，我们深深感受到了业界对于碳化硅功率半导体的热切期望，期望它们的先进特性及诸多优势能够尽早地在电力电子等领域发挥作用，相信在不远的未来碳化硅功率半导体一定会带给我们满意的答案。OSC

Glo 即将步入 microLED 商业化阶段

Glo 公司在展览会上演示了 microLED 显示器，预计采用 Glo 公司的 microLED 制成的智能手表可能很快就戴到人们的手腕上。—— Rebecca Pool 报道

虽然 microLED 问世已经有相当长的时间了，但是实际应用产品尚不多。今年晚些时候，由 Glo 公司制造的采用 microLED 显示器的智能手表应该可以上市销售了。

Glo 的可穿戴式显示器原型基于红、绿和蓝光 microLED，对角线尺寸为 1.5 英寸，每英寸容纳的像素数为 264 个。至关重要的是，在与液晶显示器 (LCD) 和有机发光二极管 (OLED) 显示器中使用的相同的低温多晶硅背板上，20 μm InGaN microLED 提供了异常出众的清晰度。

另外，当今 OLED 显示器产生的亮度为 1000 尼特，而 Glo 的显示器则可产生耀眼的 4000 尼特亮度，具有宽广的色域、120 Hz 刷新速率和低于 1 W 的功率消耗。

Glo 公司首席执行官 Fariba Danesh 强调指出：“与 OLED 显示器相比，我们的显示器可提供高出 10 倍的亮度和提升 5 倍的功率效率。”

Glo 执行主席 Aniruddha Nazre 补充说：“我们正在与制造合作伙伴并肩协作，以在今年下半年向市场投放产品，对此我们非常有信心和感到满意。”

自从 2005 年从瑞典隆德大学抽资剥离组建以来，Glo 从众多的投资者那里吸引了超过 1.5 亿美元的基金，包括泛欧风险投资公司 Wellington Partners、瑞典的基金会资产管理公司 (Foundation Asset Management) 和名气最大的谷歌公司。

正如 Danesh 指出的那样，该公司目前拥有 65 名雇员，其中大多数为技术人员，而且许多人在化合物半导体方面具备深厚的经验。自从谷歌公司注入现金以来（这家科技巨头持有 Glo 13% 的股份），员工们一直专注于在低温多晶硅 (LTPS) 背板上生产器件（尤其是智能手表）。

Nazre 说：“如果 microLED 显示器想要与 OLED 显示器相竞争，那么它确实不得不利用现有的 LTPS 背板基础架构。因此，我们一直与这些背板的主要供应商保持合作并与之签订了一项制造协议，很快将签署第二项类似的协议。”

至关重要的是，Glo 的 microLED 可在非常低的电流（典型 LED 的 1/100）条件下高效地运行。由于可在此类微安级

电流下运行，因而使得 Glo 的器件适合与那些由晶体管在 LTPS 玻璃衬底以及 CMOS 衬底上驱动的显示器一起使用。的确，正如 Nazre 强调的那样，Glo 是目前唯一一家采用现成有售的商用 LTPS 背板来制作 microLED 显示器的公司。

与此同时，该公司还一直在扩大其红、绿和蓝光 microLED 的 LED 生产制造规模。如 Nazre 所说：“客户想要 50 万只、100 万只、500 万只甚至更多的智能手表；如果不能为他们解决产能问题，他们就永远不会再和你接触了，商业化始终都将只是空想。”

为此，Glo 的 microLED 的设计从一开始就是基于该公司位于加利福尼亚州森尼维尔 (Sunnyvale) 的试验性生产线上的标准 LED 设备。所以，Danesh 认为该公司能够非常容易地将其工艺“导入”高产量 LED 生产设备。

她说：“走进任何 LED 生产车间，都会发现他们拥有本质上和我们一样的工具设备；我们的关注点是不定制任何有可能在扩大生产规模时造成困难的东西。考虑到这一点，我们也可以使用市场上大量供应的背板，这样你就会看到我们具有一条非常简单的供应链。”

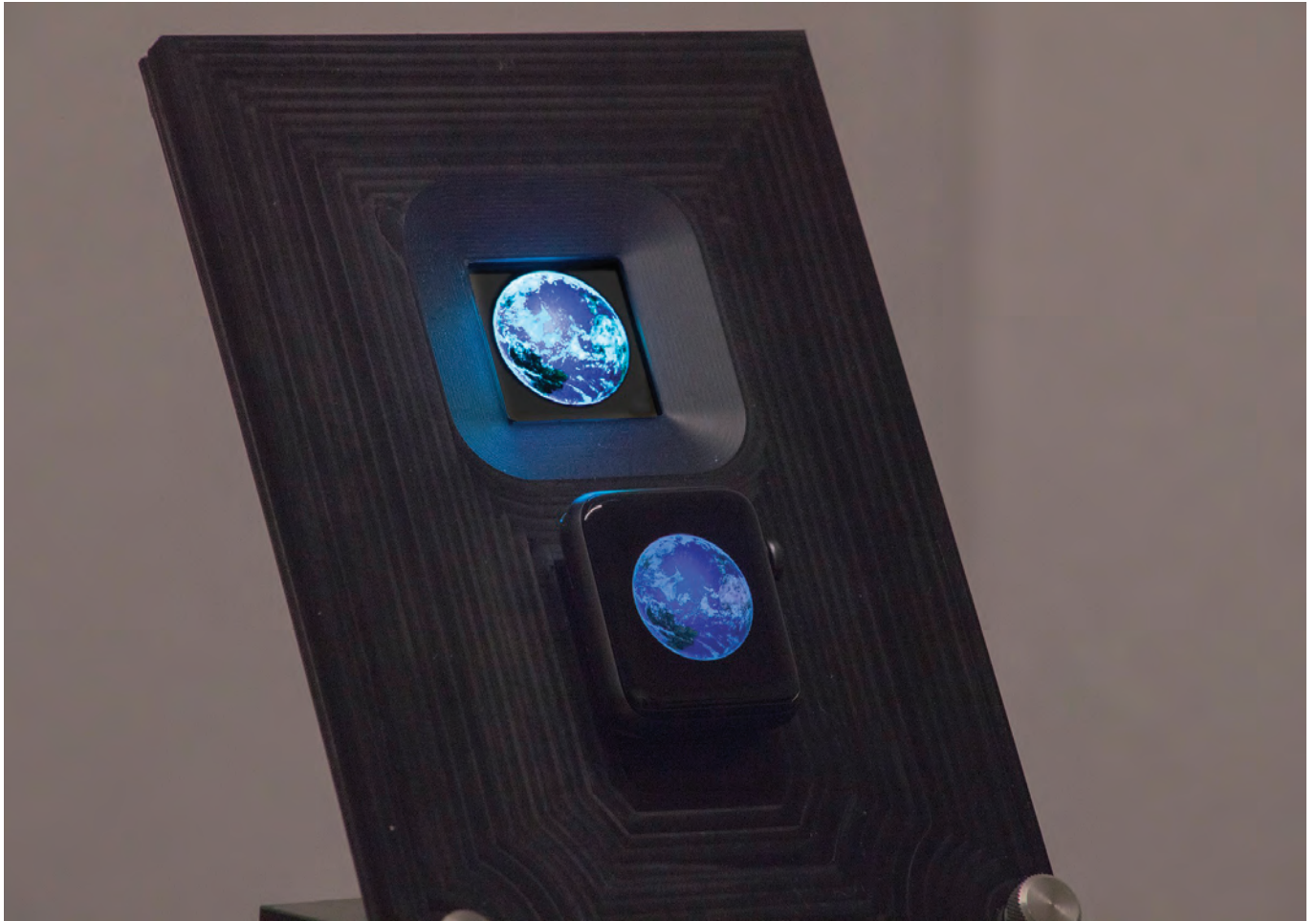
同时，Glo 所有的 microLED（红、绿、蓝）都是采用 GaN 制造的，因而简化了显示电路。并且，如 Danesh 坚持认为的那样，相对于 OLED 显示器，Glo microLED 的器件成本结构是良好的。

这位首席执行官说：“我们未使用这些复杂的 OLED 生产线，从而实现了成本的显著改善。”

她补充说：“我们已经能够利用可提供给显示器公司的现有规模经济。我们的确为他们开启了一扇大门，他们借此可创建能够与现有 OLED 相竞争、同时使用其现有基础设施的新技术，而且，这对于他们还是一个巨大的发展机遇。”

应对转移工艺问题

尽管如此，采用传统的“拾取和放置”转移工艺来制造 microLED 显示器是众所周知的难题，在该工艺中，所有的子像素以“一次一个”的速率放置在背板上。为解决这个问题，



许多公司一直在开发大规模转移工艺，这其中就包括 Glo。该公司拥有可扩展的直接晶圆转移工艺，因而能在 LTPS 和 CMOS 背板上制造分辨率高达 3000ppi 的 0.1 英寸至 75 英寸显示器。

的确，除了其 1.5 英寸可穿戴式显示器之外，Glo 还展示了一款 0.7 英寸 1000ppi 分辨率的红、绿和蓝光显示器，适用于 CMOS 背板上的人工现实和平视显示器。而且，该公司生产了对角线尺寸大于 8 英寸、分辨率高达 200ppi 的显示器，应用对象是平板电脑、笔记本电脑和壁挂式显示器等。

Nazre 说：“与其他已有的工艺相比，我们的‘大规模转移’工艺的不同之处之一是我们使用了完全选择性的直接晶圆转移。因此，不使用任何媒介物就能将 microLED 从晶圆转移到背板上，而且可以有选择地做这件事情。”

他补充道：“这一独一无二的，我们成功地做到这一点已经有两年了，而且可采用硅衬底和玻璃衬底。”

Glo 以及像索尼和三星这样的公司将采用 microLED “瓷砖” (tile) 来构建尺寸较大的显示器。不过，据 Danesh 称，由于该公司的大规模转移工艺具有高精度，因此，使这种模块化方法饱受困扰的所谓显示屏“瓷砖”之间的缝合线肉眼是看不见的。

她表示：“平铺 microLED 瓷砖的挑战之一是观众完全不想看到的这些缝合线。采用三星的 microLED 瓷砖时，如果站得足够近就会看到这些缝合线，而通过运用我们的工艺，甚至在放大 50 倍的情况下都看不到缝合线。”

那么，在 microLED 和大规模转移工艺部署就位的情况下，Glo 下一步的计划是什么？获得成功似乎是前进的道路。

鉴于智能手表市场以及平视显示器备受期待的需求，n-tech Research 的行业分析师 Boris Kobrin 最近预测：全球 micro-LED 市场销售收入将从 2019 年的 27 亿美元增至 2022 年异常庞大的 107 亿美元。而且，尽管来自诸如 Apple（及其收购的 Luxvue）、Aledia、索尼和三星电子等许多公司的竞争不断加剧，但是 Glo 的领导者们并未仓皇失措。

正如 Danesh 和 Nazre 所指出的，Glo 已经将 InGaN microLED 和大规模转移工艺部署就位（这一点不同于很多竞争公司），并即将生产能够在尺寸和产量方面进行调整的明亮、稳定的显示器。

Danesh 说：“像其他所有人一样，我们认为自己比别人更聪明。但是，实际上是因为我们遇到了 [主要的] 技术难题并解决了，这使得我们能够以比所知的任何厂商都要大得多的生产规模来制造显示器。”

Luumii 公司宣布 microLED 进入量产

2019年8月13日, Rohinni 和科嘉的合资企业 Luumii 公司宣布, 其用于笔记本电脑键盘背光及标志照明的微型和迷你 LED 灯解决方案现已进入量产阶段。这些微型 / 迷你 LED 方案具有空间占用小、功耗低、产品性能高, 以及通过颜色和动画增强用户体验等显著优势, 能够让笔记本电脑设计人员在设计中充分集成这些优势, 设计更优越的笔记本产品。

Luumii 初始月产量为 40000 片。至今年年底, 公司将全线运营, 月产量达 10 万片。Luumii 目前正与几家笔记本电脑 OEM 工厂就目前发售的键盘背光和标志背光展开合作, 这些集成 Luumii 迷你 / 微型 LED 技术的笔记本电脑产品预计将于今年晚些时候与消费者见面。

“Luumii 的成立宗旨在于, 为客户提供最具突破性的光学产品及最具价格竞争力的光学解决方案, 并实现大批量生产的一流笔记本电脑。” Luumii 首席执行官 Kevin Lin 谈道, “我们目前已实现了批量生产的目标, 预计从现在至年底, 生产规模将进一步快步提升, 以满足广大用户的需求。Rohinni 和科嘉两大公司为此做出了独一无二的贡献, 推动

了微型和迷你 LED 在行业内的重大进展, 并将其应用拓展到新的市场领域。”

Luumii 背光方案的加速量产迎来行业发展的最佳时期。据公司预测, 至 2019 年底, 蓝色迷你 LED 的月使用量将达到 200 万片, 红色及绿色迷你 LED 灯则分别达到 70 万片。Luumii 工艺具有设计灵活、光学性能、创新及差异化的特点、封装厚度 (Z-height) 更低并实现了节能降耗。Rohinni 的核心量产产品技术比目前的背光产品薄 60%, 亮度提高 25%, 功耗降低达 93%。

Luumii 公司是 miniLED 和 microLED 产品设计和生产技术的领先开发商 Rohinni 和世界领先键盘薄膜开关制造商科嘉公司于 2016 年 12 月共同组建。合资公司的成立让 Rohinni 突破性的 microLED 技术在键盘及标志背光灯产品的应用满足了大量的市场需求, 科嘉公司也借助合资公司的力量新增键盘系统中的重要元件产品。

Luumii 工厂设在中国苏州。研发中心及公司办公室设在台湾台北。OSc



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.

