

化合物半导体

CS COMPOUND
SEMICONDUCTOR

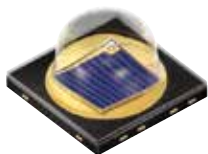
• CHINA

季刊 2015年 第3期

功率放大器



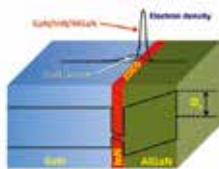
高功率红外LED



化合物半导体工业



氮化物 HMET



GaN MOSFET 器件



“没有遗憾”的 GaN 产品

来自 VisIC Technologies Ltd 的真实答案



ACT



您认为,

**AIXTRON 的系统应该提供
给您最佳的生产拥有成本。**

我们也这么认为

新系统 AIX R6



探索新系统AIX R6

彻底改变一个行业不是改变一切, 而是使好的变得更好
介绍: 新系统AIX R6
它拥有业界技术领导者所期望的一切
及更好的使用便捷性, 更大的产量和更佳的生产拥有成本。

Reasons to sponsor CS International Conference 2016

- ✓ Senior management networking opportunities
- ✓ Increased company and brand awareness
- ✓ Access to the top strategists within the compound semiconductor industry
- ✓ Create, develop and support customer relationships
- ✓ Engage in debate, share insight and expertise on industry challenges
- ✓ Gain visibility and recognition as an industry leader
- ✓ Leverage exposure in multiple industry media
- ✓ Demonstrate market innovation and leadership by launching new services, products and systems



www.cs-international.net

CALL NOW +44 (0)24 76718970

email **event@cs-international.net** or view the online
sponsorship pack at **mediapack.cs-international.net**

CS **INTERNATIONAL**
CONFERENCE

Connecting, informing and inspiring the compound semiconductor industry

封面故事 Cover Story

7

陷于矛盾困境中的电功率转换

The Paradoxical Dilemma of Electrical Energy Conversion

电功率转换不仅成本高而且还耗能,虽然有可能提高电功率转换的效率,但这样做几乎总会增加成本。设计者和制造商所处的矛盾困境是如何在电功率转换系统的成本与效率之间找到合适的平衡点。VisiC公司希望运用先进的GaN基半导体器件来替代当今的硅基器件,可以加快电功率转换系统的成本降低和效率改进的进程。

- VisiC Technologies Ltd

技术 Technology

11

高发光强度的红外LED器件

Intense infrared LEDs

最近主流LED产业的发展重点明显是聚焦于人眼不易察觉的850nm波长的红外LED器件上。发射可见光和红外光的LED都有着很多种应用,这些光源制造商们正试图给LED的性能制定一个新的基准,以便它们能新的市场上赢取更大的份额。

- MARTIN BEHRINGER, MARKUS BRÖLL, JÖRG HEERLEIN, CLAUS JÄGER, THOMAS KIPPES;
欧司朗光电半导体公司

16

化合物半导体工业拥有光明的未来

Bright future awaits the compound semiconductor industry

从集成电路到太阳能电池、医疗以及电动汽车的电子系统等领域,化合物半导体芯片的应用在未来十年中将呈现上升的趋势。

- RICHARD STEVENSON

市场 Market

4

功率放大器的未来

What future for the PA?

6

中国氮化镓衬底登陆世界

GaN substrates fresh from China

科技前沿 Research Review

25

InN插入层可以提高氮化物HEMT的性能

InN looks to enhance nitride HEMTs

26

外延InGaPBi的首次面世

Debut for epitaxial InGaPBi

27

垂直结构GaN MOSFET降低了开态电阻

On-resistance falls for vertical GaN MOSFETs

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

About Compound Semiconductor China

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

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—为跨国公司及中国企业架设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

化合物半导体发展前景诱人

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

编辑 Editor

李晓玲 Greta Lee
gretal@actintl.com.hk

出版社 Publishing House

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

北京 Beijing

Tel/Fax: 86 10 64187252

上海 Shanghai

Tel: 86 21 62511200
Fax: 86 21 52410030

深圳 Shenzhen

Tel: 86 755 25988571
Fax: 86 755 25988567

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

第五届国际化合物半导体 (CS) 会议于今年 3 月 11-12 日在德国法兰克福机场的喜来登酒店举行,吸引了 300 多位代表参加,进行了 30 多场精彩的演讲,其中包括七位顶级市场分析专家的演讲。

化合物半导体国际会议所讨论的内容几乎覆盖整个产业。会议虽然只有两天,但是与会代表对化合物半导体产业的现状和未来却有了直观且准确的认识。

从会议传出的好消息是:化合物半导体产业的发展前景将是十分乐观的,分析师对于 GaAs 功率放大器、III-V 族 CMOS、LED 以及聚光型光伏器件、宽禁带器件等做了一系列的介绍,使得会议代表认识到各种类型的化合物半导体芯片在这个十年 (2010-2020) 中将会有极好的发展前景。从集成电路到太阳能电池、医疗及电动汽车的电子系统等领域,化合物半导体芯片的应用在这个十年中都将呈现上升的趋势。

Linx 咨询公司的合伙人 Mike Corbett 对前景最为乐观,他认为 CMOS 产业将会转向采用 III-V MOSFET 来继续跟上摩尔定律的发展步伐。Corbett 解释道:“我们相信 Intel 公司很可能在 7nm 工艺节点首次使用化合物半导体技术”。这可能是极具冒险性的一步,但是对于硅产业来说,它是在缩小晶体管尺寸的同时还能继续利用现有的技术手段来改进集成电路的性能。

Intel 公司开发的 FinFET 鳍形晶体管结构是最具根本性的革新,这种对沟道中载流子具有更强控制能力的三维器件所面临的主要挑战之一:如何在硅材料上生长高质量的其他材料。Corbett 强调了几种很有潜力的解决办法,比如在硅晶圆沟槽中生长 III-V 族或 Ge 材料,即采用比利时 IMEC 的生长方法。在 FinFET 推出之后,TMSC、三星及 Global Foundries 三家代工业巨头正在准备进行后续的开发工作。根据 Corbett 的说法,这是仅有的能紧紧跟上国际半导体技术蓝图 (ITRS) 的三家企业,其他生产商已经落后于他们 1-2 个技术节点。

化合物半导体国际会议预测:大概在 2018 年左右,晶圆制造就会引入 III-V 族半导体材料,到那时 Intel 也会开发出新一代 7nm 节点的晶体管,这种技术类型晶圆的大规模生产将会持续两个技术节点,直到 2020 年代的中期。随之代工厂将会跟进,并在 2022 年 5nm 节点处引入 III-V 族半导体材料沟道,其生产则将会延续随后的十年间。

关于化合物半导体国际会议的更多内容请阅读本期杂志第 16 页的文章“化合物半导体工业拥有光明的未来”。

赵雪芹



功率放大器的未来

谁将占据未来功率放大器（PA）市场的主导地位，是易于集成的 CMOS 功率放大器的快速发展会使其最终成为市场的主流，还是 GaAs 功率放大器凭借着它的优异性能而继续保持在市场的主导地位？

RICHARD STEVENSON

如果你在 2013 年 2 月 21 日那个星期四恰好关注股市的话，那么你就见证了有机半导体产业的灾难日。在 GaAs 微电子股票市场上的两只龙头股——Skyworks 和 RFMD 的跌幅都超过了 10%。不仅如此，国际外延晶圆供应商 IQE、台湾 GaAs 代工厂 WIN 半导体公司和 III-V 族衬底制造商 AXT 都受到了很大的冲击。

造成这种股票大跌局面的原因是什么呢？是有关于 Ga 材料供应不足的新闻所造成的吗？或者是关于近期智能手机销售量下降的报道所造成的？不，真正的原因并非如此，而是世界顶级手机芯片制造商——高通公司，对整个 III-V 族产业给出了致命一击。在 2013 年世界移动大会（MWC）上，高通公司发布了一颗单芯片 RF360，据称它可对当前最先进智能手机所需的前端应用提供所有功能。

事后来，显然股票市场对这个消息的反应是太过激烈了。高通公司所发布的芯片并没有直接宣判 GaAs 功率放大器芯片的死刑。相反，相比于两年前的那次市场冲击，这些股市主力交易股票的价格要高出不少，所以在这次股票动荡中 GaAs 制造商实际上已经获得了很大的成功。现在 Skyworks 的股票价格在 100 美元上下浮动，已是黑色星期四那天股票价

格的五倍，并且 RFMD 股票的价格也攀升了不少，尽管我们不可能知道 RFMD 与 Triquint 的合并会对其股票价格上涨产生多少贡献。

随着股价上升等利好因素，一切都在暗示着 GaAs 器件还是一个健康向上的产业，但这也会让人们忽视来自硅基功率放大器的威胁。而且这种威胁可能不是来自高通公司，而是来自于绝缘体上硅（SOI）技术的龙头老大——Peregrine 公司，它将成为 GaAs 器件产业最为强劲的对手。

在 2015 年 3 月 12-13 日举办于德国法兰克福化合物半导体国际会议（CSI）的开幕式上，Peregrine 公司的总裁兼 CEO——Jim Cable 在挤满了听众的会议大厅里勾勒了 CMOS 在前端器件应用上的优点。正如人们所预料的那样，Cable 这次演讲并不是完全由他一个人来进行，而是伙同 Skyworks 公副总裁 Ed Anthony 一起展示了一个令人信服的案例——这是一部采用了 GaAs 器件，并具有一系列先进技术的手机产品。Qorvo 公司——这个在今年 1 月由 Triquint 和 RFMD 合并所产生的新公司，同样也支持这种观点，该公司的副总裁兼战略营销主管 Sean Riley 说道，GaAs 和滤波器中 GaAs 器件的价值在未来几年内仍会有迅速的提高。与此同时，Strategy Analytics 公司

的市场分析师 Eric Higham 却认为，尽管 GaAs 器件会继续保持其在手机功率放大器市场中的主导地位，但是硅基 CMOS 器件将会稳定地提升它在手机市场中的拥有份额。

Cable 则深信 Peregrine 公司的技术将会在手机产业中上扮演重要的角色，他说：“由于具有易于集成化这一优势，使得 CMOS 器件几乎赢得了所有的市场”。他并不是单单针对 GaAs 基技术来表达这一观点，他还指出易于集成化是 CMOS 技术能够比 PMOS、NMOS 和双极型技术更容易取得成功的首要原因。

尽管如此，但没人能保证 CMOS 技术一定会取得成功。Cable 相信，即使 CMOS 功率放大器（PA）在性能上能与 GaAs PA 相匹敌的话，其销售量也不会有明显的增加，因为手机制造商还不准备在手机性能上做出丝毫的妥协。Peregrine 公司宣称，它们的 CMOS 产品的性能已经达到了 GaAs 产品的基准水平。

自从 1990 年公司成立以来，Peregrine 公司一直专注于研究所谓的“智能集成化”的技术。也就是说，它是采用绝缘体上硅（SOI）CMOS 技术来制造高性能、可弯曲的单芯片，该芯片可以修整成为各种不同的几何形状。Cable 承认研究和制造这种芯片的

费用将会高得离谱，但在另一方面，整个部件的制造费用却将会大大降低。

为了说明 CMOS 器件在手机前端应用上的潜力，Cable 描述了该公司开关器件产品上的演变过程。最初，他们的开关器件是用 UltraCMOS 技术来进行制造，在如 RC 乘积因数这种关键指标上要落后于 GaAs 技术的产品。但是在 2011 年，UltraCMOS 技术赶上来了，并且从那时起就开始明显领先了一个身位，并在销售额上获得了起飞，该产品在 2014 年的出货量已是 2011 和 2013 年间年出货量的两倍以上。

在 2015 年 3 月召开的世界移动大会 (MWC) 上，Peregrine 公司发布了采用 UltraCMOS 技术的初始产品—Global 1。声称这种产品集成整合了 12 个月前开发的 PE56500 全 CMOS 前端应用解决方案，它的滤波器是由最近刚被 Peregrine 收购的 Murata 公司所制造。Globe 1 产品包含了一个三通道的多模、多基带功率放大器，后 PA 的开关，以及一个天线开关和调谐器。Cable 解释道：“任何基带都能工作在任何频率下，全部是由芯片上的调谐器来进行控制”。

Peregrine 公司总裁为了能更好的说明 CMOS 功率放大器 (PA) 的优点，他将 UltraCMOS 技术 Global 1 PE56500 产品与 Skyworks 公司所制造的相同等级的 GaAs 基产品进行了比较。Cable 强调道：“其差别是相当明显的”。他指出，Peregrine 公司的单个封装体产品中只含有两个 IC 倒装芯片、17 个表面贴装的无源元件且没有引线键压点，而对手的两个封装体产品中却含有 9 个 IC 芯片、43 个表面贴装无源元件和 136 个引线键压点。他还声称，由于元件数量的减少将可大大缩短设计所需的时间，每个基带的设计时间可以从 2-4 天骤降到不需一个小时。

GaAs 的优势？

Anthony 提供了一份对器件进行模拟结果和性能测量的综合报告，对 CMOS 功率放大器是否能够提供与基于 GaAs 技术器件相同的性能表示了怀疑。

通过对这两种器件的对比测量，GaAs 功率放大器的性能明显要领先一大截。根据 2014 年 RF-SOI 研讨会上的报道，对 GaAs HBT 的模拟和功率附加效率 (PAE) 的测试结果分别为 71% 和 66%，然而由 Peregrine 公司完成的对同等级 SOI CMOS 器件的模拟和测试的结果则分别只有 60% 和 57%。

