

化合物半导体



• CHINA

季刊 2015年 第4期

半导体工艺管理



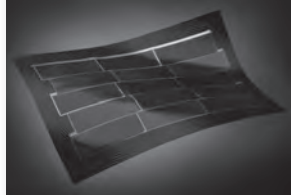
SiC 检测



新型MOCVD反应器



III-V族薄膜太阳能电池



ScAlMgO₄ 衬底使LED更明亮



用激光照亮 汽车前方的道路



扫一扫 免费下载电子书

AIXTRON

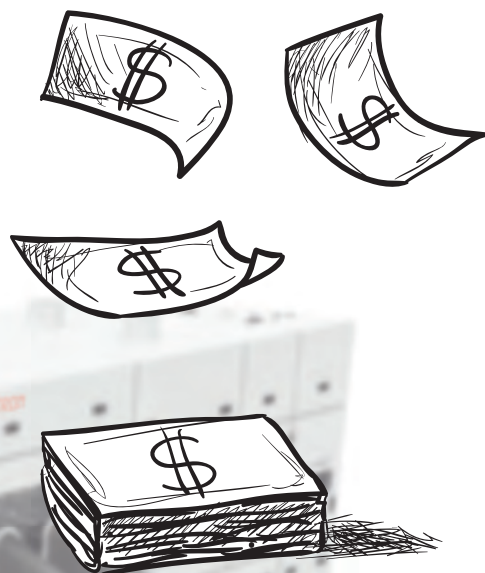
Our technology. Your future.

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, 更大的产量和最佳的拥有成本。



Book your place at the

PIC International Conference

Tuesday 1st & Wednesday 2nd March 2016

Limited
availability

PIC International will provide comprehensive coverage of all aspects of the integrated photonics industry



This industry is currently debating a handful of key questions: -

- Is heterogeneous integration the best option for lighting up the IC? Or is it better to couple the laser's emission onto the chip?
- 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?
- Are PICs about to dominate the landscape of optical networks? And is there room for different forms of device?
- Can companies afford to make PICs in-house? And if they do outsource, what should they look for from a foundry?
- The silicon CMOS industry sets a benchmark for chipmaking. How can the PICs industry catch up?
- Is it the case of selecting the right material such as InP and silicon for a particular application? Or can there be a universal, long-term winner for integrating all the components on one chip?

This inaugural event brings together the best in class of the integrated photonics industry, so make sure you attend PIC International.

Book your place NOW!

Sheraton Brussels Airport Hotel, Belgium

Register: www.picinternational.net

PIC INTERNATIONAL
CONFERENCE

Creating and strengthening links between chipmakers and network builders



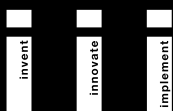
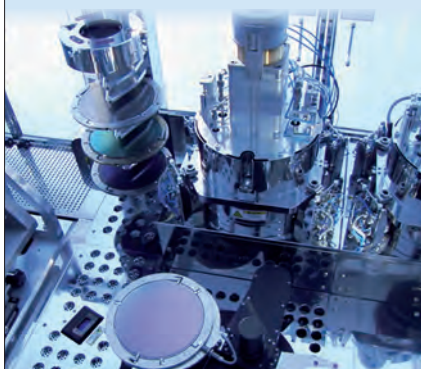
化合物半导体工业生产的 应用解决方案

应用于晶圆键合中的
异质结构集成，
涂层传输和先进封装

应用于光学光刻和纳
米压印中的器件图案
制成和先进封装

应用于先进涂层工艺
技术中的电介质，
厚/薄涂层工艺，通
孔工艺和高断层工艺

应用于临时键合和键
合分离中的减薄和易
损化合物半导体的基片



www.EVGgroup.com

化合物半导体

COMPOUND SEMICONDUCTOR CHINA

季刊 2015年第4期 2015年12月8日出版
Quarterly 2015 - Issue 4 8 Dec 2015

目录

Contents

封面故事 Cover Story

8 用激光照亮汽车前方的道路 Lasers light the road ahead

为了提升驾驶时的可视性，减少事故发生，汽车前照灯设计不仅要有更大的功率，而且要有更好的光照分布，不会影响对面来车、行人及野生动物的视觉。由激光来激发荧光可用来制造更为紧凑和更为高效的汽车前照灯，将能使司机的可视性提升一倍。

- ABDELMALEK HANAFI, HELMUT ERDL, BMW公司

市场 Market

4 GaN: 在无线基站之外的应用 GaN: beyond the basestation

6 揭示III-V族光电池的新机遇 Uncovering new opportunities for III-V cells

- ROBERT PARENT, Alta Devices

工艺管理 Managing Processes

15 管理上的改进可使利润达到最大化 Managing change can maximize profits

- Annie Mullen, Camstar Enterprise Platform, Siemens PLM Software

技术 Technology

18 与时俱进：从硅到SiC的缺陷检测 Moving with the times: From silicon to SiC metrology

- YUJI ASAKAWA, Lasertec

20 改进MOCVD反应器来削减芯片成本 Refined reactors trim chip costs

- CHRISTOPH GIESEN, MICHAEL HEUKEN; Aixtron公司

科技前沿 Research Review

25 常关型HEMT的一个突破 A makeover for the normally-off HEMT

26 采用ScAlMgO₄ 衬底的LED将更为明亮 LEDs shine on ScAlMgO₄ substrates

27 模拟表明电子泄漏不是LED光效下降的主因 Simulations dismiss electron leakage as the cause of droop

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》中文版(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.

关于雅时国际资讯

雅时国际资讯(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

汽车和国防应用推动 GaN 市场快速增长

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

雅时国际商务 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



市场调研公司 Technavio 最新研究报告“2015-2019 全球 GaN 半导体器件市场”预测：在 2014-2019 年期间，全球 GaN 半导体器件市场将以 20.77% 的复合年均增长率增长。该报告分析了全球 GaN 半导体器件当前的市场情况和 2015-2019 年的增长前景。

Technavio 公司分析师指出：GaN 应用正逐渐扩张到各个不同的应用领域，特别是在汽车行业，电动汽车和混合动力汽车的发展正推动该领域对 GaN 功率半导体的需求。同时，国防现代化设备对于大功率半导体器件的需求持续增加，推动了对 GaN 半导体器件需求。

全球 GaN 器件市场分为两个主要部分：功率器件和光电子产品。2014 年光电子产品市场收入占整个市场的 78.0%。其中 LED 和激光二极管是光电子产品的主要市场驱动力。