**SEMICON
TAIWAN**

Visit us at SEMICON Taiwan
September 18-20
Booth N0480



www.evatecnet.com/markets/optoelectronics
T: +86 21 8019 7660, E: infochina@evatecnet.com

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

金属箔上的 microLED

通过转换到金属箔上生长的晶体管 and LED 的单片集成，microLED 显示器的制造可以向前迈出一大步。

Vladimir Matias 和 Julian Osinski, iBeam Materials 公司

每年，数以亿计的 LED 都是通过蓝宝石和硅衬底上生长 GaN 及其相关合金外延层而制成。但这并不是唯一的选择。我们在新墨西哥州 Santa Fe 的 iBeam Materials 公司，最近演示了也可以在多晶柔性金属箔上沉积高质量的外延 GaN。我们的技术为大面积，低成本，适用于卷对卷制造的 GaN 基器件生产工艺打开了大门。

我们的方法采用了离子束辅助沉积。它用于沉积类单晶的中间层，该中间层形成之后外延氮化物层的基础。我们与桑迪亚国家实验室和新墨西哥大学的研究人员合作，利用这项技术通过美国能源部 APRA-E 资助的项目展示了实用的 LED

(见图 1)。这项突破性技术的更具有吸引力的一个机会是 microLED 显示，其中会需要大面积的低成本的 LED 阵列。制作这些阵列的最常用方法是基于分选和机械转移。然而，当向更小的 LED 发展时，分选和转移这种技术的实现将会有更多的挑战性。这时采用单片集成方法要好得多，这种方法和我们的技术是相兼容的。

由于这种显示技术相对现有显示技术的显著优势，它将占据 LCD 和 OLED 的现有市场份额，并且预计 microLED 市场未来将是非常巨大的。microLED 更亮更高效，因此可以在阳光直射下读取显示信息，使用电池的产品在每次充电之间可

以使用更长的时间。此外，鉴于无机 LED 极好的可靠性，使用寿命和坚固性，这些产品将提供更长的显示寿命。

由于所有这些优势，基于 microLED 的显示将很快取代可穿戴设备，手机和增强现实中的 OLED 和 LCD 屏幕。但这只是一个开始：LED 注定会继续在大的显示应用中取得成功。

制作显示屏

利用传统方法制造基于 microLED 的大面积显示器，需要使用高良率工艺，从而提供尺寸小于 10 微米的单个 LED 芯片的大规模并行转移。高清显示器包含 1080×1920 像素，因此它们需要 620 万个红绿蓝子像素。而在 4K 显示器中，则有近 2500 万个子像素。这些数字如此之大，以至于为了最小化转移步骤的数量，必须一次转移数千个 LED。

几家公司正在开发用于并行处理这种大规模 LED 的技术，其尺寸可以小到 $3\mu\text{m}$ 。这些方法必须以微米级的精度来转移芯片，将它们可靠键合，并实现极高的良率。即使 99.99% 也不够好，因为显示屏仍然可能包含数千个坏了的子像素。而它们必须修复，因为市场不会容忍新设备中有哪怕一个出故障或缺失的像素。

修复单个像素是一种选择，但成本会升高，因为这需要额外的转移步骤。因此，在转移过程中采用分选冗余可能更好。然而，这显著增加了 LED 成本，并且无法直接解决问题。

相比之下，我们采用的技术可以制造出和纸张一样薄的柔性产品，分辨率为每英寸 500 像素或更高，满足市场对将显示器集成到薄型弯曲设

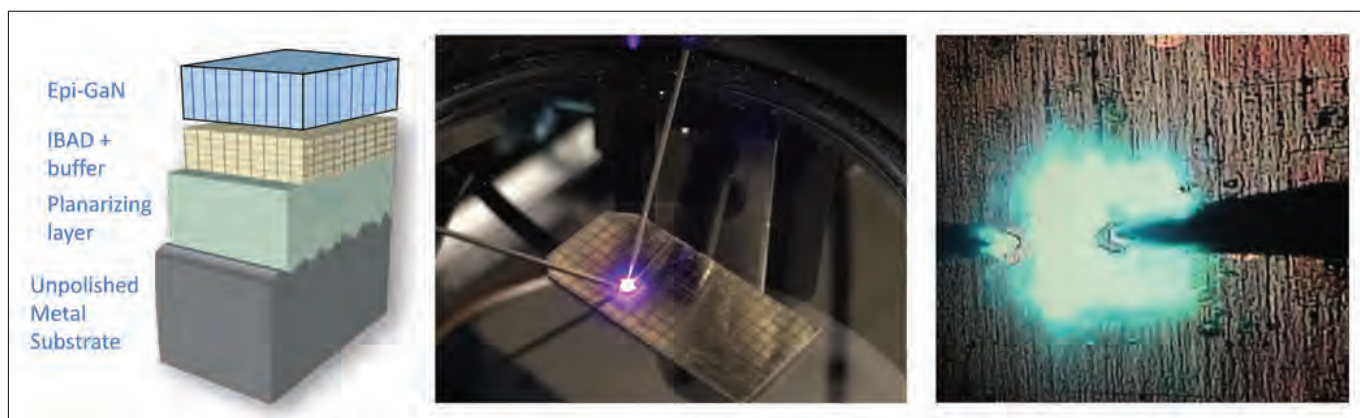


图1. iBeam Materials的金属上GaIn技术依赖于多晶衬底（例如很长的金属箔）上形成的类单晶层。该单晶层通过离子束辅助沉积工艺形成。左侧显示层结构，而两张照片显示出第一批制作的LED器件。

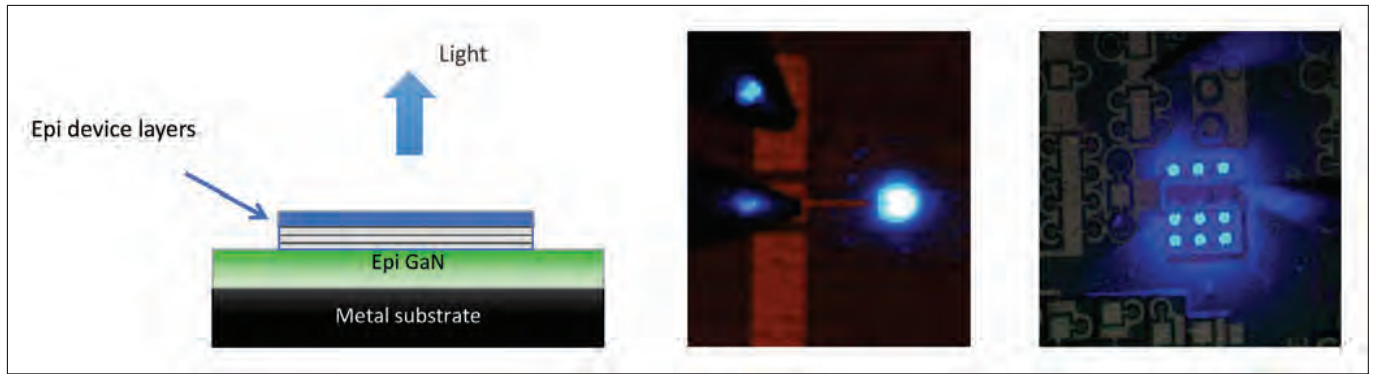


图2. LED横截面图，以及20μm的金属上蓝色LED和microLED阵列的发光。

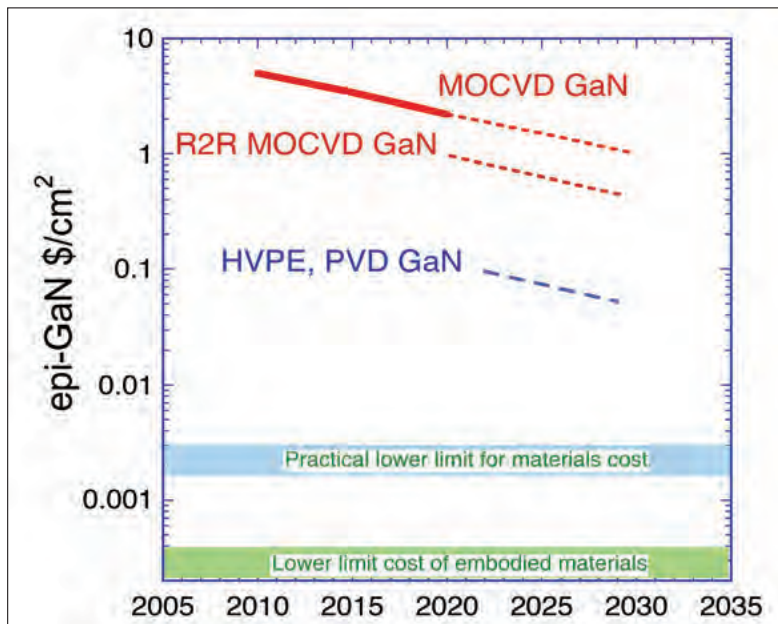


图3. 各种沉积方法的外延GaIn器件层的成本曲线。

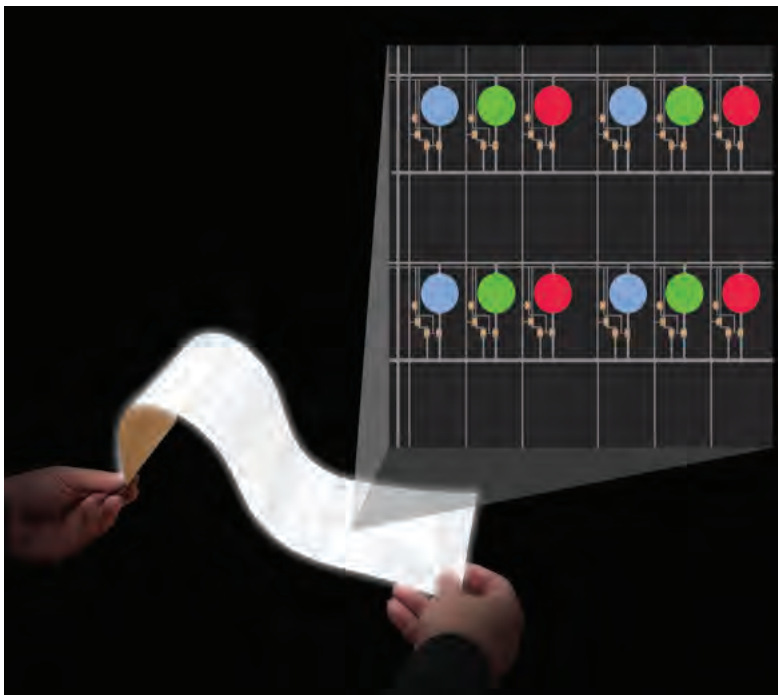


图4. 使用iBeam技术制作的microLED显示单元的布局。

备的巨大需求。利用获得专利的金属上 GaN 技术，我们直接在低成本，大面积的柔性金属箔上生长了 LED 品质的 InGaN 材料，使 microLED 的单片集成变得切实可行。

这种金属箔使我们的显示器能够与 OLED 一样或更好地符合曲面。此外，它们甚至可以在使用时弯曲。适形金属衬底还为 LED 提供了反射和散热（参见图 2）。

我们的技术与卷对卷工艺兼容，采用新的外延方法取代了 MOCVD，这些必将大大降低 microLED 的制造成本。目前，MOCVD 晶圆生产的成本在 2-3 美元 / 平方厘米的范围内，但通过切换到很长的金属基板上，这个成本可能会下降三倍之多。非 MOCVD 沉积工艺的引入将会进一步节省成本，我们的成本模型估计每单位面积的外延材料成本降低超过 10 倍（见图 3）。

最终，LED 成本可降至每平方米不到 10 美分。如此大幅度的成本降低可能使 microLED 显示器甚至比基于 OLED 的显示器更加便宜。

我们的全彩色有源矩阵显示器的制造，首先开始于在外延层的表面上单片生成密集蓝色发光 LED 阵列。每个像素包括三个子像素，通过在蓝色发光组件上涂覆量子点下转换层来形成红色和绿色单元（参见图 4）。它们可以作为光刻胶基质来实现，或者采用喷墨打印机来实现，这主要取决于所需 LED 的尺寸。

下一步是添加薄膜晶体管电路以寻址每个子像素。我们能够利用现有的背板技术来制作 OLED 显示器，在图案化之前，将薄膜材料沉积在屏幕上（参见图 5）。

包括金属基板的总厚度可小于 100μm。为了减少相互干扰，消除杂散光并实现更好的黑色，LED 之间的孔隙可以填充市售的黑色聚合物基质。

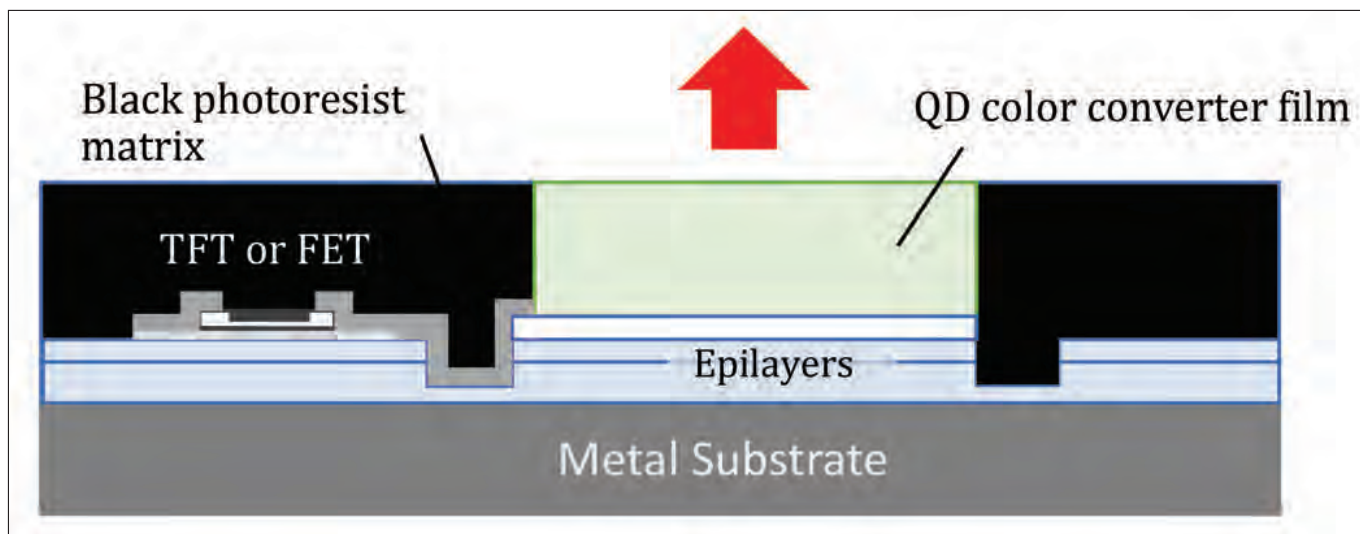


图5.子像素横截面显示出量子点变色膜和黑色光刻胶基质。

我们的技术将继续进步。将来，我们将使用金属箔上的外延 GaN 片来制造小的集成的 GaN 晶体管。这些器件可用于控制 LED（参见图 6）。

通过采用这种方法，我们将可望追随硅工业的脚步。其中最著名的就是，从通过分立晶体管的单独布线制造电路，进化到在单个芯片上有数十亿晶体管的高度集成电路的高良率制造。

我们相信，随着时间的推移，使用我们的技术制造的 microLED 显示器的良率和可靠性，将远远高于使用芯片转移方法制造的产品良率和可靠性。当然，首先为了谨慎起见，在设计中可能要利用一些冗余，从而可以使得可能的 LED 失效行为最小化。

当转向更高分辨率的显示时，我们的技术已

经有很好的基础，由于整个区域不满 LED 的外延，因此可以以更小的附加成本来制造更高分辨率的显示屏。对于我们的单片集成 LED 显示技术，成本与面积成比例，而不是像素数。

我们的方法不是唯一能够提供单片集成的方法。一种替代方案采用了纳米线有源区。然而，这依赖于传统的刚性衬底，例如硅和蓝宝石。沿着这条路走下去的话，制造大面积的显示屏往往需要将 LED 转移和键合到另外的背板上。

颜色和色域

我们提倡的用于制造我们显示器的量子点技术正在发展中，今天的薄膜厚度仅为几微米，几乎可以完全将蓝色光转换为红色或绿色光。然而，

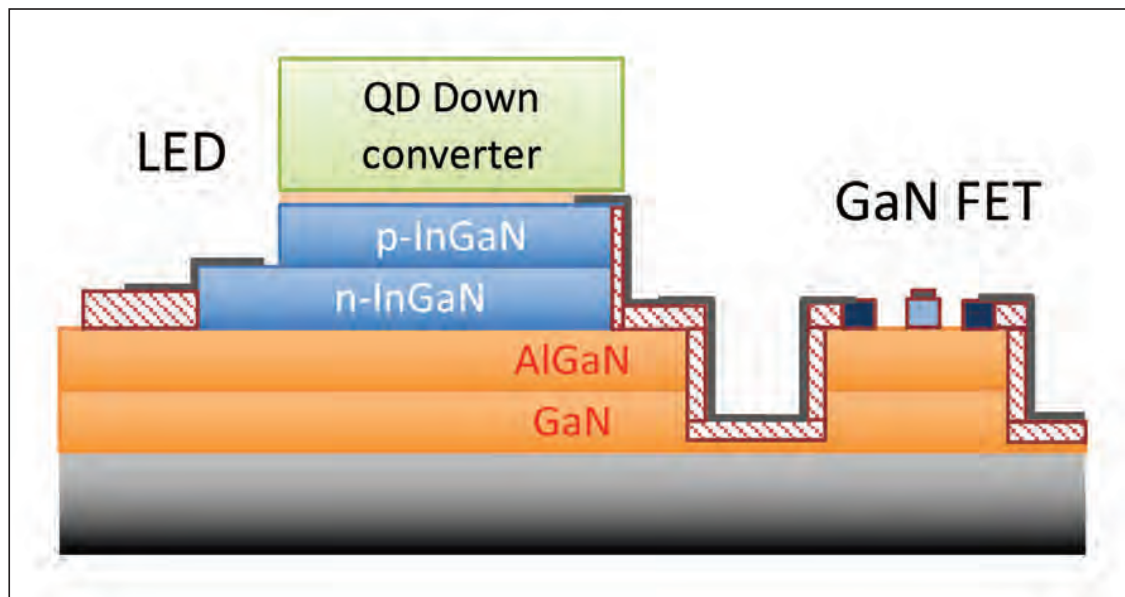


图6.通过在外延结构中集成FET，子像素LED可以与GaN/AlGaIn FET晶体管器件集成。

如果还有顾虑担心子像素光谱中残余任何不需要的蓝光，则可以用滤光片或蓝光反射片将其去除。

显示器制造商可以选择量子点薄膜来实现特定的色点。LED 和量子点的窄谱发光，它们的光谱宽度通常分别为 20nm 和 30nm 至 40nm，能够实现饱和的色彩，以及比传统 LCD 和 OLED 更宽的色域（见图 7 中的更多细节）。