	Typical 2G	Typical 3G	Regional LTE	Global LTE
Filter Content	\$0.25	\$1.25	\$4.00	\$7.25
Switching / Tuning	\$0.00	\$0.25	\$1.50	\$2.25
Power Amplifiers	\$0.30	\$1.25	\$2.00	\$3.25
Other	\$0.00	\$0.00	\$0.50	\$0.50
Total RF content	\$0.55	\$2.75	\$8.00	\$13.25 +

具有更高数据传输速率的手机往往需要在前端应用器件上进行更大强度的资金投入。数据来源：Qorvo



无线通讯浪潮使得 GaAs 微电子业销售额达到近 70 亿美元，刚刚超过功率放大器业销售额的一半。

随着 Skyworks 在 2015 年产品的功率附加效率 (PAE) 达到了 78% 后，使得 GaAs HBT 效率得以继续地提升，Anthony 宣称道：“这将给提升效率的可能性重新设立了标杆”。他还补充道：GaAs 相对于 CMOS 而言，还在线性度、外形尺寸和成本方面都有着明显的优势。

Skyworks 的信条是将 GaAs HBT 与为之用最好技术制作的其它元件相结合，由此还可能引入系统级封装，因为它无论在制造成本、性能还是在进入市场所需时间上的表现都十分优异。这家公司拥有多项内部技术，包括拥有已经有了六千五百万器件出货量的 SOI 产能，该项技术被看作是制造 RF 开关器件的最佳选择。Anthony 解释道：随着 MEMS 技术能够提供的非常低的插入损耗，SOI 能提供最好的投资回报，但是就当前考虑来说其造价还是太高了。

Riley 就这种开关滤波器、功率放大器的“钱景”问题发表了一些看法，他将典型的 2G 和 3G 手机与那些能提供区域和全球 LTE 性能进行了比较。从下文给出的图表可以看到，发展更为先进和更为高端的手机对功率放大器制造商来说是一种福音，更是滤波器制造商的福音。

每个人都是赢家？

Higham 讨论了硅基功率放大器出现所蕴含的意义以及无线网络的改革问题，并研究了 GaAs RF 市场状况。他认为该产业是在一个移动数据消费急剧增长的背景下发展的，根据 Cisco 的数据显示，每年移动数据的消费增长率达到了惊人的 78.78%

移动设备终端销量的不断攀升推动了移动数据消费的爆发式增长。平板电脑和电子阅读器的出货速度正在赶超手机，尽管后者在可预见的将来还将继续占有移动终端设备的龙头老大地位。在手持设备市场

下转第10页

中国氮化镓衬底登陆世界

中国氮化镓材料制造商苏州纳维科技有限公司(Nanowin)近日表示,作为氮化镓(GaN)材料制造商,他们准备进入西方市场,参与国际竞争。

未来的方向

近年来,在研究了碳化硅的高击穿电压特性和砷化镓、锗硅合金和磷化铟等材料的高频率特性后,业界有人认为在进一步提高电力电子器件的工作频率方面,氮化镓比碳化硅的潜力更大,应用前景更好。

苏州纳维科技公司的2英寸GaN衬底晶圆制造业务一直在快速增长,为了满足业界发展需要,2014年10月底,纳维科技表示将大规模生产低位错密度高质量的2英寸GaN衬底。

纳维科技宣称,其产品针对蓝色和绿色激光二极管市场的高性能器件已经得到验证,公司决心要成为世界领先的氮化物半导体材料供应商。

纳维公司首席技术官王建峰博士表示,通过HVPE方法生长的厚度低于1毫米的GaN衬底,一般位错密度大约是 $1 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$,而纳维公司生产的相应衬底的位错密度可以达到低于 $1 \times 10^4 \text{cm}^{-2}$ 。

纳维公司的成果令人印象深刻,关键在于:在初始的GaN薄膜表面刻蚀了纳米结构,并严格控制生长条件。利用光辅助电化学刻蚀,在GaN薄膜中刻蚀纳米金字塔阵列,以此缓解GaN材料中的压应力。

王建峰博士介绍说:“为了减少位错密度,我们在GaN表面做了一些表

面工程改性,比如制作纳米结构,然后优化初始生长条件。”

“从高品质的GaN纳米结构层表面,我们再生长非常高质量的GaN材料。”他补充说,“通过自主搭建的HVPE系统生长GaN衬底,并通过原位光学监控系统监控生长过程。在整个GaN生长过程中,密切监视材料特性,包括晶圆的弯曲,折射和反射,以确保均匀生长。”

增加生产

显然,生产制作过程需要成熟的工艺控制,纳维公司声称目前大约每月生产衬底200片,很快可以提高到每月700片。目前公司的产量大约为产能的75%,在未来三年时间里,纳维公司计划将制造能力提高到每月1000片以上,位错密度只有 $1 \times 10^4 \text{cm}^{-2}$ 。这些衬底将主要供给激光二极管制造商。

事实上,通过与中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所合作,纳维公司已经制造出具有低阈值电流密度、低工作电压、长寿命的蓝色激光二极管。他们还研制成功了绿色激光二极管结构,据称拥有“优异的发光均匀性”。

纳维公司严格遵守与相关的激光二极管厂商的技术合作保密协议,公司已经与欧司朗、日亚化学、索尼、松下、Soraa等公司,以及一些中国本土的新兴LED厂商密切合作。

毫无疑问,纳维公司的晶片成本是很有吸引力的。目前位错密度在 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 之间的2英

寸GaN晶圆的价格约1500美元,而 $1 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$ 或更低位错密度的晶圆价格大约3000美元。

王建峰博士强调:纳维公司的GaN晶圆价格在1500-1800美元之间,而且随着产量的增加会进一步降低成本。

王建峰博士补充说:除了成本优势,纳维公司在全球GaN晶圆市场要与Hitachi Cable, Mitsubishi Electric, Sumitomo, Kyma等知名厂商竞争,还必须有完备的知识产权组合。纳维公司在中国已经拥有40项专利,目前在美国、欧洲和日本有几项专利正在申请中。

2014年诺贝尔物理学奖得主、“蓝光之父”中村修二(Nakamura)教授指出,GaN on GaN LED技术将在不久的将来取代现有的第一代LED技术成为LED发展的主流,而GaN衬底将成为LED行业最终选择的衬底。

纳维公司总经理徐科博士表示:GaN未来是一个数万亿美元的市场。全球第三代半导体技术在快速发展,我国具有自主知识产权的产业集群发展所面临的挑战是产业链中某些环节非常薄弱。我们期待更多的企业发现GaN衬底的价值,愿意投入资本和时间来开发相关的应用产品。苏州纳维科技公司将最大限度支持相关下游企业发展自己的基于GaN衬底的新产品。我们希望看到更多有远见、看重未来广阔市场空间的公司和我们一起推动中国整个产业链的发展和成熟。CS。

陷于矛盾困境中的电功率转换

我们所遇到的每种电子产品中几乎都会包含有电功率转换器，例如手机和笔记本电脑用的充电器，空调中的马达驱动器、工业机器人以及各种泵等。似乎存在着一种矛盾的状态，即这种电能转换不仅成本高而且还耗能，但还是一直用它来增加电力输送和应用系统的整体效率。虽然也有可能来提高电功率转换的效率，但这样做几乎总会要增加成本。设计者和制造商所处的矛盾困境是如何在电功率转换系统的成本与效率之间找到合适的平衡点。

电功率转换的必要性可以追溯到更为早期的电能输送阶段。在分布式电网中，往往是采用更为有效的高压交流电（AC）传输形式，然后再把它从几千伏的高压转换为较低的交流电压，来用于早期的照明和马达系统中，或者是将交流电转换为直流电（DC）后再用于其它方面。在十九世纪的七十年代就已经出现了基于晶体管结构的电子系统，但对于世界如今概念上的固态晶体管是要到上世纪的五十和六十年代才得到了广泛的商业使用。从半导体晶体管开始起飞到上世纪八十年代，它已经成为了商业和国防电子学应用的支柱。沿着这一发展途径，电功率转换在实际的半导体和半绝缘体技术，包括逻辑电路和高效率电池技术的发展上显现出越来越大的重要性。从第一台晶体管收音机到当代社会中的平板电视、笔记本电脑和智能手机，这些技术的加速发展都需要将电功率转换成低电压的交流电，或是转换成具有更低电压的直流电。交流 - 直流间的转换以及已经广泛使用的开关模式电功率转换系统（SMPS）都使用了各种电子组件来提高效率和减少它在电功率转换过程中所产生的热量。

电功率转换系统在数量和性能上正在继续地、迅速地得到提高。

在上个十年中，在更多的应用中采用了用高效率的电功率转换来降低系统的发热，使得住宅及商业照明应用受惠非浅。正是有了这种高效率的电能转换能力并与其它技术相结合，才使得照明能从白炽灯转为全光谱的发光二极管（LED），它比荧光灯有着更高的效率，同时还推动了它在可变频率驱动（VFD）马达上的应用。用 LED 灯来取代白炽灯，通常只需六分之一的输入功率就能提供相同的光输出强度（流明），而 VFD 可以大大提高马达驱动系统的效率。上述这两个例子均需要完整的交流 - 直流间的电功率转换系统，而在 VFD 应用中，则需要直流 - 交流（逆变器）间的转换。这两种转换

最好是用电功率转换组件来完成，其它突出的应用例子是在电动汽车、不间断功率电源以及太阳能电池逆变器的充电装置中。

电功率转换系统中有一个值得令人注意的性能参数，称之为功率因数校正（PFC），它对整体的配电效率有着十分重要的影响。PFC 可以通过电流和电压的负载波形与其输入波形进行匹配，来降低交流电输送时对其总体容量要求。电子 PFC 装置能够将其输入和负载的波形实现紧密的匹配。

由于电子系统在设计上的进步，显著地提高了电功率转换系统的性能和效率。基于硅（Si）电路的 IGBT 和 MOSFET 始终是功率转换系统中的主要电子部件。在过去几年中，碳化硅（SiC）二极管及其场效应晶体管（FET）已经投入了生产，进行了大量的系统改进工作。最近，部件供应商已经能够提供氮化镓（GaN）晶体管及其开关器件，与采用其它技术的器件产品相比，GaN 器件具有多项优点，包括它能极大地提高效率、功率密度和开关速度。

当今的 GaN 产品具有较低的效益成本比，是由于氮化镓器件的供应链与传统的硅技术相比还相对不够成熟，现正在迅速克服这一障碍。

GaN 基器件要能快速和成功地进入功率转换领域的主要障碍是 GaN 基器件的性价比低。与此同时，在射频以及增益性能等方面具有优势已经使 GaN 基器件在某些领域迅速得到了应用。如在雷达领域，在这种高性能器件的首个现场应用成功报告发布后的两年中，就完成了 GaN 器件的全部替代过程。

当代 GaN 产品的低性价比是由于氮化镓技术的供应链与硅技术相比还相对不够成熟，但这一障碍正处于迅速的克服之中。

以色列 VisIC Technologies Ltd 对 GaN 技术的启动是从制作首个“没有遗憾（No-Excuses）”的 GaN 器件产品——ALL-Switch 开始的：作为一个产品名称和对公司创始理念的坚持，VisIC 公司开发的一项技术可以克服 GaN 在价格敏感领域的应用障碍。使用 GaN 器件的电功率转换系统将会从中受益：提高了功率转换的效率，以及可实现更为小型、成本更低的系统，并显著提高了有效开关频率。

VisIC 公司的创立是基于一种理念，它相信正确地运用

先进的 GaN 基半导体器件来替代当今的硅基器件，可以加快电功率转换系统的成本降低和效率改进的进程。VisIC 公司在功率转换上尚无法完全克服在成本增加与效率损失上的矛盾，但他们可以减小、甚至摆脱在效率 - 成本比上的困境，这是通过采用 GaN 基解决方案以及结合了更为理想的开关性能（例如，增加阶跃函数的开关频率），使得它的实际成本要低于现有的硅基决方案。

“没有遗憾”的 GaN 产品

要开发出一种真正可称为“没有遗憾”的 GaN 产品需要克服一个重大技术的障碍。成立于 2010 年的 VisIC 公司的两个以色列工程师用他们的器件物理和材料科学背景来面对这一挑战。根据他们几十年来在射频 GaN 产品开发上所积累的经验，Tamara Baksht 和 Gregory Bunin 博士相信他们可以生长一个异质外延氮化物层，并用它来设计制作一个系统设计师所需的未经任何掺杂的、常闭型（增强型或 E- 模式）功率晶体管（已经公认的一点是，掺杂的 III 族氮化物外延层有可能会降低 GaN 晶体管的可靠性、导致其性能参数的漂移或迟滞，掺杂还会对单片集成的增强和耗尽型氮化镓晶体管的性能产生影响）。

最初开始是私人投资，然后是“天使资金”和以色列风险资金，再加上以色列首席科学家办公室的资助，VisIC 公司创建了一个开发环境，已经证明了他们在 GaN 晶体管上的最新物理概念。开发者最初是利用来自于一个合格供应商的在 SiC 衬底上外延 GaN 层的晶圆，并将大学资源和化合物半导体代工工艺技术相组合，结果得到的具有专利权的晶体管结构如图 1 所示。

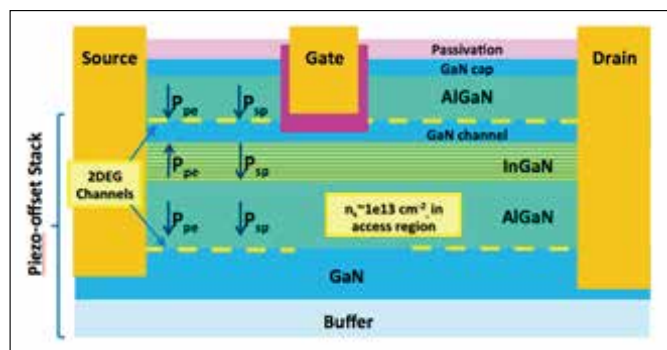


图 1. VisIC 公司的增强型晶体管结构。

在这种晶体管中，外延层成为二维电子气体（2DEG）的双重沟道。用外延层的带隙工程来产生一个具有压应力偏置的层，将它与凹槽栅晶体管结构相结合来制作一个常闭型晶体管。晶体管阈值电压是由外延生长条件而不是凹槽栅的深度所决定，因此 VisIC 这种晶体管本身就具有均匀的阈值，而这是半导体器件投入大规模量产制造和系统设计的必