按照应用领域，GaN 器件市场可划分为三个部分：射频（RF）、LED 和功率器件。LED 部分市场是最大的贡献者，2014 年 LED 收入所占的市场份额为 68.0%。这是由于基于 GaN 的 LED 广泛使用在交通信号灯、汽车灯具和液晶显示器等领域。此外，基于 GaN 的 LED 有两个主要的技术发展：一是在异质衬底上制造基于 GaN 的 LED 器件，另一个是发明了基于 GaN 体材料衬底的 LED。这些技术推动了 LED 应用市场的快速增长。

全球 GaN HEMT（射频）市场包括 7 个应用频段：WiMAX/LTE、无线通信基站（BTS）、有线电视、V-SAT、卫星、国防及其他。按收入计算，无线通信基站段在 2014 年市场的最大贡献者，占 26.0% 的市场份额。GaN HEMT 技术采用率的上升导致基站收发信台安装的数量增加。

GaN 功率器件市场规模目前还很小，2014 年市场收入不足 1000 万美元。然而，由于 GaN 器件可提升电源转换效率，采用 GaN 功率半导体器件产生的潜在能效节约已引起重大的研究和开发，正开始实现可利用器件的商业化。市场调研公司 Yole Développement 预计，从 2016 年开始 GaN 功率器件市场将以 93% 的复合年增长率飙升至 2020 年的 3 亿美元。

按照区域来看，北美 GaN 市场在 2014 年拥有最大的市场份额，占全球市场的 31.1%。这主要是由于在军事和国防应用中越来越多采用基于 GaN 的晶体管。同时 GaN 器件的普及率，随着 PC、笔记本电脑、移动平板电脑、游戏设备和电视机对于 LED 的需求增加而增长。欧洲拥有第二大的市场份额，2014 年在全球市场占 28.9% 的收入。亚太、日本及其他地区合计市场份额为 40%，并且未来几年增长潜力很大。

GaN 作为第三代宽禁带半导体材料，拥有很大的潜在市场。虽然目前 GaN 器件级的成本偏高，但是采用了 GaN 器件的系统反而具有更低的物料清单成本（BOM）。随着军事应用持续推动 GaN 器件市场，其商业应用已经形成，这将帮助加速 GaN 市场增长。在无线通信基站中，GaN 功率放大器件正在替代原有的 LDMOS 器件，GaN 器件汽车应用和功率电子应用也开始起飞，我们期待看到更多这样的商业应用促进 GaN 市场增长。

赵雪芹

GaN：在无线基站之外的应用

随着 GaN 射频功率放大器件广泛运用于无线基站，预示着手机领域将会是该产业的下一发展方向，《化合物半导体》杂志采访了 Qorvo 公司，谈论了有关该领域发展的更多情况。



在基站中 GaN 功率放大器件正在替代原有的 LDMOS 器件，该技术将来也会应用于手机中吗？[Ice 基站塔 / Senator 88]

在未来十余年中，高性能的 GaN 晶体管将会由一种新概念器件而逐渐成为大部分射频应用中不可或缺的部件。由于美国在这一领域的大力投入，GaN 作为一种具有超高功率密度的器件，已经成为雷达、电子战以及卫星中的明星器件技术，它同样也在逐步融入我们的日常生活中，其中最为引人注目的是在无线基站中的应用。

Sumit Tomar 作为 Qorvo 公司无线公共设施部门的总经理，他深信这种革新技术将会有更加广阔的应用前景。

Sumit Tomar 认为，4G LTE 网络提供商在大容量基站对射频功率放大器件技术的选择中，GaN 的性能已经超越了 LDMOS。民众对于网络容量和运行速度是有着无休止的需求，我们必须去寻找更加先进的技术来满足这种由移动数据增长所驱动的需求。

“新一代基站的技术平台预计会在 2016 年末期投入使用，我们相信新的平台将会是基于高功率 GaN 器件的射频应用”，Sumit Tomar 说，“LDMOS 器件的工作频率不能超过 2.4GHz，因此 GaN 器件就有了它的发挥空间，在 4.5G 和 5G 时代，我们希望 GaN 器件能在基站应用中发挥重大影响，特别是在超过 1.8GHz 的超高频应用中”。

Tomar 也确信网络运营商会首先选用 GaN/SiC 功率放大器件，而后才会是 GaN/Si 器件。GaN 这种具有超高功率密度的器件是封装在一个相对较小的封装体中，但还是具有良好的散热性能，但对硅基功率器件来说，情况就不是这样了。

Tomar 还说道：“相比于碳化硅来说，硅材料的导热性很差，我们的用户会担心 GaN/Si 功率放大器件不能有效地进行散热”，“这样就会降低它的工作寿命，增加了在现场发生失效的风险，而这些都是基站 OEM 客户最为关注的问题”。

他解释道：“正是因为这个原因，当功率级别超过 100W 时，所有主要的基站制造商都放弃使用 Si 基器件”。

目前，GaN 射频功率放大器件的主要生产商，包括 Cree、Sumitomo、Freescale 以及 Qorvo 等公司都在探索

GaN/SiC 工艺技术。相反，MACOM 公司还在为自己作为世界射频应用领域唯一能提供 GaN/Si 技术的生产商而沾沾自喜，他们的器件主要用于军事和通信设施中。

然而，在 2015 年中期的时候，已经有公司开始试制工作在 200W 功率的 GaN/Si 宽带射频晶体管，并预测这种器件的性能将可以与 GaN/SiC 器件相媲美。

MACOM 公司射频和微波部门的营销副总裁 Michael Ziehl 曾说到：“我们希望看到，未来在其他射频应用领域以及 4G/LTE 基站中，我们的 GaN 技术会在商业应用中有着快速的提升”。

Tomar 相信，处于领先地位的系统供应商，如 Freescale、NXP Semiconductor 和 Infineon 等公司都将越过 GaN/Si 技术而直接采用 GaN/SiC 技术。

他说道：“这些供应商主导着功率器件市场，并且都在研发 GaN/SiC 技术。GaN/Si 在功率低于 100W 时还是具有不错的性能，但是在功率超过 300W 时，它就没有使用空间了”。

一种与众不同的器件

除了基站应用之外，业界制造商正开始探讨如何把高功能密度的 GaN 功率放大器件应用到手机中。在今年年初，来自 Intel 公司的研究小组，在技术和生产部器件研发主任 Robert Chau 的带领下，开发了一种增强型 GaN MOS-HEMT。

在低功率移动应用的 Si 基芯片中来设计用于射频功率放大和稳压的晶体管器件，研究人员表示，这种晶体管将会比工业标准的 GaAs 射频功率放大晶体管在输出功率和效率上要优秀。