随着 microLED 市场的扩大，需要推出大量

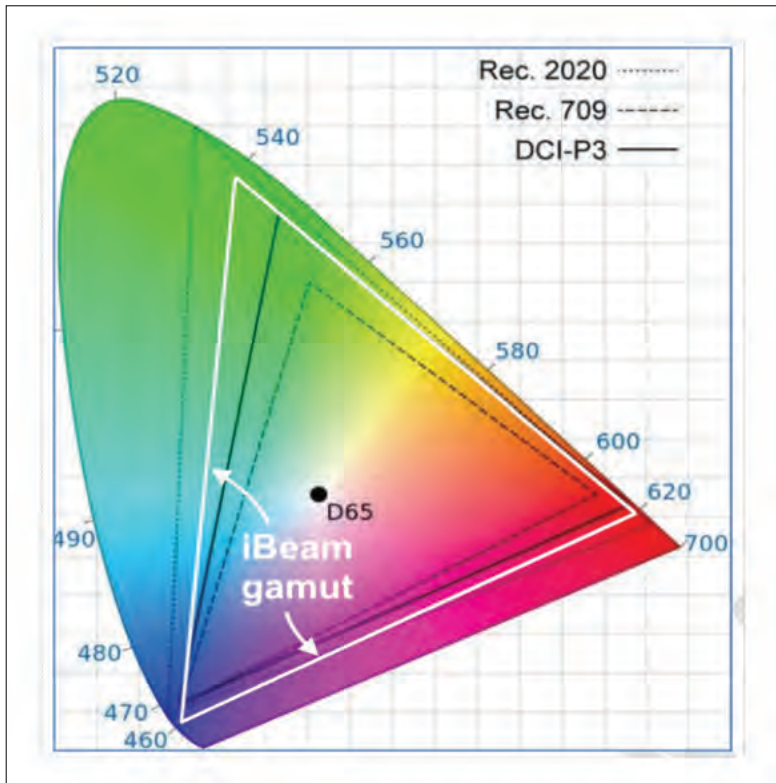


图7. 针对新产品的三种流行色域标准。推荐709，也称为sRGB，是目前的HDTV标准。然而，苹果的iPhone和三星Galaxy等产品已经开始采用数字影院标准DCI-P3，而未来的产品则针对最困难的基于激光器的推荐2020标准。iBeam技术将能够超越DCI-P3，并几乎达到推荐2020而无需采用激光器。

额外的 LED 制造能力，以便制作所需的显示器。到 2026 年，一些预测数据显示 20 亿手机市场中将有 15% 采用 4K 的 microLED 显示屏。仅此一项每年就需要启动 1200 万片晶圆，这个数字可能与 2019 年全年所生产的全部 LED 总数相当。可穿戴设备，电视和其他显示器格式的数量以及制造规模将远远高于这个数字。

我们的低成本，卷对卷能力可以实现这种提升。只需要一个宽幅的卷对卷生产设施就可以实现与今天全球 LED 外延生产相当的产能。

到 2025 年后，基于二维平面屏幕的显示器有望被在三维空间中形成图像的显示器所取代（见图 8）。这可以通过在微透镜阵列上放置发光器阵列（例如 microLED）来实现。然而，为了确保光场显示器具有高分辨率，除了大量压缩数据之外，它还必须拥有数十亿的像素，其间距甚至可以小至 5 μ m。

如此庞大的像素数对于转移方法来说是不切实际的，但可以通过我们的单片集成技术来加以实现。

简而言之，我们的技术前景光明，它可以在大面积金属箔上制造和集成 microLED。由于我们的技术具有许多重要特性，可穿戴设备，增强现实设备，移动产品甚至大型显示器都将受益。这些特征包括：柔性，轻质的基板，使得显示器适合曲面，易于集成到各种产品中去；直接发光 LED 的使用，允许户外观看并产生高的动态范围，宽的色域和深的黑色；由于单片集成和与大规模卷对卷制造技术的兼容，从而成本更低；此外还有光场显示的潜力，适用于未来的三维展示。OSc

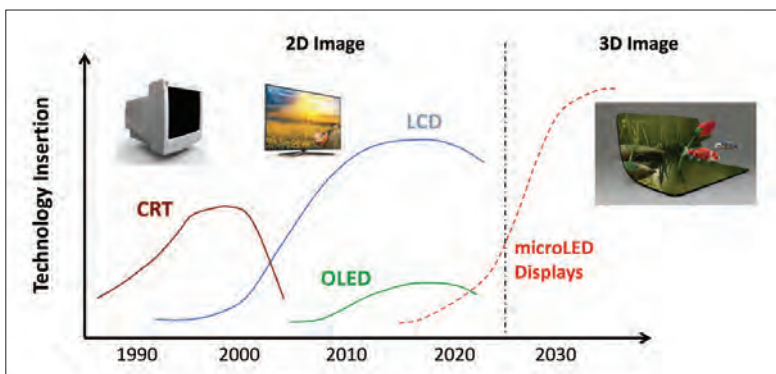


图8. 显示器的历史演变和未来期望。

扩展阅读

United States Patent 9,735,318 B, V. Matias and C. Yung.

V. Matias, Photonics West Presentation, 2018 Yole Développement, “Are MicroLEDs a credible alternative to LCD and OLED?” SID Display week business conference, (2018)

G-S. Chen et al. IEEE Phot. Tech. Lett. 30 262 (2018)

your

EPITAXIAL GROWTH

partner

InGaN, InAlN, AlGaIn, GaSb, InSb, InP, InGaP, InAlGaIn, GaAs, AlGaAs

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

溶液法生长优异的碳化硅

溶液生长法消除了大块 SiC 优质单晶中的基面位错

Kazuhiko Kusunoki, Kazuaki Seki, Yutaka Kishida ; NIPPON STEEL AND SUMITOMO METAL CORPORATION
Hironori Daikoku, Hiroaki Saito, Isao Kobayashi, Hiroshi Mihara ; TOYOTA MOTOR CORPORATION

全球电力需求的增长远远高于其他所有形式的能源需求。据国际能源署（International Energy Agency）数据，2017 全球能源的需求量上升了 2.1%，与此同时，电力需求增长了 3.1%。

随着用电量增加，更高效的电力器件所产生的总效益将变得更为重要。对人们而言，这使得投资 SiC 二极管和晶体管比以往任何时候都更具有吸引力，因为它们比其他硅基器件的损耗小得多。

目前，SiC 器件的销量正迅速攀升。但是，如果能使 SiC 制造中所用基板的晶体质量更高，体积更大，且生产成本更低，那么，SiC 器件极有可能成功占据功率半导体市场的更大份额。请继续阅读，了解这是如何实现的。

SiC 单晶的生长远非易事。目前市场上的 4H-SiC 单晶基板受困于各种位错缺陷，总的来说，

缺陷密度范围在每平方厘米数千到 10000 个之间（常见位错见表 1，它们在 4H-SiC 单晶基板中的表现形式见图 1）。这些缺陷使得器件的产量下降，同时影响了 SiC 功率器件的大规模应用。

目前在 4H-SiC{0001} 基面中最复杂的位错种类是线缺陷。这些致命的缺陷称为基面位错，它们会严重破坏器件性能。当正向电压施加在 4H-SiC MOSFET 和 P-I-N 二极管上时位错会减少，此时基面位错会从 SiC 单晶基板转移至外延层，并在那里扩散，进一步转变为肖克利型堆积层错。它们表现为高电阻层，使通态电压上升并导致器件性能恶化。

解决这一问题的一个方法是将基面位错转化为外延层和基板间界面的刃型位错。这种转化必须发生在外延生长期间，通过化学气相沉积法，在 SiC 基板上形成界面层。注意这里形成的刃型位错是无害的，因为它们不会影响器件的特性。尽管如此，不可能把每一个基面位错都转化为刃型位错，所以这是一个不完美的解决方案。若能完全消除 SiC 中的基面位错会更好。

遗憾的是，生产 SiC 晶体充满挑战，而 SiC 晶体是基板生产的出发点。在常压下，不存在化学成分与固态时相匹配的熔融态液相 SiC。因此，理论上是不可能通过适用于硅球制备的凝固手段来实现熔融生长。

由于这个限制，现在制作 SiC 基板是通过一种气相方法，可以生产 4H-SiC 大块单晶。升华

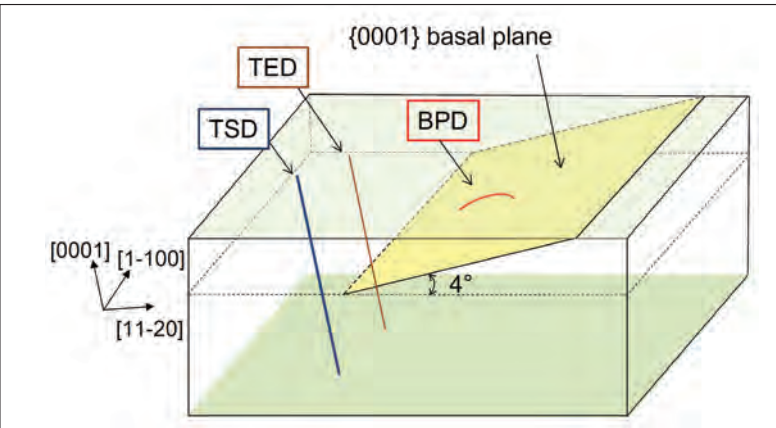


图1. 一种4H-SiC单晶基板中的位错（偏轴4°）（TSD表示螺型位错，TED表示刃型位错，BPD表示基面位错）

表1. 4H-SiC晶体中位错类型和密度

位错类型	位错方向	伯格斯矢量	密度 (cm ⁻²)
			商用晶圆
螺型位错 (TSD)	// C轴	n<0001> (n=1, 2)	500-3000
刃型位错 (TED)	// C轴	1/3<11-20>	3000-10000
基面位错 (BPD)	⊥ C轴	1/3<11-20>	500-7000

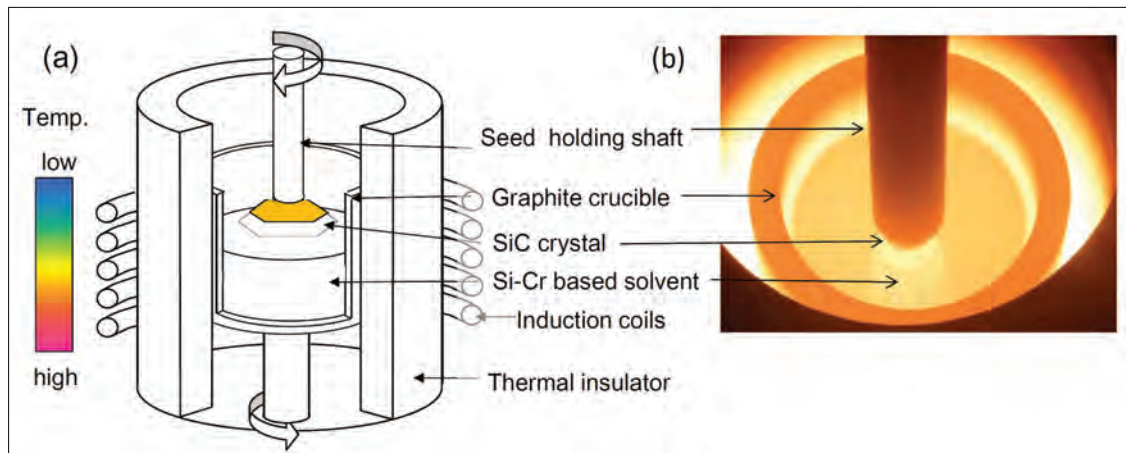


图2. (a) 由Nippon Steel and Sumitomo Metal Corporation 和Toyota Motor Corporation的工程师使用的SiC溶液生长装置。在氩氮混合气氛下，通过感应直接对坩埚进行加热，通常在2000℃左右开始生长，其中石墨坩埚作为溶剂和碳源的容器。(b) 在晶体生长炉中，Seed holding shaft表示种子保持轴；Graphite crucible表示石墨坩埚；SiC crystal表示碳化硅晶体；Si-Cr based solvent表示硅铬基溶剂；Induction coils表示感应线圈；Thermal insulator表示热绝缘体。

发生在 2300℃ 以上。高温和从高温状态下冷却下来的有关应力会引起热应力。这些应力由 4H-SiC 基面里的运动而释放，因此基面是容易滑动的平面，从而导致位错密度为每平方厘米几百个或更多的基面位错。

由升华法形成的高质量晶体是由日本丰田中央研发实验室的团队采用单面重复生长 (repeated a-face, RAF) 方法制作。然而，这种材料也存在基面位错。

为了消除这些位错，需要寻找新的替代生长方法。我们来自 Nippon Steel and Sumitomo Metal Corporation 和 Toyota Corporation 的团队提出一种解决方法，采用溶液生长技术来制备超高质量 SiC 单晶。

我们的方法是采用一种液态相生长形式。SiC 溶解在含铬或钛的金属熔体中，在过饱和状态下驱动晶体的形成。采用这种方法，在接近热力学平衡态下发生反应，可以在低于升华法几百摄氏度的温度下使晶体生长 (见图 2)。

抑制溶剂包裹体

我们这种方法所面临的挑战之一是当 SiC 晶体从液相中形成时，我们必须防止材料变厚时表面也随之变得粗糙。这被认为表面形态的不稳定性，可以产生几百微米到几毫米的凹陷和凸起。在细微凹陷处，任何残留的溶剂微滴都会产生宏观缺陷，被称为是溶剂包裹体 (solvent inclusion)。

具有这种缺陷的基板不适合用来制备功率器件。为了防止其形成，在晶体生长的过程中，生

长表面必须长时间保持光滑。这是多年来一直难以把握的一个问题，是一个亟待解决的技术挑战。

我们通过考虑与晶体生长相关的诸多工艺因素克服了这一难题。采用这种方法表明通过控制生长界面，同时抑制过饱和程度随时间的变化，使晶体的表面形态稳定和确保表面光滑成为可能。运用这些发现，我们已经生产出第一批不含溶剂包裹体的 2 英寸块体晶体 (见图 3)。

采用溶液生长法，我们还生产出厚度超过 10mm 的 4 英寸晶体。很明显，下一步的工作就是将我们为直径 2 英寸的晶体建立的溶剂包裹体消除技术应用于直径 4 英寸的晶体生长。

Nippon Steel and Sumitomo Metal Corporation 使用这种生长技术从铸块中生产直径 2 英寸，偏轴 4° 的 4H-SiC 基板。这为生产功率器件提供了很好的基础。