要条件。

图 2 和图 3 是这种无偏压结构的能带图，其切割剖面位于进路区（A-A'）和凹槽栅区（G-G'）。

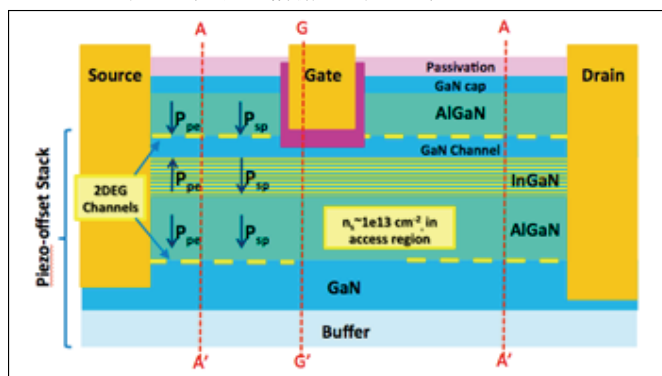


图 2. 切割剖面图。

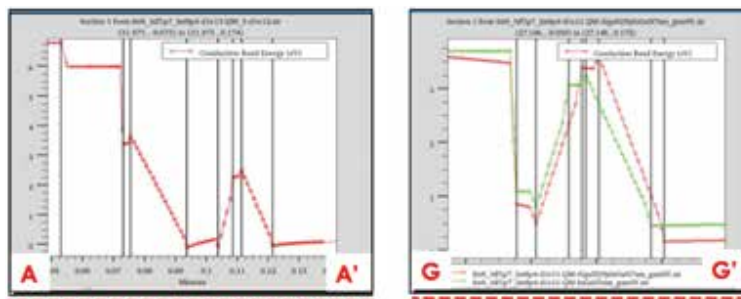


图 3. 能带图。

由于在 GaN 层所形成的二维量子阱中会发生电子的输运，由此产生二维电子气（2-DEG）具有高的移动速度和极低的电容，具有这种结构的器件也称之为“高电子迁移率晶体管（HEMT）”。而 VisIC 公司所开发的这种晶体管器件具有 GaN HEMT 所应具有的良好性能，而没有其它厂家在制作常闭型晶体管时会遇到的性能问题。

如果要开发一种“没有遗憾”的 GaN 器件产品，将需要克服重大的技术障碍。

为了实际使用这种能够实现单次纳秒级开关性能的快速、大电流和高电压晶体管，对器件的封装就提出了十分苛刻的要求，封装必须要有极低的寄生电感，以及在与半导体芯片的连接上要有极低的串联电阻。VisIC 公司成功地解决了这一在封装设计上的挑战性问题，这项工作以 Lev Stessin 为首，他在功率和射频器件的封装技术上拥有超过 30 年的工作经验，并在 2011 年加入 VisIC 公司的封装设计工作。Lev Stessin 还同时开发了具有低成本和低电感的 SMT 封装，能够在保持器件漏源间的低导通电阻（ $R_{DS(on)}$ ）和低电感的同时，还通过使用专有器件布局设计和组装技术来使其具有很低的热阻（ θ_{jc} ）。

在晶体管的设计上有几个关键性的因素特别具有挑战性，这是需要由工业和学术专家来共同进行开发。其中一个因素是外延层要成为能够承受 650V 阻断电压的高压缓冲层，

并具有功率电子所要求的极低漏电流。由一个跨国公司（它是为晶体管和 LED 制造业提供 III-V 族外延片的知名领军企业）为 VisIC 提供了所需的 SiC 衬底上外延层设计，然后在外延生长的量产上与 VisIC 共同开展工作，以针对 650V 规范在外延可靠性上来满足 VisIC 的要求。发挥关键作用的第二个因素是要开发一种稳定的高 k 值的下部栅介质，我们采用了原子层沉积（ALD）技术对它进行了成功的开发。

正如早些时候的概述所说，相对较高成本是 GaN 器件成功进入功率电子产品市场的主要障碍。其主要原因是人们在制造可靠的和成熟的氮化镓晶体管时，都青睐和选择了碳化硅衬底材料，而它的市场价格很高。到 2014 年年末，唯一已经进入氮化镓晶体管市场的商业化、大批量产品是基于碳化硅衬底的 GaN HEMT。但也是在 2014 年年底，VisIC 公司见证了在廉价硅衬底上生长氮化镓外延层上的一个技术突破，可用它来制造硅衬底上高压 GaN HEMT。

这使得 VisIC 公司可以直接从 SiC 上 GaN 外延层切换到具有更低成本的硅上 GaN 外延层（由碳化硅衬底改用硅衬底并不会对结构顶部的晶体管常闭层产生影响）。

除了已经确认硅衬底上 GaN 可以用于 GaN 器件的开发和生产，可成为制造 HEMT 器件的低成本选择以外，VisIC 还对低成本硅代工厂的可利用性进行了验证。与 VisIC 在早期开发阶段期间所使用的化合物半导体代工厂相比，这些新型的代工厂为 GaN 工艺配置了用于硅器件大规模生产的典型先进互连技术，从而为 GaN 的成本和器件布局提供了多种选择。

综合上述各方面的研发成果，使得 VisIC 公司能在原有增强型 GaN 或 GEM 技术基础上来制作“没有遗憾”的 GaN 器件。该种新器件技术的主要优点如下：

- 电压驱动型 650V MIS HEMT 晶体管具有极低的栅电流和漏 - 源间的漏电流。
- 器件的阈值电压为 2V-3V，在高电磁干扰环境下能避免产生寄生器件效应。
- 与具有等效导通电阻 ($R_{DS(on)}$) 的硅 MOSFET 相比，它可以显著降低每个开关周期的损耗（等效 $R_{DS(on)}$ 是指器件在 25 °C 时的导通电阻）。
- 芯片的尺寸只有处于领先的硅 MOSFET 的一半，可以预测它的定价曲线将会等于或低于硅 MOSFET。

由于 VisIC 公司在器件的设计和制造上取得了突破，设计师将能通过采用它的 GaN MIS HEMT 设计而无需担心它的成本问题，随之就可利用氮化镓的先进性能来降低电功率转换系统的成本和 / 或提高系统的效率。

GaN 和 VisIC 技术在发展路线图上的效益

VisIC 公司的技术可以使整个电子生态系统中的 GaN 技

术获得更快的起飞，这将有利于对未来产品开发路线图的制订。一些明显的例子包括有：

- 在 HEMT 沟道间电流变换可以使增强型晶体管特定沟道的电阻等于或优于耗尽型晶体管。
- VisIC 外延层是未经过任何掺杂，可以用来制作耗尽型和增强型的单片集成器件。
- 已有几个外延片供应商可以提供 150 毫米和 200 毫米的硅上氮化镓外延晶圆，它们都具有优良的电学和力学性能。
- 学术研究机构和外延提供商都已经开始提供可支持 1200V、甚至 1700V 器件的更厚和更先进的外延片。这将促使许多目前的功率转换系统可以在相对较近的未来向采用 SiC 组件过渡，以继续改善其系统的性能，所以碳化硅供应商可以专注于开发更高电压下的应用与垂直型器件结构。
- 改进后的外延层将可以进行更具挑战性的器件布局设计，以持续来减小沟道电阻。
- 随着封装和互连技术的不断提高，VisIC 晶体管具有极好的线性度特征，将可以在更高的电流密度下工作。
- 从硅晶圆厂加工变换到硅上 GaN 加工工艺，通过减少缺陷和大批量生产将能显著改善 GaN 器件的成本及其可靠性。

采用了新的工艺来替代硅 MOSFET 和 IGBT 的 GaN 器件，将会对提升 GaN 器件的量产发挥积极影响，可对电力转换系统的效率提高和成本降低起到加速作用。

还可以举出更多的实例，但 VisIC 的期望也是十分清楚的，GaN 器件的应用在未来几年中将会有显著的提升。甚至也有着可能更为激进的期望，就是将会通过形成具有极低导通电阻 $R_{DS(on)}$ 的 GaN 器件来大量替换 IGBT 器件。

先进的低损耗开关 (ALL-Switch)

ALL-Switch 是 VisIC 的第一个具有极低导通电阻器件的产品系列，它是采用了 VisIC 的封装和设计布局技术以及先进的互补 GEM 产品系列的代工工艺进行制造的。VisIC 公司将这种集成化器件称之为 SmartGaN 器件。SmartGaN 具有非常优异的性能，如图 4 所示，采用了一个经校准的双脉冲测试装置，结果显示 VisIC 的 GaN 器件在 400V、30A 开关工作时，它的电流上升时间要小于 3.0ns。

如图 5 所示，ALL-Switch 器件所采用的是一种低寄生电感的 SMT 封装形式。

首个 ALL-Switch 器件与其它功率转换器件之间的比较结果可见下文中的附加插图，图中所示的 Y 和 X 轴分别代

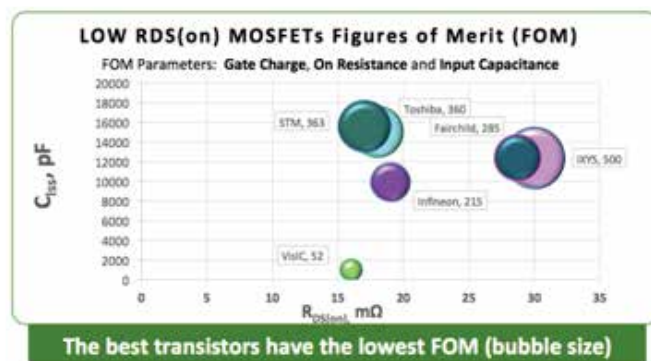


图4. ALL-Switch的上升时间。



图5. VisiC公司的 VT15R65A ALL-Switch器件。

表器件的输入电容及其导通电阻，气泡的大小表示其栅电荷的量值。如上所述，较小的气泡尺寸的器件，以及更接近图表中两个坐标轴交叉点位置的气泡所对应的器件将具有更好的性能。



ALL-Switch 结构也适用于某些专有晶体管的布局设计，将可降低该产品的整体导通电阻（初始器件是 15 mΩ/ 50A）和开关成本，以满足 VisiC 实现对“没有遗憾” GaN 开关器件要具有极低导通电阻的这一承诺。ALL-Switch 的发展路线图还包括了在不久的将来推出具有更低导通电阻的产品。

总结

VisiC 技术公司认为，公司已经证明新的 GaN 电路设计方法摆脱了传统氮化镓工艺在性价比上的困境。现在，VisiC 公司已经推出了 ALL-Switch 这种新产品以及已经获得广泛关注、正在进行设计验证的 GEM 技术。他们的这种“没有遗憾”的氮化镓技术将会对 GaN 器件量产的提升产生积极的影响，使它可作为硅 MOSFET 和 IGBT 器件的替代产品，来加速提高电力转换系统的效率和降低它的成本。

更多信息请访问 VisiC 公司网站：www.visic-tech.com

上接第5页

上手机的销量还是会继续上升，但是其上升速率将会减缓。Higham 说：“智能手机市场将开始呈现饱和，某些领域将无法支持这项技术的发展”。

分析师们继续强调手机市场的收入对 GaAs 基微电子工业的重要性。在 2013 年，GaAs 占据了 53% 的市场份额，其全部的产值仅仅不到 66 亿美元。而在无线领域，在 2004 年之后其年均销售收入增加率为 11%。2014 年该产业的全年销售收入的初步估计值大概在 66 亿美元左右，但实际值可能会更高。Higham 认为：“可能会是 70 亿美元”。

由于现在需要各种具有多带、多模功能的功率放大器，造就了其 35 亿美元容量的市场。在可预见的未来，大部分功率放大器的制造将会继续基于 GaAs 技术，但是硅基功率放大器也将发挥其影响力，其市场份额很可能会从 2013 年很小部分到 2018 年的 20%。

Peregrine 公司的 CEO——Cable 还向大家分享了他的一

些观点，他认为 CMOS 基功率放大器不会在一夜之间就能取得实质性的成功。他说：“真正要将这项技术投入使用还需要时间，但是将来它的市场份额肯定会比 20% 要高很多”。

不仅仅是来自硅基 CMOS 的威胁会压缩 GaAs RF 市场的份额。尽管现在流行的多带、多模的功率应用使得 GaAs 更具竞争力，但是其芯片的尺寸要比单频带功率放大器系列芯片要小很多，这将会导致外延片产量和销售收入上的变化。除了 2009 年之外，最近几年外延片销售收入的增长都要低于其产量的增长，这意味着单位面积外延片材料的收益在下降，这使得那些衬底和外延片制造商的日子很不好过。

唯一没有被会议发言者仔细讨论的议题就是 5G 的出现。5G 对 GaAs 技术来说可能是一件好事，但对 GaN 技术来说可能是一件更好的事情。如果你想听到关于这方面的争论的话，那就需要期待明年的化合物半导体（CS）国际会议了，到那时，这个话题可能会成为大会最为中心的议题之一。