Chau 拒绝对最近的发展发表评论，但他在他的文章中提到：“这项工作首次说明了 GaN 电子器件所具有的应用空间，它会超越现有的高电压功率器件和射频器件的范畴，将会进入低功率移动 SoC 器件领域”。

Intel 是第一家公开这种技术成果的公司，但是在开发新一代手机的 GaN 射频功率放大器件方面，并没有一枝独秀。

Tomar 重点强调了 Qorvo 公司在 GaAs 工艺技术上的进展，他说道：“在手机中植入一个需要更高供电电压的放大器件是十分困难的，但是利用我们独特的 pHEMT GaAs 工艺，还是使它能满足 5G 手机的性能需求”。

但在同时，用于未来手机中 GaN HEMT 功率放大器件的研发明显取得了进展，“我们同样在进行 GaN 工艺技术的研发工作，我相信能够将供电电压降至 10V，未来还可能更低”。

他补充说道：“我不想公开讨论这个问题”，“但是我们会继续关注不同类型的 GaN 器件及其工艺技术的研发，还

将进一步观测该市场的走势”。

6 英寸晶圆的 GaN/SiC 实现高容量、低成本 GaN 应用

Qorvo 近日宣布，已成功地将专有的碳化硅 (SiC) 基 QGaN25 氮化镓 (GaN) 工艺技术扩展用于在 6 英寸晶圆上生产单片微波集成电路 (MMIC)。预计从 4 英寸过渡到 6 英寸晶圆，大约能使 Qorvo 公司的碳化硅基氮化镓生产能力增加一倍，并且有利于降低制造成本 - 对价格实惠的射频器件生产，能起到显著的推进作用。

“在 6 英寸晶圆上实现碳化硅基氮化镓单片微波集成电路，为显著提高生产能力和成本效益铺平了道路”，Qorvo 公司的基础设施和国防产品部 (IDP) 总裁 James Klein 表示。“这是一个重要的里程碑，巩固了 Qorvo 在商业和国防市场提供一流工艺和 GaN 产品的领导地位。”

Qorvo 成功地证明，其高产、X 波段功率放大器 (PA) 单片微波集成电路 (MMIC) 的 QGaN25 生产工艺可成功地从 4 英寸扩展到 6 英寸碳化硅基氮化镓晶圆。这同样有助于将公司的所有碳化硅基氮化镓生产工艺转换到 6 英寸晶圆，栅极长度范围为 0.15 μm 至 0.50 μm ，涵盖整个微波至 mmW 应用领域。预计将于 2016 年实现全面生产。

12 瓦 X 波段的点对点 MMIC 功率放大器，符合 80% 以上的直流和射频收益率要求，引领行业发展。这一工艺可行性为高速生产商用收发器基站 (BTS) 和点对点无线电、CATV 及国防产品奠定了基础。

晶圆尺寸扩展进一步巩固了其作为美国国防部制造电子局认可的 1A 类供应商 (1A Trusted Source) 的领导地位。Qorvo 于 2014 年圆满完成 DPA Title III 碳化硅基氮化镓项目，是首个达到制造成熟度 (MRL)9 级的公司，表明其高性能制造工艺可以投入全面生产。

美国国防部的制造成熟度评估 (MRA) 确保制造、生产和质量要求能够满足作战任务需求。该过程确保产品或系统从工厂顺利过渡到现场，为客户提供最高的价值，并满足全部性能、成本和产能目标。

Qorvo 正在依靠其 GaN 技术加速开发关键宽禁带半导体产品，促进新一代体积更小、速度更快、成本更低、效率更高的器件在消费电子、电动汽车、可再生电源互连、工业级变速驱动电机以及更智能、更灵活电网中的普及。

Qorvo 将继续依靠 GaN 产品捕捉 CATV 网络、电源和新一代电网商机。Qorvo 基于 GaN 开发产品，推出了体积更小、效率更高的功率放大器，可用于军用雷达和电子战项目。Qorvo 与各行各业都建立了牢靠的合作伙伴关系，包括美国国防部以及美国其他客户和国际客户。QSC

揭示 III-V 族光电池的新机遇

III-V 族光电池的发展机遇不仅仅只局限于聚光型光伏上，它还可以作为一种可弯曲的、高效率功率电源用于无人机、智能手机、平板电脑和汽车中。

ROBERT PARENT, ALTA DEVICES

当 Neil Armstrong 在 1969 年 6 月 20 日在月球上踏出第一步之后，冷战的太空竞赛就走到了尽头。

这是 20 世纪最为著名的一天，也是美国历史上的闪光点之一。从二十世纪五十年代以来，美国就一直和苏联进行太空探索的竞赛。由于苏联成功地发射了两个卫星——Sputnik 1 号和 2 号，这个共产主义超级大国赢得了第一场太空竞赛。但它并没有领先太久，五个月后，美国开始了它的反击，发射了 Explorer 1 号。不久之后，在 1958 年 3 月 17 日这天，美国创造性的发射了 Vanguard 1 号，这是第一次使用太阳能电池的卫星。

这颗卫星直至今天还在我们的头顶上盘旋，它的光电池是用硅材料制作的。这种类型的太阳

能电池技术已经被用于很多卫星上。但是在今天它的优势并没有得到延续，这是因为苏联科学院艾尔菲物理技术研究所的 Zhores Alferov 在 1970 年提出的 GaAs 和 III-V 族太阳能电池获得了迅速发展并取代了它。

这种化合物半导体电池比硅基电池的性能要好得多，因为化合物半导体材料对湿度、辐射和紫外线的耐受性要更为优秀，并且有着最高的太阳能转换成电能的效率，在温度上升时所引起的电池性能退化也十分微小。

正是因为具有这些优势，到了 1990 年 GaAs 已经取代了硅成为太空中太阳能电池技术应用最为广泛的材料，而且当今太阳能产业都以单结和多结 III-V 族太阳能平板电池来作为行业的标准。