为了评估 SiC 基板的质量，我们把使用溶液生长法产生的晶体 (从现在起称为溶液生长晶体) 与籽晶做位错密度对比。这是通过使用溶液生长

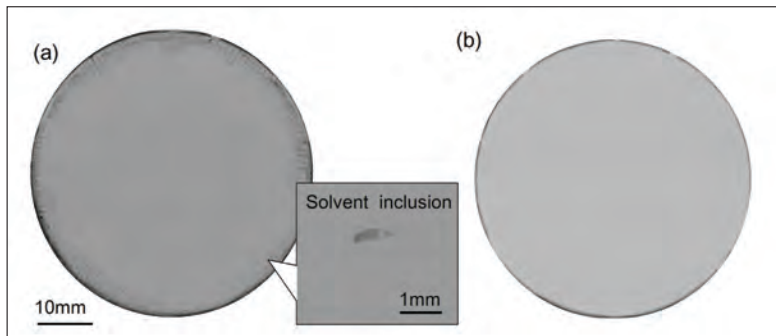
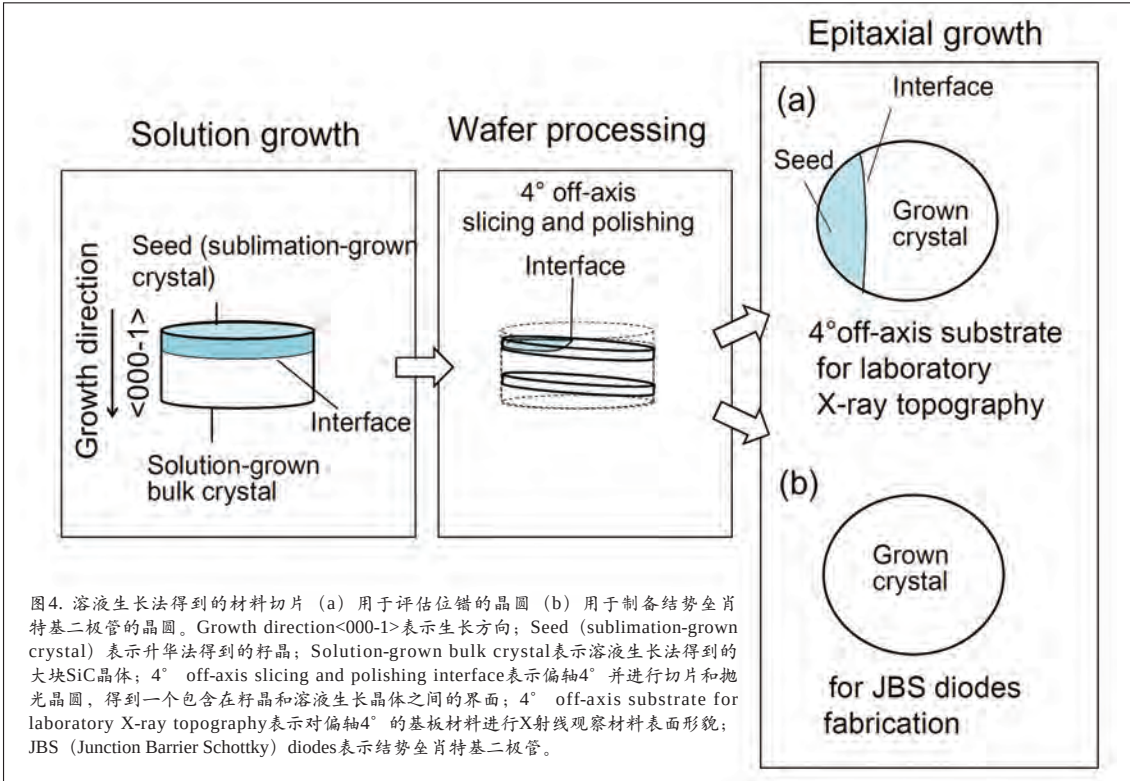


图3. 直径2英寸的4H-SiC晶体的X射线透射图 (a) 表示优化晶体生长条件之前，(b) 优化晶体生长条件之后。很明显在 (a) 中晶体的外围部分存在采取传统生长技术形成的几个暗区。这些区域属于一种X射线透射率较SiC基体低的金属溶剂。注意在优化晶体生长条件之后，整个晶体范围内没有观察到暗区，这表明这块晶体材料不含溶剂包裹体。



法在籽晶的轴平面 (000 $\bar{1}$) (表示晶面族) 生长晶体来实现的。将其倾斜 4° 并从中切片和抛光晶圆，可以得到一个包含在籽晶和溶液生长晶体之间界面的样品。

在使用 X 射线仔细观察材料表面形貌之前，我们通过 CVD 在样品上沉积了 10 μm 厚的外延层 (见图 4)。这表明籽晶区域具有缘起于基面位错

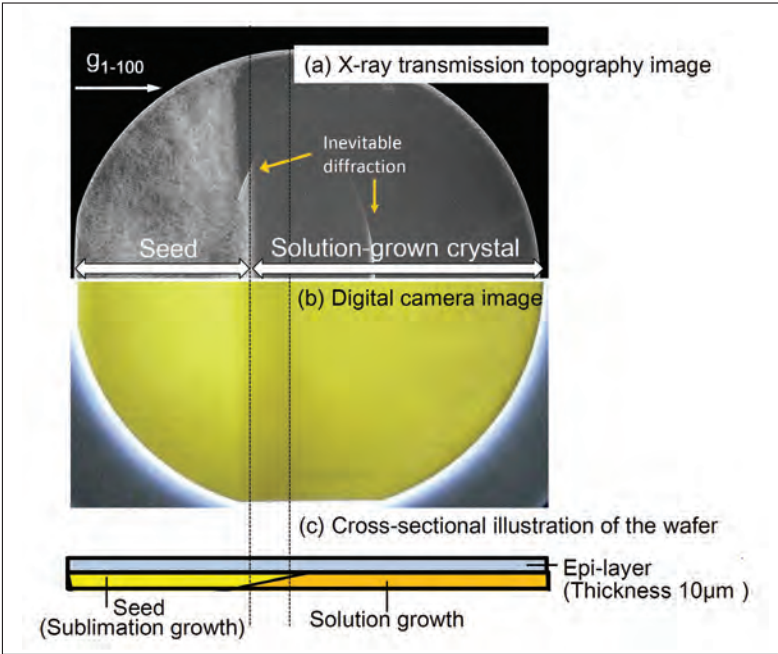
的高密度网格对比变化。同时，在溶液生长晶体区域没有观察到这种高密度的网格对比变化。

这些发现表明溶液生长晶体中不存在基面位错 (见图 5)。此外，它们还表明在 {0001} 晶面中籽晶的基面位错与晶体生长的方向相交为直角时，这些位错不会传播到溶液生长的晶体中。X 射线观察材料表面形貌也提供另一个洞见，溶液生长和冷却过程中不会产生任何新的基面位错。我们归因于溶液生长法比升华法的温度低。

为了确保器件的高性能，SiC 的表面必须完全 (impeccably) 干净，也就是表面金属污染物的含量极低。因为它们的存在会使功率器件的性能降级，并降低成比率。

由于在溶液生长中涉及到一种铬溶剂，存在可能损害材料质量的风险。为确认是否属实，我们采用电感耦合等离子体质谱法和直接酸液滴分解法对外延晶圆正面和背面的金属杂质进行定量分析。

这项技术表明在晶圆的正面和背面许多常见金属的影响可以忽略不计——超过 12 种常见元素的值低于 3.5×10^{11} 原子 / cm^2 : Ca, Na, K, Mg, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn 和 Al。我们认为溶液生长的 SiC 晶圆表面的极度清洁可能是由于可用的晶块中不含溶剂包裹体。如此低的污染物水平可以说明在器件生产线中使用溶液生长



第一台特別為

SiC

設計的全自動單片式拋光機



Revasum讓SiC拋光變得EZ

Revasum™

www.revasum.com | 886-36688225

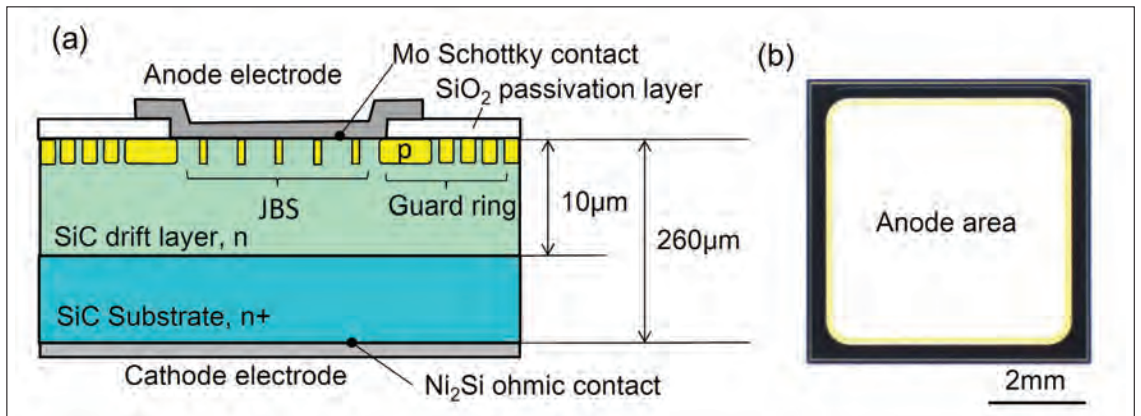


图6. (a) JBS二极管的垂直界面图，摘自H. Fujiwara et al. Appl. Phys. Lett. 100 242102 (2012) (b) JBS二极管的平面图，有效面积6mm×6mm。Anode electrode和cathode electrode分别表示阳极（上）和阴极（下）；SiC drift layer和SiC substrate分别表示通过CVD在样品上沉积了10μm厚的外延层和SiC基板；Guard ring表示保护环；SiO₂ passivation layer表示SiO₂钝化层；Mo Schottky contact表示阳极与10μm厚SiC外延层间为Mo肖基接触；Ni₂Si ohmic contact表示阴极与SiC基板间为Ni₂Si欧姆接触。

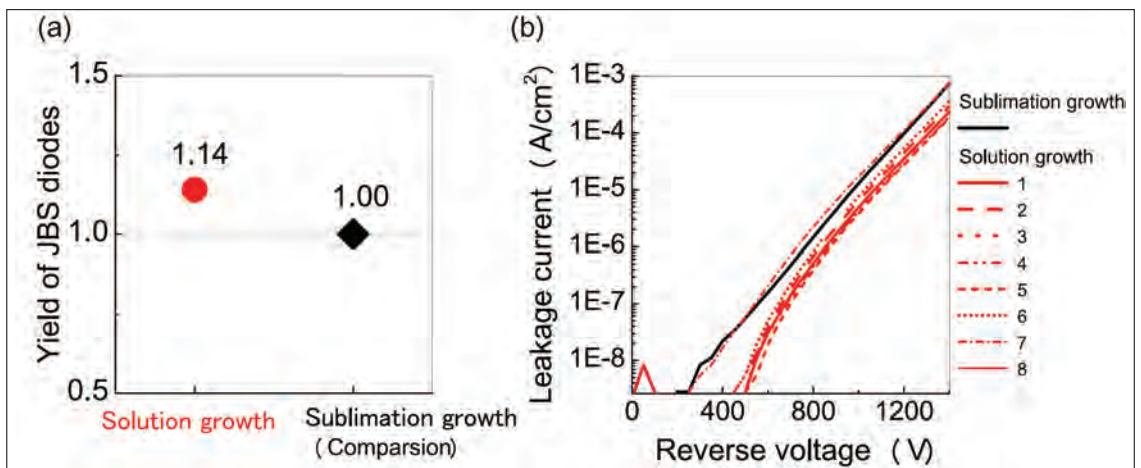


图7. (a) 在溶液法和升华法生长的SiC基板上制备出的JBS二极管的良率比较。(b) JBS二极管的反向电流和电压特性之间的关系。Leakage current表示漏电流；Reverse voltage表示反向电压，衡量二极管质量的一个方面就是在规定的反向电压下的漏电流，其中黑线为对照组，红线1-8为实验组。

SiC 外延片没有什么好担心的。

制备更好的器件

我们使用溶液生长法 SiC 外延片已经制备出世界上第一批晶圆级的结势垒肖特基 (JBS) 二极管。为了生产这些器件，我们使用的是溶液生长法得到的直径 2 英寸的 4H-SiC 基板（见图 6）。

为了评估这些二极管的电气性能，我们将其与升华法制造的商用高档基板上生长的等效物做了性能对比。在我们基板上生长的器件的效率和电特性与商用基板生长器件的相当或更优（见图 7）。

这组实验没有很好地突出基板的优越性。这

是因为基板中的基面位错对 JBS 二极管电特性的退化几乎没有影响。我们的基板期望能做出更大贡献的地方是改善内嵌二极管式 MOSFET 和 4H-SiC P-I-N 二极管的性能。当在我们的基板上制造这些器件的原型时，它们将展现出溶液生长 SiC 晶体的压倒性优势。

我们已经在此方面取得了很大的进展，但仍有许多研发工作有待完成。目前，升华法被用于 6 英寸直径的 SiC 大批量生产，而溶液生长法得到的晶圆直径却仍然较小，因此延迟了市场成功。

然而，当采用溶液生长法制备的 SiC 材料进入市场的时候，成功便指日可待。因为不含基面位错，这种基板将需求巨大。基面位错是一种已知的致命缺陷，是获得高性能、高可靠性 SiC 功率器件的巨大障碍。更重要的是，这种基板的生产成本有可能比升华法更低，因为相对于升华法来说，溶液生长法可以在常压下和较低的温度下进行。CS

扩展阅读

- H. Daikoku et al. Cryst. Growth Des. 16 1256-1260 (2016)
- K. Kusunoki et al. Mater. Sci. Forum 924 31(2018)
- K. Seki et al. Mater. Sci. Forum 924 39 (2018)
- K. Kusunoki et al. to be published in Mater. Sci. Forum (2019)

GaN 透明晶体管

隐形接触

透明氮化镓 (GaN) 电路基于氧化铟锡和离子注入而得以出现, 也受益于晶体管制程针对玻璃的调整以及透明接触。

Zhihong Liu, 新加坡 - 麻省理工学院研究与技术联盟
Geok Ing Ng, 南洋理工大学
Eugene Fitzgerald, 麻省理工学院

越来越多的努力投入到开发隐形电路及其光电器件中。这个领域被称作透明电子或者薄膜透明电子器件领域, 有望产生许多新产品和新商机。仅举几个例子, 比如它可能会引导汽车智能防风罩、智能建筑窗户、透明平板显示器和透明太阳能电池板产品的出现。

在许多透明电子系统中, 晶体管都是至关重要的部件。如今, 这种器件通常是薄膜晶体管形式, 由 In_2O_3 、 ZnO_2 、 SnO_2 等透明导电氧化物材料制成。

不过, 薄膜晶体的性能远远低于更常见的可视晶体管, 如硅基 MOSFET。这归因于透明晶体管材料的固有物理性质差, 包括多晶结构、低热导率、低电子迁移率——在 In_2O_3 、 ZnO_2 和 SnO_2 中, 迁移率通常仅为 $100 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 是硅基晶体的四分之一。低电子迁移率阻滞了透明晶体管的电流承载能力。目前, 薄膜晶体管受限于低电流、低速率、且需高压驱动。当务之急是找

出能生产透明高性能器件的替代材料。

替代导电氧化物的候选材料包括碳纳米管、石墨烯和二维过渡金属二硫化物。不过, 它们皆存在着实际应用中很难克服的缺陷。碳纳米管受限于团聚、分散、纯化和排序的问题; 石墨烯妥协于产出优质材料的制造问题, 其固有的带隙限定阻碍晶体管通道完全闭合; 二维过渡金属二硫化物受损于其比透明导电氧化物还低的载流子迁移率。

在新加坡 - 麻省理工学院研究与技术联盟, 正在先行研发一种有前景的替代材料: GaN。从

材料	带隙	电子迁移率
In_2O_3	3.75	~100
ZnO_2	3.35	~100
SnO_2	3.6	15
GaN	3.42	>1500 (2DEG)

