

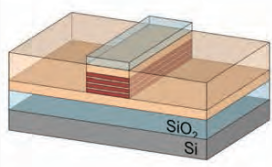
化合物半导体



• CHINA

季刊 2016年 第4期

光子集成电路



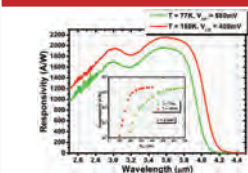
晶圆载体监测



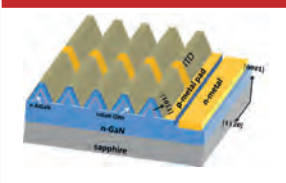
GaN HEMT检测 空气污染物



光电晶体管



低成本半极性LED



GaN 数字功率放大器



您认为,

AIXTRON
Our technology. Your future.

氮化镓功率器件的生产 需要高产能解决方案.

我们也这样认为.

最新型 AIX G5+ C



发现最新型 AIX G5+ C.

基于荣获最佳单晶片性能奖项的行星式反应技术,
提供多晶片反应腔的产能优势,
提供晶盒到晶盒晶片自动化放取技术,
提供炉内原位清洁技术,
提供已被验证的器件工艺制程.
实现工艺流程全自动化,
与现有的硅晶片产线无缝衔接.



7 - 8 March 2017

Sheraton Brussels Airport Hotel, Belgium

CS International will provide
comprehensive coverage of
all aspects of the compound
semiconductor industry

Register:

www.cs-international.net

**Speakers represent the biggest
chipmakers and the most promising
start-ups.**

PRESENTATIONS INCLUDE:

- **San'an:** The creation of the biggest LED chipmaker in China
- **Flosfia:** Unleashing the potential of gallium oxide
- **Skyworks:** Front-end architectures for tomorrow's smartphones
- **IBM:** The latest efforts to develop III-V logic

*Book your
place before
30.11.2016 and
receive a €100
discount*

FIVE KEY THEMES:

- **Revolutionising RF chips**
Will GaN RF deliver the best bang per buck by increases transistor voltages, or making these devices on silicon? And what are the best options for really high frequencies?
- **Exploiting heterogeneous integration**
What are the fruits of a marriage between silicon and the III-Vs? And can higher mobility materials improve microprocessors and memory?
- **Optimising light emitters**
Are colossal LED fabs revolutionising chip manufacture? And what are the big opportunities for visible lasers?
- **Perfecting power electronics**
Can the best devices stem from the ultra-wide bandgap of gallium oxide? Or will they emerge from foundries processing GaN and SiC on silicon?
- **Refining handset architectures for the 2020's**
Will handsets be crammed with ever more III-V content? And could GaN appear in the front-end in the coming years?



封面故事 Cover Story

- 10 采用GaN数字功率放大器的先进无线通讯技术**
Advancing wireless with the digital GaN PA
- Andreas Wentzel, FBH BERLIN

市场 Market

- 4 检测能够促使器件市场增长达到最大化**
Metrology: making the most of market growth
- 6 光子集成电路 (PIC) : 芯片制造技术上的选择**
PIC: options for lighting up the chip
- 9 整合优势资源,促进第三代半导体产业发展**
Integrating advantage resources to promote the development of the third generation semiconductor industry

技术 Technology

- 14 通过监测晶圆载体来提高芯片制造的性能**
Refining chip manufacturing with wafer carrier monitoring
- Carrie Andre, Darryl Barlett, K-SPACE ASSOCIATES
- 18 用于空气污染物检测的GaN HEMT**
Exposing pollutants with GaN HEMTs
- Peter Offermans, IMEC

科技前沿 Research Review

- 24 光电晶体管在自由空间通信中的应用**
Phototransistor targets free-space communication
- 25 氮化物和砷化物与硅CMOS的集成**
Integrating nitrides and arsenides with silicon CMOS
- 26 采用双层ITO来提高LED的亮度**
Dual layer ITO boosts LED brightness
- 27 大幅降低半极性LED的成本**
Slashing the cost of semi-polar LEDs

3 编者话 Editor's note

28 广告索引 Advertisement Index

关于《化合物半导体》

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

About Compound Semiconductor China

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

关于雅时国际商讯

雅时国际商讯(ACT)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--为跨国公司和中国企业架起了拓展中国市场的桥梁。ACT的产品包括十种技术杂志和相关的网站,以及各种会议,服务于半导体制造、化合物半导体、光伏/太阳能、机器视觉设计、电子制造、洁净及污染控制、激光/光电子、LED技术、射频/微波、电磁干扰与兼容等领域的十多万专业读者。ACT亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT总部在香港,在北京、上海和深圳设有联络处。www.actintl.com.hk

About ACT International Media Group

ACT International, established 1998, serves a wide range of high technology sectors in the high-growth China market. Through its range of products -- including magazines and online publishing, training, conferences and events -- ACT delivers proven access to the China market for international marketing companies and local enterprises. ACT's portfolio includes ten technical magazine titles and related websites plus a range of conferences serving more than 100,000 professional readers in fields of semiconductor manufacturing, compound semiconductor, PV/solar energy, vision system design, electronic manufacturing, contamination control, laser/photronics, LED technology, RF/microwave 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 and Shenzhen. www.actintl.com.hk



扫一扫
免费下载电子书

社长 Publisher

麦协林 Adonis Mak
adonism@actintl.com.hk

主编 Editor in Chief

赵雪芹 Sunnie Zhao
sunniez@actintl.com.hk

出版社 Publishing House

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

北京 Beijing

Tel/Fax: 86 10 64187252

上海 Shanghai

Tel: 86 21 62511200

Fax: 86 21 52410030

深圳 Shenzhen

Tel: 86 755 25988571

Fax: 86 755 25988567

武汉 Wuhan

Tel: 86 27 59233884

UK Office

Angel Business
Communications Ltd.
6 Bow Court,
Fletchworth Gate,
Burnsall Road, Coventry,
CV56SP, UK
Tel: +44 (0)1923 690200
Chief Operating Officer
Stephen Whitehurst
stephen.whitehurst@angelbc.com
Tel: +44 (0)2476 718970

IR LED 带动 LED 市场成长

红外发光二极管 (IR LED) 市场持续升温, 越来越受到关注。据中国 LED 网报道, 至 2020 年 IR LED 产值 (不含传感器) 将达 7.1 亿美元, 超过目前的 3 亿美元一倍以上, 年复合成长率达 24%。

IR LED 的发光功率比可见光大, 常被应用于通信及感测器领域, 包括: 遥控器、医疗器具、空间光通信、红外照明、固体激光器的泵浦源、高速公路的自动刷卡系统、摄像头、楼宇对讲、防盗报警等。随着大功率红外产品的开发应用加速, IR LED 的研发重点也从之前附加价值较低的应用市场, 转向移动支付、车用、安控监视、红外医疗等高附加价值市场应用。

安防监控为 IR LED 目前最主流的应用。数据显示, 2014 年 IR LED 应用于安全监控的市场规模为 9400 万美元, 2015 年已增长至 1.2 亿美元。虽然由于 LED 厂商激烈的价格竞争, 加上有越来越多厂商开始透过缩小晶片尺寸及改变封装形式降低成本, 使得 2016 年 IR LED 于安防监控应用的产值仅微幅成长, 但未来几年, 安防监控市场仍将是 IR LED 成长性很高的领域。

随着智能手机、笔记本电脑、平板等产品陆续导入虹膜与脸部辨识应用, 将 IR LED 的应用领域拓展到移动及可穿戴等消费电子领域。相关研究报告显示, 脸部与虹膜辨识功能在移动设备中应用将逐渐普及, 虹膜辨识应用于移动支付、网路金融交易上, 辨识度大为提升, 更为安全。预估 2020 年搭载红外光辨识感测器的移动设备将达 4 亿部, 届时 IR LED 于脸部与虹膜辨识应用的产值将达 2.5 亿美元, 成为 IR LED 最具潜力的应用市场之一。另外, IR LED 芯片适合制造近红外光器件, 可用于消炎、镇痛, 促进新陈代谢、检测血液的含氧量等医疗健康领域, IR LED 应用于穿戴式装置、生物感测器市场的潜力非常大。同时, IR LED 及光学传感器于物联网及工业领域、虚拟 / 增强现实 (VR/AR) 等方面也有相当大的机会, IR LED 应用于机器人市场将持续发展。

虹膜与脸部辨识、物联网及工业领域、VR/AR、红外医疗等将成为继安全监控之后 IR LED 新的成长动能, 但现阶段这些应用仍处于初期发展阶段, 后续成长空间巨大, 将带动 IR LED 市场增长。

作为新的利基市场, 虽然目前 IR LED 市场的需求量尚不算大, 但未来成长空间巨大, 且现阶段的毛利润也很高, 单颗 IR LED 价格约为同尺寸蓝光 LED 的 10 倍, 甚至更高。巨大的利润空间吸引了欧司朗、晶电、华上等公司大举进军 IR LED, 并取得了不错的市场反响, 同时, 鸿利智汇、研晶、亿光等更多企业也在加快布局 IR LED。尽管 IR LED 市场前景看起来一片乐观, 但要发展普及 IR LED 还需要全产业链的通力合作, 加强封装技术、光学设计能力, 不断提高红外线感测模组的精准性, 创造更多的新应用。

赵雪芹



检测能够促使器件市场增长达到最大化

LayTec 公司正在 III-V 族市场的增长中寻找机会。

位于德国柏林的仪器设备供应商 LayTec 公司在 6 月下旬发布了其首台原位 (in-situ) 检测设备 EpiTT/VCSEL。

该检测设备是专为垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 制造工艺而设计的, 可在 MOCVD 工艺中用来测量生长外延层时的硅片温度和生长速率, 而且还能监测分布式布拉格反射层和腔体结构层的光谱反射率。LayTec 公司的首席技术官 Kolja Haberland 强调说: “我们是通过观察终止波段的光谱位置, 来确定在腔体和布拉格反射层之间是否存有任何的不匹配现象”。

“例如, 由反射层反射的光波长必须一致, 即使它们只有几个纳米的差异也会对器件性能产生影响”, 他补充说道: “我们正在努力把新的检测设备推向市场来满足客户的需求, 因为我们看到了垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 市场的巨大增长潜力”。

LayTec 公司的首款具有原位检测功能的设备产品, 称之为 EpiRAS, 能够监测立方晶体半导体材料的外延生长。作为一台研究应用的设备, 研发机构可利用该系统来获得硅片的温度、外延生长的速率及其组份、掺杂浓度等数据。虽然该设备已经进入了很多研究机构, 但尚未在产业中获得应用。

Haberland 说: “EpiRAS 是一台非常有应用价值的检测设备, 它能够检测许多硅片表面参数, 但是它过于复杂, 并且它只能适用于像砷化物和磷化物等立方晶体材料, 还不能用于氮化物器件市场”。

鉴于此, 在过去几年中, LayTec 公司在主要用于 Aixtron 反应器的新型检测设备开发上进行了巨大的努力, 开发出新型升级检测设备, 以便能在不断发展的 III-V 族外延市场中获得效益。

例如, 被称为是“规模生产主力军”的 EpiTT 检测设备, 主要是面对砷化镓和磷化铟激光二极管、侧边发射和垂直腔面发射激光器的工业化生产。该设备可以用来测量温度和三个波段上的反射率, 配上 EpiCurve 还可以用来检测硅片的弯曲度。

与此同时, LayTec 公司也积极地进入到氮化镓 LED 和激光二极管市场, 开发了 Pyro400 检测设备, 用以在蓝宝石上外延生长氮化镓或碳化硅工艺期间来测量其衬底的表面温度。

正如 Haberland 所强调的那样, 这种 EpiTT 设备已被证明对这些市场的制造商以及磷化铟和砷化镓射频器件的开发商都是至关重要的。而且在 2015 年 10 月, LayTec 公司已经将这种设备进行了升级换代, 使它们更能符合客户的需求。更为重要的是, 最新的第三代设备型号还可以在除了 Aixtron 以外的其他类型 MOCVD 反应器中获得应用。

Haberland 说道: “这种独立式的设备产品几乎能用于任何品牌的 MOCVD 系统上”, “所以我们不只谈论它们在水晶 R6 和 Aixtron 行星式 MOCVD 系统上的应用, 它们也可用于美国 Veeco K 700 和日本 Taiyo Nippon Sanso UR 25K 的 MOCVD 系统, 以及如 SMI 和 Agnitron 那样的较小研究型或经翻新

改造的系统中, 还能用于其他多种基于等离子体刻蚀与沉积的系统中。”

在一年多以前, LayTec 公司已将 OEM 检测设备集成整合到 Aixtron 系统中, 而在今年 6 月, Aixtron 已经完成了对第三代 LayTec 软件的验证, 使得其他用户也可以在其 MOCVD 工艺平台上应用这种最新型号的检测设备。

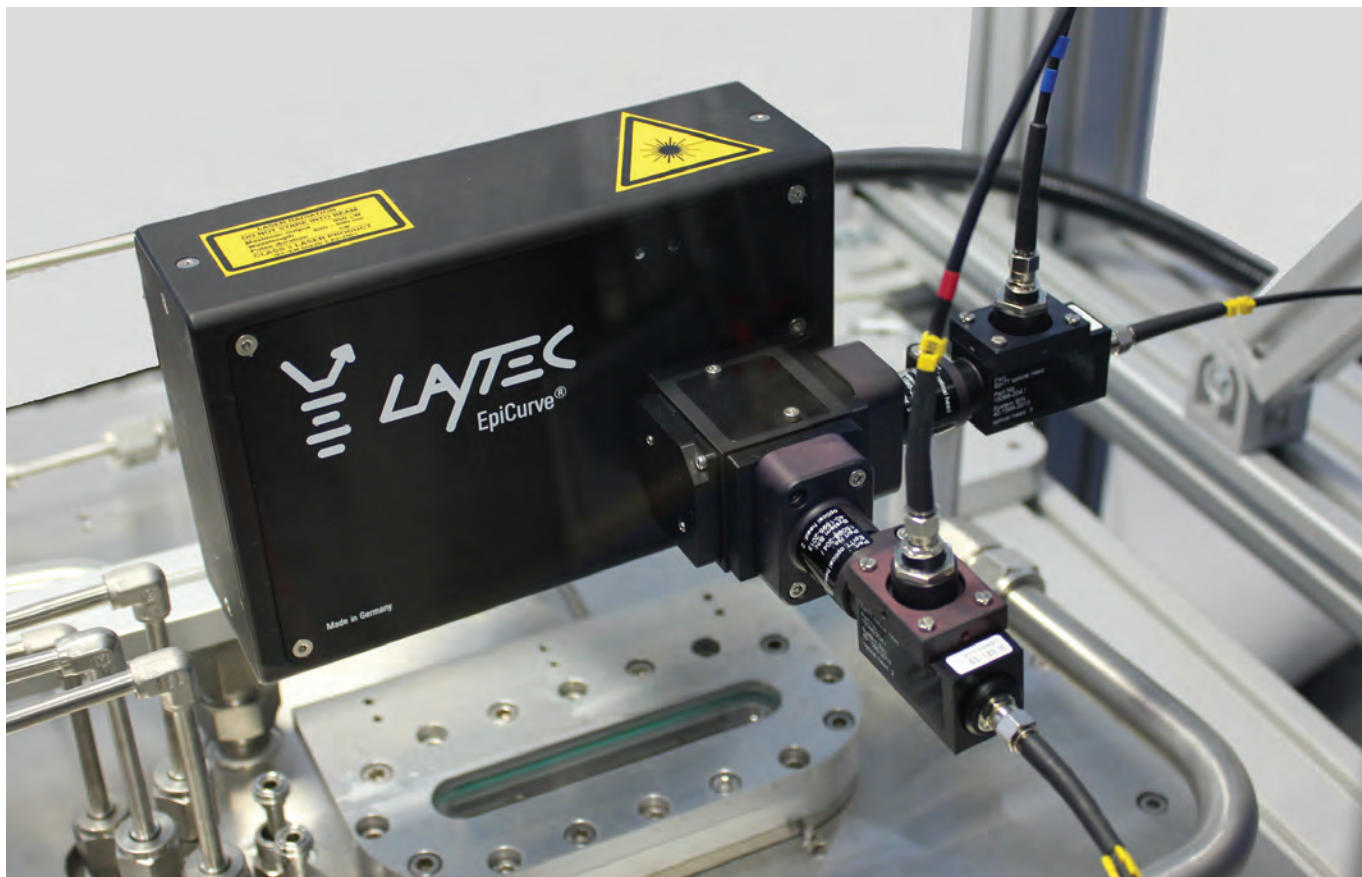
无论是对于集成式还是独立式检测设备, 原位检测这一需求的增加对 LayTec 公司来说都是一个好消息, 正如 Haberland 所说: “这一发展趋势将使得我们能更深入地进入更多的市场领域”。