高发光强度的红外 LED 器件

经封装设计优化的 LED 器件可以成为一种具有更高亮度、更高发光效率的先进光源。

MARTIN BEHRINGER, MARKUS BRÖLL, JÖRG HEERLEIN, CLAUS JÄGER, THOMAS KIPPES ;
欧司朗光电半导体公司

最近主流 LED 产业的发展重点明显是聚焦于人眼不易察觉的 850nm 波长的红外 LED 器件上。发射可见光和红外光的 LED 都有着很多种应用，这些光源制造商们正试图给 LED 的性能制定一个新的基准，以便它们能新的市场上赢取更大的份额。

对于发射光波长为 850nm 的 LED 来说，一个最为重要的市场就是给红外摄像机提供照明。红外摄像机可用于监控、身份识别以及工业图像处理等多种用途。除此之外，红外 LED 还可用于 3D 系统和生物特征识别等应用领域，这些应用将会在下文“红外 LED 的发展机遇”章节中进行具体的描述。

为了更好的说明 LED 光源的应用前景，我们 Osram 欧司朗光电半导体公司的工程师团队已经研制了多种 LED 器件，随之扩展形成了产品系列。我们已拥有许多工作在 850nm 波长的 LED 光源器件，该波长的红外光是非常适合在红外摄像和姿态识别时的照明应用。为了提高对人眼虹膜扫描结果的可靠性，我们还为此设计了一款 810nm 波长的同类产品，并已经投入了市场使用。

在 2008 年，我们将第一款采用 Dragon 封装的 850nm 波长大功率 LED 投放到了市场。从那时以来，我们已经将器件在 1A 电流下的输出



如公共场所的摄像监控等很多应用场合，为了达到最佳的成像质量而需要采用高功率的照明，需要采用 850nm 波长的高功率红外 LED 光源。

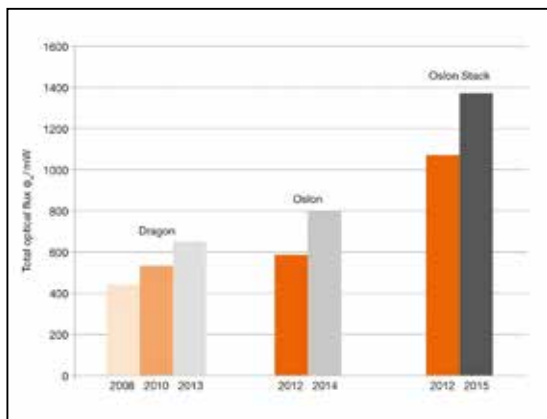


图1. 自2008年发布了第一款Osram公司850nm波长的高功率LED以来，器件的光输出功率几乎增加了一倍，如果采用叠层芯片技术的话，则可以增加到原先的3倍。

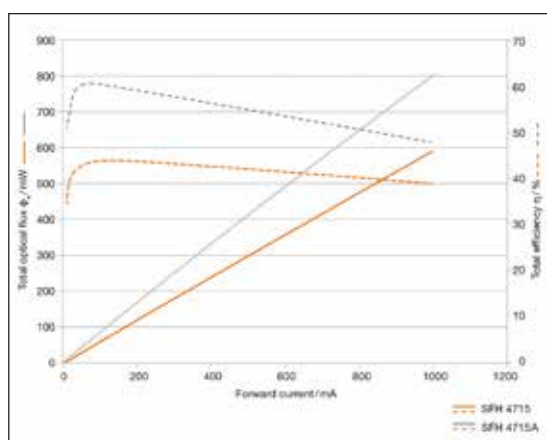


图2. 850nm波长LED器件的光输出功率已经提升了30%，其效率也提高了20%。芯片技术的发展占有三分之二的功劳，剩下的要归功于对封装设计所进行的优化。

功率从 440mW 提升到了 800mW（如图 1 所示），如再加上我们内部研发的纳米叠层技术，器件就有可能实现更高的输出功率。如果在每个芯片中能包括两个光发射单元，那么单芯片 LED 的光输出功率就能远远超过 1W。

在过去六年中，我们在器件的光输出功率上取得了明显的进步，其中最大的一次是在 2014 年发布的 Osion SFH4715A（如图 2 所示）。这款产

品将器件的光发射功率提升了 30%，在这其中新芯片技术的开发占据了三分之二的功劳，剩下的要归功于对封装的优化设计。这款产品的另一个贡献是器件的电—光转换效率达到了 48%，所谓的电—光转换效率即是指器件所输入的电能与其所输出的光能的比值。如此高的能量转换效率使得 SFH4715A 在 1A 工作电流下成为市场上具有最高效率的大功率红外 LED 器件。

这款破纪录的 LED 和它的前代产品都是基于 AlGaInAs 薄膜技术来进行制造的（如图 3 所示）。这种新的器件结构在性能上超越了传统的芯片结构，这种结构有着两个主要的优点：由芯片本身吸收的光将会大大地减少，从而增加了光的输出功率；还有就是几乎所有的光都是从 LED 芯片表面发射的，这样就不需要在封装中再加入光反射镜。采用这个设计之后，该芯片的表面积就可与芯片的光输出功率成正比，对于我们的高功率芯片来说，其表面积为 1mm^2 。

我们这种薄膜技术的一个明显特征就是在衬底和光激发外延层之间加入了一个高反射率介质镜面层。为了制作这样的结构，在进行外延层生长之后，就将会吸收光的衬底予以去除，取而代之的是一个新的衬底载体和反射镜面层（如图 3 所示），改用这样的结构可大大地降低衬底对光的吸收率。由于器件所发射的光依然会留在芯片内部，它可以在镜面和芯片表面之间进行来回反射，所以，为了增加光的输出功率，芯片的表面要加工得稍微粗糙一些。

我们的 850nm 波长 LED 的光发射谱峰相对来说比较窄，我们是有意这么做的：由于该器件的红外光发射峰的半宽高只有 30nm，其波峰拖尾部分的强度很低，将无法提供足够强度的可见光波段的照明（要注意：在波长 800nm 处它的光输

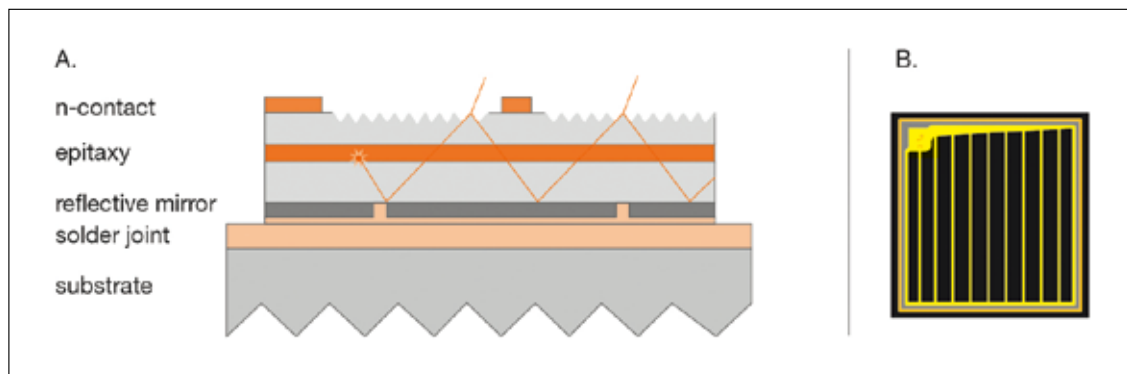


图3. 薄膜芯片技术：在衬底和外延层之间加入一个高反射率的镜面层，以阻止光被衬底所吸收；芯片粗糙的表面能提高它的光发射效率（图3A）。由于在p型接触层和在外延层在镜面质量上的改进，使得在封装体中进行芯片的光输出功率测量值提升了30%（图3B）。

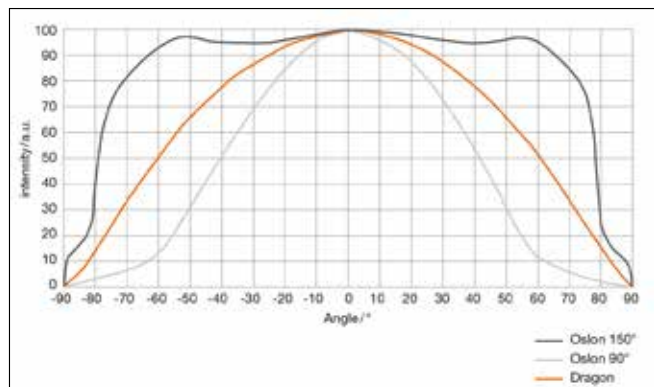


图4. 光束发散角分别为 $\pm 45^\circ$ 和 $\pm 75^\circ$ 的Osilon Black封装, 其光输出功率角分布与采用Dragon封装的Lambertian发光器件(光束发散角 $\pm 60^\circ$)的对比。Osilon Black封装是红外LED封装中具有最小体积的封装设计之一, 其光输出功率超过了500 mW。Orsam公司将它用在的全色高功率LED以及芯片工艺上, 通过使用一种专门为这种封装和芯片设计的有机硅树脂透镜, 相比于一般如Dragon封装的低弧度透镜设计, 可使LED器件的光输出功率提高15%左右。这种封装的另一个优势就是具有良好的散热性能, 保证了芯片有很好的抗老化性能。它具有低的热阻, 其典型值为6.5k/W, 也可以使得器件在大电流下也能持续地工作。

出功率只有其峰值强度的4%, 这说明这一最新芯片将不会产生任何人眼可察觉到的红光)。

在过去的几年中, 我们一直致力于提高我们高功率LED器件的电流处理能力。其中的一个成果就是开发出了既可以在5A脉冲电流、又可以在1A直流电流下工作的器件, 我们通过调节衬底的

厚度及其热阻实现了这一目标。随之我们又制订了最新一代薄膜芯片的发展目标, 就是如何在获得高效率光输出的同时, 又能保持它对电流的处理能力, 特别是当LED处于直流电流驱动模式之时。

上述工作并不涉及到减少光的传输路径, 因为LED的粗糙表面已经能使光的传输路径处于最短的状态。与此相反的是努力来降低光在外延层内部的吸收, 增加外延层和衬底间反射镜面的反射率。除此之外, 还通过缩小p型接触区的面积, 从而将金属—半导体界面的光吸收损失做到了最小化。

这些在光学和电学性能上的优化措施进一步提高了器件的性能。我们测量了一款没用聚光透镜、采用有机硅树脂封装后芯片的发光强度, 发现其亮度值提升了25%。采用更小表面积 of p型接触会影响到器件的正向压降, 它在1A驱动电流下会增加7%, 但最为重要的有利之处是它的电—光转换效率会提高18%。这款产品在实验室中的检测结果也同样让人印象



完整的薄膜沉积和刻蚀解决方案



让 EVATEC 工程师帮您解决生产制造难题。从12寸片UBM工艺的产能提升, 到为发光二极管及功率器件提供氮化镓上无等离子体损伤的溅射工艺, EVATEC 产品平台及先进工艺控制提升了良率, 降低了使用成本。想了解更多关于EVATEC的信息, 请访问我们网站 www.evatecnet.com 或者联系您当地的销售代理商。



MORE INFO



DKSH DKSH China E: cn.spe@dksh.com T: +86 21 5383 8811

发光二极管 • 先进封装 • 功率器件 • 微机电系统 • 电信 • 光伏 • EVATEC 先进工艺控制专项技术

www.evatecnet.com

红外 LED 的发展机遇

850nm 波长的 LED 存在着很多的商业机遇

这种器件最为重要的应用市场之一就是其照明范围内的物体可以被装有的 CMOS 或者 CCD 探测器的照相机所捕捉，因为二者对近红外波段的光相当敏感。这种装置可以用于闭路电视监控系统 (CCTV)，在一些公共空间、博物馆、银行、工业设施等场所都需要用 CCTV 来进行视频监控。因此 LED 芯片制造商就必须能提供一种能持久照射的红外光源，以保证在弱光环境下也能够得到质量优异的图像。但是，当在户外使用这种照相机时，对它的要求也就变得有些复杂。在这种情况下应用的 LED 可能要使观察者能辨别 100m 处甚至更远地方的物体，这就需要 LED 的光发射能够集高亮度与高辐射强度于一身，也就是说，要在每个立体角上都要有很大的光照射功率。

850nm 波长 LED 的生产商们也把他们器件产品装进了红外摄像系统中，红外摄像系统的用途包括有

身份识别、入口控制和工业图像处理等。在这些应用中，图像数据将会进行非常细致的评估，所以通过加入附加的照明以产生高质量的图像是非常重要的措施。除此之外，红外摄像系统可以在汽车领域有着多种用途，包括有驾驶员有源夜视辅助系统，以及在驾驶员分心或疲惫时的辅助提醒功能（通过安装在方向盘后方的摄像头来随时监测驾驶员的眨眼频率以实现这个功能）。

对于 850nm 波长 LED 制造商们来说的另一个大市场就是在 3D 系统中的应用。3D 系统可以通过测量一个物体的距离，从而记录物体在所有方向上运动情况。举一个大家所熟悉的例子，就是电子游戏或者通过动作来控制计算机的姿态识别功能。

不仅如此，3D 摄像机还可以应用于工业生产中。比如，它们可以对产品线上的一些物体进行智能监控；也许未来它们也可以用在汽车上，姿

态识别功能可以为驾驶员的座椅提供多种不同的功能控制。

还有一个与距离监控有关的案例是汽车的安全系统，该系统可以通过监控行人的运动状态来防止他们受到伤害。

基于飞行时间 (TOF) 和光子混频 (PM) 技术的照相机需要与一个红外光源结合使用。它有两种工作模式：对每个像素记录从光源发出的光脉冲到达物体并返回探测器这一过程所需的传播时间；或者以 20MHz 或更高频率来对光进行调制，测量其信号的相位变化。上述第二项技术的发展将会取决于高功率红外 LED 器件的性能。