表 1. 氮化镓透明导电氧化物和如今透明晶体管中的载流子迁移率比较。

光学角度看，GaN 的带隙为 3.42eV，与其他竞争者的带隙相似（ In_2O_3 、 ZnO_2 和 SnO_2 带隙分别为 3.75eV、3.35eV 和 3.6 eV），鉴于 GaN 吸收波长为 362 nm，能够在整个可见范围内实现透明。从电气性能角度看，GaN 完胜。块体 GaN 电子迁移率是硅的两倍多，而二维电子气形态的 GaN 电子迁移率则是硅的四倍。正如 GaN 具有高临界击穿电场和高热导率，GaN 也具有远高于硅的载流子饱和速度。

透明晶体管的障碍

典型 GaN 晶体管的核心是一个导电通道，它由 AlGaN 阻挡层和 GaN 缓冲层间界面上产生的二维电子气形成（见图 1）。这种器件倾向在一个异质基板上生产，典型的是硅或碳化硅，并具备三个电极：源极、漏极、栅极。为确保透明性，透明有效材料即氮化镓基材料——必须与透明基板和透明电极一起使用。

使用透明基板并不困难。虽然许多氮化镓器件是在不透明基板例如硅上生长氮化物层而形成，但同样有许多透明材料可供选择，包括 SiC、蓝宝石、AlN 和原生块体氮化镓。不过，所有这些材料价格昂贵，而最常用的透明电路基板——玻

璃——非常便宜。

我们的解决方案是一个两步式制程，可在玻璃基板上形成氮化镓晶体管。第一步是在将氮化镓层转移到玻璃基板之前，将氮化镓材料沉积在便宜但可见的硅基板上。或者，我们可以使用最近由东京大学 Hiroshi Fujioka 研究小组研发出的新技术，直接在玻璃基板上溅射氮化镓材料。

电极该如何制作呢？一般地，氮化镓晶体管以镍和金的薄膜组配作为栅极金属，并采用肖特基接触或金属氧化物半导体（MOS）结构。为确保透明，我们可以调整这种设计，将这些不透明金属改变为透明导电材料如氧化铟锡，它广泛应用于透明电子产品中。这种氧化物是个好选择，因为它能与 AlGaN/GaN 形成良好的肖特基接触，并在 GaN 晶体管中起到栅极的作用。有一些报道证实在氮化镓晶体管中可存在铟锡氧化物（ITO）栅极，并且已经表明，在氮化镓器件中以氧化铟锡（ITO）为材料的 MOS 结构也可以用作 GaN 器件的透明栅极。

对于源极和漏极，我们必须在源极和漏极材料以及通道材料之间形成欧姆接触。传统的材料选择是金属，例如钛和铝的薄膜组配。仅用 ITO 来代替这些不透明材料并不可选，因为金属氧化

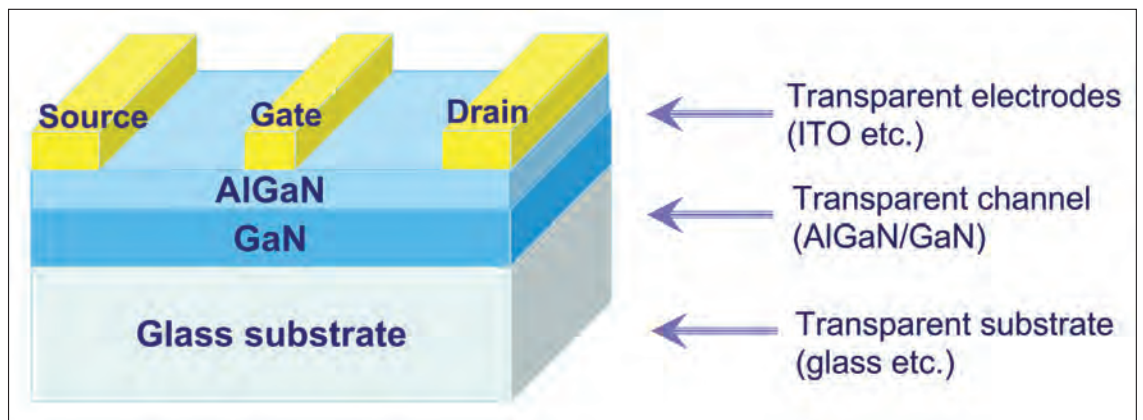
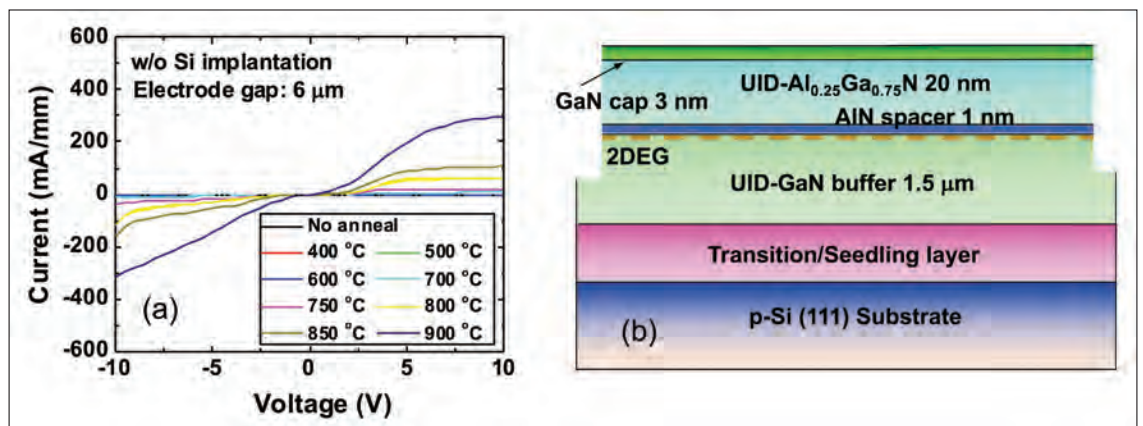


图1. 传统氮化镓晶体管一定能够修改成透明器件。

图2. (a) 在不同退火温度下，两个 ITO 电极测得的电流-电压（I-V）曲线。结果表明，当退火温度低于 600℃ 时电流很小，可以忽略不计。将温度升高到 700℃ 会有电流出现，但即使退火温度高达 900℃，欧姆接触也无法形成。该晶体管 (b) 中的氮化物材料由外延片供应商 IQE 通过将 200 mm 的 p 型硅片装入 MOCVD 室生长得到。



物不能与二维电子气形成欧姆接触（见图2）。请注意，尽管提高退火温度可以增加载流，但即使在900℃时，二者也无法形成欧姆接触。

透明欧姆接触……

对能带的模拟揭示了为何ITO不能在氮化镓晶体管中形成良好的欧姆接触。模拟结果表明，ITO和在AlGaIn和GaN界面的二维电子气之间存在着一个高能势垒（见图3（a））。这个势垒阻碍电子在氧化铟锡和氮化镓三角阱之间平顺移动，从而妨碍二者形成好的欧姆接触。若想实现欧姆接触，则需要一种方法来降低AlGaIn/GaN

材料导带以贴近ITO，从而使能量势垒最小化（见图3（b））。

利用离子注入掺杂AlGaIn和GaN是降低电子导带的一种有效方法。我们在这方面有着丰富的经验，优化了离子注入技术以形成高掺杂的AlGaIn/GaN区域，并在GaN晶体管中实现了良好的CMOS兼容欧姆接触。我们的努力包括开发出一种激活退火法，使用氨而不是更常见的氮来减少氮化镓晶体管在高温退火过程中的表面损伤（见图4）。我们通过优化离子能量、剂量、活化退火热预算和金属退火后热预算，实现了注入区在良好欧姆接触和方阻方面都有优良的结果（见表2）。

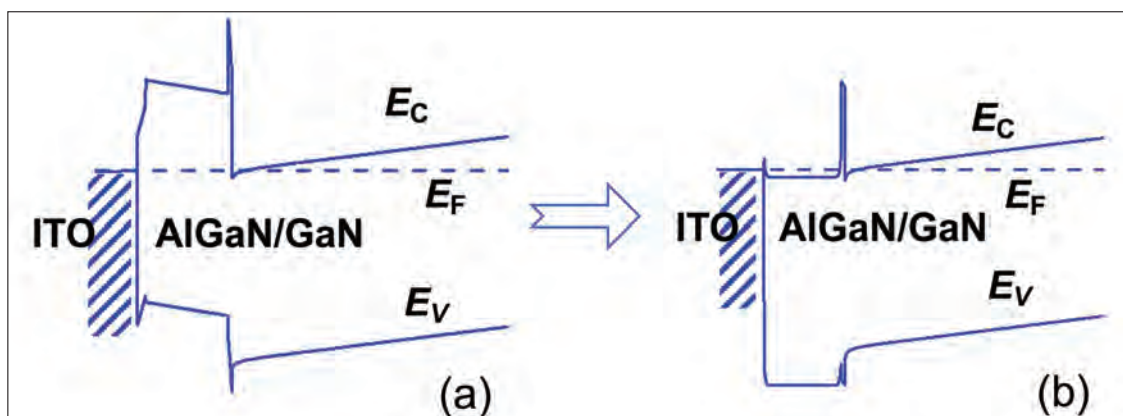


图3. (a) ITO和AlGaIn/GaN异质结的能带图，在AlGaIn/GaN异质结的界面处，ITO和二维电子气（2DEG）之间存在着较高的能级。(b) 为了形成良好的欧姆接触，需要降低靠近ITO的AlGaIn/GaN材料的导带，将能量势垒最小化。

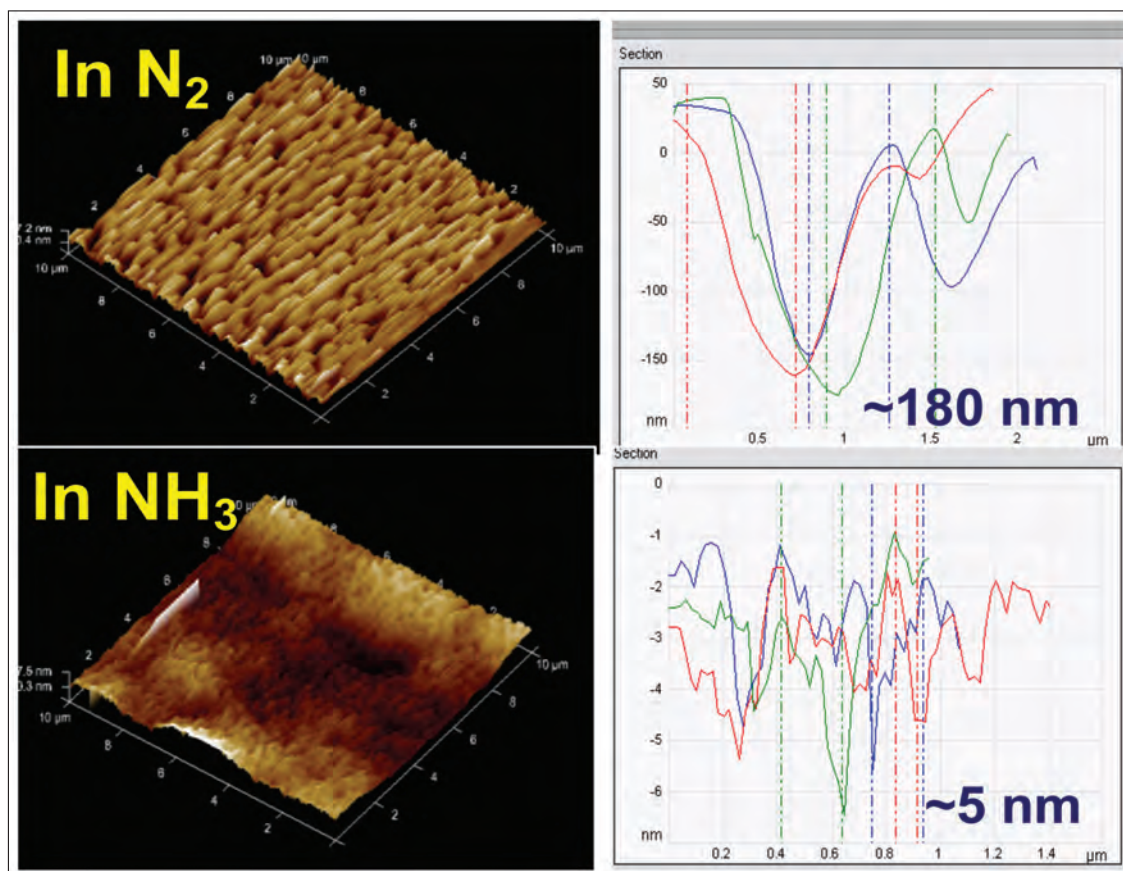


图4. 氨活化退火可大大抑制高温（1200℃，2分钟）对表面的损伤。

机构	衬底	$R_{sh} (\Omega/\square)$	$R_c (\Omega \text{ mm})$
三菱	SiC	215	0.28
三菱	SiC	N.A.	0.16
加利福尼亚大学	SiC	N.A.	0.2
何塞大学	sapphire	140	0.045
我们的研究	sapphire	50	0.07
我们的研究	silicon	58	0.07

表2. 采用新加坡-麻省理工学院研究与技术联盟开发的硅离子注入和CMOS兼容 (Ti/Al金属) 欧姆接触技术, 在注入区域的方阻 (RSH) 和欧姆接触 (RC) 方面都取得了良好的效果。

最近, 我们已经将这些硅离子注入技术应用到我们的透明器件上。我们采用的注入条件是 30 keV 能量, $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 剂量, 加上 80 keV 能量, $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 剂量, 倾斜 7° , 使用 300 nm SiO_2 层作为硬保护膜。用 PECVD 来沉积。我们通过在氮气气氛中加热到 1200°C 保温 5 秒来激活硅离子。最后一步是溅射 ITO 薄膜, 然后在氮气气氛中退火。

这种方法可以在 ITO 和硅注入的 AlGaN/GaN 异质结构之间形成良好的欧姆接触 (见图 5)。注意到退火温度仅为 400°C 时就会形成良好

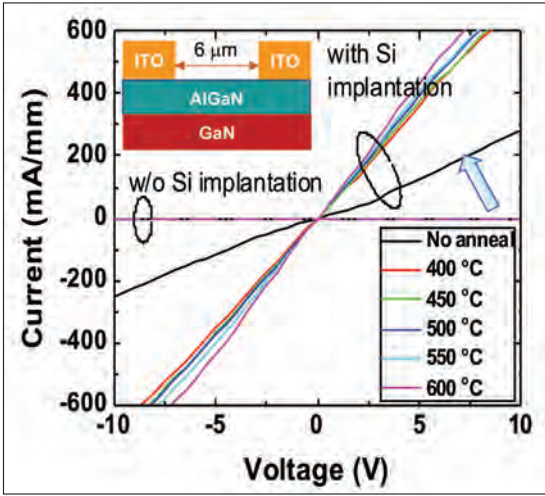


图5. 在AlGaN/GaN异质结构中, ITO和硅注入区之间形成了良好的欧姆接触。

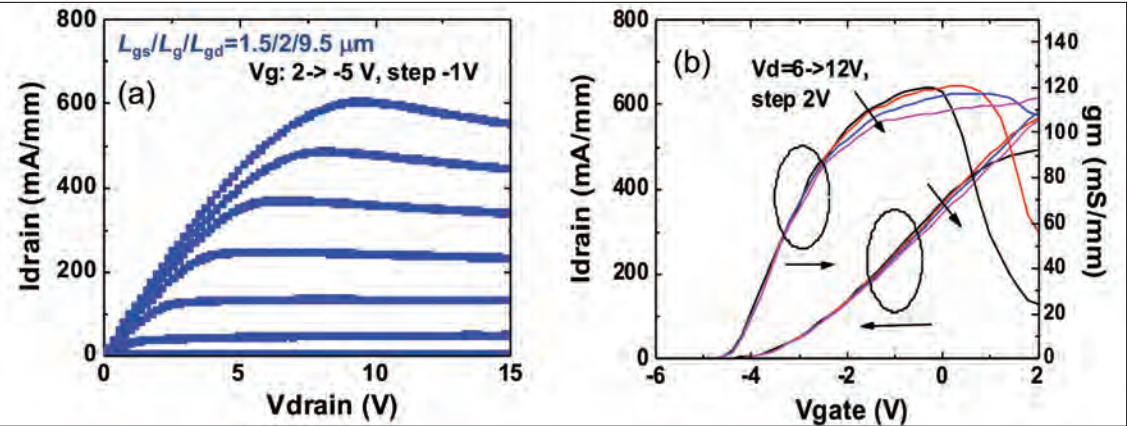


图6. 测得的直流性能, 包括 (a) 带有ITO源/漏 (S/D) 和栅电极的GaN晶体管的输出 (b) 特性。

的欧姆接触。回想一下, 这与未注入硅的样品在 600°C 以下退火时没有任何电流形成鲜明对比 (见图 6)。因此, 硅注入毫无疑问对 ITO 和 GaN 材料之间形成欧姆接触非常有利。