市场的发展

很明显, LayTec 公司的意图是在当前 III-V 市场的增长中获取更多的份额。对最近发货的专用于垂直腔面发射激光器的检测设备而言, 它满足了客户在 III-V 族材料几个小时的沉积时段中来监测 VCSEL 生长工艺的需求。

正如 Haberland 所说: “如果原位测量数据表明生长工艺不符合规范要求, 用户可以通过一种控制回路来使生长工艺重返正轨, 并优化其良率和提高产量。”

随着 VCSEL 市场的增长, LayTec 公司又看发现了另一个市场——紫外发光二极管 (UV LED) 市场, 并将其作为他们工作的重点。“在该市场中我们再一次看到了市场在快速增长中”, Haberland 说道: “UV-LED 需要在不同的材料上生长, AlN 层, AlN 缓冲层, 或具有高铝含量的 AlGaIn 缓冲层,

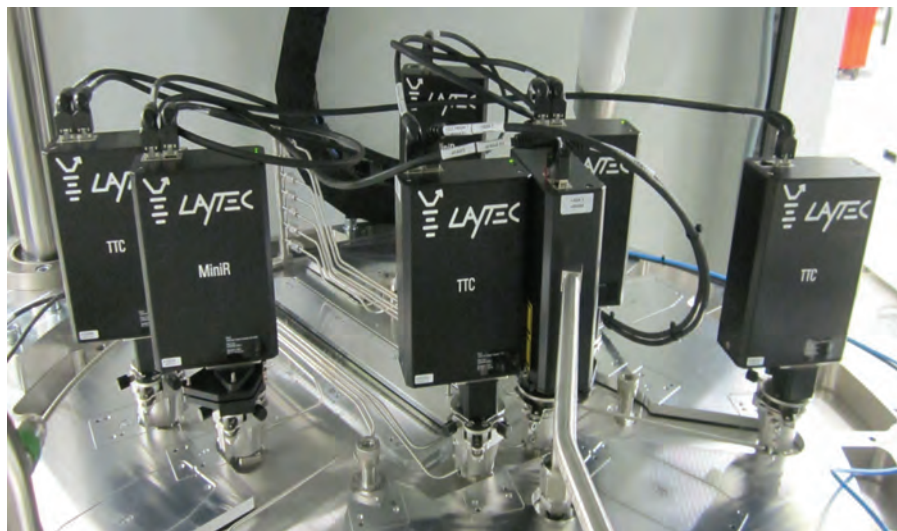


随着III-V族半导体市场的不断增长，LayTec公司向市场提供更多用于外延生长的原位检测设备。

因此直接的温度测量手段将无法工作，如同我们开发 EpiTT/VCSEL 设备一样，我们正在为 UV-LED 市场开发专门型号的设备”。

展望未来，LayTec 公司对来自中国台湾和中国大陆日益增长的需求充满了期望。例如，LED 制造商转向采用最新一代的 Pyro400 设备来监测其外延生长过程。全球的 LED 业界已经采用了该设备，但根据 Haberland 所说：“亚洲的制造商正在迎头赶上，将会把这些设备集成到它们的控制回路中，来为它们的大规模生产带来更多的效益”。

最近，外延晶圆的制造商 IQE 在其工厂中安装了第三代 LayTec 检测系统来进行 MOCVD 工艺过程的监测，这只是 LayTec 大力推进与几个代工厂伙伴关系举动中的一个实例，Haberland 认为这对公司的未来发展将是至关重要的。“这些代工厂运行着许多设备，不同的客户有着大量各种各



样的生长工艺过程、产品晶圆尺寸和材料种类”，他说：“校准将是至关重要的，所以原位检测将会起到十分重要的作用”。

对 LayTec 公司而言，除了 MOCVD 应用之外，还有更多的市场，“我们的市场研究正在关注 MOCVD 设备在不同市场上的销售情况，预测紫外发光二极管和硅上 GaN 功率器件还

有很大的增长空间，而 GaAs 和 InP 市场将会保持稳定”，Haberland 如是说。

他还补充道：“我们公司已经进入了更为广阔的市场，这些市场将包括有等离子体增强 CVD、ALD 和 MBE，我们的设备将用于大量不同种类的材料，从纯硅，SiGe 到硅上 III-V 族材料的生长，以及在与 CMOS 集成的工艺中”。OSc

光子集成电路 (PIC): 芯片制造技术上的选择

为了制造出具有最佳性能的光子集成电路 (PIC), 最好是能将 InP 激光器与硅的光子芯片相结合, 或是在与硅组件结合之前就制造好很多种 InP 元件?

RICHARD STEVENSON

硅光子学 (silicon photonics)” 这个词有着它的优点和缺点, 它似乎朗朗上口, 给人的印象是硅代工厂能够加工运行速度可接近光速的芯片。但它也会导致混乱, 因为它暗示着一个硅芯片就能够实现光子的产生、传输和探测。

所有那些工作在光子集成电路 (photonic integrated circuits, PIC) 领域的人们都知道, 其实后一种说法是不真实的。硅激光器仍然是一个遥远的梦想, 因为用硅材料制作的激光器是一种非常低效率的光发射器件。所以, 今天若要制作一个光子芯片, 其激光器仍然要由化合物半导体材料来制成。在事实上, 也有可能全部采用 III-V 族材料来制作整个光子芯片。如 Infinera 所示, 这将是一种具有巨大商业机会的方法。然而, 它并不是一种唯一的选择, 一个常见的替代方法是将 III-V

族化合物半导体激光器与硅基芯片进行集成制造。

由于在光子芯片上加入激光器有着不同方法, 在光子集成电路 (PIC) 国际会议的开幕式上, 演讲者对它们的利弊提出了两种不同的观点。

在主题为“激光器将走向何方?” 的分会场演讲中, 来自日本 NTT 光子实验室的 Shinki Matsuo 概述了一个具有高成本效益比的方法, 它是在硅衬底上加入 InP 基埋层来制作异质结构的激光器。而来自于 ArtIC Photonics 的 Fang Wu 所主张的是硅与 InP 相结合来进行电路芯片的生产。

NTT 器件技术实验室的高级资深研究员 Matsuo 做了一个演讲, 描述了他们对两种激光器件的开发工作: 用于数据通信中的是基于硅上 SiO_2 的分布式反馈 (DFB) 激光器, 以及应用在计算机通信中的是一种新型光子激光

器。在这两种应用中, 激光器由于具有很强的光学限制效应, 使得它们有着很高的调制效率。

Cisco 对数据中心的流量进行了市场研究, 来自 NTT 的演讲者突出显示了该项研究中的两项成果。对这部分的市场研究确认, 超过四分之三的数据中心流量是在国家境内传输, 而数据中心的全球业务量正以两位数的速率在增长。

对于数据中心的市場应用, 现今的主流器件是垂直腔面发射激光器 (VCSEL), 因为它兼具低的成本和非常低的功耗, 可以用于 1 至 100 米以上距离的通讯链接。然而, 它对未来的应用可能将会无法适应, 因为它难以应付正在急剧增加的数据流量。

Matsuo 认为: “在这种短距离的通讯链接中, 将会通过波长分隔的多路复用技术来应对数据流量的增加”。

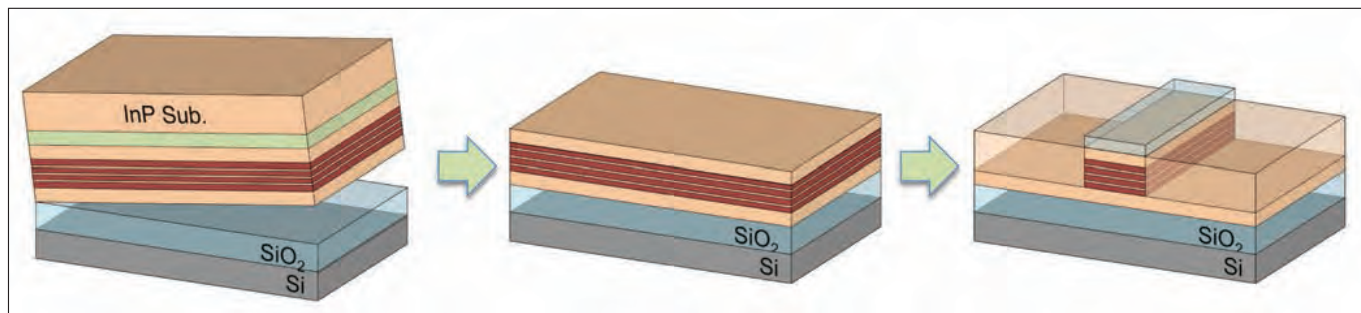


图1. 日本NTT工程师在埋层异质结构形成之前就进行晶圆键合, 这种方法可以简化对器件的对准要求。

Matsuo 指出：“垂直腔面发射激光器（VCSEL）正在面临着挑战，因为它对单模激光及其波长很难进行控制”。他还指出分布式反馈（DFB）激光器可能更适合这种应用，因为它很容易对激光波长实现控制，它是一种成熟技术，可以应用于电信网络中。

传统的分布式反馈（DFB）激光器的缺点之一就是它的功耗要远高于垂直腔面发射激光器（VCSEL）。但是 NTT 的 DFB 激光器由于使用了一种特殊的膜结构克服了这一弱点。这种激光器的另一个吸引人之处是它的成本很低，这是由于可以采用硅工艺技术来制造这种激光器件。

这种激光器的低功耗性能是源于一种结构，用它来确保实现高度的光学限制。许多硅上 InP 激光器的开发团队，包括美国的 California、Santa Barbara、Ghent 和 Leti 大学的团队，都是采用一个垂直 pin 结和一个通常为 $3\mu\text{m}$ 厚的 III-V 族化合物半导体层，使得其光学限制因子可以达到 3%-9%。相比较而言，NTT 的激光器具的光学限制因子约为 50%，这是由于它具有一个 250nm 厚 III-V 族层的 pin 结。

硅晶圆键合技术可以将激光器件晶圆与硅衬底结合为一体。由于采用了大尺寸的硅上 SiO_2 衬底，就可以将几个 InP 晶圆键合到硅衬底上。如果是在埋层异质结构制作完成后进行键合，那么在键合过程中就需要精确的对准。所以，为了避免产生对准问题，晶圆键合是在形成埋层异质结构之前就进行（参见图 1）。

在横向注入型激光器的工艺中，在埋层异质结构制作完成后，进行硅离子注入形成 n 型区，以及通过锌扩散形成 p 型区（见图 2）。Matsuo 解释道：“我们对 InP 层略加蚀刻以提高它的光栅耦合系数”。

这样制作的激光器可以在 100°C 下工作，在 25°C 下的最大输出功率达到 0.93mW ，具有 9.7% 的墙插（wall-plug）

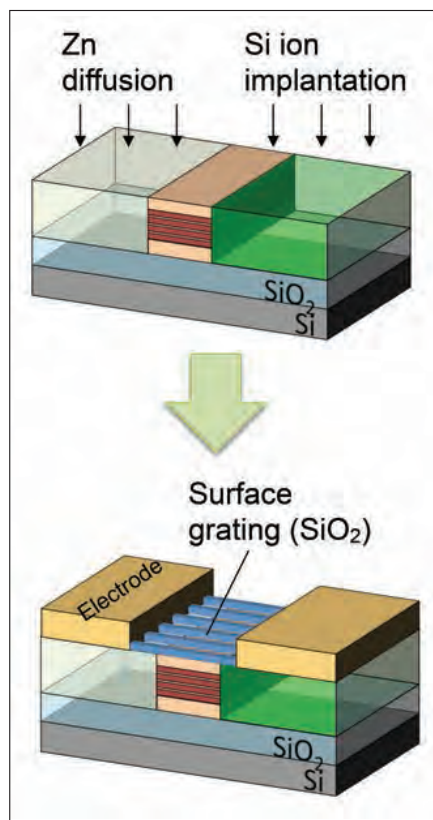


图2. 采用横向结构使得NTT激光器具有高度的光学限制性能，这将会提升激光器的效率。

峰值效率，在 25°C 下进行 25.8Gbit/s 的非归零（NRTZ）信号的驱动功率为 171fJ/bit 。

最近，NTT 的工程师通过把他们的 DFB 激光器与分布式 Bragg 反射器和点状转换器相结合来对激光器做出了进一步的改进。它是基于一种 $300\mu\text{m}$ 激光锥体，从而将宽度从 $1.5\mu\text{m}$ 降低到了 $0.1\mu\text{m}$ 。虽然锥体会产生 1.7dB 的损失，但该器件对 25.8Gbit/s 非归零（NRTZ）信号的驱动功率可达到 131fJ/bit 。

Matsuo 声称由于 7fJ/bit 远低于“计算机通讯”的应用要求，“所以我们采用了光子晶体微腔技术来给予解决”。

光子晶体激光器可以通过在 InGaAsP 衬底中打孔来制作，但这种四元化合物有它本身所具有的缺点，例如低的热导率和缺乏对载流子的束缚效应。这些缺点使它在室温下实现连续波（CW）工作将面临着挑战。虽然通过提高 Q 因子和减少激光活性体积

有助于解决这一问题，但这种激光器仍然有着低输出功率和低调制速率等缺点。

为了解决这个问题，Matsuo 和同事们开发了一种 InP 基 LEAP 激光器，它是一种短至一个波长线度，具有嵌入式活性区的光子晶体激光器。选用 InP 而非 InGaAsP 材料将具有以下几个优点：它的热导率能从 $4.2\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 提高到了 $69\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ；它能对载流子进行有效的束缚；它还简化了输入和输出波导间的集成整合问题。

这种 InP 衬底上 LEAP 激光器在高达 10Gbit/s 的非回归零（NRTZ）信号工作时的驱动功率仅有 4.4fJ/bit ，要在硅衬底上复制出这些结果就存在很大的挑战性，随着 Q 因子的增加，使得阈值电流从 $4.8\mu\text{A}$ 升到了 $57\mu\text{A}$ 。Matsuo 说道：“现在正在对腔型的设计进行修改”。

InP 和 Si: 利与弊

加拿大初创公司 ArtIC 的联合创始人兼首席技术官 Wu 亦曾考虑了各种材料系统。在她的演说中，她比较了 InP 和硅材料各自的优缺点：“对此还没有明确的结论，还存在着争论”。