除此之外，红外 LED 还可以用于生物特征的识别。虹膜扫描设备通过对人眼的红外光照射来辨别一个人，而智能手机和平板电脑的解锁功能，以及从 ATM 机取钱等安全保障功能都可以由这种技术来提供。

深刻，装有聚光透镜的芯片在 70mA 驱动电流下的转换效率达到了破纪录的 72%。在 1A 驱动电流的下，它的光输出功率可以达到 930mW。将

我们最新的 850nm 波长的倒装薄膜芯片组装在 Olson 封装中时，它可以比先前的产品提高 10% 的转换效率和 20% 的光输出功率。

我们的另一个改进就是将我们新芯片的 n 接触层进行了优化，以提高电流的连续性和获得更高的转换效率。这项优化是用一个金属网格薄片来将电流进行重新分配，将接触区从原先位于芯片的中心部位移到了芯片的角落部位（如图 3 所示）。由于这种新的布线结

构将键合引线移出了芯片的光发射区域，使得芯片的光发射强度分布能够更为均匀。

优化封装设计

通过优化封装技术器件的光输出功率还可以再提升 10%，这是通过改变 Oslon Black 封装的有机硅树脂透镜材料组分而取得的。通过这样的改进，器件提升了光的输出效率，减少了光散射的损失。这样的改进结果也使得经优化的 Olson

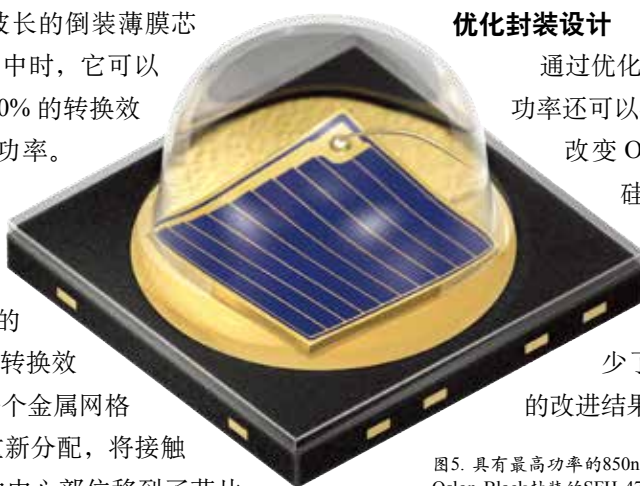


图5. 具有最高功率的850nm波长红外LED器件之一：采用 Oslon Black封装的SFH 4715AS具有以下特征：它用1mm²薄膜芯片进行了堆叠加工，在工作电流为1A时的光发射功率达到1370mW。

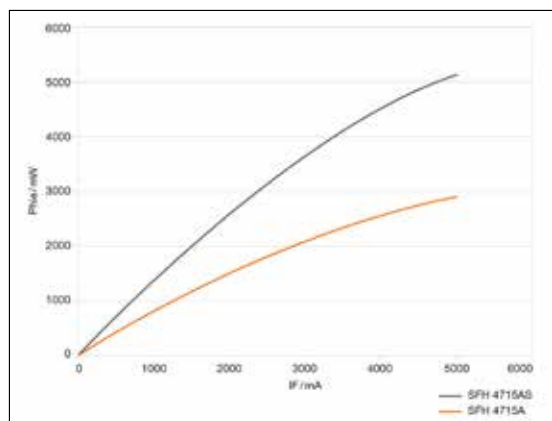


图6. 850nm波长Oscon Black封装的光输出功率与驱动电流（从100us中等脉冲宽度到5A驱动电流这一区间）基本上呈线性关系。

Black 封装可以选择两种不同的透镜：其光束发散角可以是 $\pm 45^\circ$ 或者是 $\pm 75^\circ$ （如图6所示）。

较窄的光发散角 $\pm 45^\circ$ 与外加的聚光透镜非常适配，可以使得光发散角更能满足某些特定应用的要求。与此同时，具有 $\pm 75^\circ$ 光发散角的器件能对几米距离的近场范围进行宽泛的照明，这使得它非常适用于姿态识别中的应用。因为 $\pm 75^\circ$ 光发散角的设计具有更为宽广的光发射，能使光学系统中的整个反射镜面上充满了光，采用这一选择也可以形成一种紧凑型设计，使它能具有很窄光发散角，这种光源可以发射出窄的发散角光束并能传播到很远的地方。

我们最新的红外 Oscon Black 封装器件代表了最新一代的 LED 芯片技术，它与前代最主要的不同之处在于其接触区是位于芯片的角落部位（如图5所示）。这一特殊的布线设计十分适合于光学成像的应用领域，由于键合引线以及接触区不再处于芯片发光区的中心部位，所以就能够消除它对整个发光光束的干扰效应。将 Oscon 封装技术与最新的薄膜倒装芯片技术相结合可使器件在 1A 电流下工作时的电-光转换效率提升 20%，并且其光输出功率也可有 30% 的提升。

叠层制作

为了使我们的芯片能发射出更多的光能，我们将注意力转向了我们的纳米堆叠技术，我们曾用该技术提升了激光二极管的性能。采用了这项技术后 LED 芯片将具有更高功率的光发射，其原因是它的外延层中将包括两个 p-n 结，使得发光区的面积翻了一倍，使其具有更高的光发射功率。

前几年我们将堆叠技术从激光二极管嫁接到了红外 LED 上，使得 LED 的光输出效率得以

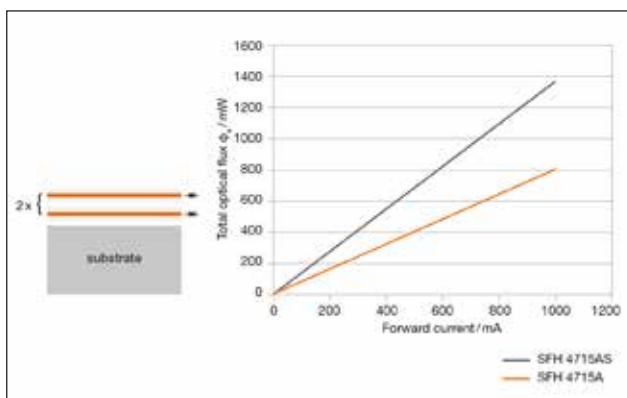


图7. 纳米堆叠芯片技术的特征就是在同一芯片中包含有两个p-n结。在相同的正向驱动电流下，采用堆叠技术的芯片要比没使用该技术的芯片其光输出功率要高70%。

提升 70%（如图7所示）。在 2009 年，我们开始在一系列 LED 上用我们的芯片堆叠技术来制造 850nm 波长的 LED 产品，有边长为 1mm、0.75mm、0.3mm 和 0.2mm 等芯片尺寸。从 2013 年以来，我们的 LED 产品系列得到了扩展，其中包括有大尺寸 large-format 的 940nm 波长芯片的叠层，并且很快就会包括 SFH 4715AS，这是用堆叠技术制造的最新一代薄膜倒装芯片产品，在 1A 工作电流的情况下其光发射功率达 1370mW。

这个产品的另一个突破点是它是首个在硅材料衬底上制备的红外薄膜芯片。我们曾有几次在我们的蓝光和绿光 InGaN 芯片的制造中采用了硅衬底，但我们的红外光发射器件传统上则一直是制作在锗材料衬底上。将衬底换成硅材料之后，其热阻可从原先的 5.5k/W 骤降到 1k/W，因此可以减小 LED 在工作时的温升。使得这些器件可以采用更大的驱动电流，而器件不会升温到其所容许的最高工作温度。或者，也可以让该芯片还是在之前的小电流工作条件下运行，那么与前一代产品相比该器件将具有更高的工作效率以及更长的工作寿命。

我们将来的计划包括了探索新一代的薄膜技术来增加我们器件的波长种类，以扩展我们具有更高功率、更高效率的系列产品库。在改进封装技术以进一步优化大电流下器件工作性能的同时，这些高功率的红外芯片的制作将会改用硅材料衬底。我们将也会根据客户的要求来制造产品，如果它们需要具有不同发射角的 LED 器件版本，我们也会制造这些产品并投入市场。这种类别的 LED 产品有着近乎无限的发展机遇，我们将会继续创新并且在红外光发射器件领域的发展道路上建立一个又一个里程碑。OSc

化合物半导体 工业拥有光明的未来

从集成电路到太阳能电池、医疗以及电动汽车的电子系统等领域，化合物半导体芯片的应用在这个十年中（2010–2020）将呈现上升的趋势。

化合物半导体（CS）国际会议所讨论的内容几乎覆盖整个产业。会议虽然只有两天，但是与会代表依然对化合物半导体产业的现状和未来有了直观且准确的认识。

从会议传出的好消息是：化合物半导体产业的发展前景将是十分乐观的，分析师对于 GaAs 功率放大器、III-V 族 CMOS、LED 以及聚光型光伏器件、宽禁带器件等做了一系列的介绍，使得会议代表认识到各种类型的化合物半导体芯片在这个十年中将会有着极好的发展前景。

Linux 咨询公司的合伙人 Mike Corbett 对前景最为乐观，他认为 CMOS 产业将会转向采用 III-V MOSFET 来继续跟上摩尔定律的发展步伐。Corbett 解释道：“我们相信 Intel 公司很可能在 7nm 工艺节点首次使用化合物半导体技术”。

这可能是极具冒险性的一步，但是对于硅产业来说，它是在缩小晶体管尺寸的同时还能利用现有的技术手段来改进集成电路的性能，所以将有可能接受一种前所未有的改变。正如 Corbett 指出，已经有一些技术上的创新得到了应用，如对沟道层施加应变的方法来提高载流子的迁移率，引入高 K 介质材料和后加工栅（gate-last）工艺来防止 45nm 节点工艺中所存在的漏电流的增加现象，这是一个非常了不起的进步，根据 Corbett 所言，因为这原本需要引入 3-4 个新工艺步骤才能得以实现。

随后，最具根本性的革新是将平面型晶体管结构变为一个从衬底平面上凸起的鳍状结构。Intel 公司是开发这种对沟道中载流子具有更强控制能力的三维器件的先驱者。这个美国芯片制造

商在 2011 年引入了 22nm 节点工艺的鳍式场效应晶体管（FinFET），三年后成功推出采用 14nm 节点工艺的新型 FinFET。Corbett 解释道：“目前，还没有其它公司采用这种 FinFET 结构，但是已有多家代工厂正在追求这种结构目标”。Corbett 相信：下一步将会引入高迁移率的材料，首先会着手进行的也许是将 pFET 的沟道材料由 Si 改成 Ge 或 SiGe，这将是 Intel 在 10nm 节点工艺时会采取的技术步骤。

在克服 7nm 节点引入 III-V nFET 所产生的技术障碍之前，如要想生产这种类型的器件，我们依然面临着系列挑战。如何在硅材料上生长高质量的其它材料也是所面临的困境之一，Corbett 强调了几种很有潜力的解决办法，比如在硅晶圆沟槽中生长 III-V 族或 Ge 材料，即采用比利时 IMEC 的研究所的生长方法。

在 Intel 公司推出这种采用新型沟道材料的晶体管之后，三家代工业巨头正在准备进行后续的开发工作：分别为世界最大的 IC 代工厂—台积电（TSMC）公司，它每月能生产十万片晶圆；买下了 IBM 微电子业务的 Global Foundries 公司，以及独立器件制造商—三星公司。根据 Corbett 的说法，这是仅有的能紧紧跟上国际半导体技术蓝图（ITRS）的三家企业，其它生产商已经落后于它们 1-2 个技术节点。

采用缩小尺寸的新技术会增加芯片的成本，来自 Linux 的计算表明，从 20nm 节点的平面型场效应晶体管改成鳍式场效应晶体管会增加 13% 的晶圆成本，而采用 5nm 节点的 Ge 锗或 III-V 族半导体场效应晶体管又将会增加额外 39% 的成本。

成本的增加来自于化学机械抛光 (CMP) 工艺、清洗工艺、MOCVD 的生长和鳍结构的形成等方面，特别是鳍形成工艺的成本最高，占到了晶圆总体成本的 2%

大概在 2018 年左右，晶圆制造就会引入 III-V 族半导体材料，到那时 Intel 也会开发新一代 7nm 节点的晶体管，这种技术类型晶圆的大规模生产将会持续两个技术节点，直到 2020 年代的中期。随之代工厂将会跟进，并在 2022 年 5nm 节点处引入 III-V 族半导体材料沟道，其生产则将会延续随后的十年间。

CPV 的发展前景展望

IHS Technology 公司的 Karl Melkonyan 在一个演讲中提出了 III-V 族半导体材料的另一种具有发展潜力的应用，就是将它作为聚光型光伏 (CPV) 系统中光伏电池的基本材料。虽然在多结 III-V 族 CPV 光电池及其相关模块和系统领域的领军制造商—Soitec 公司已经决定退出这项产业，但是 Melkonyan 依然相信在这个十年中 CPV 的销售额将会有大幅度地增加。

在报告的最后他谈到了整个光伏产业的发展，他坚持认为抓住 CPV 技术的发展机遇是极其重要的。根据他的说法，在 2014 年中有很多企业都退出了这个领域，对光伏产业的发展来说这是艰难的一年。但是尽管如此，上一年光伏设备的装机容量还是增加了 20%，达到 45.1 GW，而在 2015 年光伏装机量很有可能将达到 52.7 GW

但是这种增长并不寻常，在 2013-2014 年间太阳能电池在欧洲市场的需求在减少，直接导致了其在欧洲国家装机率的降低，但是在这期间亚洲和美国市场都呈现上升趋势。拥有较强的直接太阳光辐射的晴朗、干燥地域推动了 PV 销售量的增加，在这种地区的 CPV 将会比其它种类的太阳能发电技术具有更强的竞争力。在 2013 年有超过 3GW 的太阳能发电装置是采用陆地安装形式，到 2018 年预计它能够达到 8 GW