……工作晶体管

为了测试这种方法, 我们将透明的源极和漏极欧姆接触技术应用到了真正的氮化镓晶体管上, 其设计如图 1 所示。在这些器件中, 二维电子气霍尔密度和迁移率分别约为 $8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 和 $1500\text{-}1600 \text{ cm}^2 \text{ v}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。在硅离子注入的辅助下形成 ITO 欧姆接触, 然后在 600°C 的氮气气氛中退火 1 分钟。

在我们的器件上进行直流测试, 显示结果优良, 表明氮化镓在未来透明电子系统中有很大的应用潜力。我们的晶体管栅极—源极距离为 $1.5 \mu\text{m}$ 的, 栅极长为 $2 \mu\text{m}$, 栅极—漏极距离为 $9.5 \mu\text{m}$, 呈现的最大漏电流为 602 mA/mm , 最大跨导为 121 mS/mm , 阈值电压通常为 -3.0 V 。这些值均与传统金属电极器件相似, 可以表明 ITO 栅极和制造工艺不会在器件表面引入明显的附加电荷。据其他的可靠报道, ITO 和 AlGaN/GaN 之间的肖特基势垒高度为 0.7 eV , 略高于 0.62 eV 。

我们的工作着重强调了透明氮化镓晶体管的潜力。为了促进其发展, 我们还将进一步优化透明欧姆接触和降低接触电阻。这可能会引导诞生出具有优良射频或功率性能的完全透明氮化镓晶体管, 并最终实现氮化镓透明电路和系统的量产。

扩展阅读

- Z. Liu et al. Proc. of IWN, 2018
- B. Lu et al. Electron. Dev. Lett. 31 951 (2010)
- T. Itoh et al. Sci. Reports 6 29500 (2016)
- Z. Liu et al. Proc. of IWN, 2016

CS INTERNATIONAL CONFERENCE

Why should you choose to sponsor with CS International?

- Are you looking to accelerate your growth and reach the major players in the compound semiconductor industry?
- Do you want to educate, influence and network with the industry?



If you have answered yes to any of the questions above, then CS International 2020 is the perfect event for you. Here are but a few reasons why you must consider sponsorship.

Reasons to sponsor

1. Access and network with the top strategists within the compound semiconductor industry

Celebrating its tenth anniversary, CS International 2020 will allow you to engage with 450+ key senior decision makers from the major companies across the compound semiconductor industry in one dedicated exhibition hall, including over 30 international experts, who will speak at the conference.

2. Raise brand and company awareness

We have an intensive and multi-faceted marketing program available and already underway, which includes email marketing, social media, conference partners, direct mail and live events in addition to promotion in the prestigious Compound Semiconductor print and digital magazine. Coupled with the marketing program, the support of our highly esteemed Conference association and media partners ensure your company, product and service will achieve maximum visibility within the compound semiconductor industry for the next 7 months.

3. Thought leadership and credibility

Aligning with the premier compound semiconductor conference will give you a great opportunity to be positioned as a thought leader in the industry. Engage in debate, share insights and expertise on industry challenges with your peers.

4. ROI and long-term partnerships

Many of our sponsors repeatedly support the event year on year, demonstrating how the industry trusts the CS International brand as the leading information and networking resource to deliver the best programme and ROI. Unparalleled networking opportunities enable you to both build existing and generate new relationships and demonstrate ROI by aligning with the conference brand.

5. Accessibility

We have opportunities to suit all budgets.

6. Post-event exposure

Even when the event is over, you will be included in off-season conference promotional activities, plus the CS print and digital magazine as well as the weekly email newsletter.

7. Expand your audience

CS International is part of AngelTech, a brand which uniquely delivers insightful, engaging and high-valued conferences that have tremendous synergy between audiences. The current line-up, attracting more than 700 delegates, consists of co-located Compound Semiconductor (CS) International, Photonic Integrated Circuits (PIC) International, and Sensor Solutions International (SSI). Delegates can choose between which sessions they want to participate in and the single exhibition hall layout enables exposure to 3 different but related audience.

Contact: sponsor@csinternational.net to discuss opportunities with the CS International Conference and Exhibition team or by calling +44 (0)2476 718 970 today.

Sponsorship opportunities are limited.

集成逻辑电路和无线功能

为硅提供 InGaAs 沟道，改善了 RF-CMOS 的逻辑和高频性能。

Cezar Zota, Clarissa Convertino, lukas Czornomaz, IBM 苏黎世分部

数字革命定义了我们的时代。我们生活的信息时代是通过大量数据流得以实现，这些数据流通过海底通信电缆传输，通过高频电磁波编码，流入和流出计算机进行处理，现在的计算机借助数十亿个晶体管实现处理功能。今天，我们不仅理所当然地认为我们可以立即获得信息和社交网络，而且还可以持续改进所有这些技术。我们希望智能手机，笔记本电脑和个人电脑变得更快，更高效，并且能够以更高的速率实现连接。

根据 Robert Dennard 的扩展规律（登纳德缩

放比例定律），多年以来，计算机和小工具的发展与硅 CMOS 的小型化技术保持同步。这些规则确立了一种使硅晶体管小型化的方法，同时改善其性能并保持了芯片的功率密度。这是通过同时降低电源电压和关键晶体管的尺寸（例如栅极氧化物厚度和栅极长度）来实现的。

从 20 世纪 60 年代开始，Dennard 扩展定律一直到本世纪初都持续运转很好。但最终，电子传输的物理极限已经追赶上了扩展速度，这是通过两个关键现象来单纯地阻止了现代晶体管的进一步缩小。

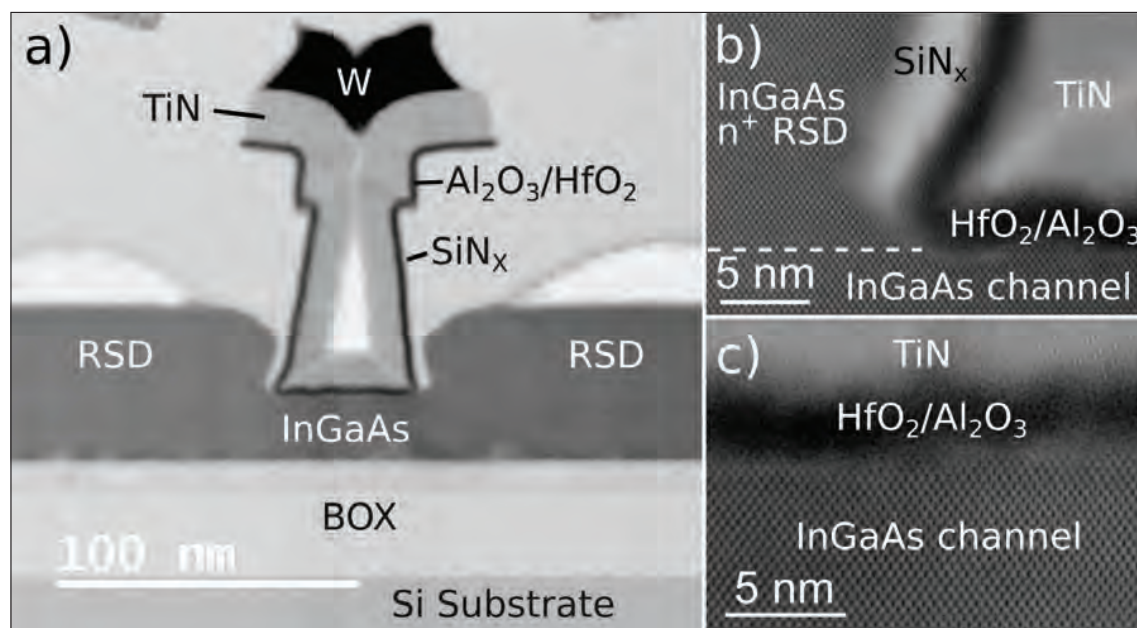


图1. (a) 所制造的RF-MOSFET横截面透射电子显微镜图。(b) 接触侧特写, 显示出凸起的接触外延以及SiN隔离, 这通过将接触与栅极分离从而减小了寄生电容。(c) 沟道区和栅极氧化物界面特写, 接近显示出III-V族材料的原始晶体质量。

第一个是电源电压的降低, 这可能是自相矛盾的, 当导通电流保持在恒定时, 电压降低将导致关断电流的增加, 从而避免处理器时钟速率的降低。实际上, 电源电压不能低于 0.7V, 这是目前最先进的硅 CMOS finFET 的值。

第二个现象是由于器件进入所谓的“准弹道机制”, 这是一种载流子传输模式, 电子在通过晶体管沟道时不会散射, 因为这种机制将导致随着栅极长度缩小, 导通电流的增加会减小。

这两种效应都对进一步缩小尺寸产生显著的影响。这将导致处理器时钟频率不再继续增加, 该频率已经在 3GHz 左右徘徊了十多年。替代方案是, 自 2003 年以来, 晶体管尺寸的减小成为更高晶体管密度的关键, 并使得多核处理器架构得以引入。

传统缩小尺寸范式失效的另一个影响, 是预示了创新和材料科学驱动的发展时代。最近, 新技术节点的推出已经不再是尺寸的减小, 而是新器件概念和材料的引入。它们包括高 κ 电介质, 应变硅和 SiGe, 以及 finFET 器件架构。

III-V 族材料能力

这个时期, 人们对化合物半导体材料产生了浓厚的兴趣。它们的高电子迁移率有望改善 CMOS 技术中的 nFET 沟道, 并在未来节点中提升驱动电流。例如, InGaAs 的电子迁移率是体硅的六倍, 并且可以将电源电压降低到 0.5V。这是一个很大的进步, 因为它会使功耗减半。

化合物半导体已经有持久影响的应用包括高

频技术, 如雷达和无线通信。HEMT 和 HBT 的改进, 在无线技术从 20 世纪 80 年代完全模拟的 1G 格式演变到今天的 4G 网络中, 发挥了重要作用。而且, III-V 族材料将成为推出 5G 的重要原材料, 它可以实现 10Gbit/s 的峰值数据速率, 并大大提高网络容量。

工程师已经开发出高频晶体管技术, 但是他们遵循与先进硅 CMOS 并不相同的规则。对于初学者来说, 缩小尺寸并不是那么重要。另一个关键区别是该器件采用半导体栅极势垒, 而不是氧化物。这种改变使得实现了更高的电子迁移率。然而, 这是以降低的静电效率为代价的, 因为其结合了相对小的介电常数和栅极泄漏的增加, 这源于势垒材料小得多的带隙。这样做的结果就是尺寸缩小会比较有限。取而代之的是, 其发展取决于器件结构优化, 以及寄生电容和电阻的减小, 特别是栅极电阻。

对于 III-V 族高频晶体管, 两个关键性能指标是截止频率 f_t 和最大振荡频率 f_{max} , 它们分别是实现电流增益和功率增益的最大频率。自上世纪中叶以来, 这两个值都稳步提升, 但近十年以来, 它们停滞不前, 其中 f_t 卡在 650GHz 左右, f_{max} 也不超过 1200GHz。

这两个原因, 都与半导体栅极势垒有关。首先, 由于静电控制不足, 栅长缩小就没有很好的效率。其次, 栅极势垒的厚度不能缩小。如果这样做的话, 就会增加栅极的泄漏, 因此增加氧化物电容也无法实现。这限制了峰值跨导, 从而

直接影响 f_t 和 f_{max} 。

这两个问题的解决方案是用高 k 的栅极氧化物代替半导体栅极势垒。在过去的十年中，人们已经进行了很多这方面的努力，专注于高频 III-V 族 MOSFET 的演示。迄今为止，它们仍比 HEMT 在 f_t 和 f_{max} 方面滞后大约 2 倍，这主要是由于栅极氧化物中缺陷的电子散射引起了迁移率的降低。然而，由于尺寸缩小性能方面的改善，MOSFET 在跨导方面要优于 HEMT。特别是，麻省理工学院的 MOSFET 显示出巨大的前景，跨导达到 3.45mS/mm。这些器件的潜力可以通过在高频兼容架构中实现来获得释放。

更高的频率

高频 MOSFET 当然不是什么新概念。在硅

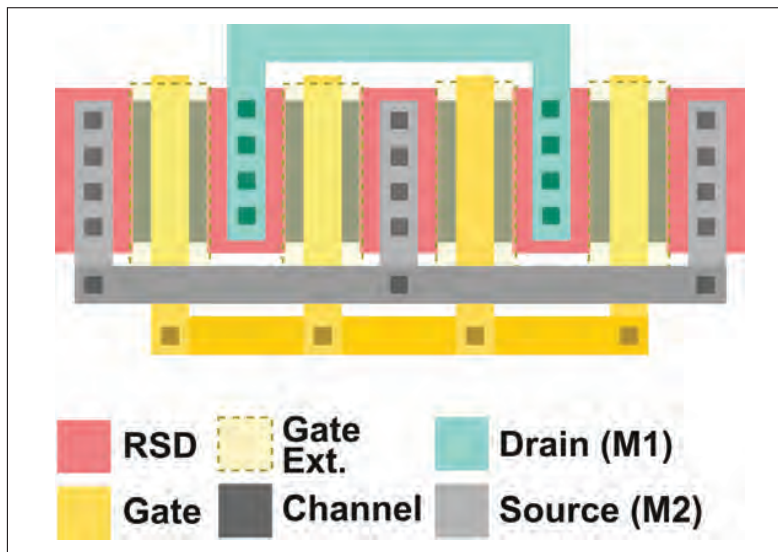


图2. 具有四个栅极叉指的IBM RF-MOSFET的布局图。栅极延伸层显示为栅极金属顶部上的额外金属线，用于降低栅极电阻。

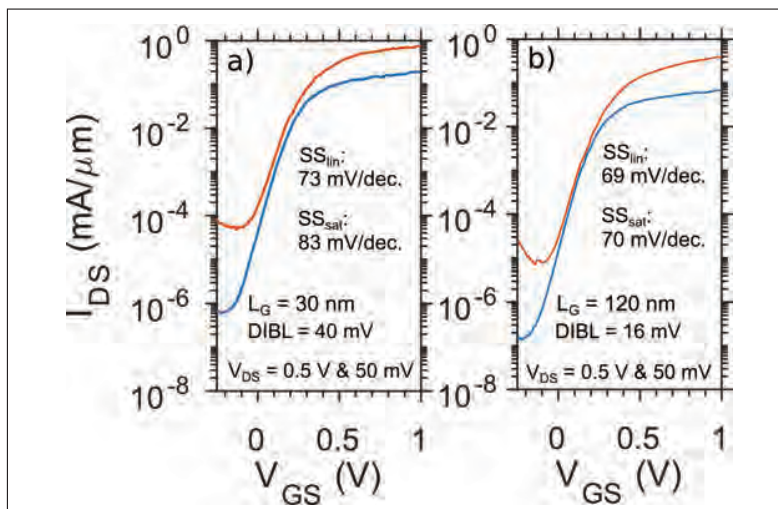


图3. 逻辑应用中短沟道和长沟道finFET的亚阈值特性图。finFET的三栅极结构改善了静电控制，从而减少了预期偏置点处的截止电流。

CMOS 工业中，有一类称为 RF-CMOS 的技术。其基本前提是利用最先进的硅 CMOS 技术节点，使器件可以同时满足高频和逻辑应用的需求。

这种双重功能有许多优点。它的成本低于 III-V 族 HEMT 技术，后者需要 III-V 族衬底和昂贵的晶体生长方法。此外，通过结合 RF 电路和逻辑电路，该技术可以实现无线通信功能和数字信号处理等系统的紧集成。由于这一原因，可以实现延迟和外形尺寸的同步减小，这对于当今的移动通信行业是极其有价值的。