她说，InP 的优点包括它具有很强的光学和光电功能，但相比于 III-V 基而言 InP 基器件具有相对较高的功耗，因而需要进行平衡。她认为，InP 基器件可利用代加工厂来加工，但也要对工艺进行妥协：“对代工厂而言要么是激光器件的工艺太过复杂，要么是需要把工厂设计成一个高产量的代工厂，但在设计的灵活性上会受到限制”。

与此同时，硅在光电功能上较差，但可以制作成优越性能的无源电路，并且能与 CMOS 制造工艺相兼容。Wu 推断说：“这一点是清楚的，即我们需要结合这两种材料系统的优点来迎接挑战”。

另一种选择是将 InP 激光器制作在硅衬底上，以形成一个具有光学接口

的混合型光子芯片。尽管这样做可以解决有关光的发射和接收问题，但是它会在与可插拔接口相关的网络边际上产生问题。Wu 说：“这是一个大问题，它没有解决代工厂的兼容性问题”。

较传统的方法是由 ArtIC 开发的，首先是在 InP 衬底上制作形成所有的具有光电功能的单片 IC，然后再将这种 InP 晶圆倒扣并键合到另一个硅的衬底晶圆上（见图 3）。

该工艺的起始点是生长和加工 InP 的外延片，它的特点是采用了“基底外延”的方式，将靠近形成耦合波导和无源波导衬底附近的多个薄层进行组合。有源器件是生长在顶部，使用的选择性区域生长或生长 - 蚀刻 - 再生长的工艺过程。采用波导连接结构避免了产生精确对准的问题，并能确保在设计上的灵活性。

Wu 说道：采用这种方法，从器件开始加工到结束，ArtIC 可以实现连续的、不间断的工艺流程。通过使用标准半导体蚀刻、保护和金属化工艺，所制作的 PIC 具有流畅的工艺流程和短的生产加工周期。

Wu 热情地说：“这种特殊工艺方法的主要优点之一，是它使得 PIC 可以在射频芯片的代工厂中进行生产”。“它有助于减少开发成本，更为重要的

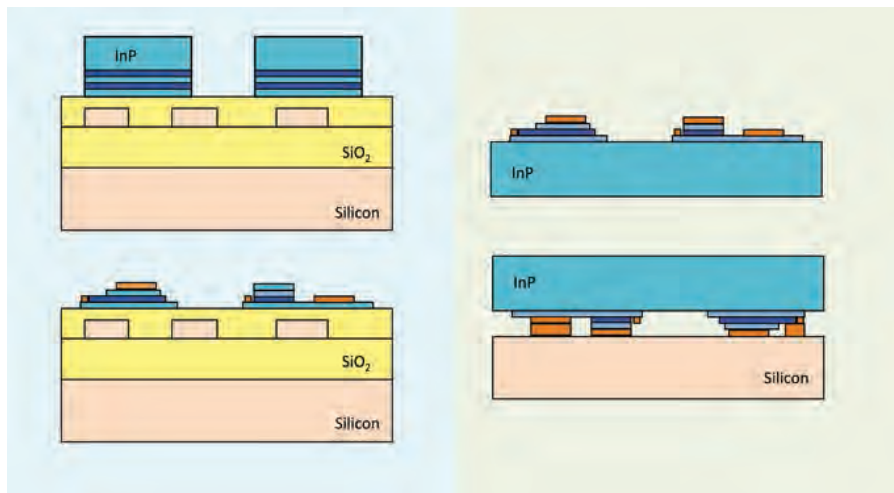


图3. 在硅衬底上制作激光器并不是代工厂的兼容工艺（左图）。ArtIC所采用的方法就是首先在InP衬底上制作激光器件（左图），随后的芯片生产就可以外包给代工厂进行。

是，它是一个马上可用于产品制造的成熟工艺”。

她继续描述了一些“真正的”构建模块，能以不同的方式将它们实现连接。它们包括有：带有表面蚀刻光栅的单模激光器，具有 10Gbit/s 工作速率；开关速率达 40Gbit/s 的电光调制器；以及点尺寸转换器件在 1.49μm-1.63μm 光谱段中的损失小于 10%。

ArtIC 的工程师们还设计了一种 Echelle 技术来实现对波长进行分割和复用。他们可以将 100 千兆赫的信道以 20nm 的间隔进行分割，“噪声底限将低于 -35db”。Wu 还详细描述了一种集成有 14 个组件的相干接收机。

如同 NTT 一样，加拿大团队是以短距离的数据通讯市场作为他们 PIC 芯片的应用目标。然而它认为，如果能够实现低成本和高数据容量的芯片制造，也将使该器件可应用于 10-20 公里中等距离的数据通讯市场，以及还可以扩展到 40 公里或以上距离地铁的数据通讯市场中。

ArtIC 技术和 NTT 技术将如何用来制造 PIC，在未来几年中又会对市场产生何种影响，这是一件令人值得关注的事情。对他们和他们的对手所取得的成就，在 2017 年及以后的 PIC 国际会议中肯定会成为讨论的热点问题。OSC

“选项之一是将InP激光器制作在硅衬底上，
以形成一种具有光学接口的混合形光子集成电路芯片。
尽管这样可以解决有关光发射及其接收问题，
但又会在网络边际产生有关可插拔接口的新问题。”

整合优势资源，促进第三代半导体产业发展

首届国际第三代半导体创新创业大赛圆满收官

1月15日，在科学技术部火炬高技术产业开发中心、北京市科学技术委员会、广东省科学技术厅的指导和支持下，第三代半导体产业技术创新战略联盟（CASA）和国家半导体照明工程研发及产业联盟（CSA）联合主办的“黄金半导·创新未来——首届国际第三代半导体创新创业大赛”在中国北京国际会议中心圆满收官。

科技部原副部长曹健林、中国科学院院士郑有炓等人出席了本次大赛。本次大赛采取10分钟路演与5分钟答辩的形式，每一位选手都为大家带来了精彩项目展示。

曹健林致辞表示，第三代半导体的研发、成果转化，以及产业的发展，一直是科技部高度关心与支持的工作内容。创新大赛是科技部支持成果转化的一个非常重要的工作，他一直在关注着本届大赛的整个进程。

中国科学院院士郑有炓致辞表示，首届国际第三代半导体创新创业大赛的举办具有重大的意义，因为第三代半导体技术，不是传感的技术，不是招商引资的技术，是要我们创新创业的技术。大赛对国家半导体的发展会

形成强大的促进的作用。

亿元孵化基金打造专业化投资平台

本次大赛经过三个月的项目征集，共收到269个海内外项目报名，其中通过初审并具有自主知识产权的高新技术项目共108个。这些技术项目涉及半导体照明、光电子、电力电子、微波射频领域，具体包含传感器、LIFI技术、OLED显示、5G、紫外光源、无线充电、智慧城市应用等多个前沿科技核心技术。

大赛通过初审、复赛、半决赛、总决赛的层层筛选，10个创新创业团队脱颖而出。为了更好地激发创新创业内在活力，提高科技创新转化速度，大会组委会成立了上亿元投资基金池。大赛优秀项目不仅可以获得大赛组委会提供的孵化基金的直接投资，还可以被大赛组委会推荐入驻国际第三代半导体众联空间和中山造明公社，享受孵化服务。

在总决赛中表现出众的项目团队，可直接获得孵化基金，或根据其项目所涉及的领域，获得对口的企业或投资机构与其深度对接。本次大赛完成

了数个企业组项目与龙头企业命题的对接，实现了上下游产业链的有效衔接。其中，多个企业完成了TCL集团股份有限公司、洛可可集团、大唐网络科技有限公司、中兴通讯股份有限公司、罗姆半导体（中国）有限公司等龙头企业发布的9个企业命题，内容涵盖工业设计、消费电子、移动通信、新材料、集成智能传感器等多个领域。团队组有数个项目实现了与大企业间的成果有效转化。

大赛不仅对国内优秀第三代半导体创新项目进行深入发掘、扶持和推广，还吸引了众多国际优秀创新技术和创新项目与中国产业对接，进一步整合了国内外第三代半导体的优势资源。

第三代半导体产业进入一个不断创新的高速发展阶段，未来第三代半导体将引领下一代技术和应用的战略变革，将在能源、节能减排、国防安全、新一代信息技术和人类生活等各个方面产生巨大的影响。国际第三代半导体创新创业大赛的举办促进了第三代半导体产业基础前沿技术、共性技术和系统集成技术的研发与应用，发掘并推广了多样化、多层次的自主研发与开放合作并存的创新模式。

为了进一步增强第三代半导体相关产业自主创新能力，促进产业健康快速发展，提升中国第三代半导体产业的国际竞争力，第二届国际第三代半导体创新创业大赛在首届国际第三代半导体创新创业大赛总决赛颁奖礼时正式开启。相信国际第三代半导体创新创业大赛将会让更多优质、优秀的项目被发掘、推广，为中国第三代半导体产业的发展提质增效。



采用 GaN 数字功率放大器的先进无线通讯技术

基于 GaN 器件的数字功率放大器将在无线通信基础设施应用中掀起一场革命。

Andreas Wentzel, FBH BERLIN

我们中许多人在上世纪 90 年代末期拥有了第一部手机，那时我们可以用它来打电话、发短信和玩一些非常简单的游戏。

与早期的手机相比，今天的智能手机是一种功能非常强大的便携式设备，除了能打电话和发短信以外，它还可以拍摄照片和视频、发送电子邮件、打开文件和在网上冲浪，而做所有这些事情的花费与以往相比却显得微不足道。

在移动应用中产生这种巨大的成本效益比的演变的基础是日新月异的无线通讯基础设施，它能以高的成本效益比来获得更高的传输速率和数据流量。

在 2020 年之后，如果要能够继续适应日益增长的无线通讯的需求，无线网络将需要有进一步变革。它的基站将会变成更为密集的空间分布，需要部署更多的、更小的如蜂窝式和家庭式基站；它们将会通过采用多输入、多输出的传输方式来进行进一步扩展开发空间的多样性，以增加传输带宽。此外，发射放大器也将会被整合到天线中，通过减少传输电缆上的损失来增加信号的压缩比，以及提高对能源的利用效率。最重要的是，所有硬件组件将都能支持多波段、多模式操作（MIMO），以提供在频率和服务上的灵活性。

然而，仅仅只增加数据的传输速率还不够，一个最为主要的问题是基站的能源效率问题，因为基站是无线通信中最为主要的能耗因素，这将会成为实现“绿色 IT”的障碍。

如今 3G 和第一代 4G 移动基站体系结构正



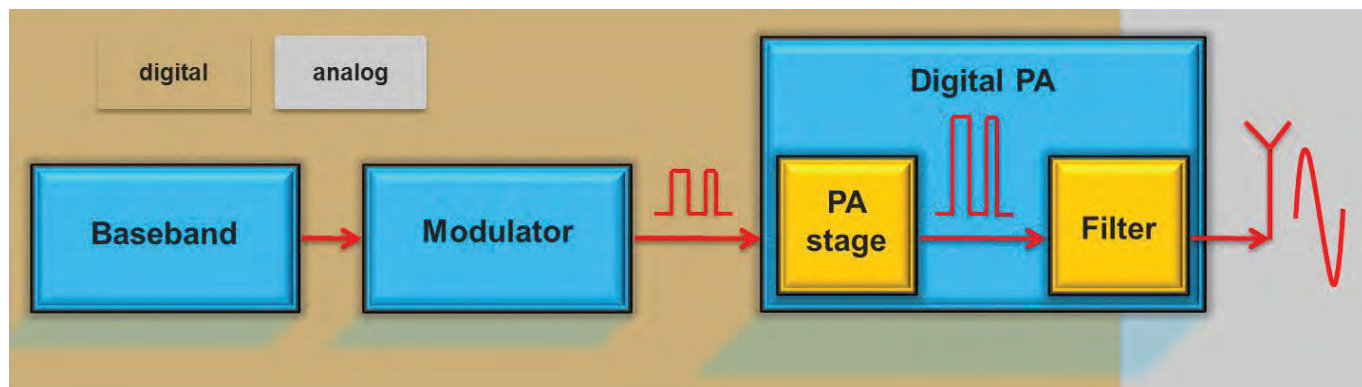


图1. 数字发射机的新概念，它包括有调制器、（数字）功率放大器和滤波器等工作模块。

在朝着正确的方向发展，它需要输出功率超过100W、速度超过2GHz的高效率射频功率放大器。一个好消息是，由于在半导体技术和功率放大器设计上的发展，使得当前的GaN器件已经能满足实际系统中的这些要求。

然而，在4G和5G通信中采用MIMO系统而需要相应增加蜂窝式和家庭式基站部署的情况下，GaN基器件功率放大器的销售前景目前尚不明朗。批评者认为在碳化硅衬底上GaN器件的制作成本过于昂贵，而采用锗-硅（GeSi）、硅BiCMOS、甚至GaAs基技术将可降低成本，它们将更为便宜，并具有高水平的集成功能。

然而，硅基毫米波功率放大器只具有较低的功率密度和效率，还存在较大的寄生效应等问题。当从这些参数上进行比较的话，GaN基器件就明显占了上风。而且该技术已达到完全成熟的程度，它可以用于更大和更高水平的集成设计进行可靠的批量制造。因为这些原因，我们在柏林的FBH团队正在研究氮化镓基器件在未来无线网络中的应用潜力，特别是在更小单元基站中的应用。

基站的困境

基站中功率放大器的能耗水平要能满足4G和5G现代通信标准在增加带宽上的要求，这意味着放大器在工作时需要远低于其全幅度的输入功率，其典型的功率回撤值是6dB或12dB。因此，对于优化了最大输入功率的通用型模拟功率放大器而言，其能源使用效率将会低于10%，而基站的整体效率值也将随之会更低。

由于基站具有高的总功耗，在下一代通信基础设施中应用新型系统这一概念正在日渐引发人们的兴趣，该概念将结合高功率下的调制带宽，来改进功率回撤上的效率。

在这种系统的设计中，最具破坏性的问题产生于我们的数字发射机中（见图1）。我们一直在开发GaN基器件的功率放大器，这在音频行业内是非常出名的技术，已经有着近十年的应用历史，现在这种GaN基数字功率放大器正在引起移动通信业的巨大兴趣。

我们的方法是将一个数字基带信号源馈入调制器，将生成输入电压的数字比特序列，随之送入到数字功率放大器，该数字输入信号通过一个高效率的功率放大器开关进行放大，通过输出端的模拟滤波器就能实现对所需信号的重构。

这项技术有着强大的功能，可以在一个很大的功率下来增加能源使用效率，而与输入功率的回撤水平无关。由于GaN基HEMT器件只能处于导通或关闭状态，所以其能耗损失将会很低。它还具高度的灵活性，因为采用的是宽带方法而无需采用在AB类和E类放大器中所使用的窄带阻抗匹配技术。

对数字功率放大器而言，GaN基器件在属性上拥有几大优势，它可以用来制造非常快速的宽带晶体管，根据编码信号的频率要求，可应用于低至kHz到高至几个GHz的先进调制方案中，晶体管器件在给定电流条件下兼具有低的输出电容和高的工作速度。

我们的重大贡献是在移动通信中建立了一种数字化方法，我们的成就包括有与日本NEC公司合作开发了世界上第一台信号频率为450MHz的数字发射机。

我们的重大发现之一是具有很大发展潜力的电压开关和推拉式后级配置方法。不幸的是，还无法制作后级高效驱动的互补型GaN基HEMT器件。所以，在受此限制的工作范围内，我们已经开发了一个0.25μm GaN HEMT模块的制作工