但是，这并不是说 III-V 族太阳能电池就是

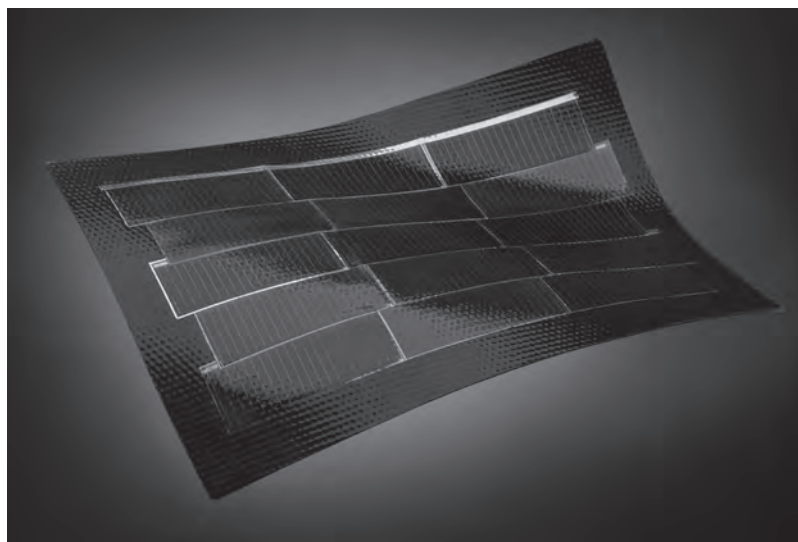
完美无缺的，它的缺点就是它是一种刚性结构、重量过大而且在尺寸上受到限制。最为重要的是它的晶圆价格是硅基晶圆的 200 倍，它的昂贵的价格严重限制了它在政府投资公共项目上的应用，而主要是用于太空领域中。

但是如果 GaAs 电池能变得价格更便宜，重量更轻盈，可弯曲及耐久性更好的同时，而它的效率还不折扣的话，情况又将会是怎样呢？

位于在美国加州 Sunnyvale 的 Alta Devices 公司正在为把这个想法变为现实而努力着。Alta Devices 公司是由加



州理工学院的科学家 Harry Atwater 和加州大学伯克利分校的 Eli Yablonovitch 在 2008 年一起创办的，我们公司的主要任务就是将移动电源推广到民用上。为了达到这一目的，我们研发出了一种可以进行 GaAs 薄膜生长并将其从单晶晶圆上剥离的工艺技术，这使得单晶晶圆可以被重复利用，从而可以大大降低了衬底的成本。



由 Alta Devices 公司制作的薄膜电池矩阵 (TFM) 能够提供 $250\text{W}/\text{m}^2$ 的功率，并且它的单位功率重量仅为 $1\text{g}/\text{W}$ 。

Alta Devices 公司工艺的另一个优势是它所制造

的电池具有很高的效率，在 2011 年，我们利用这个工艺技术将单结太阳能电池的效率记录提高到了 28.8%。这一效率值已经非常接近理论极限，并且超过了硅太阳能电池 25% 的最高效率。

除了在效率上的优点之外，GaAs 薄膜电池还有很多其他优势：它更轻，而且因为它是柔性可弯曲的，所以可以把它包裹在弯曲的表面上。

单单看效率还不能完全体现 GaAs 电池相对于硅基电池的优势。因为 GaAs 有着更大的禁带宽度，在光伏转换过程中所产生的电子能激发到更高的能量，从而提高了空间能量密度。而且，利用这种二元合金制成的电池可以将全部的可见光乃至近红外区域的光都转换成电能，使得该电池在户外无论是晴天还是在阴天，或者其他低亮度区域，甚至在室内都能够使用。尽管有许多的硅基电池可以用来作为室内的光伏发电，但是它们的效率几乎要比 GaAs 电池低三倍。

我们关于 GaAs 电池的性能要优于硅电池的论点是建立在美国国家可再生能源实验室 (NREL) 独立调查结果的基础上，该调查结果显示，在相同的条件下，我们的 GaAs 太阳能电池比那些硅基太阳能电池能产生更多的电能。而且，当环境温度升高时，我们 GaAs 太阳能电池的效率下降比硅电池要小很多。

基于 GaAs 和其他 III-V 族材料的薄膜太阳能电池的优势将能使它们在新兴市场中占据一席之地，而不是与沿着屋顶铺设的和横跨美国西部沙漠的大型太阳能平板电池进行竞争。由于它们具有较高的空间能量密度，GaAs 和其他 III-V 族

材料还会在那些尚未开发的移动市场领域获得发展。它们特别适合作为室内电源的这种天生属性，使它们能够在汽车、无人飞行系统、便携式电源、可穿戴数码设备、智能手机、平板电脑和物联网 (IoT) 等领域中赢得市场。通过将 GaAs 太阳能薄膜电池与最新的能量捕获芯片技术相结合，一些低功耗的物联网和可穿戴设备甚至可以实现无时间限制的供电。

发展移动太阳能电池技术不仅仅对那些发达国家有好处，对于位于世界上那些贫困地区的国家来说也非常有意义。当今社会对可连接互联网的设备需求在飞速地增长。单单 2014 年一年，全球范围移动设备的互联网访问量就增加了 25%，而在非洲这个数据则飙升了 40%，尽管居住在那里的绝大部分人至今还处于缺少电力供应的状况。传统的电网供电无法跟上人们不断提升的需求，但是这其中的差距可以用更为智能和更为环保的供电方案来解决，比如说 GaAs 太阳能薄膜电池技术。

考虑到自然界中的砷和镓元素的储量都很丰富，其获取和提炼成本相对而言不是很昂贵，所以 GaAs 太阳能电池必然会在全世界范围内得到大规模的应用。由于我们所研发的高效薄膜电池的大规模生产技术，使得 GaAs 电池的价格应该不再成为它在市场销售上的障碍。所以，在卫星上已经发展和应用了几十年的 GaAs 太阳能电池终将迎来能够强势重返地球的时刻。☞



用激光照亮汽车前方的道路

由激光来激发荧光可用来制造更为紧凑和更为高效的汽车前照灯，将能使司机的可视性提升一倍。

ABDELMALEK HANAFI 和 HELMUT ERDL, BMW 公司

在日落之后你驾驶汽车上路时，你将面临比白天驾驶高五倍事故的发生几率。为什么？当然部分原因是由于你已经比较疲惫，并且更有可能被醉驾的司机所撞到，但是最大的原因可能是此时你对前方路面的视野并不如白天那么清晰。

为了提升驾驶时的可视性，减少事故的发生，汽车前照灯设计者所开发的车灯单元不仅要有更大的功率——以便司机们可以看的更远，而且还要有着更好的光照分布——其目的是能对前方道路提供更清晰的视野，同时又不会影响对面来车、行人以及野生动物的视觉（图 1）。

如果要使前照灯的光照分布能达到欧洲近光

束照明的要求，它就必须能照亮司机前方大约 100 米的行使道路。这样的照明光束还必须包含一个具有极高照射亮度的窄峰，这也被称之为非对称热点。它的另一个特征参数是截止线，这是为了避免使对向交通的司机产生眩目。总体来说，由前照灯所产生的光照强度分布还必须要符合一系列国际标准规则的约定，如动态的照明分布可以用来帮助司机安全驶过蜿蜒的道路，并能及时地发现行人和动物（见图 2）。