CPV 的发展前景取决于与其它技术相比它的直接和相对的成本。目前的硅工艺技术，比 2011 年和 2012 年时已经更加具竞争力，这是因为其价格有了大幅度的降低，但也使其毛利率减少到了 5% 以下。后来，随着每瓦发电成本的逐渐降低，才使其毛利率有了略微的回升。Melkonyan 解释道：“普通 CPV 成本将会持续地降低，但价格上



尽管Soitec公司已决定退出聚光型光伏领域，但这领域的技术发展依然呈上升趋势，将会推动多结III-V族半导体太阳能电池的市场销售。

不会出现大幅度的下降”。这是因为还没有出现严重的产能过剩，而且在这个行业中公司的毛利率已经是很低的了。

CPV 的装机量取决于能否赢得投资者的青睐，而投资人决策是基于经平准化后的电能成本，这需要对系统的装置成本以及它的工作寿命等因素进行通盘的考虑。

在这个基础上，在高太阳光辐射地区，CPV 已经取代了 20% 的 PV。其发电成本在 2013 年是 0.1 美元 /kWhr，到 2018 年很有可能降为 0.07 美元 /kWhr。这也启发了 Melkonyan 去预测所有类型 CPV 的发展，包括由 III-V 族材料或由硅材料制备的 PV 器件，它的总装机容量在 2018 年可望超过 450MW，而事实上在 2014 年的总装机容量还不到 200MW

Melkonyan 认为，最佳的方案是 CPV 的平准化发电成本要能做到低于硅材料 PV 的 30%，这样才能改变投资者的看法，并促使 CPV 在 2018 年的装机量能达到 700MW。

LED 的进步

在这个十年中另一个能扬帆远航的领域就是 LED 芯片。IHS Technology 科技公司的 Will Rhodes 强调了 LED 在照明领域的进步，而来自 Yole Développement 公司的 Pars Mukish 则提出了一系列紫外 LED 发展的机遇，包括在水处理和医疗领域中的应用。



宽禁带器件预计将会在这个十年的末期应用于电动汽车和混合动力汽车中。

Rhodes 回顾了照明灯泡市场的状态，讲到在 20 世纪时最为畅销的白炽灯现在却只占整个照明市场五分之一的份额，随着很多国家宣布放弃使用这一低能效的光源，这一比率还会有更快的下降。

“绝大部分的照明灯泡是由消费者个人来购买，因此其价格就是第一要务”，Rhodes 补充并解释道，为什么当前最为通用的是节能荧光灯，因为它远比 LED 灯要便宜，现在占到了世界在用灯泡总数的一半以上。这一趋势还将会继续保持很多年，因为其低廉的价格和超过 25000 小时的工作寿命使它依然具有很强的竞争性。尽管大部分品牌生产的发冷白光的节能荧光光源在欧洲和美国地区不受欢迎，但是在中国和印度却很流行。

在很长一段时间内，节能荧光灯都会面临来自 LED 灯的巨大挑战。这种固态电子光源的销量会在未来几年持续上升，其使用量会从今天只占较小的百分比增长到 2022 年时的 25%。到那时，所出售的照明灯泡中三分之一都将是 LED 灯，而由于其具有相对较高的价格，使得 LEDs 灯销售额将会占到销售总额的三分之二。但是其价格会逐渐下降，到最后一年大概会下降 20% 左右。

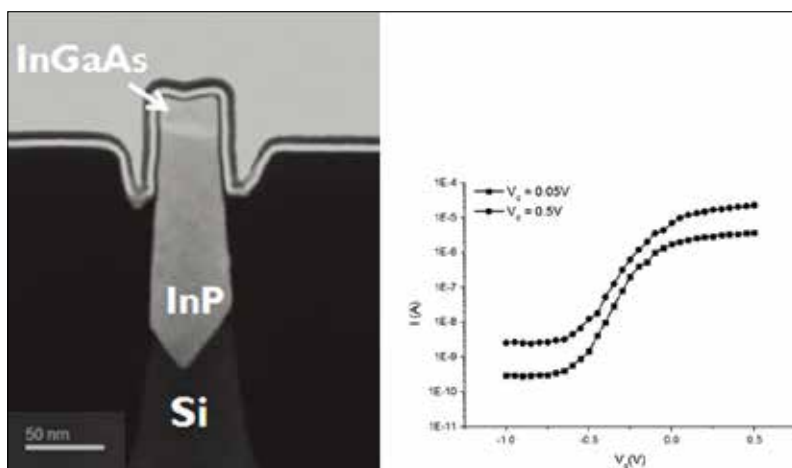
要降低价格就必须降低 LED 器件的成本，而生产高

质量 LED 灯所需的材料就会占到总成本的 40%。但好消息是总成本在 2019 年将能下降 30%。正是这种具有中等功率 LED 器件使用量的增加，促进了 GaN/Si 芯片的生产，而使该产业目前已处于产能过剩的状态。在这个十年的末期，短波段的光发射器件将会有很好的市场。Mukish 预测：“紫外 LED 市场销售额将会从 2014 年的 0.9 亿美元增加到 2019 年的 5 亿美元，这一市场确实是在增长”。

紫外 LED 的机遇取决于其发射光谱的范围。深紫外波段工作的 LED，比如在工作在我们熟知的 UVC 波段 (200nm-280nm) 的器件，在空气、水以及表面净化方面有着很好的应用前景。而 UVB 波段 (280nm-315nm) 的器件则可以用于医疗，UVA 波段 (315nm-400nm) 的器件则可以用于材料固化、伪币识别、日光浴以及光催化净化等方面。

目前很多仪器还在使用传统的紫外灯泡，其中很大一部分都是低压汞灯，在 2014 年其总销售额为 2.2 亿美元，用于日光浴、真伪鉴别、住宅消毒及净化。同样高压汞灯、氙灯和氙灯的净销售额总计 3.7 亿美元，主要用于材料固化、分析仪器 / 市政或私人的杀毒及净化中。

Mukish 强调了紫外 LED 相比于传统紫外灯的优势。传统紫外灯的寿命只有 2000 小时，需要预热 10 分钟才能正常工作，灯管易碎同时还含有剧毒的汞，但固态 LED 灯可以可靠地工作上万个小时，瞬间就可以进入正常的工作状态，尺寸还不到 1 cm^2 。传统紫外灯的唯一优势就是其效率在 10%-45%，但是 LED 只有在 UVA 发光波段可以达到 35%，在 UVB 和 UVC 发光波段的效率就非



在硅晶圆上的沟槽中生长 InP 能为增加沟道迁移率提供了一种很有发展潜力的方法，使其最终能够赶上摩尔定律在 7nm 及以下节点阶段的前进步伐。

常之低。

这些优势使得紫外 LED 逐步融入到一些医疗系统中。Mukish 展示了这方面的实例，它们是在 2011 年以后来自美国、德国和英国公司的 11 种产品。Mukish 希望紫外 LED 可以在这个十年末期得到广泛的应用：UVA 灯已经被用于指甲油的固化，并将在 2016 年能实现普通的照明应用，随后将能应用于生物光治疗中，UVB 波段的 LED 已经开始用于促进植物的生长，在今年中期将会被用于医用治疗，大约在同时，UVC LED 将会在手机杀菌系统中得到使用。

封装问题

尽管紫外 LED 还处在其发展的初始阶段，然而基于 SiC 和 GaN 功率电子学的化合物半导体技术已经非常先进。来自 Yole Développement 的 Pierric Gueguen 认为宽禁带功率电子技术经过两年多的发展，目前正处于它的时代的开启阶段。

在详细描述成果来验证他的观点之前，Gueguen 首先用一张更为宏观图像来回顾功率电子市场的变化，并提出了对它未来发展方向的预测。在 2012 年和 2013 年，功率集成电路、功率模块和分立功率器件的全球总销售额达到了 100 亿美元，在 2014 年其增长率为 8%，预计到 2020 年其销售额可以稳定地增长到 170 亿美元。尽管硅器件依然是这一市场的统治者，但是采用宽禁带材料制备的器件正在发挥越来越大的作用。

SiC 二极管投入使用已经十多年了，最近几年它的各种类型晶体管也开始进入这一市场，其中包括有 SiC BJT、SiC JFET、SiC MOSFET 以及 GaN HEMT 等。

可以提供这些器件的供应商有很多，芯片制造商现在也正在努力推出新的产品，因此买方在未来就拥有更多的选择。在这些宽禁带器件制造商之间的竞争将会很激烈，其中包括有很多是以硅器件制造起家的大型公司，比如英飞凌、Rohm、松下、东芝、日立以及 Furukawa 电气公司等。

在这些硅巨头之间以及与一些 SiC、GaN 专业公司之间的竞争将会极大地推动宽禁带芯片性能的改进，但是 Gueguen 认为大规模的采用宽禁带材料的产品也不够稳妥，除非在封装技术上实现提高，才能够保证器件在高温下工作的可靠性以及具有低的杂散寄生电感。



由于白炽灯的效率太低，很多国家已经放弃使用。节能荧光灯凭借其使用寿命长、价格低、效率高等特点正在被广泛使用，但是从长远来看 LED 会成为赢家，因为随着这种高能效、启动时间短的固态灯泡价格的降低，其销量就会增加。

如果器件能够具有上述属性，工程师就能够制备出在高频、高温条件下工作的宽禁带产品，这些产品将具有系统级层面的优势，如价格更低、尺寸更小、重量更轻，就能够抵消由于采用新的二极管和晶体管器件结构所产生的研发成本。

New CS APP ready for Download NOW!

Continuing our aim of 'connecting the compound semiconductor industry', Compound Semiconductor has a Free app for Android, iPhone and iPad to allow you keep up to date wherever you are.

Available **FREE** from the App Store or Google Play, the app allows you to access:

- Latest Compound Semiconductor, CS China and CS Taiwan magazines
- Latest features
- Latest news and more...



For further information contact:
scott.adams@angelbc.com

www.compoundsemiconductor.net



CS INTERNATIONAL CONFERENCE

Connecting, informing and inspiring the compound semiconductor industry.

6th CS International Conference SPEAKERS ANNOUNCED!

CS International 2016 will provide timely, comprehensive coverage of every important sector within the compound semiconductor industry.

The 6th CS International conference will be held at the Sheraton Brussels Airport Hotel, in Belgium on Tuesday 1 & Wednesday 2 March 2016.

CS International will build on the success of its predecessors, with industry-leading insiders delivering more than 30 presentations spanning sectors. Together, these talks will detail breakthroughs in device technology; offer insights into the current status and the evolution of compound semiconductor devices; and provide details of advances in tools and processes that

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



Early bird discount
Book your place before 30.11.2015
and receive a €100 discount.

Book your place now at: www.cs-international.net/register

Sponsors

Platinum Sponsors



Gold Sponsor



Delegate Bag Sponsor



Lanyard Sponsor



Portfolio Sponsor



Exhibitor Sponsor



Wi-Fi Sponsor



Supported by



This two day event covers five themes



Conference Chair: Drew Nelson President, CEO, IQE

The Quest for 5G

What challenges will GaAs and CMOS power amplifiers face in making the transition from 4G to 5G? And will faster data links play into the hands of GaN-based amplifiers for base stations?

KEYNOTE • James Klein- Qorvo

Compound semiconductors: At the core of 5G

ANALYST • Eric Higham - Strategy Analytics

Will chipmakers and foundries benefit from 5G?

SPEAKERS

• Duncan Pilgrim – Peregrine Semiconductor

CMOS: Game on!

• Peter Gammel – Skyworks Inc

Technology requirements and initiatives for 5G smartphones

• Takahisa Kawai – SEDI

GaN for 5G base stations

Driving deployment of wide bandgap power devices

Is SiC set to displace silicon in electric cars? And how will this material help to revolutionise the efficiency and operation of electrical grids?

KEYNOTE • Daniel Fernandez – EU Project SPEED

Silicon carbide wide band-gap devices for energy applications

ANALYST • Pallavi Madakasira – Lux Research

Hype versus reality: driving adoption of wide band gap power electronics

SPEAKERS

• Peter Ward - Anvil Semiconductors

Driving down the cost of SiC devices for consumer applications

• Markus Behet – EpiGan

GaN on silicon – a truly revolutionary semiconductor technology matures

• Hans-Joachim Würfl – FBH Berlin

GaN normally-off devices for highly efficient power switching

• Speaker TBC – Laytec

Presentation title TBC

• Chris Hodson – Oxford Instruments Plasma Technology

Presentation Title TBC

Exploiting opportunities for LEDs and lasers

Can LED bulbs meet the most demanding lighting applications, such as those found in the retail sector? And what are the opportunities for infrared and ultra-violet LEDs?

KEYNOTE • Abdelmalek Hanafi - BMW

Doubling driver visibility with laser-based headlights

ANALYST • Pars Mukish – Yole Développement

Opportunities for IR LEDs

SPEAKERS

• David Cheskis – Anadigics

6-inch VCSEL wafer fabrication manufacturing advances

• Augustinas Vizbaras – Brolis Semiconductors

Mid-infrared light sources: manufacturability and applications

• Paul Crump - Ferdinand-Braun-Institut

High-power, high-efficiency lasers for fiber lasers and other markets

• Reinhard Windemuth – Panasonic

Presentation title TBC

Making heterogenous integration a hit

III-V channels are poised to make an introduction in next-generation logic circuits. But how will they be introduced, and what impact will they have?