然而，硅技术仍然受到硅这种材料低迁移率的阻碍。例如，英特尔的 22 纳米 RF-CMOS finFET 低功耗技术的 f_t 和 f_{max} 极限分别仅为 230GHz 和 284GHz。

鉴于此限制，将 III-V 与 RF CMOS 技术集成就有很大的吸引力。虽然 InGaAs 提供的驱动电流在 5nm 及以下长度范围内对 CMOS 的提升可能无法完全弥补 III-V 族沟道的集成成本，但 RF 性能的大幅提升可能会使 III-V 族的集成在缩小尺寸时更有优势。

将 III-V 族与 RF CMOS 结合起来并不容易。其中面临的挑战包括如何制造具有硅 CMOS 兼容工艺流程的高性能 III-V 晶体管，该工艺流程应该尽可能接近标准制造技术，以及如何在硅衬底上集成 III-V 族沟道的关键问题。此外，还需要在同一种技术中共同优化逻辑电路和射频器件。

在 IBM 苏黎世分部，我们最近通过努力成功取得了新的突破。我们的方法是通过直接晶圆键合在硅上集成 InGaAs 沟道。我们在目标硅晶圆和包含沟道的源 III-V 族晶圆上方覆盖键合氧化物，从而提供键合力。将两个晶圆放到一起，并退火，随后将源晶圆剥离，从而在硅氧化物层上留下 III-V 族薄层。

过去十年中，直接晶圆键合技术已经突飞猛进。它现在是 III-V 族集成的主要候选方式，因为它解决了几个关键挑战。包括它能够进行大面积晶圆键合，昂贵的 III-V 族衬底可重复使用，与预处理晶圆的键合，以及与适合 n FET 和 p FET 沟道层的集成。

改进的空间仍然存在，因为需要降低键合缺陷密度以确保 III-V 族材料层的高迁移率。然而，毫无疑问的是，直接晶圆键合已经成熟为马上可以进入工业用途的技术。

我们的 III-V 族 RF-CMOS 技术的优势之一

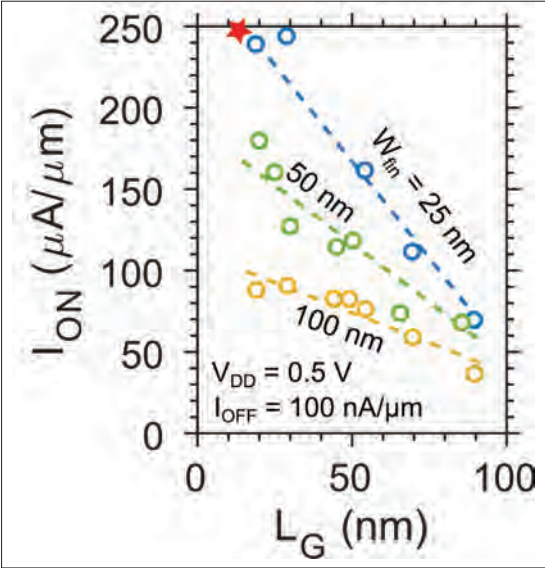


图4. 各种栅极长度时，针对在特定电源偏置和关断电流下定义的导通电流的比较图。红色星形表示的是IBM在2017年IEDM会议上之前的结果，这是一种单纯适用于逻辑电路的技术。借助IBM的最新技术，可以实现类似的逻辑性能，同时还能够实现高频功能。

是它采用硅 CMOS 完全兼容的工艺流程。工艺包括首先栅极高 κ / 金属栅极流程，形成凸起和原位掺杂的自对准源极和漏极区域，同时使用硅兼容的材料。通过采用这种方法，我们凸显出硅技术中经济高效地引入 III-V 族材料的可能性。额外的代工成本得以最小化。

我们已经使用我们的工艺技术制造了具有 20nm 宽 InGaAs 鳍的 finFET。在具有可比尺寸栅极长度上，针对硅上 III-V 族进行了基准测试，结果显示我们最新的晶体管与最先进的晶体管可相媲美，这里也包括我们在 2017 年 IEDM 上报告的与我们仅针对逻辑电路的平台进行比较。该评估基于 250 μ A/ μ m 的驱动电流，实现了固定的关断电流和 0.5V 的电源电压。

我们最新的芯片还具有 RF-MOSFET。该芯片同时提供令人印象深刻的高频和逻辑性能，这是通过 SiN 源极和漏极隔离实现的，这些隔离减少了与栅极电极，以及隔离下方源极和漏极接触扩展的重叠电容。注意，简单地添加隔离以减小

集成逻辑电路与无线功能其中所面临的挑战包括：如何制造具有硅CMOS兼容工艺流程的高性能III-V晶体管，该工艺流程应该尽可能接近标准制造技术，以及如何在硅衬底上集成III-V族沟道的关键问题。

寄生电容，并希望藉此改善高频性能并不够好，因为这通过在隔离下方沟道的非栅极部分中引入大的接入电阻，从而会降低逻辑性能。我们采用一种新颖的方法来避免这种情况，该方法包括在隔离下方一个小空腔的可控蚀刻，然后再填充低电阻的接触材料，从而减少对接入电阻的影响。

采用这种架构，我们的 InGaAs RF-MOSFET 能够达到 400GHz 的 f_t ，这是迄今为止报告的 III-V 族 RF-MOSFET 最高值。随着我们器件布局的优化，我们获得了 f_t 为 215GHz 和 f_{max} 为 300GHz 的平衡性能。这些值接近英特尔和格罗方德的硅 RF-CMOS 性能。

更高的频率是可能的。电容仍然是高频性能的限制，因而可以通过更厚的隔离和更长的接触扩展来实施改进。另一个优化是在沟道中引入薄量子阱。这将通过减少栅极和背面氧化物界面处的散射，实现迁移率的增加。通过这些改变，应该能够推动我们的技术从与最先进的硅等效产品性能相匹配，达到以相当大的优势超越它们，并最终成为 III-V 族和硅集成的强有力实例。

作者注：本工作得到 Horizon 2020 支持协议的资助，资助号 688784 (INSIGHT)。

扩展阅读

H. Hahn et al. IEDM Tech. Dig. 17.5.1-17.5.4 (2017)

B. Sell et al. IEDM Tech. Dig. 685 (2017)

C. Zota et al. VLSI Techn. Symp. T15-5 (2018)

Technology	Platform	I_{ON} @ $V_{DD} = 0.5\text{ V}$ & $I_{OFF} = 100\text{ nA}/\mu\text{m}$	f_t (GHz)	f_{max} (GHz)
This work	InGaAs on Si	250 $\mu\text{A}/\mu\text{m}$ ($L_G = 30\text{ nm}$)	215	300
TSMC FinFET	InGaAs on Si	300 $\mu\text{A}/\mu\text{m}$ ($L_G = 120\text{ nm}$)	-	-
imec GAA	InGaAs on Si	210 $\mu\text{A}/\mu\text{m}$ ($L_G = 46\text{ nm}$)	-	-
Intel 22FFL	Si RF-CMOS	-	230	284
GF 14nm FinFET	Si RF-CMOS	-	314	180

表1. 各种硅上III-V族技术以及最先进硅RF-CMOS的基准数据。通过比较高频性能，我们的新工作首次展示了III-V族可以与硅RF-CMOS相匹配的性能。

CS INTERNATIONAL CONFERENCE

Connecting, informing and inspiring the compound semiconductor industry

31 MARCH - 1 APRIL 2020 BRUSSELS, BELGIUM

CS INTERNATIONAL 2020 CONFERENCE DATES, THEMES AND FIRST SPEAKERS ANNOUNCED!

IN ITS TENTH YEAR, we are excited to announce the flagship event for the global compound semiconductor industry returns to Brussels in 2020 - bringing together the key players from the industry from across the supply chain for two-days of technical tracks and exhibit opportunities. CS International is part of the AngelTech series of events, which has produced for close to a decade, a portfolio of insightful, informative and highly valued chip-level conferences.

Attracting more than 700 delegates, consisting of co-located Photonic Integrated Circuits International, and Sensor Solutions International, plus a single exhibition area, delegates can dip in and out of every session to put together their own tailor-made programme by selecting from over 125+ invited talks, delivered by leaders of the most innovative global companies of today.

With a strong synergy between the three conferences, attendees and exhibitors are fully exposed to the relevant supply chains as well as customer and supplier bases.

The CS International Conference continues to grow in scale and stature year on year and is now firmly established as the must-attend conference for the compound semiconductor industry. With an attendance in 2019 of 700 senior level delegates including representatives from Sony, ROHM Semiconductor, WIN Semiconductors and IHS Markit among many others, the event was our largest yet.

Preparations for CS International 2020 have got off to a fantastic start, with a record number of industry leading speakers and sponsors already confirmed for the event with 8 months to spare.

5 New Themes for 2020:

Satisfying demand for more data

How are we supporting the roll-out of 5G? And how can we speed other data links?

Seeking new opportunities for LEDs and lasers

What's needed to unlock the microLED market? And what does the future hold for the VCSEL?

Ramping volumes in the power electronics sector

How will the supply chain fulfil the ever-growing demand for SiC? And what will be GaN's first killer application?

Enhancing the automobile

Why is GaN power electronics poised for success? How will higher-performance lasers make our roads safer?

Taking wide bandgap devices to their ultimate limits

How will GaN-on-diamond grow its volumes? Is the market ready to receive gallium oxide?

Speakers confirmed to date include:

AIXTRON, Attolight, Bruker, ClassOne, DISCO Europe, EpiGaN, Evatec, ExaGaN, Ferrotec, FLOSFA, IHS Markit, Infineon, KLA, Laytec, Nanotronics, Nanowin, Panasonic, Plessey Semiconductors, QROMIS, Revasum, Sony Corporation, Stanley Electric, Strategy Analytics, Veeco, Wolfspeed

Book your place NOW!

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

PLATINUM SPONSORS

AIXTRON

attolight™

BRUKER

ClassOne

DISCO
Kiru · Kezuru · Migaku Technologies

EPIGaN

evatec
process systems

FerroTec

KLA +

LAYTEC
Knowledge is key

nanotronics

Nanowin
苏州纳维科技有限公司
Suzhou Nanowin Science and Technology Co., Ltd

Panasonic

Revasum

Veeco

GOLD SPONSORS

CS CLEAN SOLUTIONS

EAG
LABORATORIES

Eurofins
Materials Science

IQE

semi™

SILVACO

VEM
Vacuum Engineering & Materials

THEME SPONSORS

ClassOne **INSPECTROLOGY** **PFL**

CONFERENCE APP SPONSOR

APPLIED MATERIALS
make possible

WIFI SPONSOR

BROLIS
SEMICONDUCTORS

PORTFOLIO SPONSOR

Plasma-Therm

PROGRAMME GUIDE

MERSEN
Expertise, our source of energy

BADGE HOLDER

FRT
THE ART OF METROLOGY

angel  **tech**

3 Conferences, 2 Days, 1 Ticket

CS angel tech **INTERNATIONAL**
CONFERENCE

PIC angel tech **INTERNATIONAL**
CONFERENCE

SSI angel tech **INTERNATIONAL**
CONFERENCE

镁掺杂效率随 GaN 的平面而变化

阴极发光表明，侧壁的镁含量明显低于标准 GaN 外延层。

美国亚利桑那州立大学的研究人员称，他们率先对台面结构中镁掺杂效率的横向变化进行了成像，借此取得了全新的突破。

这一发现对于垂直 GaN 功率器件具有重要意义，此类器件具备高电压和高功率处理能力、良好的热管理特性和紧凑的设计，因而颇受高电压、高功率应用的青睐。

这些器件的制造过程包括外延片的蚀刻以及随后在不同平面上的 GaN 再生长。这类器件中的镁掺杂必须均匀且具有足够高的浓度，以夹断通道（没有任何偏压），并最终确保常关型操作。根据这项最新的研究工作结果，考虑到不同的平面具有不同的镁浓度，掺杂均匀度的实现颇具挑战性。

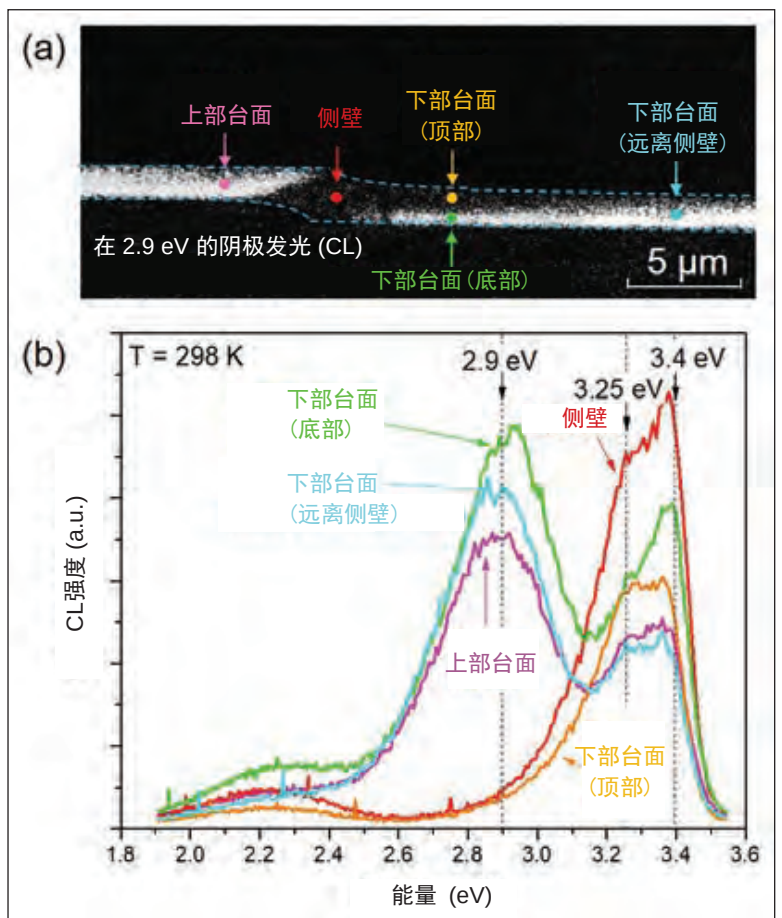
研究人员通过阴极发光（CL）测量发现了镁掺杂浓度的变化。由于空间分辨率不足，二次离子质谱分析仪（SIMS）未能揭示这种掺杂均匀性的缺失。