光源

汽车前照灯的性能主要取决于光源，理想的光源应该具有足够高的功率以使司机能看清前方

相当远的道路，同时其组件还要易于安装。照射光束的质量不仅取决于光源的亮度及其光通量，还取决于诸如其光谱分布等参数。

在二十世纪的大部分时间里，白炽灯是汽车前照灯光源的唯一选择。但是在过去的十年间，设计师已经在考虑使用卤素灯和氙灯，甚至考虑使用最近出现的 LED 固态光源。

在宝马 (BMW) 公司，我们在 1991 年首先将基于氙气灯的照明系统集成进了我们的汽车前照灯中。与前代基于卤素灯的产品相比，这种氙气前照灯可以在路面上产生更高的光照射通量，还降低了功率消耗和减小了组件的体积。这种氙气前照灯还具备了动态照明功能，可以通过对道路区域的选择性照明的来改善司机的可视性。

最近，由于 LED 固态光源所具有的紧凑性能，许多前照灯制造商已经开始将通过荧光转换成白光的 LED 用于他们的设计中。这种小尺寸的高功率 LED 芯片的具有特定的光发射分布，可以将光会聚在特定的角度来增加可视性。这种固态光源的另一大优势是它在外形上有着极大的自由，但

是这些优点必须还要与它的两个主要的缺点进行平衡：与氙气光源相比，单个 LED 芯片的光通量要低一个数量级，其照度也要低 50%。

前照灯产生的非对称热点的发光强度正比于以下几个参数的乘积：大功率白光发射器的亮度；发光组件的孔径；以及对光源所产生光通量用来照亮道路的收集效率。提高发光强度的一个途径是采用具有多模块的组件。然而，这会增大发光面积或者会引起光通量收集效率的下降。为了满足标准法规对发光强度及其分布（背景和热点）的要求，需要采用多个模块，然而这又会对前照灯的外形产生不利的影响，使得前照灯变得笨重。

LED 阵列系统为光照分布提供了更高的灵活性。其每一个发光组件通常是由 80-100 个可独立设定位置的 Lambertian 白光发射单元组成（见图 3）。这种系统利用了 LED 器件可以即时开关和调节亮度的优势，能够通过打开部分小的点光源并使之在远场产生照射光的交叠以产生特定的光照亮度分布。甚至在无需引入机械调节结构的情况下，这些发光组件可以将远光束和近光束结合起



Enjoy Infinite Possibilities.

Based on broad experience gathered over many years of developing, manufacturing and world-wide servicing field-proven electron-beam lithography systems, a team of highly-motivated employees, excellent researchers and creative engineers are constantly doing their best to fulfil our customers' requirements.

We understand E-Beam.



Vistec Electron Beam | www.vistec-semi.com

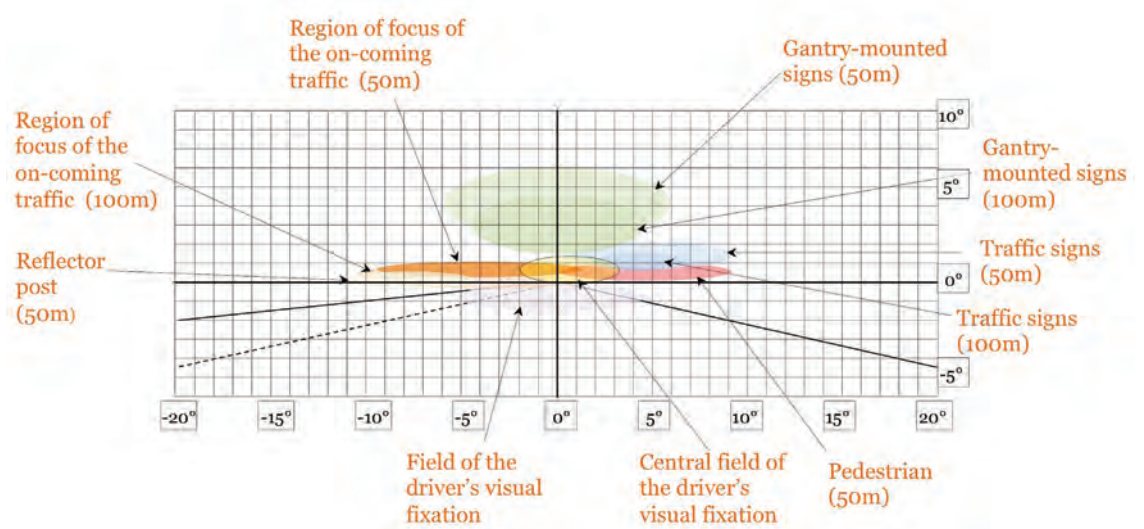


图1. 不同强度的前照灯产生的照明效果，使得司机能看清路标和发现行人，同时又避免使对向交通和野生动物产生强烈的眩目。图片来自于Darmstadt大学J. Damasky的博士论文，“Lichttechnische Entwicklung von Anforderungen an Kraftfahrzeugscheinwerfer”（1995）。

来，进行光照方向的变化和旋转，并且可以产生无眩光的远光束照明。然而，它也有着不可克服的缺点：LED 较低的发光强度对它的可视范围大小有着严重的影响。

初看之下，增加阵列中 LED 的数目似乎可以解决这个缺点，同时还可以产生具有新的、自由的动态光照分布，就如同于视频投影仪所产生的效果一样。但是要制造这样的 LED 阵列发光组件具有相当的挑战性，除了需要有更高光亮度的 LED 芯片之外，还需要实现 0.1° 的远场照射分辨率，这相当于在距离 25 m 远的墙上照射出一个直径只有 5 cm 的圆点。为了达到这个要求，假设使用焦距为 60 mm 的无球差的二次光学透镜设计，LED 芯片的尺寸不能超过 100μm×100μm，然而

典型的荧光转白光 LED 的尺寸远比这一面积要大，约为 1 mm²。

另一个问题是，为了实现水平方向 ±30°，竖直方向 ±10° 的照射范围，就需要大量的 LED 芯片——约需要 600×200 个芯片的阵列。这是一个大功率的主动发光显示阵列，要比目前已经商用的 OLED 方案的亮度要高 5 个数量级。尽管有这些根本性上的限制，但一些半导体公司、汽车制造商和组件提供商都对这一方法寄予了厚望。然而，他们在 LED 的数量上做出了妥协，使用了只有 1024 个芯片的阵列。