KEYNOTE • Yanning Sun – IBM

III-V/Si integration: Moore and more

ANALYST • Nadine Collaert – IMEC

Heterogeneous integration of high mobility materials on a 300mm Si platform

SPEAKERS

• Suresh Venkatesan– POET Technologies

A comprehensive technology platform for opto-electronic integration

• Lukas Czornomaz – IBM

Hybrid III-V/SiGe technology for CMOS and beyond, opportunities for 3D monolithic integration

• Thomas Uhrmann – EVG

Heterogeneous integration enabled by advanced wafer bonding

Capturing light, generating cash

What is needed to kick-start significant deployment of concentrating photovoltaic technology? And what are the opportunities for III-V detectors operating in the infrared?

KEYNOTE • Carlos Algara – Technical University of Madrid

Perspectives of concentrator photovoltaic technology

ANALYST • Frank Dimroth – Fraunhofer ISE

Terrestrial III-V solar cells - challenges and opportunities

SPEAKERS

• Paul Sharps – Solaerotech

High efficiency multi-junction solar cells - what's next?

PIC INTERNATIONAL CONFERENCE

Creating and strengthening links between chipmakers and network builders

PIC International Conference SPEAKERS ANNOUNCED!

PIC International 2016 will provide timely, comprehensive coverage of every important sector within the Photonics Integrated Circuits industry.

PIC International Conference is being launched to strengthen the relationships between the makers and the users of Photonics Integrated Circuits.

PIC International will be held and co-located with the highly successful 6th CS International conference at the Sheraton Brussels Airport Hotel, Belgium on Tuesday 1 & Wednesday 2 March 2016.

Attendees at PIC International will hear industry-leading insiders delivering more than 30 presentations spanning six key themes which collectively provide complete coverage of the Photonic Integrated Circuits industry and offer many opportunities to meet many other key players within this community.



Early bird discount

**Book your place before 30.11.2015
and receive a €100 discount.**

Book your place now at: www.picinternational.net/register

Platinum Sponsors



Gold Sponsor



Supported by



This two day event covers six themes



Conference Chair:

Michael Lebby – Chair in Optoelectronics - Glyndŵr University

Where Should the Laser go?

Is heterogeneous integration the best option for lighting up the IC? Or is it better to couple the laser's emission onto the chip?

- **William Ring – BB Photonics**
High speed photonic integrated receivers for 100G and above
- **Gregory Fish - Aurion**
Heterogeneous integration: creating photonic circuits for advanced systems-in-package
- **Shinji Matsuo – NTT Photonics Lab**
Excelling in the efficiency of lasers formed on silicon
- **Fang Wu – ArtIC Photonics**
How far does monolithic integration go?
- **Hamid Arabzadeh – Ranovus**
Turning to quantum dot lasers for terabit communication?

Driving deployment of PICs in datacentres

PICs are a solution to the rocketing demands facing datacentres. But what do they need to deliver, and how can they be put to best use?

- **Brad Booth – Microsoft**
Lighting up the Cloud
- **Arlon Martin – Mellanox Technologies**
Using Silicon Photonics to support next-generation cloud computing, data centre and high performance computing connectivity
- **Di Liang – HP**
Constructing very large scale PICs for data centres
- **Jason Orcutt – IBM**
Towards cost-effective 100 Gb/s optical transceivers
- **Craig Thompson – Finisar**
Creating the building blocks for better datacentres

Increasing the capability of optical networks

Are PICs about to dominate the landscape of optical networks? And is there room for different forms of device?

- **Silvio Abrate - ISMB**
How can silicon photonics benefit optical access deployment? An example from the FABULOUS EU Project
- **David Plant – McGill University**
Photonic circuits enabling multi-dimensional IM/DD systems for short reach optical interconnects
- **Harald Bock – Coriant**
Silicon photonics in optical networking – yesterday's hype, today's reality, tomorrow's vision.

What's the role of the foundry?

Can companies afford to make PICs in-house? And if they do outsource, what should they look for from a foundry?

- **René Heideman – LioniX**
LioniX: Aid the growth of photonics with the TriPleX integrated optics platform

- **Katarzyna Ławniczuk - JePPIX**
Accelerating photonic ASICs development
- **Samuel Wang – Global Communication Semiconductors**
Can foundries underpin the success of the PIC?
- **Luc Augustin – Smart Photonics**
Enabling a broad range of applications with a generic integration platform on InP
- **Philippe Absil – IMEC**
Imec's flexible, state-of-the-art silicon photonics platform overview

Do we have the tools for designing, making, packaging and testing PICs?

The silicon CMOS industry sets a benchmark for chipmaking. How can the PICs industry catch up?

- **Sean Anderson – CISCO**
Bringing first-time-right design to silicon photonics
- **Stefano Grillanda – Politecnico di Milano**
Taking a close, damage-free look at the light in photonic integrated circuits
- **Twan Korthorst – Phoenix Software**
Overview of the current status of photonic and electronic design tools and flows
- **Pieter Dumon – Luceda Photonics**
Make photonic IC designers re-use 40 years of electronic IC design experience: challenges and opportunities

A question of material: InP, silicon or something else?

InP is fragile and expensive, but a great material for integrating all the components on one chip. Silicon can't do this, but is a larger, more mature platform. So is it the case of selecting the right material for the particular application, or can there be a universal, long-term winner?

- **Thomas Collins – Huawei**
Surveying silicon photonics technologies: Identifying strengths and weaknesses and likely future trends
- **Meint Smit – TU Eindhoven**
InP and silicon: a strong combination for integration of photonics and electronics
- **Ronald Broeke – Bright Photonics**
Selecting materials for PIC production
- **Vincent Reboud – CEA-Leti**
A bright future for germanium-on-insulator wafers?
- **Martijn Heck – Aarhus University**
Hybrid and heterogeneous PICs for high performance applications
- **Martin Guy – TeraXion**
InP or silicon photonics or both? Choosing the right material platform for the target application
- **Martin Eibelhuber – EVG**
Advanced wafer bonding techniques for photonic integration



第五届国际化合物半导体 (CS) 会议是于今年的3月11日 (星期三) 到3月12日 (星期四) 在德国法兰克福机场的喜来登酒店的会议中心举行, 吸引了超过300位代表参加, 进行了30多场精彩的演讲, 其中包括七位顶级市场分析专家的演讲。

Gueguen 认为在功率模块的封装中, 其故障大多源自于电学互连、芯片粘结以及衬底粘结等部位, 为了解决这些问题, 也提出了一些改进措施, 如利用创新的引线键合方法, 即采用铝带键合或一些无引线技术来实现芯片的电学连接; 使用新的铜—锡共晶焊材料, 进行模块部件元件间的粘结。

尽管在封装技术上的革新是值得期待的, SiC 器件已经被用于光伏逆变器和机车牵引中, 在接下来的几年中它们将会逐渐应用于不间断功率电源、工业马达驱动器以及风力涡轮发电机中, 但预计到2018年才能看到SiC在电动车辆上的应用。与此同时, GaN 在直流—直流转换器、无线充电、电源和光伏逆变器等领域的应用都在进行中。可以预见它在2017年开始将会用于电动车辆上。但是至今还不太清楚, 基于 GaN 的芯片能否用于不间断功率电源和工业马达的驱动上。

对于衬底和外延晶圆厂商而言, 上述这些改进都是好消息。Gueguen 提到, 全球 SiC 衬底的销售总量将会从2015年的1亿多美元增加到2020年的3亿美元, 而硅上 GaN 外延晶圆的年销售额将会从目前的0.3亿美元增加到2020年的2.8亿美元。

在国防领域的机遇

根据来自 Strategy Analytics 公司的 Eric Higham 和 Asif Anwar 预测, 对于射频化合物半导体芯片来说, 虽然其销售额的增长还不小, 但是其增长方式于上述的大体相当。

Higham 讲到, 自从无线应用诞生到2014年, 以 GaAs 微电子器件全球销售额的年度增长率为11%, 去年的销售总额已经达到70亿美元。其中绝大部分都和功率放大器有关, 根据 Higham 的详尽报告表明, 越来越多的多频带、多模 GaAs 产品将会面临更多来自硅基材料器件的竞争。CMOS 功率放大器生产商 Peregrine 公司、GaAs 器件的竞争对手—Skyworks 公司和 Qorvo 公司所提供的报告内容将在本期杂志的第4页的“功率放大器的未来”一文中给予介绍。

与此同时, Anwar 还提到了化合物半导体器件在国防和军用市场中的发展机遇。他对全球国防开支进行了回顾, 目前的年增幅略大于2%。但是由于强调了系统层面上的性能提高, 比如在 III-V 族器件发挥重要作用的雷达及通讯方面的开支将会有高得多的增长。

其中的一个实例就是有源主动型电子扫描雷达的应用在不断增长。这种类型雷达的传输模块中采用了 GaN 器件, 并且正在逐步应用于战机和军舰上。这使得全球花费在雷达上的军费开支预计将会从2015年的不到140亿美元增加到2023年的180亿美元。而电子战上的开支预计有着类似的增长趋势, 也将从今年的略超80亿美元增长到2023年的近110亿美元; 在军用通讯领域 III-V 族器件同样有很好的发展机会, 目前军用通讯的开支每年都有3%的增长, 预计到2024年可以达到350亿美元。正是这些领域军费开支预算的增加, 才能如 Anwar 预测的那样, 在与国防系统相关的 III-V 族器件总销售额中, GaAs 器件能占到四分之三。在到2019年之前, 它每年都能保持有11%的增幅。而 GaN 器件在这一时间段中将占据化合物半导体器件所剩下的全部份额, 其销售额年增幅将可达到28%。

在这些市场上获得成功, 加上在太阳能以及移动设备方面的进展, 表明对众多的 III-V 族器件制造商来说, 它们的销售额将会在这个十年甚至更久的时间段中有着稳定的上升趋势。虽然未来总是难以预测的, 但是十分明显的是: 上述的市场应用对化合物半导体器件的发展将会是一个强有力的支撑。CS。

InN 插入层可以提高氮化物 HEMT 的性能

插入具有高电子迁移率的 InN 单原子层可以提高氮化物 HEMT 的性能。

美国加州大学 Santa Barbara 分校的研究团队经过计算表明，在 AlGaIn/GaN 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 中插入一个 InN 单原子层可以提高器件的性能。根据 Mao-sheng Miao 和 Chris Van de Walle 的研究结果，加入一个极薄的 InN 层能够增加二维电子气的密度、局域化程度及其迁移率，从而可以极大地提高器件的性能，比如可以获得优异的开关性能等。

由于 InN 材料的电子迁移率要远高于 GaN 材料，因此该团队的研究人员决定对这种新型器件进行探索和研究。

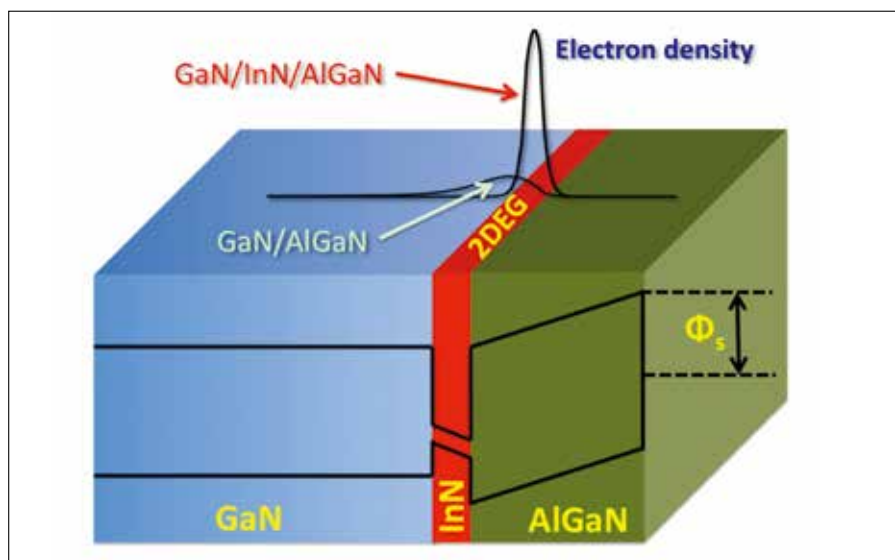
为了评估在 HEMT 中加入单层 InN 层后的优势, 位于美国西海岸该团队的 Duo 根据薛定谔—泊松方程解法进行了根本性能上的电子结构计算, 以对宏观器件进行模拟。

Van de Walle 解释道，用薛定谔—泊松解法可以模拟许多特性，比如二维电子气的局域化程度等。

“但是为了能获得多个微观参数，比如 InN 层中电子的有效质量等，进行这种根本性能上的计算将是十分必要的”。他们将这种计算方法与一种采用先进的混合功能的密度函数理论相结合，获得了对电子结构的精确计算结果。

“但这需要进行海量计算，相比于传统方法对密度函数的计算，它所需的计算量将会是之前的二十倍”。Van de Walle 解释说：“只有采用超级计算机才能够实现这样的计算”。

Miao 和 Van de Walle 研究了一种新的器件结构, 它是由 260nm 厚 GaN 层、4nm 厚 $\text{Al}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{N}$ 层以及在其间插入一个 0.36nm 厚 InN 单原子层所组成。假设 InN 层是生长在 GaN 层上, 那么



在AlGaN/GaN HEMT中插入InN单原子层可以产生高度局域化的二维电子气, 其表面势垒高度用 Φ_s 表示。

会存在一个很大的双轴压缩应变,并在C轴方向伴有相应的晶格弛豫现象。

与传统 GaN HEMT 电子密度区的扩展宽度至少能够达到 3nm 相比, 在 InN 插入层结构中的电子电荷具有更强的局域化性能, 根据其测量曲线的半高宽 (FWHM) 可得知其电子扩展宽度只有 1nm。