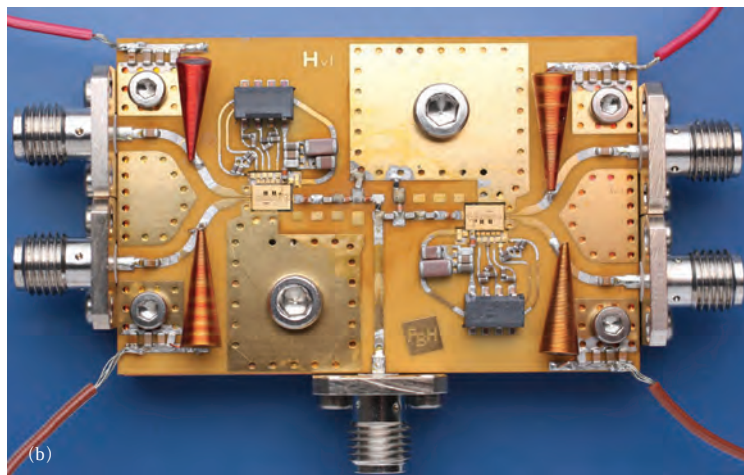
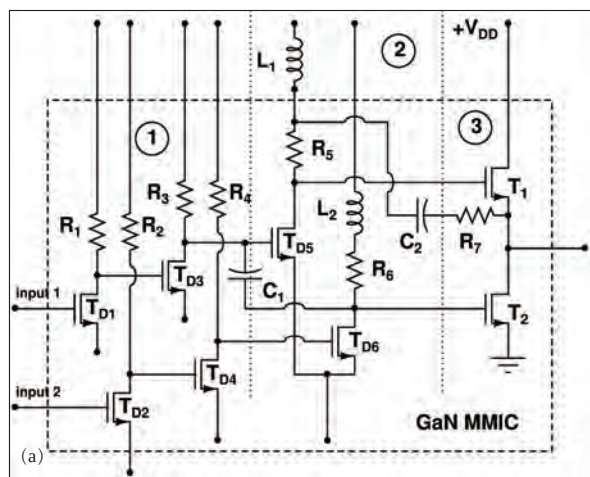


图2. (a) 一个四级数字功率放大器构建模块的电路原理图，它包括有推挽式配置 ($T_{1/2}$) 和H桥数字功放模块 (在 (b) 中的右上角，其体积为: $68 \times 42 \times 15 \text{ mm}^3$)。在源配置①中的两个前置放大器，用来对很小电压摆幅 (0.5 V_{pp}) 的输入信号进行放大，并将其送入到微分功率放大器②的输入端，为最后级的晶体管③生成具有不同电压摆幅的信号。

艺 (图 2 (a) 为典型电路原理图，(b) 为其相应的模块)。

该模块结构的特征是在源配置中有一对前置放大器，用它们来对很小电压摆幅的输入信号（往往只是 TTL 电平输入电压摆幅值 0.5 V_{pp} ）来进行放大，放大后的信号送入到微分功率放大器的输入端，为后级晶体管生成所需的电压摆幅。将这种功率放大器与芯片外的 800 MHz 带通滤波器相结合，我们就能够为微波放大的数字化方法建立一个新的基准：在以最大功率工作时它的能源效率可达到 60% ，而且这种功率放大器还具有高达 40 dB 的功率增益。

这种数字功率放大器的最大优点之一是，它能为多波段应用提供一种通用型的构建模块。目前，以这种数字功率放大器模块构建的核心放大器的应用仅仅是那些 D/S 类型的放大器中，它们主要是用于电源的开关。

我们已经应用我们最新一代的 GaN MMIC 来

构建各种数字化功率放大器模块，其中包括有 S 级 $0.8/1.8/2.6 \text{ GHz}$ 频段的第一级三波段功率放大器，以及 800 MHz 频段 D/S 型 H 桥的单芯片功率放大器。我们的数字放大器组合具有 14 W 的最大输出功率，并具有 90% 的后级工作效率。

虽然 10 W 的全幅输出功率范围还不足以满足当今宏单元基站的需求，但它们对较小单元的基站，如蜂巢式和家庭式基站的应用却是足够了。

此外，通过对 H 桥功率放大器实现数字化 Doherty 运行，可使后级的效率在功率回撤 6 dB 时达到 75% ，回撤 12 dB 时达到 40% 。

这些结果表明数字化功率放大器的优势是采用同一类型的 IC 就能形成一系列的功率放大器电路，而只涉及到外围电路的改变。高性能应用的数字功率放大器与高度灵活和紧凑的电路技术相结合，表明我们的技术在下一代移动通信基础设施的蜂巢式和家庭基站中是一种很有发展前途的候选技术。☐

扩展阅读

- A. Wentzel et. al. "RF Class-S Power Amplifiers: State-of-the-Art Results and Potential", IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest 2010, pp.812–815, Anaheim, USA.
- A. Wentzel et. al. Int. J. Microw. Wirel. T. 3 311 (2011)
- A. Wentzel et. al. "Envelope Delta-Sigma Modulated Voltage-Mode Class-S PA", Proceedings of the 42nd European Microwave Conference 2012, pp. 120-123, Amsterdam, The Netherlands.
- A. Wentzel et. al. "A GaN Voltage-Mode Class-D MMIC with Improved Overall Efficiency for Future RRH Applications", Proceedings of the 43rd European Microwave Conference 2013, pp. 549-552, Nuremberg, Germany.
- A. Wentzel et. al. "A Flexible GaN MMIC Enabling Digital Power Amplifiers for the Future Wireless Infrastructure", IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest 2015, TH2B-5, Phoenix, USA.
- A. Wentzel et. al. "A Compact Tri-Band Voltage-Mode Class-D/S PA for Future $0.8/1.8/2.6 \text{ GHz}$ LTE Picocell Applications", Proceedings of the 45th European Microwave Conference (EuMC) 2015, pp. 1160 - 1163, Paris, France.

EDI CON China
来到上海

EDI
CON
2017

Electronic Design **Innovation** Conference

电子设计**创新**大会

立刻预订展位，向中国的射频、微波和高速
数字设计工程师展示您的产品和方案

2017年4月25-27日

上海跨国采购会展中心

中国上海



会议包括：技术报告会、研习会、座谈会、短期课程、
张贴论文和全体会议。

合作伙伴：

中国电工学会(CES)的中国电磁兼容大会与展览(EMC China)
中国雷达行业协会(CRIA)的新体制雷达应用与发展研讨会

赞助形式：金牌赞助、银牌赞助、铜牌赞助和参展赞助。

2017年是第5届会议

**EDI CON China 2016
参会者增加了35%**

100多家公司参展



立刻签约选择展位：www.mwjournalchina.com/edicon

首席赞助商：



钻石赞助商：



企业赞助商：



主办单位：



2018年4月17-19日 EDI CON China 再回北京

通过监测晶圆载体来提高芯片制造的性能

监测一个晶圆载体的发射率及其温度分布可以揭示其中微裂纹的存在，而它的发射率变化会直接影响到薄膜沉积及器件性能。

Carrie Andre, Darryl Barlett; K-SPACE ASSOCIATES

大多数化合物半导体芯片的关键制造工艺是外延晶圆的生长，在这一领域富有经验的工程师受到了业界的高度重视，因为他们能够确保获得高的产品良率、更为快速的新器件开发，以及能对 MOCVD 反应器的内部故障进行诊断。但是他们的技能并不只限于了解在各种合金材料沉积时的最佳生长温度及其速率，还能扩展到如何通过操作硬件以在不同运行批次之间和不同加工设备之间来获得最佳的工艺重复性。

如果这些工程师是负责用 MOCVD 反应器来生产外延晶圆，他们将不得不寻找一种办法，以尽量减少与晶圆载体相关的工艺变化。晶圆载体也称为平板或基座，这种设备组件在沉积过程中对衬底晶圆起到承载作用，在完成每一个生长批次以后，它们通常需要在炉子中烘烤好几个小时，有时需要连续烘烤好几天。

进行这种烘烤的目的是旨在去除载体上的沉积材料，以避免产生任何污染。在理想的情况下，晶

圆载体将是十分洁净的，因此在将晶圆衬底加热到所需生长的温度时，其红外发射率将会返回到其原始数值。经过这种烘烤处理以后，就可以采用与上一批次相同的工艺菜单来运行下一个生产批次，将能沉积形成具有相同厚度和组分的薄层。

虽然这听起来很容易做到，但在实践中却并非如此。多次的生长运行和随后的烘烤会改变晶圆载体发射率的均匀性。会使事情进一步变得更为复杂的是，MOCVD 芯片制造商并没有监测这种载体发射率变化的定量方法。在许多采用 MOCVD 工艺的晶圆制造厂中，它们的工艺工程师只能被迫接受载体发射率变化这一事实，应对这一变化的方法只是根据每种特定载体的生长历史来对其温度设定点进行一个小小的调整。虽然这样做是有益的，它只能解决平均发射率的变化问题，而无法解决可能出现的任何工艺非均匀性问题。

对所有 MOCVD 工艺工程师而言，另一个艰难问题是如何来确定何时这个晶圆载体已是一个不能再正常使用的设备部件。目前要做到这一点的方法要么是以肉眼目测方式来检查晶圆载体的外貌，如果它存在明显的缺陷或瑕疵，那么就将它报废，或者是在其累计沉积生长超过某一限度值后，就将该晶圆载体报废。

不幸的是，这两种方法都存在严重的缺陷，其缺点包括会浪费生长的批次和减少产量。如果由于晶圆载体失效而造成灾难性后果，将会明显增加 MOCVD 反应器停机时间。而且这两种方法只能为改善确定寿命终结过程所需的质量控制上提供极其有限的的数据。

这些问题可以通过用 SiC 的 MOCVD 生长过程来加以说明。当晶圆载体上沉积有这种材料时，它的沉积薄层中就可能会出现微裂纹，最终将导

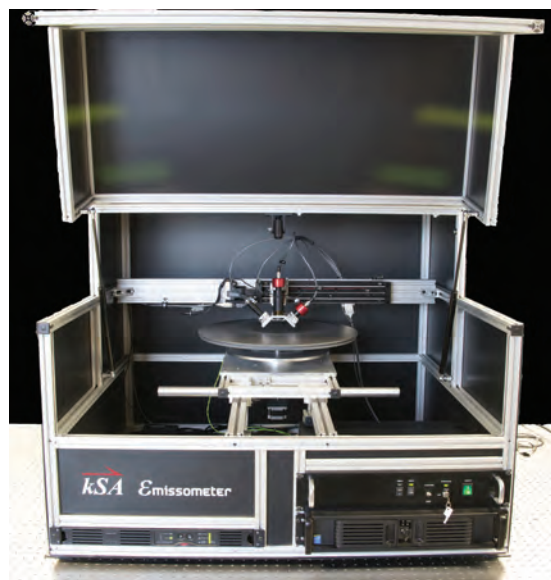


图1. 打开 kSA 发射率测量仪的罩盖，测量用于 Veeco K465i 反应器的中晶圆载体发射率。

致晶圆载体无法使用。这些裂缝肉眼通常是无法看见的，结果会使宽禁带 SiC 半导体材料和作为晶圆载体结构材料的石墨之间的热膨胀系数产生一个很小的热失配。在 MOCVD 沉积过程中以及极端烘烤条件下所产生的频繁的、较大范围的温度波动变化会使这种微裂缝不断地增大。

只是在晶圆载体首次被使用时碳化硅沉积层中才没有微裂缝，但在薄膜的总沉积厚度超过约 100 μm 后它们就会开始出现。这些缺陷对晶圆载体的工作性能是非常有害的，因为裂纹而裸露出来的石墨会促进碳的掺杂，并且微裂纹会明显改变载体表面的红外发射率，最终将会使反应器中晶圆载体内部造成裂缝。然后，令人诧异的是，许多晶圆载体在完成一定的沉积生长批次后都需要报废，但如果工程师过于谨慎，晶圆载体则就可能会过早报废，所以问题的症结是在于，对一个特定的载体而言，它的“真正”寿命期往往仍是一个谜团。

晶圆载体的检测

为了解决这一关键问题，我们 Dexter, MI 的 k-Space Associates (kSA) 团队已开发了一种能对晶圆载体进行原位测量发射率的仪器（见图 1）。kSA 发射率测量仪可以检测整个载体上的绝对漫反射和镜面反射率，将这两者结合在一起可以揭示整个载体上的总发射率。

我们的仪器可以提供整个载体范围的发射率分布，其空间分辨率为 0.5 毫米。这一空间位置保真度将能显示晶圆承载部位的发射率非均匀性，在工艺过程中这将使晶圆载体产生局部负载问题。图 2 为这种载体发射率的分布图，在装载有晶圆的负载区由于不存在有 MOCVD 的沉积物，使得在这些区域的载体表面性质将更加接近那些新晶圆载体的原始表面状态。

当晶圆载体处于正常烘烤时，对其总发射率的主要贡献是来自于漫反射部分。与此同时，在整个表面上的镜面反射部分预计将保持为零或接近于零。当在载体上存在有 MOCVD 沉积残余物时，情况却就会截然不同，在它的镜面反射信号中就会出现峰值。

镜面反射也能够用来揭示其他形状的缺陷，例如可作为在载体表面微小缺陷的检测指针，我们的仪器就可以发现碳化硅涂层下方的机械加工的痕迹（见图 3）。

我们的仪器的另一个特点是它能够获得特定半径范围总的平均发射率——这可以与光学高温计（如 RealTemp、EpiTT 和我们自己的 kSA ICE）的功能相当。有了这一能力之后，工程师就可以为生产运行中某一个特定晶圆载体来精细地调节它的温度设定点，与当今广泛采用的“估算”方法相比，这种方法能产生更为准确的结果。

为了强调离线检测对载体发射率的表征能力，我们已经证明在晶圆载体发射率与 MOCVD 反应器中实际晶圆载体的温度之间存在着很强的相关性，这是通过将 kSA 发射率测量仪与 kSA ScanningPyro 检测装置所分别得到的载体发射率分布图进行比较后得到的（后者显示在图 4）。

这项研究始于一个芯片制造商，选择了一个正在生产运行中的晶圆载体。在用 kSA 发射率测量仪进行扫描检测之前，我们先对该载体进行了目测检查（见图 5 的照片是该载体的中央部分）。发射率测量仪发现了肉眼所无法察觉的微裂纹，它们应该是加热后载体上产生温度不均匀性所致

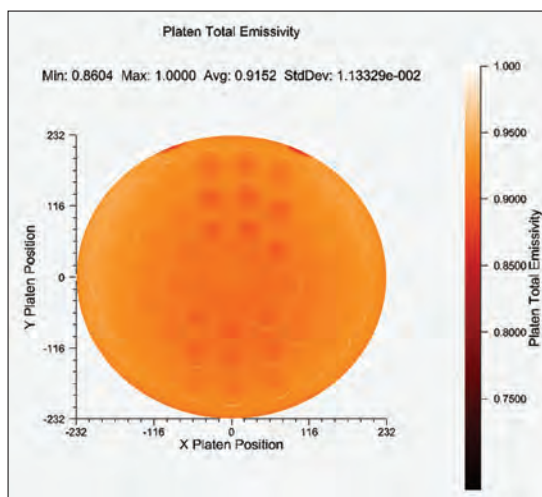


图2. 由kSA发射率测量仪产生的发射率分布图，其暗区是位于晶圆载体上承载晶圆的部位。

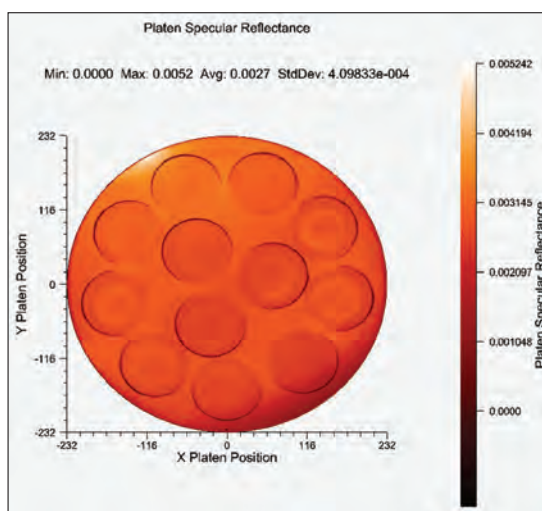


图3. 由kSA发射率测量仪获得的镜面反射率分布，揭示了在MOCVD载体上晶圆承载部位的机加工痕迹。

SMT表面贴装技术展区



2017年3月14-16日

上海新国际博览中心 E1、E2、E3馆

productronicachina.com.cn



productronica China 2017
慕尼黑上海电子生产设备展

部分参展企业

SMT表面贴装技术主题展区



点胶注胶主题展区



电子和化工材料主题展区



电子制造自动化主题展区



运动控制主题展区



同期活动一览

■ SMT创新演示区

- 国内首创，现场生动演示完整SMT生产线

■ 电子制造技术应用大赛 3月14-16日

- 智慧与才华的碰撞，EMS和SMT联手大PK
- 围绕工艺改进、工程改进、工装改进、新设备/材料/软件应用
- 展示一线工程工艺师的才华、活的持续改善的思路与启示