但我们对这种方法表示怀疑，更加倾向于首先要对时下和未来交通工具的照明系统需求进行评估，并且在此基础上考虑其它可选的光源。

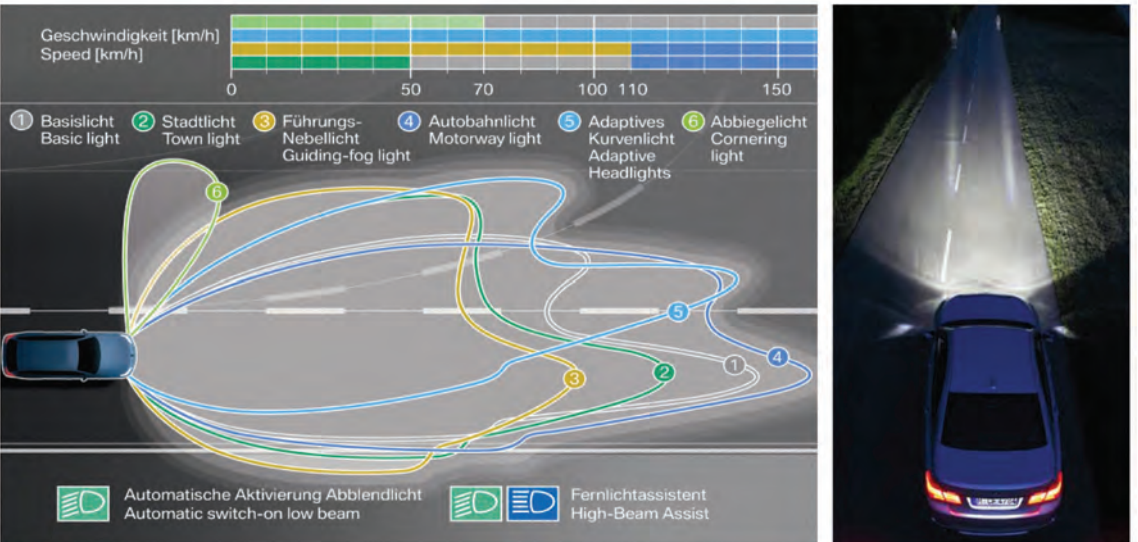


图2. (a) 具有动态辅助功能的几种可变照明分布的顶视图。(b) 标志灯照明将为司机提供辅助照明功能：采用夜视系统来探测行人和动物，对其进行定位并实现自动照明。

现代交通工具照明系统被设计成可以提供更多的照明功能，比如动态驾驶辅助功能。然而，引入这些功能可能会使照明系统变得更大和更重，然而它们本应该向着相反的方向，即更小更轻方向发展，以有利于造型设计和减少能源的消耗。这暗示着要想制造出性能更好的汽车前照灯，还需要把目光投向 LED 之外的光源。

从几何光学的知识可以得出，只要光源按一定比例缩小，光学系统也可能会按相应的比例缩小。这就暗示着要想制造出一个性能更好的汽车前照灯，就需要一个具有极高亮度的点光源。我们一直在追求这个目标，即创造一个可以近似为点光源的高亮度白色光源。这似乎是一种矛盾的做法，因为这样做是放弃了增加光通量方面的努力，而把新的目标设定为是增加它的发光亮度。

我们制作一个极高亮度点光源的方法是采用高功率、多模、边缘发光蓝色激光二极管来远程激发黄光荧光层。这种激光器的功率等级还在进行提升，最近 3W 的版本已经可以投入使用。其发光面积仅为 $30\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$ ，相比于高功率 LED 的 $800\mu\text{m} \times 800\mu\text{m}$ 面积，其缩小因子超过了 5000 倍。如果考虑光源的光发射锥体和光功率等因素，激光二极管的亮度要比 LED 高出 500000 倍。

蓝色激光器的另一个优势在于它具有超高的效率。当流过 LED 的电流密度快速增加时，它的发光效率会由于某种不明原因而发生下降。产生这种现象的根源目前还有争论，但是其基本原因可能是俄歇复合效应，但在激光器上不会出现这种光效下降现象，事实上，随着电流密度的增加激光器的效率也会增加，最终将到达一个稳定的水平（见图 4）。

令人鼓舞的是蓝色激光二极管的效率还在不断的增加。在 25°C 下 1.7W 的芯片可以实现 25% 的电光转换效率，同时近期出现的 3W 的器件则可以达到 35% 的效率，并有可能在近期冲击 40% 的效率记录。随着更多的制造商发布针对视频投影仪市场的产品，电光转换效率的更进一步的提升也有望实现。他们正在相互竞争以提供性能更好的产品，应该也会相继推出性能更好的照明光源。

目前激光器性能水平已经令人相当满意，但是如果要将激光用于前照灯当中，它必须要能经受更严酷环境的挑战。前照灯的安装位置接近汽车发动机和电池，因此其局部温度可高达 80°C 以

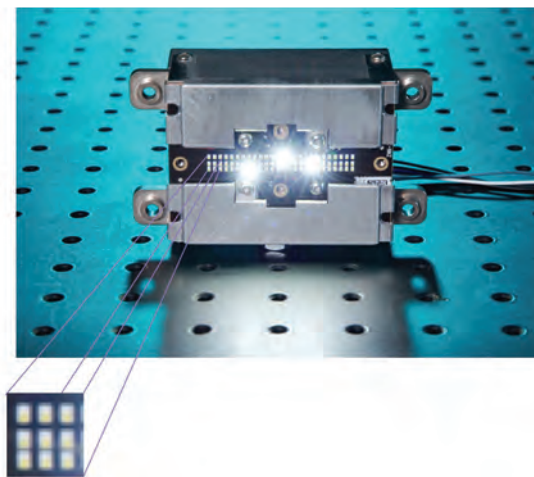


图3. 一个LED阵列照明组件，它具有近100个发光点；每个LED（来自于Osram公司）发光亮度为130流明。请注意：当采用这种技术来制造前照灯时，每个子芯片组都配备有二次光学透镜结构。

上。并且在前照灯内部温度可能会更高——LED 灯内部可达到 110°C ，并且在芯片内部 pn 结的温度可能会达到 150°C （见图 5）。

事实上高功率多模蓝色激光二极管的工作温度比 LED 要低，为 90°C 到 110°C 之间。尽管是在这样的温度下，器件的性能还是受到了一些影响，在驱动电流为 2.3A、温度达到 70°C 时，器件的性能就有着明显的下降。因此，如果想要把激光二极管应用在前照灯中并具有足够好的性能，那就必须要采取冷却措施。