人们对电子气的本质属性已经进行了深入的探究。计算结果还表明, 对于具有一个固定势垒高度、插入 InN 层的 HEMT 来说, 它在很薄的 AlGaIn 层中会形成一种具有很高密度的二维电子气。如果 AlGaIn 层的厚度还是保持在 4nm, 那么在插入 InN 单原子层后, 其二维电子气的密度就会更高, 这就意味着晶体管对于栅电压的变化将会变得更加敏感。

在 HEMT 处于关断状态时, 所施加的负偏压会降低其表面势, 并阻断电子从表面态向界面区域的运输。

该团队的模拟结果显示，当表面

势垒高度达到 3.5eV 时, 在传统器件的界面处会有少量二维电子气的残余, 但是对于插入了超薄 InN 层的新型器件来说, 在它的表面势为 3.0eV 时, 其二维电子气密度就已经骤降到了零。

进一步的计算还获得了面上电子的有效质量，发现它只有体材料中电子有效质量值的 94%，比 GaN 材料的电子有效质量要小 30 多倍，这意味着二维电子气中的电子将会有更高的迁移率。

要证明这种新型 HEMT 器件的预期优秀性能还需要通过实际器件的制作和测试，这可能是在某个大学中进行，如可能会由 Umesh Mishra 课题组的科学家 Stacai Keller 来进行，因为该课题组在 HEMT 领域 InN/GaN 异质结的潜在应用上在以往工作中已积累了丰富的经验。

M. Miao et. al. Appl. Physics Express
8 024302 (2015)

外延 InGaPBi 的首次面世

在 InGaP 中掺入元素铋可以制造出一种很有发展前景的四元材料，可以对其带隙和应变进行调节。

来自中国的研究人员宣布，他们将元素铋掺入到 InGaP 中生长出一种新的 III-V 族外延材料——InGaPBi，这种四元合金能够与 GaAs 晶格基本上实现匹配。

论文的通信作者，中国科学院上海微系统和信息技术研究所的 Shumin Wang 强调道：“InGaPBi 的外延生长提供了一种新的材料构建方法，它可以调节 GaAs 上 InGaP 外延层的带隙和应变等参数，因此这对于光电子器件的研制而言具有非常重要的意义”。Wang 同时也在瑞典的 Chalmers 技术大学（CUT）担任工作职务。

将元素铋掺入到 InGaP 中有望对其带隙产生较大的影响，而将铋掺入到 InP 中将肯定会影响其带隙，每增加 1% 的铋掺杂浓度将会导致 InP 带隙产生 56 meV 的移动。跟据 Wang 的说法，一个特别有趣的可能性在于：InGaPBi 的这一特性很可能会与 InPBi 情况一样，这将会在其带隙的中央产生光致发光信号。王热情洋溢地说道：“这可能时由于掺入铋的原子团簇而形成深能级所致”。根据他的说法，目前对于铋的掺入浓度约为 2%，但这还不足以形成原子团簇。

Wang 补充道：“如果能成功地掺入高浓度的铋，它可能会提供一条在 GaAs 上制造中间能带（intermediate band）太阳能电池的新途径”。

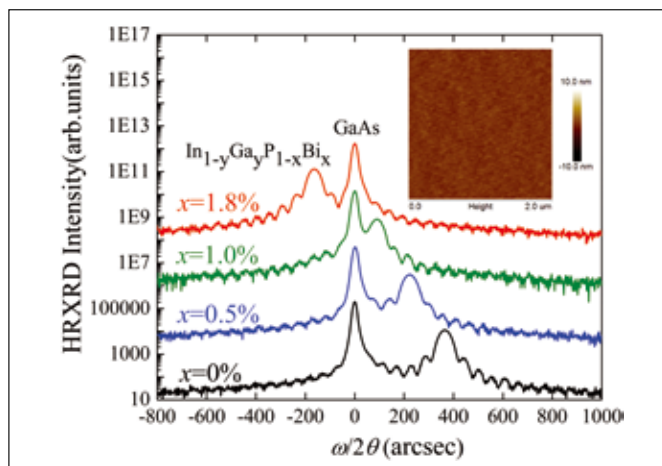
Wang 的研究团队利用气态源 MBE 制备了一系列 InGaPBi 薄膜。在将 GaAs 基片装载进入生长室并且去除表面氧化层之后，在 580 °C 温度下先淀积一层 100nm 厚的无掺杂的 GaAs 缓冲层，之后将温度降到 300 °C 再淀积生长 330 nm 厚的 InGaPBi 薄膜，其中铋的掺入浓度为 0.5%、1% 或 1.8%。

用卢瑟福背散射谱确认了所掺入铋浓度的准确性，同时用高分辨 X 射线衍射证明了该外延层具有很高的结晶生长质量，InGaPBi 衍射峰的半高宽值很小。

根据原子力显微镜的测量结果，掺入铋并没有影响到外延材料层的表面质量。InGaP 和具有不同铋掺入浓度的 InGaPBi 外延层在 $2\ \mu\text{m} \times 2\ \mu\text{m}$ 的扫描范围内的均方根粗糙度值均为 0.4 nm。

拉曼光谱也用来研究这些样品，发现了与 InBi 和 GaBi 相关的声子模式，这说明了掺入的铋原子替代了原来磷原子的位置并且形成了共价键。增加铋的浓度会产生更多的 InBi 和 GaBi 键，从而能产生更强的光致发光信号。

对铋浓度为 0.5% 的四元合金进行了室温下的光致发光



采用高分辨X射线衍射来测量掺铋浓度分别为0.5%、1%和1.8%的InGaPBi合金材料，其衍射峰的半高宽分别为54、49和50弧秒。

测量，发现在 1.78 eV 有一个峰。在样品经过一分钟的 450 °C 和 550 °C 退火处理后，这个峰的强度并没有增加。Wang 表示：目前的挑战是如何来理解这种光致发光现象的本质，即它是否与带隙或者深能级有关。

对于铋掺入浓度大于 0.5% 的 InGaPBi 薄膜将不会产生可以探测到的光致发光信号，研究人员相信这是由于铋原子团簇所引起的无序效应所导致。

Wang 承认，由于这种光致发光现象的强度较小，这对于要将这种四元合金材料应用于 LED 和激光领域是一个不利的因素。Wang 强调：“如果观察到了光致发光是来自于载流子在带隙处的复合，就可以通过制作量子阱结构来增强这种发光现象”。他同时也提醒说：如果该光致发光现象与深能级有关，那么通过器件的量子结构来增强其发光性能的方法就可能无效。

L. Yue et. al. Appl. Phys. Express 8 041201 (2015)

垂直结构 GaN MOSFET 降低了开态电阻

具有六边形版图设计的垂直结构 GaN MOSFET 有望满足在汽车领域中的应用需求

来自 Toyoda Gosei 的研究人员宣布他们创造了垂直结构 GaN MOSFET 器件性能的新记录，器件的开态电阻仅有 $1.8 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ 。

其它类型的垂直结构 GaN MOSFET 的开态电阻最低也只能达到 $2\text{-}3 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ 。这个 1.2kV 的器件不仅仅在开态电阻上表现更好，而且由于其具有合适的阻塞电压和阈值电压，在要求大功率的汽车领域应用上也开辟了一个新方向。

在这个领域比较合适的器件阈值电压是 $3\text{-}5\text{V}$ ，用以防止噪音等偶然因素所造成的误操作。这个团队的垂直结构 MOSFET 符合这一要求，其阈值电压为 3.5V ，而更常见的横向结构 GaN 晶体管则基本上不能满足这一要求。

横向结构 GaN 晶体管的另一个缺点是：为了得到高的击穿电压，他们必须具有较大的栅极—漏极的间隔距离，这将会增加器件的尺寸和成本。相比之下，在垂直结构晶体管当中，漂移层厚度的增加将会提高击穿电压，而芯片的尺寸则能保持不变。

回到 2014 年，Toyoda Gosei 团队宣布了一个 GaN 基沟槽 MOSFET，其阻塞电压达到了创记录的 1.6kV ，他们的最新器件正是基于这种设计。

文章的通信作者 Tohru Oka 解释道：“我们重新设计了沟道和漂移层的厚度及其掺杂浓度在减少外延层电阻的同时，又同时保持了其阻塞电压能够高于 1.2kV ”，“除此之外，我们采用了一种规则的六边型沟槽栅的版图设计，来增加其单位面积上的栅宽，以有效地减小它的特征开态电阻”。

器件是在制作在掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、位错密度为 10^6 cm^{-2} 的 n 型 GaN 衬底上。外延层用 MOCVD 方法来生长，包括了一个 $13 \mu\text{m}$ 厚的硅掺杂 n 型 GaN 层，硅的掺杂浓度是 $9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ；一个 0.7 mm 厚的镁掺杂 p 型 GaN 层，镁的掺杂浓度为 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以及一个 $13 \mu\text{m}$ 厚的硅掺杂 n 型 GaN 层，硅掺杂浓度是 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

采用以氯气作为反应气体的电感耦合等离子体 (ICP) 刻蚀方法来加工它的隔离台面结构，p 型体接触和栅沟槽位于其凹槽处。之后用原子层沉积 (ALD) 方法淀积了 80 nm 厚的栅介质层，利用钼作为 p 型体电极，源和漏电极是用 Ti/Al 金属叠层来制作。为了使源电极间的中心距达到最小化，把它们堆叠在 p 型体电极的上方。

这个团队将芯片在氮气氛围下 550°C 退火 5 分钟。其层间介质是由原子层沉积得到 100 nm 厚的 Al_2O_3 层和等离子



由 Toyoda Gosei 开发的垂直结构 GaN MOSFET 器件符合汽车领域应用所要求的阻塞电压、阈值电压和特征开态电阻等性能。

体增强 CVD 淀积的 800 nm 厚的 SiO_2 所组成。为了减少在隔离台面周围 pn 结边缘处的电流聚集效应，工程师将隔离台面的周围邻近区域采用了场板边缘终止设计。

采用六边形单元结构而不是条形单元结构的一个优点在于可使单位面积上的栅极宽度增加了一倍。这是十分有益处的，可以增加电流密度并且减小开态电阻。

对这个垂直结构 MOSFET 所进行的电学性能表征显示，其阻塞电压为 1.2kV ， 40V 栅压下单位栅长下电流密度为 10.2 A/mm 。这个电流密度是同等栅偏置电场下早期类型器件的 3 倍，这要归功于对沟道层和漂移层厚度和掺杂浓度的重新设计，降低了它的沟道电阻和漂移电阻。

最新器件的开态电阻为 $1.8 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ ，比它的前代器件小了 6.6 倍，这是由于电流密度增加了 3.3 倍，同时其单位面积上的栅宽也增加了一倍所致。

Oka 表示，他们团队将会把这项技术实际应用于功率器件的开发中。

T. Oka et. al. Appl. Phys.

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aixtron SE	德国爱思强股份有限公司	www.aixtron.com	IFC
CS International Conference		www.cs-international.net/register http://mediapack.cs-international.net/	20-21 1
Evatec Ltd.		www.evatecnet.com	13
PIC International Conference		www.picinternational.net/register http://mediapack.picinternational.net/	22-23 IBC
VisiC Technology Ltd.		www.visic-tech.com	FC

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)
 Sunnie Zhao (赵雪芹)
 sunniez@actintl.com.hk

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

UK Office (英国办公室)
 Angel Business
 Communications Ltd.
 6 Bow Court,
 Fletchworth Gate,
 Burnhall 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: 852-28386298

China (中国)
 Jenny Li (李文娟)
 jennyli@actintl.com.hk
 Tel: 86 755 2598 8571

Shanghai (上海)
 Judy Huang (黄作美)
 judyh@actintl.com.hk
 Tel: 86-21-62511200

Beijing (北京)
 Oasis Guo (郭镜园)
 Oasisg@actintl.com.hk
 Tel: 86-13011108861
 86-10-67484833

Wuhan (武汉)
 Sky Chen (陈燕)
 skyc@actintl.com.hk
 Tel: 86-13723739991
 86-27-68852360

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

Singapore (新加坡)
 Joanna Wong
 triplesinternational@gmail.com
 Tel: 65-63395596
 65-90626227

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

Reasons to sponsor PIC International Conference 2016

- ✓ Senior management networking opportunities
- ✓ Increased company and brand awareness
- ✓ Access to the top strategists within the integrated photonics industry
- ✓ Create, develop and support customer relationships
- ✓ Engage in debate, share insight and expertise on industry challenges
- ✓ Gain visibility and recognition as an industry leader
- ✓ Leverage exposure in multiple industry media
- ✓ Demonstrate market innovation and leadership by launching new services, products and systems



www.picinternational.net

CALL NOW +44 (0)24 76718970

email **sponsor@picinternational.net** or view the online sponsorship pack at **mediapack.picinternational.net**

PIC **INTERNATIONAL**
CONFERENCE

Creating and strengthening links between chipmakers and network builders

化合物半导体

COMPOUND SEMICONDUCTOR • CHINA

电子书(eMagazine)

www.compoundsemiconductorchina.net



[直接连结
广告商网站](#)

[一点即开
想看的文章](#)

[推荐朋友下载
免费的电子书](#)

[申请成为免费印刷
版或电子书的读者](#)

[上页、下页，
放大/缩小文章](#)

化合物半导体
COMPOUND SEMICONDUCTOR • CHINA

讨论区
BBS

广告索引
Ad Index

目录 Content
P.19-31 P.33-37

推荐朋友
Refer a friend

免费赠阅
Subscribe

◀ 🔍 ↻ ▶ ACT

化合物半导体

COMPOUND SEMICONDUCTOR • CHINA

季刊 2015年 第3期

功率放大器

“没有遗憾”的
GaN 产品

来自 VisiC Technologies Ltd 的真实答案