■ 中国电子制造创新论坛 3月14-15日

■ 中欧柔性印刷电子论坛 3月14日

■ 国际胶黏剂技术创新论坛 3月14日

■ 国际线束先进制造创新论坛 3月15日



扫描左侧二维码，关注展会官方微信，点击底部菜单“我的展会——观众注册”，注册成功即有机会在展会现场领取精美礼品！



参观联系 陈铭 Larry Chen 电话: +86-21-2020 5553 邮箱: Larry.Chen@mm-sh.com

参观联系 朱婧婧 Joyce Zhu 电话: +86-21-2020 5526 邮箱: Joyce.Zhu@mm-sh.com

同期举办

electronica China

慕尼黑上海电子展

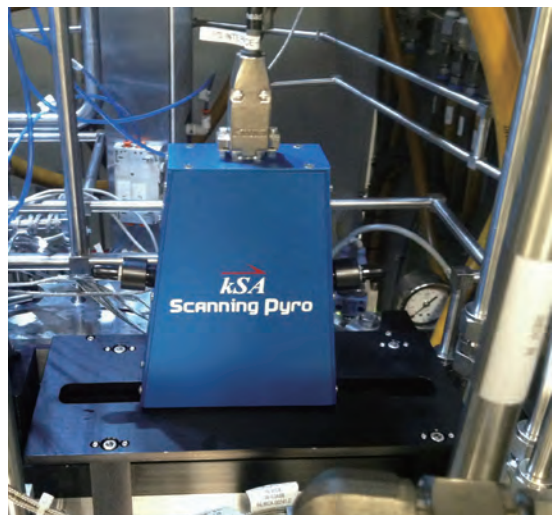


图4. 在美国Veeco公司K465i MOCVD反应器中使用的kSA ScanningPyro测量装置。

(见图 6(a))。

我们将这一生产用的晶圆载体放入 Veeco K465i MOCVD 反应器中并进行加热，根据位于反应器中央的高温计显示其温度为 1000 °C。对晶圆载体的进一步检测是来自于我们的原位 Scanning Pyro 检测装置，它是一种具有双探测器、带全扫描功能的高温计，只需一次扫描就能产生整个载体上的温度分布，最终将能够确定整个晶圆载体上的温度均匀性。

在我们 ScanningPyro 的原位检测的温度分布图中发现存在着微裂纹（见图 6 (b)）。除了这一缺陷之外，温度分布表明晶圆载体的中心是温度最低的部位，这是预期的结果，因为冷却器主轴正好处于这一晶圆载体中心部位下方。

我们要强调的是，我们的发射率测量仪是扫描高温计的一种补充。更为重要的是，说明了是我们的发射率测量仪是打开了一扇以科学为基础，在晶圆的生产环境中如何来对载体进行温度

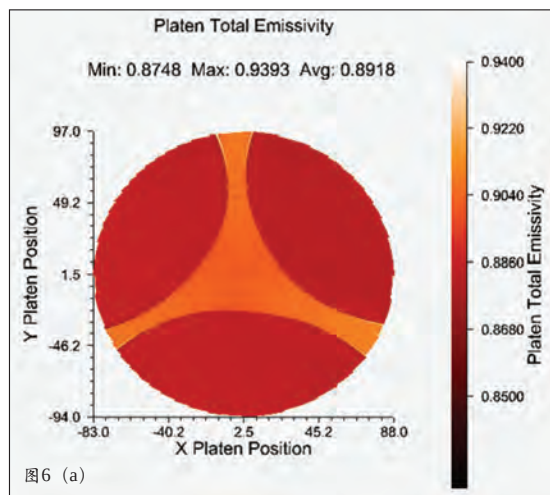


图6 (a)

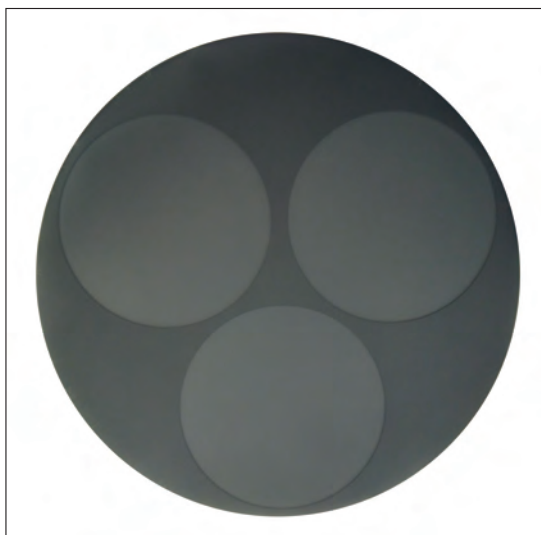


图5. 处于生产运行中的晶圆载体的kSA检测照片，图像显示在载体检测中人眼和数码摄像机所能够和不能够看到的东西。微裂纹存在于该载体中，但在此图像中却无法发现。

定量检测的大门。面对各种不同的任务，它也成为了一个不可或缺的工具。它可以在一个沉积批次运行后用来确定载体烘烤的质量，以最终能对载体“留下”还是“丢弃”这一难以决策的问题做出回答，避免对某一特定载体是否还合适进入下一生产运行批次的胡乱猜测；我们发射率测量仪还可以获得精确的表面发射率数值，能协助对特定硅片载体经烘烤后的温度设定点进行调整；它还能揭示微裂纹的存在，评估其严重程度，并帮助工程师决定何时应该结束该载体的使用寿命而报废；晶圆载体供应商可以对整个和单个批次中晶圆载体的发射率均匀性进行检测，以确定它们是否合格；还可以用来对新的晶圆载体进行来料质量控制检测，以及防止产生 MOCVD 生长运行批次的浪费问题。

总之，kSA 发射率测量仪是一个多功能的检测设备，通过对晶圆载体的工作状态的提供独特见解，它能帮助工程师们来提高 MOCVD 生产的产量及其质量。OS。

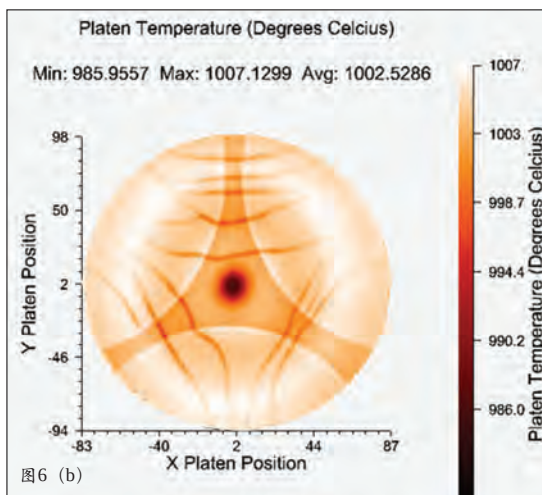


图6 (b)

图6 (a) 由KSA发射率测量仪产生的一张Veeco k465i晶圆载体的总发射率分布图，可以发现在其上存在着微裂纹。

图6 (b) 由kSA ScanningPyro原位检测仪产生的总发射率分布图，可以见到有微裂纹的存在。

用于空气污染物检测的 GaN HEMT

将独立悬空的氮化镓 (GaN) 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 用作为二氧化氮传感器，具有高灵敏度、低功耗和经济实用等优点。

Peter Offermans, IMEC

空气污染问题日益严峻，其严重后果正在向人们敲响警钟。据世界卫生组织 (WHO) 的报道，每年全球约有 370 万人丧命于室外空气污染，其中，80% 死于心脏病或中风，20% 患有致命的呼吸系统疾病和肺癌。

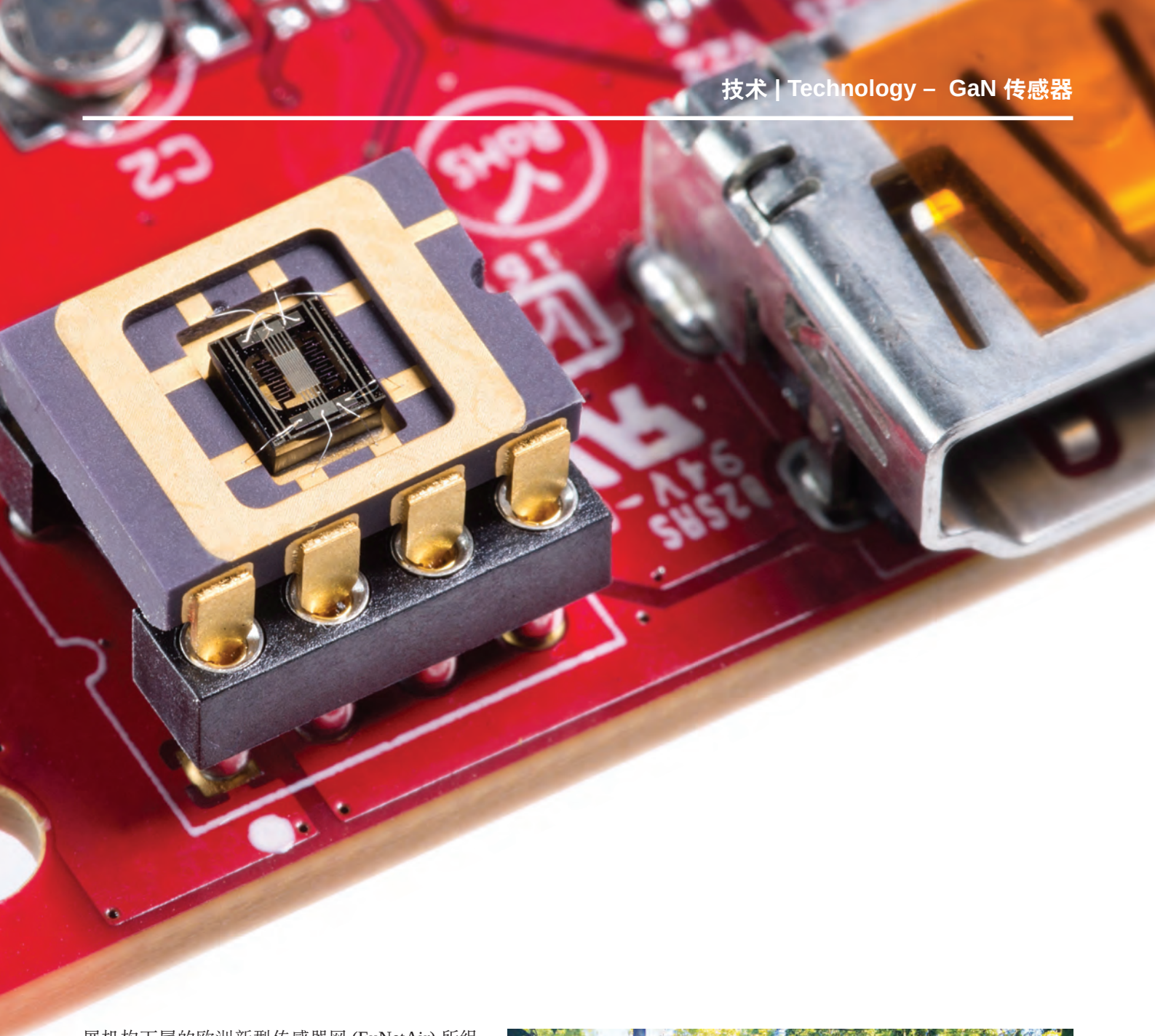
上述死因可归因于两类污染物：大气中直径大于等于几微米的颗粒物和 NO_2 。长期暴露于 NO_2 环境中将会加重哮喘儿童患上支气管炎的风险，因此，削减欧洲和北美地区的 NO_2 的浓度显得十分重要。 NO_2 的另一害处是，它是硝酸盐气溶胶的主要来源，而硝酸盐气溶胶则是形成直径 2.5 微米以下大气颗粒物的重要组成部分。

为了减少因大气污染导致的死亡率，WHO 规定二氧化氮的年平均浓度标准为 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，相当于 20ppb。但是，实际情况往往超过由 WHO 推荐的这一最高标准值，在欧洲的城镇尤为明显。例如，在伦敦，仅在 2016 年的前五天内， NO_2 的

时平均浓度累计 18 次超出 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 标准值。柴油机是 NO_2 浓度居高不下的主要原因之一，正如德国大众汽车舞弊门中所揭露的那样，由柴油机产生的氧化物远远超过人们的预计。

在一些欧洲大城市中，使用了空气质量监测网络来监测城市环境和道路污染物的排放情况。这种测量方法很精确，但往往成本高昂。它是将分析器与计算模型相结合来对非监测点处的空气质量进行估计，这说明要做得更好就需要在城市中部署更多的传感器。随着物联网技术的引入，使得这一需求将会变成现实，因为小型、低成本的空气质量传感器可增加无线监测网络的监测密度，能对现有监测点的信息提供有价值的补充。目前，基于电化学或金属氧化物传感的低成本小型空气质量传感器已进入市场（详见下文中的“先进的微型传感器”章节）。

然而，由欧洲大气污染控制与环境可持续发



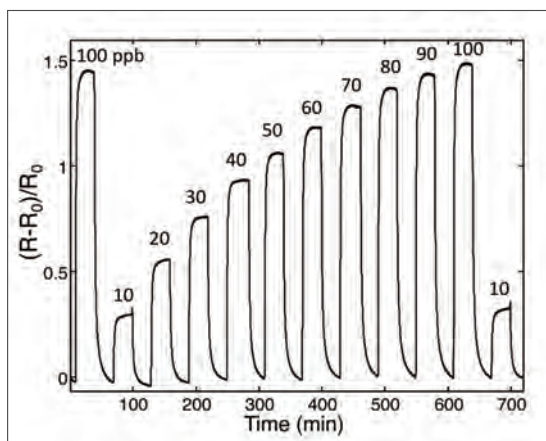
展机构下属的欧洲新型传感器网 (EuNetAir) 所组织的一场对空气质量的现场检测行动中,发现这种新型传感器与传统分析器相比,其传感性能还较差。这种新型传感技术的缺点包括有灵敏度较低,以及它的灵敏度会受到大气中湿度和臭氧等其他类型气体的干扰和影响。

为了突破上述性能限制,研究者们仍在对各种用于智能传感系统的新技术进行整合。与此同时,在高选择性、高灵敏度、超低功耗上的需求也正在驱动新一代传感器向微米和纳米传感器方向发展。位于欧洲比利时的微电子研究中心IMEC,我们正在利用新型的气体传感技术平台来研发一种基于悬空式 AlGaIn/GaN 膜的新型气体传感器。该气体传感器不仅具有超低的功耗,并且对 NO_2 有着很高的灵敏度,并受湿度的影响也很小。