不幸的是，目前商业应用的高功率蓝色激光二极管并不是针对汽车前照灯的需求来进行设计的，因为它们不能在 -40°C 到 85°C 的温度范围下进行工作。不过，归功于远程激发荧光的结构设计，这些芯片可以利用车辆行驶时的空气流来对前照灯进行风冷以防止过热。采用这种方法，激光器在连续波工作模式下以小于翻转 (rollover) 电流驱动时，其工作温度可以保持在 60°C 以下（见图 6）。这种芯片是通过一种粗光纤实现远程激发荧光（见图 7）。

有了新型的前照灯，我们就可以将前照灯的可视范围扩大至欧洲 ECE 法规所允许的最大限度

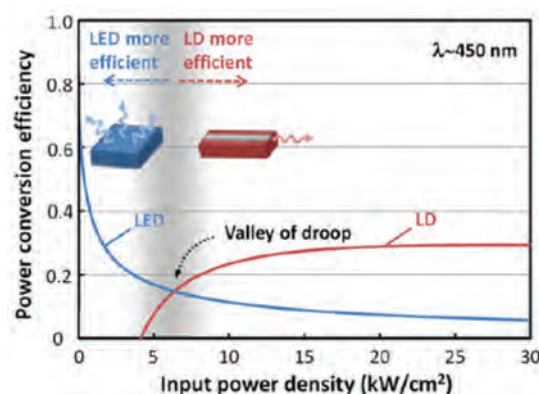


图4. LED在电流密度增加时其发光效率有着快速的下降，而激光二极管并没有这种效应（图片来自于J. J. Wierer et. al. Laser Photonics Rev. 7 963 (2013)）。



图5. (a)发动机启动后一辆宝马车前引擎盖上的温度分布。(b)前照灯周围的温度分布。(c)LED前照灯内部的温度，其最大值可达110 °C。

值，这意味着在车辆前方 600m 处要具有 1 lux 的照度，这是通过将 LED 与激光二极管联合使用来实现的。LED 将产生一个 50 lux 的宽广的光照分布，而激光产生的准平行白光在远场产生 290 lux 的照明（见图 8）。

我们估计，如果一个光源要达到上述性能水平，则其峰值亮度要超过 1000 cd/mm²、平均亮度要超过 500 cd/mm²，以及最小要有 500 流明的光通量。

对于荧光层也有很多的要求，其转换效率会受到成份和温度的影响。如果荧光体变得过热时——这在激光激发点的尺寸小于 100 μm 时可能会发生——其荧光过程可能会被淬灭。

为了防止这种现象的发生，我们将荧光体以反射结构的方式进行配置，并且可以进行局部冷却。荧光体的厚度约为 100 μm，其半径范围为 1mm。通过仔细地选择衬底并且将它们考虑进整个组件的热膨胀系数的影响当中，热量可以有效地沿着厚度方向（而不是径向）实现耗散。发射表面的直径大约为 350 μm（半高宽）。另外，为了帮助散热，该结构还利用了荧光体 - 衬底界面

的反射，使得从荧光体上背散射光能得以回收再利用。

对于荧光体的要求不仅仅是要具有大于某个特定的效率值，同时也要具有法规所需的颜色光谱的要求。优化荧光体不仅仅需要决定其材料的组分，同时也需要它具有正确的晶粒尺寸、晶粒分布和密度，以及荧光芯片的厚度。在这些考虑之上，组件模块还必须要设计成能使光通量利用率最大化的结构。我们已经完成了上述这些工作，实现了超过 300 lm/Wradiant 的转换效率和超过 220 °C 的荧光淬灭温度。在位于前照灯中心的环境温度高达 110 °C 时我们的荧光组件仍然能正常地工作。而激光组件是被安装在了前照灯的边缘部分，在该位置的空气流有利于对组件的冷却。

要让我们新型的前照灯能进行实际应用，它们的性能必须要在所用车辆的整个寿命周期中都能保持在一定水平——这就指明了激光器所要达到的工作寿命。取决于所要考虑的不同照明功能要求，激光器的工作寿命应该在 2000 到 6000 小时之间，这远比商用蓝色激光器的寿命值要低，它们通常会超过 30000 小时。

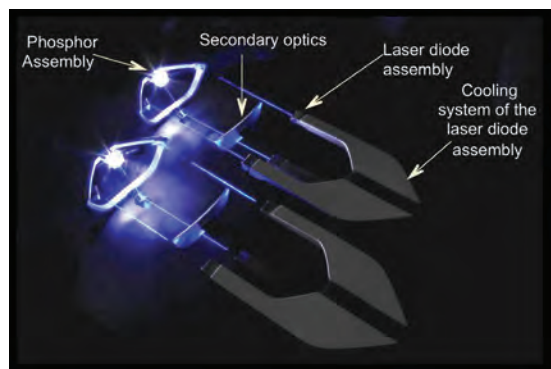


图6. 实验装置示意图：由高功率多模450nm激光二极管（功率超过1W）来发射激光，以远程激发设计形式来激发两个掺铈钇铝石榴石(Ce:YAG)荧光层芯片来产生白光。

安全问题？

使用激光器作为前照灯可能会使很多人皱眉头，因为这种高亮度光源发出的激光可能会对眼睛造成伤害。为了防止这种现象的发生，我们进行了严格的测试以保护司机、行人和野生动物。激光远光束只有在高于特定巡航速度——例如 40 公里 / 小时才会启动使用。而在低速时只采用主 LED 产生的远光束。由激光光束启动器可以对很远的对向交通车辆进行自动探测，在对面来车接

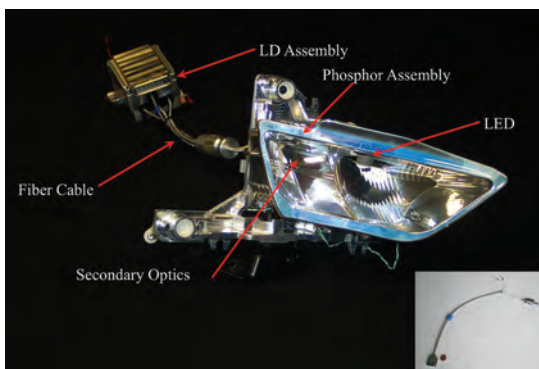


图7. (a)第一代基于激光二极管来激发荧光的技术，使用了三个1W激光二极管作为光激发引擎。(b) 宝马新一代的基于单个3W激光二极管的光激发引擎，它具有紧凑、低成本和高效率等特点。

近之前，激光就会被关断。

这种在前照灯中作为点光源使用的是一种 4 级高功率蓝色激光二极管，其模块封装必须要能够防止激光向外泄漏。为了增强安全性，这种单元还装有监测用的光电二极管，用来检查激光二极管、荧光体和其中光学系统的工作状态，包括对开裂和退化引起的各种效应。如果检测到有失效产生，则激光启动器将会自动关闭。