据该研究小组的发言人 Fernando Ponce 称，其阴极发光测量所面对的最大挑战是使发光特性与对照样品中的镁掺杂相关联。

为了开展他们的探究活动，该研究小组采用 MOCVD 工艺制作了四个不同的样本。第一个样本的形成方法是：在使用光刻和基于氯的电感耦合等离子体蚀刻产生台面结构之前，生长一个 $4\mu\text{m}$ 厚的非故意掺杂 GaN 层，接着添加一个 $0.3\mu\text{m}$ 厚的非故意掺杂 GaN 层，然后是一个 $1.65\mu\text{m}$ 厚的 p 型 GaN 层。其他三个样本的制作是在蓝宝石衬底上先后生长一个 $1\mu\text{m}$ 厚的 n 型 GaN 层和一个 $1.65\mu\text{m}$ 厚的 p 型 GaN 层。这些样品之间的差别是镁源（ Cp_2Mg ）的流速——50 sccm、100 sccm 和 200 sccm 的数值制成了具有不同 p 型掺杂浓度的样品。

所有 4 个样品均在 800°C 的温度下进行持续 10 分钟的退火，以激活镁掺杂。在此之后，研究人员采用 SIMS 来确定 3 个平面样品中的镁浓度。

台面结构的横断面 CL 成像和光谱分析显示，峰值为 2.9 eV、3.25 eV 和 3.4 eV，而相对强度则随着位置的不同而变化。这三个峰值（在所有三个平面样品的 CL 光谱中均有发现）已经被其他的研究小组观察到。3.4 eV 的峰值被归因于



台面结构的横断面光学特性。在 2.9 eV 的单色阴极发光映射。(b) p 型 GaN 层中不同区域里的光斑模式阴极发光光谱，如 (a) 中的箭头所示。

近带边激子跃迁，3.25 eV 的峰值源于浅施主至镁受体的跃迁，而 2.9 eV 的峰值则由深施主至镁受体的跃迁引起。

通过将台面结构的 CL 光谱与平面样品的光谱进行比较，研究人员得出结论：上部台面、下部台面的底部、以及远离侧壁的下部台面中心处的镁浓度约为 $3.1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。这是因为光谱类似于采用 100 sccm Cp_2Mg 流速制作的样品。对于侧壁和下部台面的顶部，光谱与使用 50 sccm Cp_2Mg 流速制作的样品所产生的光谱相似（该样品具有 $1.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的镁浓度）。

参考文献

H. Liu et al. Appl. Phys. Lett. 114 082102 (2019)

添加铟可提高 UV LED 的功率

增设一个基于铟的底层可以捕捉表面缺陷，从而实现内部量子效率的提高。

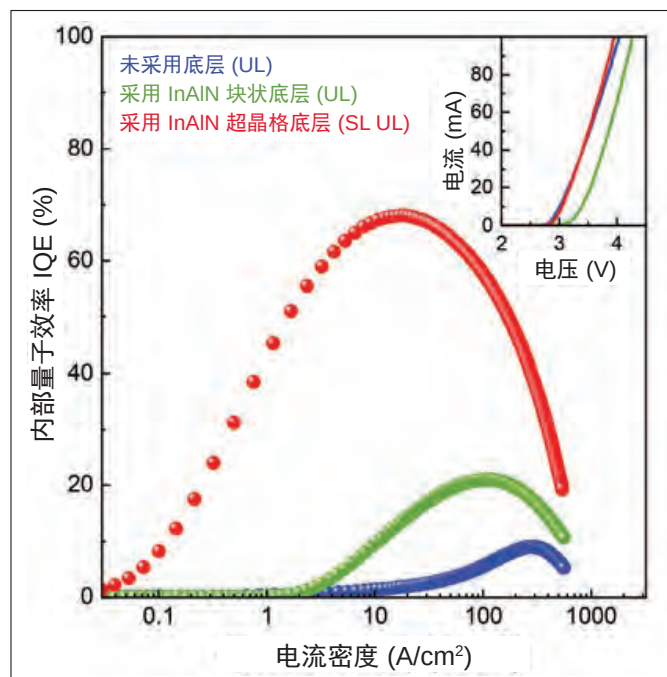
近紫外光 LED 深受外部量子效率低的困扰，这个缺点阻碍了基于红、绿和蓝色荧光体的白光 LED 的发展。

但是，由于瑞士洛桑联邦理工学院（EPFL）和瑞士联邦材料科学与技术实验室的研究人员辛勤的工作付出，这一切都有可能改变。这项合作研究发现，在近 UV 光 LED 的下方插入一个 InAlN 底层可实现内部量子效率的提升——从低于 10% 上升到远高于 60%。

来自 EPFL 的 Camille Haller 代表该研究小组告诉《Compound Semiconductor》杂志，铟是中间层的关键成分。研究人员认为，这个中间层可以捕捉表面缺陷，从而防止它们被吸入活性区，因为它们在活性区将导致非辐射复合中心的产生。

到目前为止，这种推测尚无理论依据。Haller 说：“对于底层的作用，存在很大的争议，但是我们已经排除了应变、电场，以及位错（源于 V 型凹陷形成）屏蔽的影响。”

不过，非常清楚的是：包含铟的中间层有益于基于氮化物的 LED。Haller 认为：“引人注目的特点是所有的商用蓝光 LED 都具有一个 InGaN 底层（块状或超晶格），不管采用的是哪种衬底。”



在 UV LED 的下方放置一个 InAlN 和 GaN 的超晶格，可以提高内部量子效率，并且不会损害接通电压指标。

她和同事们一起，通过制作采用和未采用这种三元结构的器件并比较其性能，证明了在近 UV LED 中插入 InAlN 底层的好处。样品的制作方法是：将蓝宝石衬底装入一个 Aixtron 200/4 RF-S MOCVD 反应器，并生长各种不同的外延结构（均从一个 2 μm 厚的 GaN 缓冲层开始）。

除以之外，在对照样品中还增添了一个 5 nm 厚的掺硅 GaN 层。在这两种变体中，一种具有一个 45 nm 厚的掺硅 In_{0.17}Al_{0.83}N 层，后随一个 5 nm 厚的掺硅 GaN 层；另一种则具有一个超晶格，包含 24 个 2.1 nm 厚掺硅 In_{0.17}Al_{0.83}N 和 1.75 nm 厚掺硅 GaN 的交错对，其后是一个 5 nm 厚的重掺硅 GaN 层。在所有三个样品的顶部上均添加了一种具有活性区的 LED 外延结构，此活性区设有单个 2.7 nm 厚的 In_{0.09}Ga_{0.81}N 量子阱和一个 20 nm 厚的掺镁 Al_{0.2}Ga_{0.8}N 电子阻挡层。

所有三种类型的外延片均被加工成 300 μm x 300 μm LED，由钛和金的堆叠（对于 n 型触点）以及钼和金的组合（对于 p 型触点）形成。

在一定的驱动电流范围内对内部量子效率进行了测量，结果显示：没有中间层的 LED 的内部量子效率峰值为 9%，而采用块状 InAlN 中间层的芯片则达到了 21% 的最大值（见插图）。这种性能上的适度提高归因于 AlInN 层中存在缺陷，这可能会受阻于 V 型凹陷。

块状 InAlN 层有一个缺点，就是它会导致接通电压的增加——提供 20 mA 电流需要 3.26 V 偏压，相比之下，对照样品仅需 3.16 V（见插图中的小图）。第二个 InAlN/GaN 界面上的偏振失配被认为是罪魁祸首，产生了一个静电势垒。

该静电势垒问题通过界面上的重掺杂得以解决。在具有超晶格的 LED 中采取了这种做法，它具有平滑的表面、高结构质量，并实现了 68% 的内部量子效率。

Haller 表示，研究小组将继续着力了解表面缺陷。工作重点将专注于弄清这些缺陷的生成机理，并对其加以识别和确认。

参考文献

C. Haller et al. Appl. Phys. Express 12 034002 (2019)

石墨烯点亮了深紫外 LED 的发展前景

多层石墨烯可以消除 AlN 中的缺陷，从而大幅提高 LED 效率。

中国北京的研究人员通过在衬底和外延层之间插入一层石墨烯，成功地增大了深紫外 LED (UV LED) 的输出功率。

对开发用于杀菌、聚合物固化、生化检测和特殊照明等领域，且功能更加强大的深紫外光源来说，该研发团队所做的努力可起到辅助作用。目前，在这些应用中使用 LED 受阻于其内部量子效率较低（通常低于 10%）。

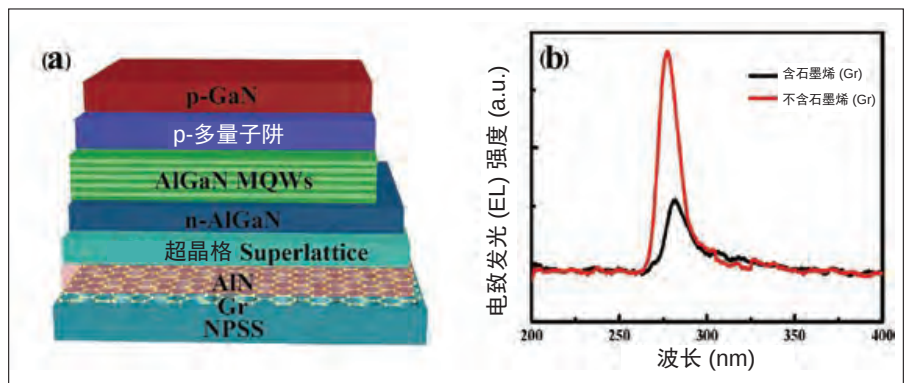
由北京的这个研究小组制作的 UV LED 在效率和亮度方面取得了改善，这源于首次运用石墨烯辅助准范德瓦尔斯外延技术在纳米图案化蓝宝石衬底上生长高质量 AlN 薄膜。

采用该方法时，在厚度仅为 1 μm 的 AlN 薄膜中出现聚结。这种厚度是使用标准方法时的 1/3，包括在图案化蓝宝石衬底上生长 AlN 薄膜。不管是生长时间还是材料成本，都由此获得了巨大的节省。

为了解他们所用方法的优势，该研究小组采取了第一原理计算，以确定在蓝宝石和石墨烯上生长铝的能量迁移势垒。在蓝宝石衬底上生长铝时，能量迁移势垒为 1.02 eV，而在石墨烯衬底上生长铝的时候则小了一个数量级以上，这就解释了为什么采用一层石墨烯可促进铝原子的侧向迁移。

迁移的增强是一大优点，因为它激励了二维生长。该研究小组的发言人、来自中国科学院半导体研究所的魏同波解释说：“这不仅引起纳米图案化蓝宝石表面上 AlN 的快速侧向聚结，而且还降低了 AlN 外延层中的位错密度和应变释放。”

反过来，修整位错密度和减小应



多层石墨烯可改善外延层的质量，从而造就效率更高的深紫外 LED。

变能够改善活性区的质量，从而实现较高的内部量子效率和亮度更高的 LED。

此研究小组采用压印光刻和蚀刻工艺来制作纳米图案化蓝宝石，其具有一个由 400 nm 深锥组成的六角形阵列，和 1 μm 的周期。

在把图案化衬底装入 MOCVD 反应器之后，研究人员采用准范德瓦尔斯外延技术添加了石墨烯层。然后，为了提高石墨烯层的化学反应性（在石墨烯上进行 AlN 的外延生长是公认的难以解决的问题），研究人员转向使用氮活性离子蚀刻等离子体处理，以将缺陷引入薄膜。为评估该工艺的影响，研究小组制作了两个样品：一个样品在位于纳米图案化蓝宝石之上的石墨烯层上生长 AlN 薄膜，另一个样品则不包含石墨烯。

扫描电子显微镜显示：通过添加石墨烯，不规则的 AlN 岛消失了，取而代之的是欠特征的平面薄膜。这种形式的显微镜还显示：借助石墨烯层，AlN 能够在薄膜厚度小于 1 μm 时完全聚结。相比之下，对于在纳米图案化蓝宝石上生长 AlN 而言，实现完全聚结需要 2.4 μm 厚的 AlN 薄膜。

拉曼光谱仪显示：添加石墨烯减小了应变。应变从 0.87 GPa 降至 0.25 GPa。为了评估 AlN 中的位错密度，研究小组采用明场、横截面透射电子显微镜仔细观察了该外延层。观察结果表明，位错的密度在靠近界面的地方为 $5.5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ ，但是在 1.5 μm 厚的薄膜表面则仅为 $1.5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 。

优越的 AlN 将造就更好的 LED 性能。与传统的变体相比，包含石墨烯薄膜的 280 nm 发光波长器件所产生的电致发光峰值高出 2.6 倍。

这个研究小组的目标之一是进一步探究石墨烯对 LED 性能的影响。

魏同波说：“更重要的是，我们将尝试借助多层石墨烯之间的弱范德瓦尔斯力把 AlN 外延层与蓝宝石衬底分开，以获得柔性 LED。准范德瓦尔斯外延技术具备制造柔性 LED 的巨大潜力，可替代激光剥离。”

多层石墨烯可改善外延层的质量，从而造就效率更高的深紫外 LED。

参考文献

H. Chang et al. Appl. Phys. Lett. 114 091107 (2019)

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**



AN ANGEL EVENT

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	25, 30-31, 35
Evatec Ltd.		www.evatecnet.com	9
IC China		www.IC-China.com.cn	IBC
IQE		www.iqep.com	15
Revasum		www.revasum.com	19
中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟		www.iawbs.com	BC

欢迎投稿

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

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

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

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

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

文章投稿指南

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

图表编号一致;

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

新产品投稿指南

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

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

如果您有什么意见或建议, 或者有什么想法同本刊编辑探讨, 请不吝赐教。

行政及销售办公室 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

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

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

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

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)
jennyl@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)
hattery@actintl.com.hk
Amber Li (李歆)
amberl@actintl.com.hk

Linda Li (李承珍)
lindal@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



开放发展 合作共赢

Open for development Cooperate for win-win

全球 IC 企业家大会 暨第十七届中国国际半导体博览会

Global IC Entrepreneurs Conference
& The 17th China International Semiconductor Expo

2019.9.3-5

中国·上海 新国际博览中心

IC CHINA 2019

指导单位 工业和信息化部 上海市人民政府

主办单位 中国半导体行业协会

中国电子信息产业发展研究院

承办单位 北京赛迪会展有限公司

中国电子报社

上海市集成电路行业协会

联系我们

电 话：010-68207449、88558152

电子邮箱：icchina@csia.net.cn



www.IC-China.com.cn

中关村天合宽禁带 半导体技术创新联盟

Introduction of Innovation Association of Wide Bandgap
Semiconductor Technology



联盟介绍

2016年4月27日，在国家科技部、北京市科委、新疆生产建设兵团科技局和北京市民政局的大力支持下，由从事宽禁带半导体研发、生产及应用等领域的企（事）业单位、大专院校、科研院所等，按照平等、合作、互助、互惠的原则，本着共创市场、共享成果、共同发展的理念，自愿联合组成的经北京市社会团体登记管理机构核准登记的全国性非营利性社会团体法人——“中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟”（以下简称联盟）。

截止2019年6月联盟成员单位共65家，涉及设备（耗材）-衬底-外延-器件-模块-应用全产业链企事业单位、科研院所及大专院校。囊括了北京天科合达、中科院半导体所、浙江大学、中电55所、泰科天润等国内从事宽禁带半导体研发及产业化的主流单位。联盟将通过不断创新体制机制、整合创新资源，探索行业管理和科技服务的新模式，以提高我国半导体产业的国际地位。

联盟将竭尽全力为成员单位创造沟通和交流的平台，促进合作，促进资源共享和互利互惠；联盟将竭尽全力进行联盟团体标准的制定、推进与完善以提升联盟内成员单位的话语权与市场占有率。我们欢迎所有承认“联盟章程”，从事宽禁带半导体产业相关研发、制造和服务的国内外企、事业单位加入联盟！

如有需要请联系我们

地址：北京市大兴区天荣街9号世农大厦3层

邮箱：mishuchu@iawbs.com

联盟网站：www.iawbs.com

微信公众号：iawbs2016