伦敦的空气质量监测站显示,二氧化氮的浓度会经常超出WHO最高推荐值。

图1. IMEC的GaN HEMT在250℃温度下，能够用来探测加湿净化空气中不同的NO₂浓度。当传感器暴露于NO₂环境中，其电阻会持续地增加，直至其对NO₂的吸附和脱附作用达到平衡，该平衡状态与温度和NO₂浓度有关。当传感器处于无NO₂环境下时，由于气体的热诱导脱附作用而使传感器探测信号回到基线处。

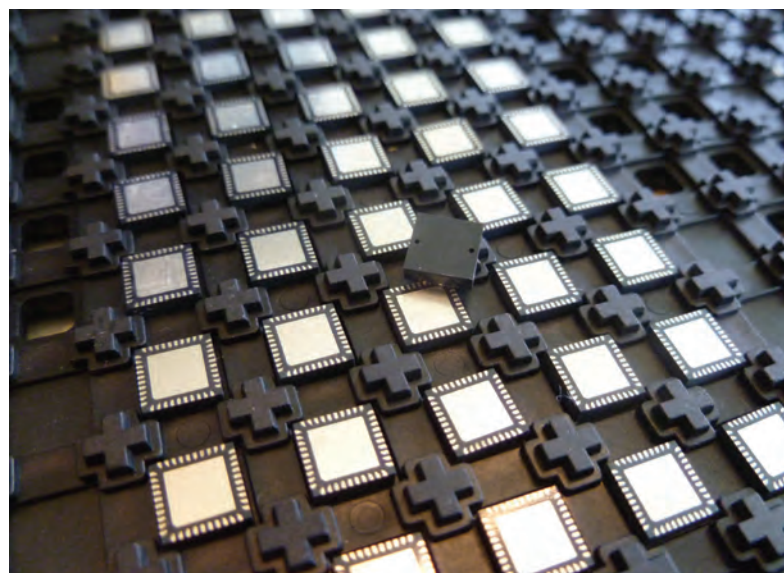


正如许多杂志的读者所知悉的那样，GaN 材料系统已经被用来每年生产数十亿个芯片，GaN 基蓝光 LED 的产业已十分成熟。相比之下，GaN 高电子迁移率晶体管（GaN HEMT）的市场目前还不太活跃。但 GaN HEMT 正在越来越多地被用来制作 RF 和功率电子器件。与此同时，GaN 在高性能传感器领域也有着广阔的应用前景。

电子气的开发利用

我们的传感器采用了由 AlGaIn-GaN 界面形成的高迁移率二维电子气（2DEG），由于 2DEG 对表面电荷改变有着高灵敏度的响应，可由此来直接读出表面上发生的反应，包括其荷电种类等。

许多科学文献已表明，GaN HEMT 已经广泛用于一系列气体、化学和健康传感器中。通过对它的栅极区域进行表面功能化，可实现对特定气体（如氢气）、气态和液态极性分子（如乙醇）、生物分子（抗原和 DNA）的探测，以及 pH 值以



传感器封装使用薄膜辅助（film-assisted）模塑封装（由 APC / Boschman 提供）

及其他离子（如汞）的电化学探测等。

我们发现，该传感器对 NO₂ 的灵敏度尤其高，其响应可由器件的电阻变化率 $(R-R_0)/R_0$ 来描述，其中 R_0 是传感器在尚未暴露于 NO₂ 环境时的初始电阻值。通过对栅极区 AlGaIn 层的精确控制，该传感器的 NO₂ 的响应灵敏度可达到优于 ppb 量级。当 AlGaIn 厚度从 25nm 减薄至 10nm 时，其响应灵敏度可提高约三个数量级。考虑到在栅压控制器件的凹槽结构是一种常用的技术，它被用来提升 HEMT 的性能。

我们传感器暴露于 NO₂ 环境时，其响应信号将会陡增，直到一个与 NO₂ 浓度相对应的稳定峰值状态（如图 1），此时传感器是处于一个气体吸附和脱附作用的平衡状态。而在下一个 NO₂ 浓度峰到来之前，传感器的信号将会回到基线处，这是由于气体从传感器表面脱附所致。

由于 2DEG 埋层的噪声极低，因此我们的传感器能够探测 1ppb 的 NO₂ 的浓度差异（如图 2 所示），这一级别的灵敏度可与最先进的化学发光分析仪相媲美。

我们探测器的响应时间和恢复时间主要是由热激发过程控制。因此，响应和恢复速率随温度上升呈指数下降。当传感器处于室温时，其响应时间将会长达 1 小时，而恢复过程也进行得很缓慢。当探测器加热至 300℃ 时，探测器即使是对浓度为 ppb 量级 NO₂ 的稳态响应时间 (t_{90}) 可快到只需 1 分钟。然而，传感器升温并非百利无一害，温度越高，响应和恢复速率越快，但功耗也会越大。

为了解决这一问题，我们利用了硅上氮化镓技术的独特性能，可以通过等离子刻蚀来将硅衬

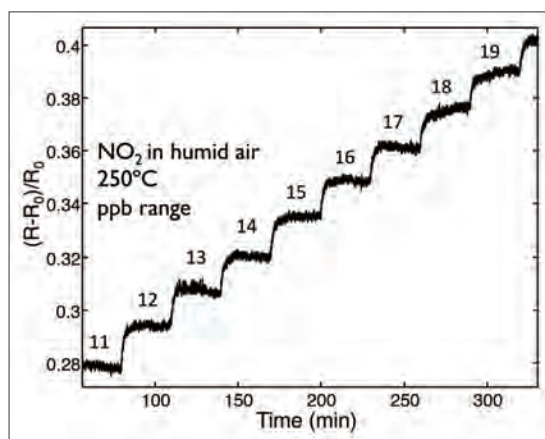


图2. IMEC传感器在11 ppb至200 ppb的 NO₂浓度范围中的梯级探测能力为1ppb。该器件在250℃加湿净化空气中，其相对响应梯级远在其噪声值之上，表明在低ppb浓度范围中这种传感器的分辨率小于1ppb。

底去除。我们是在晶向为 (111) 的 200mm 硅晶圆上沉积 GaN 表明来制作器件，这是一个基于功率 HEMT 的成熟工艺，但我们取消了常规栅结构的加工，而是在栅极区周围制作了一个具有集成加热功能的钨电阻加热器，如图 3 所示。最后一个工艺步骤是用等离子刻蚀来去除位于活性区域下方的硅衬底，产生一个独立的 AlGaIn/GaN 悬空结构，这被称之为“微热板”。

运用这一结构设计，加热所需的功率可降低 100 倍。在衬底上的热量损失将会大大减少，因为仅仅只需要对薄膜上的活性区域进行加热。由于该薄膜层能够进行极为快速的加热或冷却，交替加热形式的工作周期可以减少功耗，使得它的功耗仅有几个毫瓦（图 4）。

我们器件设计的另一项优势是，与目前先进的金属氧化物传感器相比，我们传感器的灵敏度受湿度的影响很小。我们在相对湿度为 20%、50% 和 80% 的情况下分别测量 NO₂ 的浓度，结果是其浓度基线并没有明显的变化（图 5）。与此同时，在上述不同的湿度条件下，NO₂ 浓度的响应也只有不到 10% 变动。

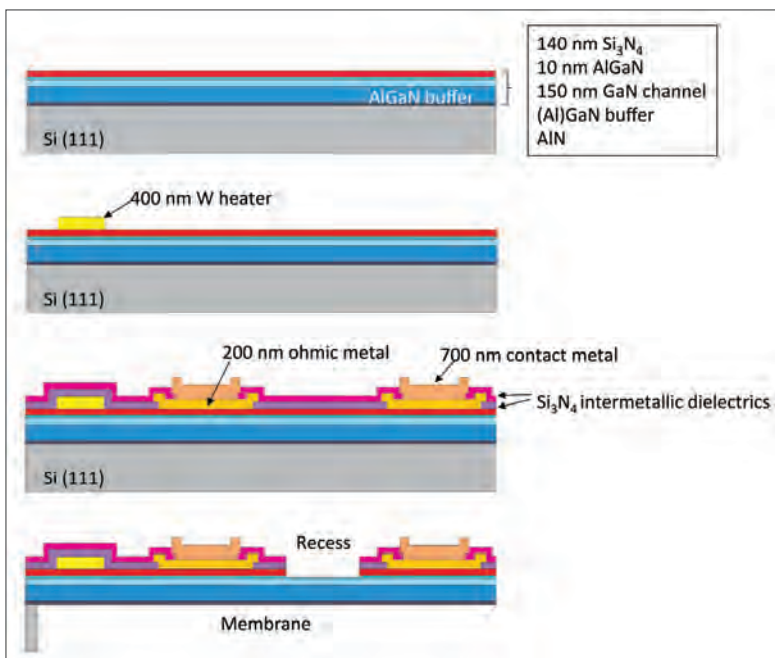


图3. IMEC的NO₂传感器的制备过程首先是在8英寸 (111) 硅片上生长 AlGaIn/GaN 异质结，然后加工钨的环形加热器，再制作源/漏接触及其引脚。在源、漏之间的凹槽传感区域大大增强传感器对气体的灵敏度，最后再刻蚀去除活性区下方的硅衬底。

我们传感器的优势是来源于它的设计。对于金属氧化物传感器而言，电子传导发生在其表面的整个晶界，而我们传感器的传导机制则有着明



EVATEC

立足科技前沿， 引领薄膜量产技术



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

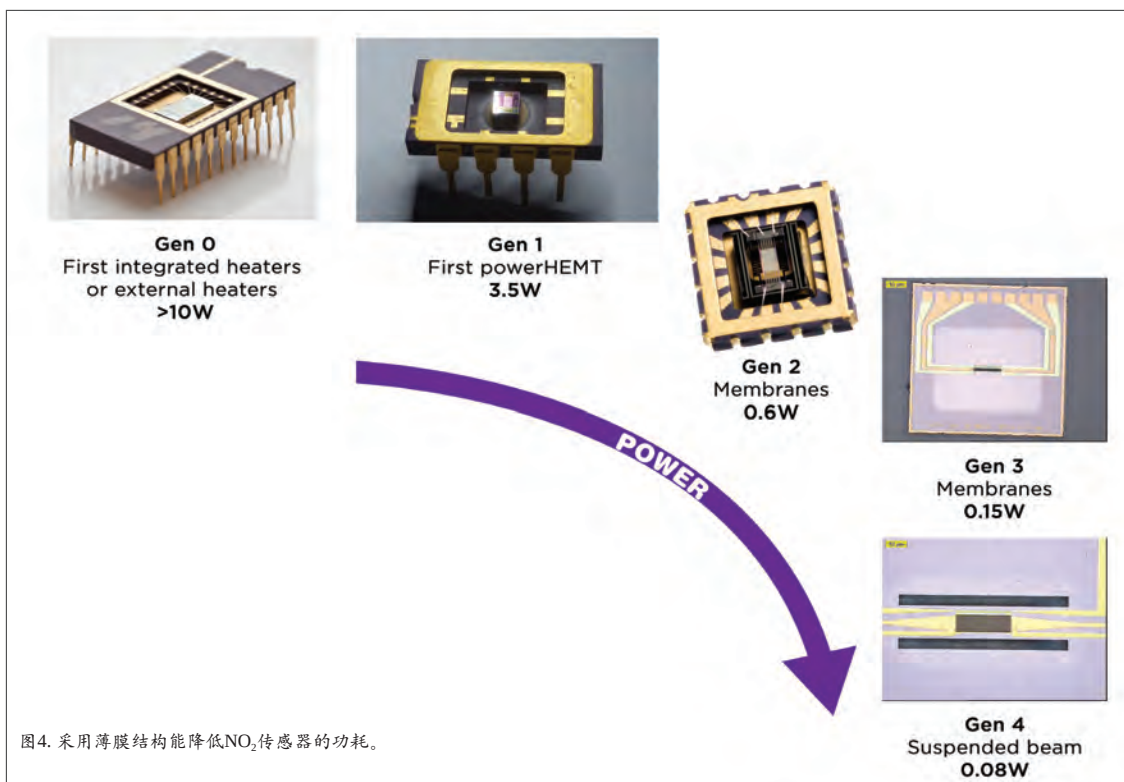
Chose Evatec for our know-how in the precision AlScN films required for BAW filters in **5G mobile networks**, cost-effective AlN deposition on Si for **GaN Power Devices**, high throughput RDL/UBM processes in **FOWLP**, precise bandpass filter technology for **3D Sensing & Gesture Recognition** in next generation smart consumer devices and driving down your costs in **HB-LED** production.

To find out more about Evatec processes and platforms visit www.evatecnet.com or contact your local office.



DKSH (China) Co., Ltd • Tel: +86 21 5383 8811 • E-mail: cn.spe@dksh.com

ADVANCED PACKAGING • HP OPTICS • MEMS • OPTOELECTRONICS • POWER DEVICES • WIRELESS • THE THIN FILM POWERHOUSE
www.evatecnet.com



显不同。由于表面下方存在有二维电子气的埋层，二维电子气在密度上的平衡受到表面电荷的控制，所以它会受到表面态与电子施主或还原气体间相互作用的影响。例如，我们的传感器对 ppm 量级的氨气十分灵敏，但是它对 NO₂ 的响应却与之相反：随着浓度的增大，器件的电阻会降低，而非增大，这是因为氨是电子的施主，而 NO₂ 却是电子的受主。

任何传感器的性能须接受严格的现场应用评估。我们将我们的 HEMT 传感器安装在一个高科技园区的停车库中，并将它的探测结果与化学发光分析仪的测量结果进行了比较。

比较结果显示，我们传感器的灵敏度很高（图 6）。在工作日的开始和结束之际，这两种技术都探测到了 NO₂ 浓度的峰值。然而，这一现场评估也发现了我们传感器的局限性，经过几

先进的微型传感器

如今，典型的电化学传感器包括一个传感电极和一个反向电极，两者之间为一层电解液。待测气体扩散穿过多孔疏水隔层，与传感电极表面发生氧化或还原反应，而在两个电极之间产生电流，其大小正比于待测气体的浓度。

在实际应用中，尽管作为反应催化剂的电极材料是针对特定气体种类进行开发的，使得电化学传感器的选择范围并不广。电化学传感器仍有存有以下缺点：与昂贵的分析仪器相比，其灵敏度低、使用寿命短。另外，由于电解液中所含的水分会随时间缓慢蒸发，使得传感器需要进行定期校准。然而，这种传感器仍具有较低的功耗、良好的响应线性以及相对较低的成本等优点。

金属氧化物传感器正成为当下气体传感器的主流。该传感器可以在硅片上进行制造，能够缩小尺寸和降低

成本。气体与沉积在两个电极间的金属氧化物薄膜进行氧化或还原反应，可实现对气体的探测。这些反应是在金属氧化物薄膜内的晶界上发生，使得这些晶粒间势垒的升高或降低，由此使得两个电极间的电流发生变化。化学反应强烈依赖于传感器的工作温度，通常为几百摄氏度。因此，该结构通常是制作在“微热板”上，通过先进的微机械加工工艺来在硅片上制作尺寸极小的悬空薄膜。这样做的优点是能够减少衬底的热量损失，可降低功耗，通常仅有几十毫瓦。

这种金属氧化物传感器的缺点是在于它的响应非线性和信号漂移问题。但是，这种问题能通过智能输出加以解决。它的其他缺点与电化学传感器相类似，包括有灵敏度低、易受如环境水汽等其他气体的干扰等问题。

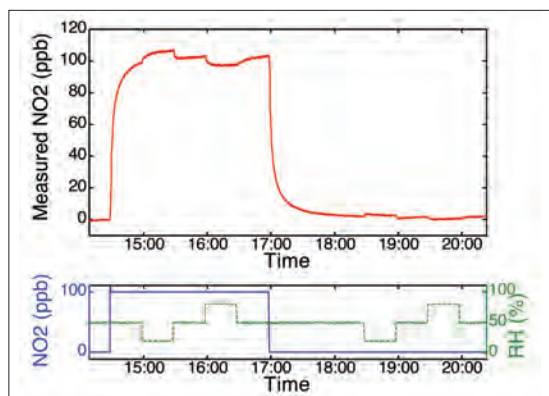


图5. 与金属氧化物传感器相比, IMEC的HEMT传感器的另一优势在于它受环境湿度的影响很小。图为在相对湿度为20%、50%和80%的条件下校准后的NO₂浓度响应, 可以看到湿度对于基线的影响并不明显。值得注意的是, NO₂吸收和湿度之间是竞争关系, 相对湿度越高, 对NO₂的响应灵敏度就越低。

天的探测, 我们传感器的响应灵敏性就受到了影响, 这可能是由于现场还有其他未知气体的存在。这一影响因素并不值得惊奇, 因为汽车燃料的完全燃烧和不完全燃烧将会产生大量的不明气体和雾状化合物。

想要解决这一问题并不容易, 因为这与传感器表面的化学性质有关。可以通过表面改性或增加滤网来给予解决。另一种方法则是对表面进行功能化处理, 来增加它的化学活性, 它们可以是(金属)纳米颗粒、聚合物层、自组装单分子层或金属有机物骨架等先进结构。进行这种改性的好

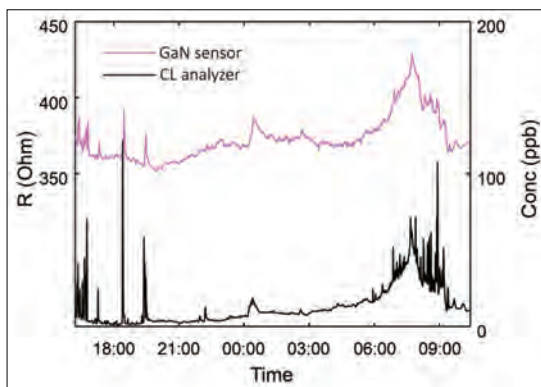


图6. 我们从严格的现场应用中评估了传感器的性能, IMEC的工程师们在车库中评估了基于HEMT传感器的性能。

处还在于将使传感器能探测更多种类的气体, 如CO₂和H₂等(见图7)。尽管表面功能化使得传感器的表面性能具有了可调性, 但它的实际应用依然还处于探索阶段。

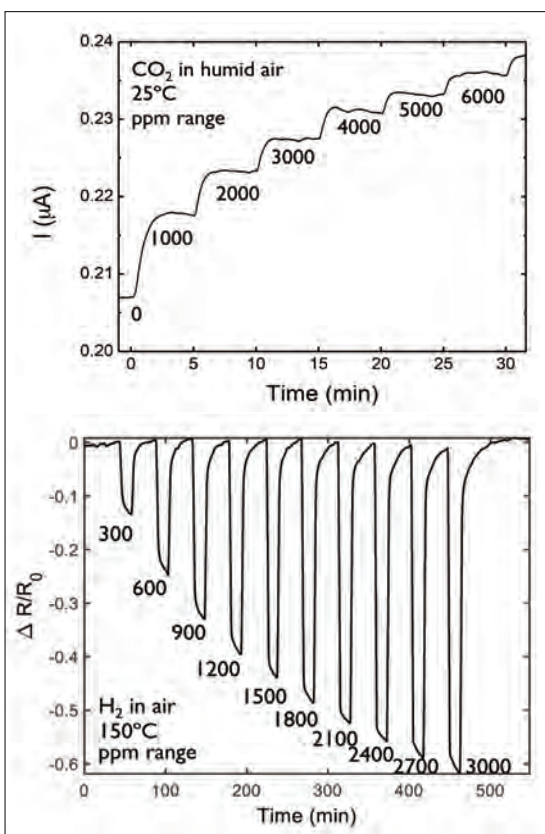
芯片切割和封装

IMEC传感器的制作过程包括有去除硅衬底来得到悬空的GaN薄膜。尽管硅片是脆性的, 但可以先用紫外敏感切割箔片来对器件保护, 再进行硅片的切割。在进行紫外曝光和加热后, 使用二次剥离箔片就可将这层切割箔片从硅片上剥离去除。

IMEC工程师还提出了传感器的光敏特性问题。尽管所制作的薄膜对可见光是透明的, 但它对紫外光仍然十分敏感, 这是由于GaN具有较大的禁带宽度所致。因此, 为了解决这一问题, 传感器试制品所采用的封装对光都是不透明的, 但允许被测气体稳定地通过。



图7. 二维电子气对表面电荷有着高的灵敏度, 可用于CO₂的探测和室内空气质量的监测。与NO₂不同的是, CO₂不会与传感器表面直接产生反应, 即便将传感器暴露于浓度为10%的CO₂中, 仍然不会产生响应。然而, 若在传感器表面附着一层pH敏感聚合物(如聚乙烯亚胺), 那么低于500ppm浓度的CO₂也能被探测到, 这一响应灵敏度已使这种传感器足够用于室内空气质量的监测。传感器能够探测CO₂的机理是, CO₂会使聚合物层中的pH值发生变化。更为特别的是, CO₂的吸收会使聚合物侧链基团发生质子注入, 这将提升对凹槽中二维电子气沟道的控制并增加器件的电流。值得注意的是, 想要探测浓度为ppm量级的H₂, 可通过在栅极凹槽区域上热蒸发5 nm厚的铂层来实现。



光电晶体管在自由空间通信中的应用

用 II 型超晶格材料制作中红外光电晶体管的光学增益已可达到 600 以上，可应用于“自由空间光通信”中。

位于美国伊利诺伊州西北大学的研究人员已经制作了一种红外 II 型超晶格光电晶体管，它具有令人印象深刻的性能，其探测效率为同类光电二极管的四倍。

该研究团队制作的光电晶体管，致冷条件下它在 $4\mu\text{m}$ 波长的光学增益可达到 600 以上，对于激光的“自由空间光通信”网络应用是一个强有力的候选器件。这种光通信技术能通过提供另一种一英里距离的链接来替代传统的光纤网络的信号传输。

该研究团队的组长 Manijeh Razeghi 解释说：“‘自由空间光通信’的主要卖点是在于，你不再需要再对射频带宽进行任何的配置，这在信号拥挤的地区是很宝贵的资源”。更为重要的是，与 WiFi 网络不同，“自由空间光通信”可以对金融机构等具有高度安全性要求的用户提供一种固有的、安全稳定的信号链接。

在理想情况下，这种光通信技术应该要避免 800nm 到 $2\mu\text{m}$ 波长的近红外波段，这是为了避免对人眼产生安全问题，这是一种与大功率激光源应用需求相关联一个问题。由 Razeghi 团队所制作的光电晶体管是工作在 $5\mu\text{m}$ 到 $3\mu\text{m}$ 波长的中红外波段区域。这是一个十分适合进行自由空间光通信的红外光谱波段，在这一波长范围内的大气的散射和吸收都相对比较微弱。

由美国西北大学团队研制的 II 型光电晶体管还存在着一个缺点，它在工作时需要冷却，这将会增加应用的成本。Razeghi 认为：“然而，近期在

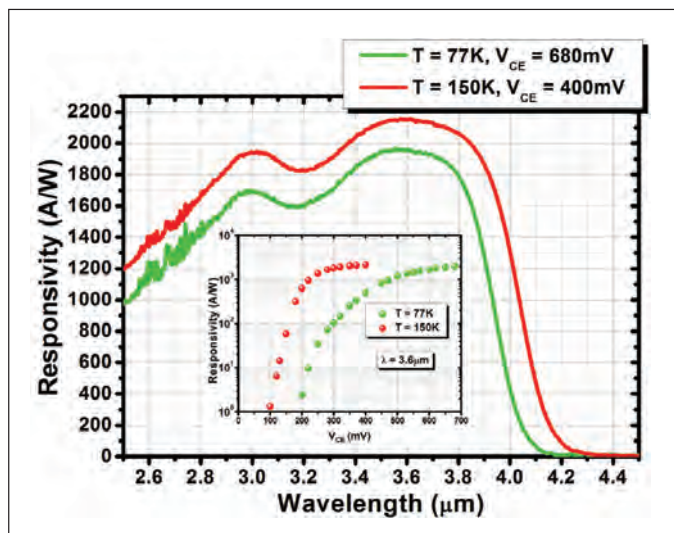


图 1 无抗反射涂层 II 型超晶格光电晶体管的光电响应曲线，显示在约 $3.9\mu\text{m}$ 波长处达到饱和。

制造微型冷却器上的改进使得这种冷却器的成本得到了下降，并还扩展了它们的工作寿命”。

Razeghi 及其同事所开发的是一种异质结晶体管器件，它是 HBT 器件的一种变体。光电晶体管一度被认为是应用于近红外区的快速检测中，但随后并没有获得成功，其原因是发现缺乏一种能工作在该光谱波段的合适材料组合。

Razeghi 解释说：“由于 II 型超晶格材料具有优异的性质，我们重新对异质结晶体管进行了审视，并给它提供了另一种应用机会，也即是在中红外和远红外波段进行高速红外探测领域来证明它是一种优秀的候选器件”。

她认为，她团队工作的最大意义是完全由 II 型超晶格材料来制作异质结双极晶体管。这种方法通过可以自由地选择不同带隙能量的材料来制作位于不同部位的晶体管，并且还能调整它们之间的带隙能量偏移。

Razeghi 强调说：“当空穴的晶格

结构能与铟化镓衬底相匹配时，就可以进行所有这些调整”。

该研究团队将分子束外延生长的探测器与基于 II 类超晶格的 p 型基区和轻掺杂 n 型集电区相结合，它的发射区是一种基于 $\text{InAs}/\text{GaSb}/\text{AlSb}/\text{GaSb}$ 的超晶格结构，分别具有 7, 1, 5, 1 个单分子层结构；基区和集电区具有相似的结构，但每个周期结构上是由 6.5 个 InAs 单分子层的和 12 个铟化镓单分子层

所组成。

II 类超晶格光电探测器采用了标准的光刻技术来制作它的光电晶体管。测量表明，在 150K 温度下它具有超过 2000 A/W 峰值响应（详情见图），而在 77 K 温度、200 mV 偏置下它的光学增益趋于一致，随着偏置电压增加到 600 mV 左右，其光学增益达到饱和值 668。与此同时，在 150 K 温度、偏置电压 110mV 时其光学增益趋于一致，在 350mV 时达到 639 的饱和状态。

该团队的任务之一就是测量他们器件的工作速度。Razeghi 说道：“从其他的实验证据表明，我们可以预期它能工作在千兆赫兹 GHz 波段”。

其他工作目标还包括要制作更长波长的光电晶体管，通过改进芯片的设计和工艺来进一步提高它的工作速度，并开发可用于波长多路复用的双波段探测器。

A. Haddadi et. al. Appl. Phys. Lett. 109 021107 (2016)

氮化物和砷化物与硅 CMOS 的集成

晶圆键合技术可在一个 200 毫米直径的硅晶圆上将 GaAs 层、GaN 层和硅 CMOS 集成为一体。

美国 -- 新加坡合作研究团队为不同半导体材料的集成确立了一个新的基准，它们在 200 毫米硅衬底上通过晶圆键合技术将 GaAs、GaN 和硅 CMOS 芯片集成为一个整体。

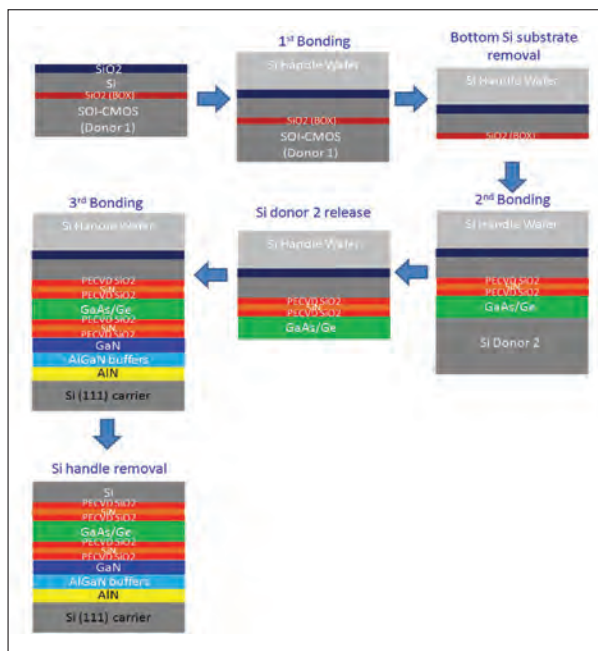
以前，由新加坡和美国 MIT 研究和技术联盟曾将硅 CMOS 与 GaAs/Si 或 GaN/Si 在 200mm 晶圆上实现了集成，而目前美国 -- 新加坡合作团队的这一工作超越了它的最佳技术水准。

论文第一作者 Kwang Hong Lee 描述了该工作在最近出现的突破，其最大意义是能在一个硅 CMOS 设计平台上实现把不同材料的最佳功能进行结合和集成。

Lee 声称：“因此，高频 InGaAs HEMT、大功率 GaN 放大器和廉价硅数字控制电路就可以在一个单一的技术平台上实现集成”。

将这这些不同材料集成在一个单一的技术平台上有着以下四个方面的优点：在电路板级层面上可以减少封装器件的数量，可以形成单片射频模块的前级；由于它能使得芯片具有更小的尺寸，可大幅都降低功耗，能降低 5G 无线通信产品的开发成本；还采用了如包络线跟踪 (envelope tracking) 等新的集成电路设计技术。

Lee 说道：“此外，采用无磷材料的全色彩主动显示矩阵也可以通过结合使用 InGaP LED, InGaN LED 和硅 CMOS 驱动电路来得以实现”。这些显示矩阵将照明和以光为基础的通信技术相结合，有望在智能照明中得到应用，它们还可用于可穿戴设备的生产中。



新加坡-MIT 研究和技术联盟的工程师采用一个三重键合层的传输工艺来制造晶圆，它是在 200 毫米硅晶圆将 GaN、GaAs 和硅 CMOS 实现了结合。

该研究团队采用了晶圆键合方法来实现不同材料的接合，相对于直接外延生长方式有着以下主要优势：它可以在室温下进行，这可以防止 CMOS 晶体管的性能退化，因为 GaN 外延生长的温度通常为 1350℃，以及砷化物和磷化物的外延生长温度是在 650℃。

Lee 和她得同事们采用了等离子激活熔合方法来使晶圆键合在一起，这个工艺可以在常压下进行，并能与 CMOS 的加工过程相兼容，并且它对热膨胀系数的不匹配有着较高的容忍性。更为重要的是，它适合在晶圆代工中使用，因为它只涉及到几个低成本的工艺步骤，这些工艺步骤如今已经广泛地应用于硅上绝缘体晶圆的生产中。

要形成多种材质组成的混合型晶圆，研究团队总共准备了四套不同的

晶圆：一种是作为载体的硅晶圆，一种是具有绝缘体上硅结构的晶圆，一种是具有 GaAs / Ge / Si 移植层的硅晶圆，以及一种 GaN/Si 晶圆。SOI GaAs/Ge/GaN/Si 叠层结构的形成需要一系列七个工艺步骤：包括三个键合步骤，移除硅衬底，移植硅晶圆的释放，以及硅载体晶圆的释放等（见图）。

该团队采用红外相机来评估这种多材质晶圆的界面质量，观测发现在晶圆表面存在着由颗粒引起的键合不良区域。

根据 Lee 的说法，颗粒问题在研究环境中要比代工环境更容易出现：“现代的晶圆键合设备可以通过减少人工处理、清洁

环境的控制和原位清洗来将微粒问题降低达到最小化”。

在该团队制作的晶圆中，距其表面几个微米的深处有着一个厚度约为 500 nm 的 GaAs 和 GaN 埋层。所有这些薄层的厚度都可以变化，Lee 声称，在原则上键合介质层可以薄至 100nm。

该团队的未来一个工作计划是对他们的工艺过程的顺序进行变换，即首先是首先在 III-V/Si 晶圆上制作器件，然后经光刻对准机后键合晶圆。“除了用这种方式来进行器件的集成以外”，Lee 说道，“我们还将尝试将电池、太阳能电池单元和其他电子器件进行集成，以在通用的硅技术平台上来实现制作一个完整的电子系统”。

K. H. Lee et. al. Appl. Phys. Express 9 086501 (2016)

采用双层 ITO 来提高 LED 的亮度

改变 ITO 沉积源和晶圆之间的夹角能够大幅度增加 LED 的输出功率。

来自于韩国的工程师通过将单层 ITO 改成双层，使得它们 LED 的发光强度增加了 20%。

来自 Gwanju 科学和技术研究所 (GIST) 团队的工艺是，先是以垂直入射方式来沉积一个 ITO 单层，然后调整样品的角度，再沉积第二个 ITO 单层的方法来形成双层透明导电 ITO 的结构。此外，还对这两个单层的厚度进行了优化，它们具有明显不同的折射指数，从而降低了它们的反射率。还通过减少器件有源区光发射重新反射回有源区的比例，来增加 LED 的输出功率。

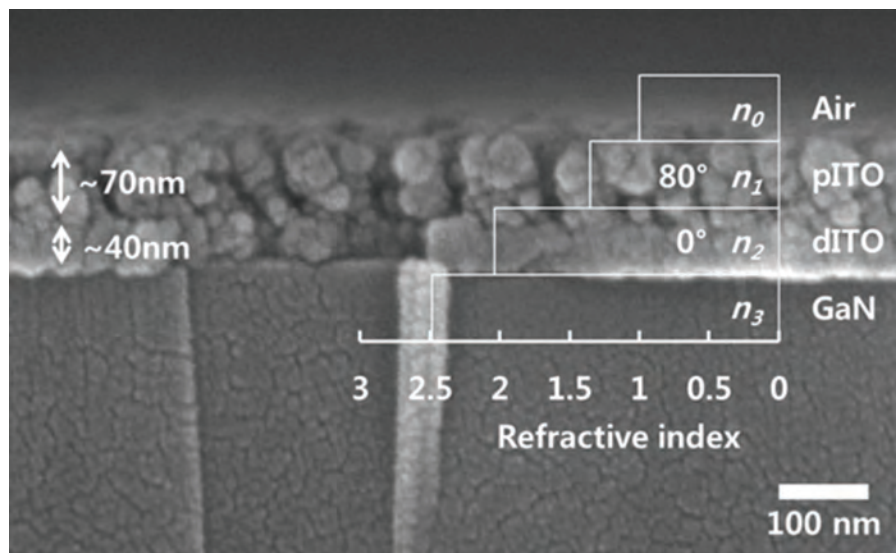
在广谱波长范围内来降低反射率也可以通过形成一个亚波长尺度的纳米结构来实现，“但是，这种方法需要更为复杂的制造工序”，GIST 的 Dong-Seon Lee 说道。

Lee 认为，简单的双层 ITO 方法使它适合于实现大批量的生产。该薄层可以在单一生长设备中沉积，或者使用不同的生长设备来进行不同角度 ITO 的沉积。

GIST 团队证明了采用这种双层方法来制作 LED 结构的优点，并比较了它与只有单层 ITO 常规器件间的性能。这两种器件都是采用了在蓝宝石衬底上生长 GaN 的 LED 结构。Lee 解释说：“我们采购的是无 ITO 层的商业化外延片”。

在这些晶圆上，Lee 和它的同事 Dong-Ju Seo 用电子束蒸发沉积了 40 nm 厚的致密 ITO 薄膜。然后他们在反应室中调整晶圆的方向，以使它与蒸发源形成一个 80° 的倾斜角，然后在多孔 ITO 膜上沉积 70 nm 厚的膜层。

研究人员对上述样品在 600℃ 的大



采用双层 ITO 能使增加 LED 的输出，这是由于光的干涉相消效应而使 ITO 反射率大幅降低所致。

气压力下退火 5 分钟，然后制作包括有 30 nm 厚铬层和 300 nm 厚金层的金属接触来完成整个器件的制造。

调整 ITO 的沉积角度会对其折射率产生显著的变化。在具有最小反射率的目标波长 450 nm 处，常规 ITO 的折射率为 2.0，而倾斜沉积 ITO 的折射率只有 1.35。GIST 工程师测量了双层 ITO 的反射率，在 450 nm 波长处它只约有 3%，而 200 nm 厚标准 ITO 的反射率则是超过了 15%。

若要确定是否较低的 ITO 反射率能使 LED 性能变得更优越，Lee 和 Seo 比较了这两种类型器件的电流 - 电压特性和电致发光特性。在 3V 的驱动电压条件下，这两种器件的电流性能是类似的，标准器件是 26.0 mA，双层 ITO 的 LED 是 27.1 mA。

然而，在 20 mA 的驱动电流条件下，具有两层 ITO 结构的 LED 器件产生的电致发光强度要比对照器件高出 19.7%。这是因为经厚度优化的 ITO 复合材料中产生了一种相消干涉效应，

而使其反射率降低 13% 以上。

韩国研究人员还研究了在高性能 LED 中采用的较薄单层 ITO 的影响。此时在 450 nm 波长处的较薄单层 ITO 反射率将会低于 200 nm ITO 膜层：40 nm 厚致密 ITO 层的反射率约为 10.5%，而 70 nm 厚的多孔 ITO 的反射率约是 7.5%。

不幸的是，这两种较薄单层 ITO 结构在器件电学性能上存在着不足，厚 40 nm ITO 器件与双层 ITO 器件以及具有厚 200nm ITO 的对比器件相比，有着较高的电阻。而对 70 nm 厚的多孔 ITO 器件而言，由于其多孔膜的本就具有较低的导电性，使它的电学性能将为更差。

Lee 说道，他们的下一个目标是研究包括 SiO₂ 和 SiN 介电材料的双层 ITO。

D. -J. Seo et. al. Appl. Phys. Express 9 082103 (2016)

大幅降低半极性 LED 的成本

在蓝宝石衬底上制作亚微米线条组能为降低半极性 LED 的制造成本铺平道路。

在蓝宝石衬底上形成具有三角形截面的线条组作为纳米结构核的壳层，用以制作半极性的 LED 器件。

来自美国新墨西哥大学的一个研究团队开发了一种半极性 LED 的低成本生产工艺。他们放弃使用了非常昂贵且供应有限的半极性 GaN 衬底，转而使用蓝宝石衬底来减少 LED 器件的生产成本。

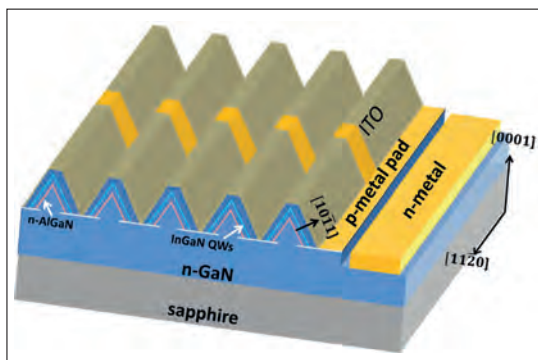
这种半极性光源的吸引力是它具备实现高效率发光的潜力。由于内建电场会使得电子和空穴分离而降低了发光效率，大幅降低内建电场有助于获得高的发光强度（流明/瓦）。

来自新墨西哥大学的研究者并不是最先探索在异质衬底上制造半极性 LED 的团队。比较常见的方法是选择自底向上的催化辅助气-液-固的生长模式，或者是使用一种原位氮化硅介质的无催化自组装方法。然而这些技术在生长纳米线的尺寸、形貌及其位置的控制上都比较困难。

另一种选择就是选区生长方法，它是在有图形的电介质上进行非原位的淀积工艺。随后的步骤是用蚀刻来暴露出 GaN 模板的下方区域，以能在非极性或者半极性晶面上进行三维纳米结构的生长。

新墨西哥大学的团队并不是唯一采用这种特殊方法的研究团队。然而，它使用的约为 600nm 宽度的线条，而相比之下，来自 Ulm 大学的 Ferdinand Scholz 研究组所使用的线条宽度超过了 1 μ m。

生长纳米结构所面临的挑战之一就是自发形成的多重晶面，并且这些晶面都有着不同的表面极性、铟掺杂浓度



在蓝宝石衬底上形成具有三角形截面的线条组作为纳米结构核的壳层，用以制作半极性的 LED 器件。

以及生长速率，最终会导致产生不均匀的量子阱厚度、铟浓度及其质量。

为了解决这个问题，新墨西哥大学的研究人员生长了具有三角形截面的有序 GaN 基线条阵列，它只包含有半极性 $\{10\bar{1}1\}$ 晶面族。然而，根据透射电子显微镜和 X 线能量色散谱分析结果说明，尽管采用了这种方法，但量子阱的厚度及其铟的组份浓度还始终难以做到均一化。

器件的制作过程先是在 c-面蓝宝石衬底上生长 2 μ m 厚的 GaN 薄膜来做为 LED 器件的 n 区，在淀积 120nm 厚的 SiN 介质层后，研究人员使用干涉法光刻在晶圆上制作线条组图形，然后用 III-V 族原子比为 2000 来生长纳米结构的核心层。这样可以保证只有半极性 $\{10\bar{1}1\}$ 面能得到生长。在此之上，他们再生长了一层很薄的 n 型的 AlGaIn 层，它具有如下一些作用：能减小 LED 中的反向漏电流，充当氧原子的吸杂层，并且可用来修补掩模图形中的缺陷。

在 n 型 AlGaIn 上生长的 LED 结构包含有一个 N 型的 GaN 层、一个具有 4 个 3nm 厚的量子阱有源区以及一个镁掺杂的 P 型 GaN 层。随后用标准

的接触式光刻技术来制作具有三角形截面纳米结构的 LED，它具有一个透明的氧化铟锡（ITO）电流扩展层。有关论文的通讯作者 Ashwin Rishinaramangalam 相信，制作这些三角形纳米结构的 LED 只比常规蓝宝石衬底上 GaN LED 稍微复杂一点：“因为我们的技术是基于已有的 c-面 GaN 技术，如果所获得的结果能与目前先进的 LED 性能相当的话，这对实现它的大规模生产将是十分有利的”。

该团队制作的器件有着很宽泛的发射光谱线，随着电流密度的增加它的变化十分明显，而这并不是半极性器件的典型表现。

Rishinaramangalam 说道，在目前，器件具有宽的发射光谱是它的一个缺点，因为他和他的同事们对由器件不同截面所产生的光发射还无法实现很好的控制。然而，如果他们能够实现发射光谱曲线进行修整的话，将可以制造出具有高显色指数的白光 LED。

这个团队目前已经开始使用低温光致发光技术来测量器件的内量子效率，来研究这种器件效率的衰减性能。

Rishinaramangalam 说道：“虽然我们器件的内量子效率已经非常之高，但由于 p 区侧存在着不均匀的电流传导现象，使得这些器件在电流的注入效率上还存在着问题。正是基于此，他认为这种器件的外量子效率也不会很高”。

Rishinaramangalam 也承认：“为了实现均匀的电流注入，在器件的设计上仍需要实现进一步的优化”。

A. Rishinaramangalam et. al. Appl. Phys. Express 9 032101 (2016)

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aixtron SE	德国爱思强股份有限公司	www.aixtron.com	IFC
CS International		www.cs-international.net	1
EDI CON China 2017	电子设计创新大会	www.mwjournlchina.com/edicon	13
Evatec Ltd.		www.evatecnet.com	21
productronica China 2017	慕尼黑上海电子生产设备展	www.productronicachina.com.cn	16
SEMICON China 2017		www.semiconchina.org	IBC

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

Sales Director (销售总监)
Mark Mak (麦协林)
markm@actintl.com.hk
Sales Director-Taiwan

UK Office (英国办公室)
Angel Business
Communications Ltd.
6 Bow Court,
Fletchworth Gate,
Burnsall Road, Coventry,
CV56SP, UK
Tel: +44 (0)1923 690200

Chief Operating Officer
Stephen Whitehurst
stephen.whitehurst@angelbc.com
Tel: +44 (0)2476 718970

销售人员 Sales Offices

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

China (中国)

Shenzhen (深圳)
Jenny Li (李文娟)
jennyli@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
Tel: 86-21-6251 1200

Beijing (北京)
Cecily Bian (边团芳)
cecilyb@actintl.com.hk
Tel: 86-135 5262 1310
86-10-6748 4833

Wuhan (武汉)
Sky Chen (陈燕)
skyc@actintl.com.hk
Tel: 86-137 2373 9991
86-27-5923 3884/1564

Eva Liu (刘婷)
eval@actintl.com.hk
Tel: 86-138-8603 3073

Taiwan (台湾地区)
Rebecca Tsao (曹宇容)
rebecca@arco.com.tw
Tel: 886-2-23965128 x 203

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)
Robin Halder
robin.halder@angelbc.com
Tel: +44 (0)2476 718970

Shehzad Munshi
sm@angelbcl.co.uk
Tel: +44 (0)1923 690215

Jackie Cannon
jackie.cannon@angelbc.com
Tel: +44 (0) 1923 690205



逾**60,000**名专业观众

超过**20**场专业技术论坛

高端社交联谊活动

六大主题专区覆盖半导体全产业链

多元化的市场推广机会

SEMICON China 2017 六大主题同期会议

◆ 汽车电子 Automotive **NEW**

电子技术的创新极大地帮助了现代汽车。今天，从自动停车，到预见性制动等各种应用，半导体已成为现代汽车进化的至关重要的因数。新一代汽车，它的安全，通信，导航及车内娱乐，都离不开半导体！进一步就设计而言，更安全，更好驾驶体验的要求，会推动汽车辅助驾驶系统等的广泛应用。来参加论坛，一起探讨未来趋势，塑造汽车工业的未来！

◆ 中国半导体产业 China IC Industry

◆ 投资 Investment

◆ 物联网 IOT

◆ 新兴显示 Emerging Display

◆ 功率及化合物 Power & Compound

Co-located with

FPDCHINA

SEMICON China/FPD China 2016
观众概述

SEMICON China / FPD China 吸引了全球微电子行业各个环节极富影响力的观众，包括半导体、LEDs、OLEDs、MEMS、印刷/柔性电子和其他相关市场。

SEMICON China/FPD China 2016
展后数据

总参加人数	64,169
总观众数	49,026
净展出面积	27,009

89%

观众对采购决策
具有影响力

57%

观众的工作涉及
工程方面

69%

观众拥有
管理职能



扫描左侧二维码
完成观众预注册

SEMICON/FPD China 2017

移动服务平台集在线注册、会议查询、展位查询、一键生成观展邀请函等功能，更好的为观众和展商提供一体化观展/参展体验。

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