经过数年的开发，去年夏天我们发布了第一

微机电系统
发光二极管
先进工艺控制专项技术
功率器件
先进封装

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

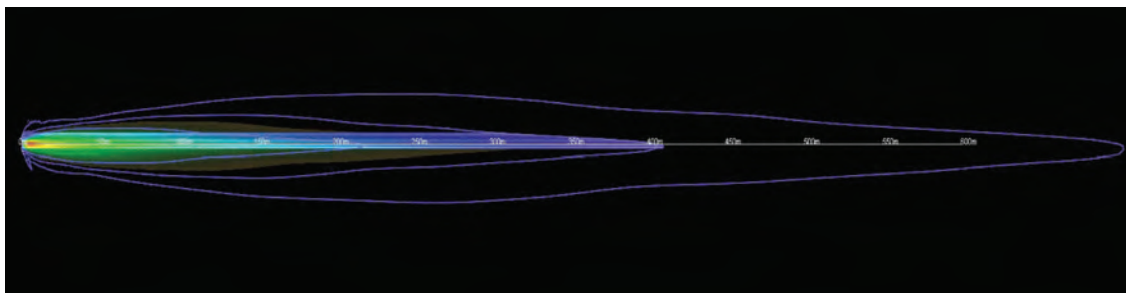


图8. 光照分布的顶视图，显示了它能将可视范围延伸到ECE法规最大容许值。

款使用激光远光灯的汽车——BMW i8，这是一款插电式混合动力汽车，可以在仅仅 4.4 秒之内加速到 62 mph。几千辆车的有限生产运行情况证明了这种技术的可行性，并且也给了我们机会来征求消费者的意见。

由于对于 i8 汽车的需求很大，使得我们计划再推出一款结合了基于激光的无炫目远光灯和标志灯的 BMW 新型号汽车，这种灯光我们称之为动态光点。我们将会制造成百上千辆这种类型的汽车。

大规模制造激光前照灯并不是一件容易的事情，这是由于许多供应商缺乏对激光技术和使用高亮度白光光源的经验，而这种光源对光学结构有着更高的要求。不过，我们预期随着供应商开始采用这种性能优越的前照灯新技术，这种情况将会得到改观，我们已经开始将这种激光技术引入到我们的顶级车型和紧凑型高级车当中。

这种技术的普及还必须要与它自身的改进同步进行，需要有新的方法来将这种技术集成到一个更为紧凑的空间中，并且还要提升流水线化生产的能力。在未来，我们还可以期待这种前照灯技术将会被引入到基于激光的新型照明功能中，包括对司机的辅助动态照明。这将需要高亮度光

源和在远场照明的高分辨率，而使用激光扫描技术则有可能满足这一要求。传统的 Galvano 扫描器由于过于笨重并且扫描速率太慢，不能胜任汽车照明的要求，而基于 MEMS 的扫描器则十分令人期待：它的结构非常紧凑，有很高的扫描速率，可以集成进合适的模块中，也具有足够高的可靠性。其首要的挑战是能找到一种合适的方案，将 4W 以上功率的激光器与基于 MEMS 的扫描器结合起来实现驾驶手段的最优化，这样将能获得高质量的自由照明分布。

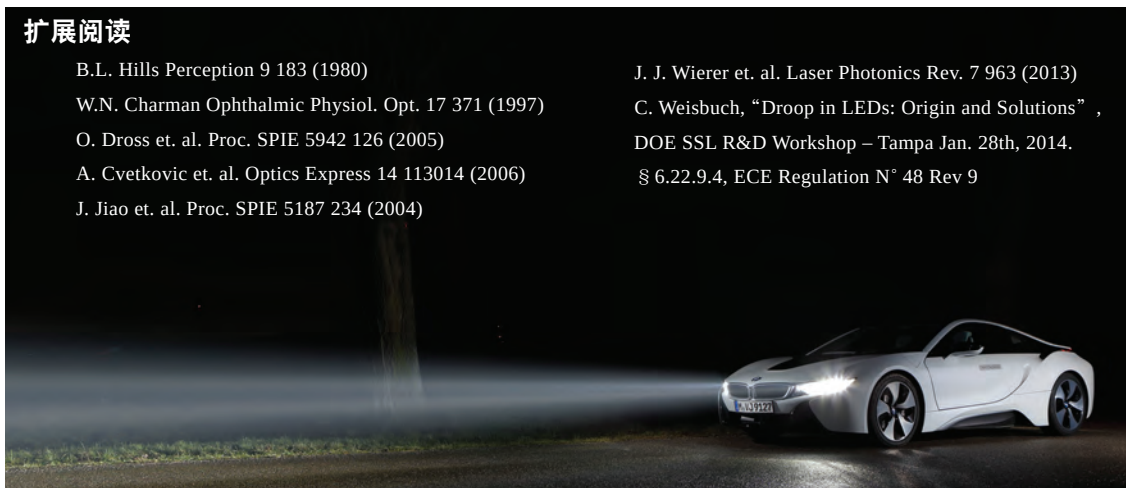
但这并不是唯一的选择，还可以有一种将光相位调制技术与激光二极管相结合的方法。通过精确地控制光的相位，就可以实现自由的照明分布图。通过对分布图编码并进行编程来产生动态的光照分布，而无需进行高频率的扫描，并且使用红—绿—蓝同步序列系统可以将调制器的数量由三个减到只需要一个。

尽管还不清楚这种技术最终能否能独占鳌头，但基于激光的前照灯技术无疑将会有远大的发展前景。由于它要比之前的汽车前照灯能更好地照亮前方的道路，使得它们可以减少人们在夜晚外出驾驶时的危险性。OSc

扩展阅读

B.L. Hills Perception 9 183 (1980)
W.N. Charman Ophthalmic Physiol. Opt. 17 371 (1997)
O. Dross et. al. Proc. SPIE 5942 126 (2005)
A. Cvetkovic et. al. Optics Express 14 113014 (2006)
J. Jiao et. al. Proc. SPIE 5187 234 (2004)

J. J. Wierer et. al. Laser Photonics Rev. 7 963 (2013)
C. Weisbuch, "Droop in LEDs: Origin and Solutions",
DOE SSL R&D Workshop – Tampa Jan. 28th, 2014.
§ 6.22.9.4, ECE Regulation N° 48 Rev 9



管理上的改进 可使利润达到最大化

《硅半导体》杂志的 Mark Andrews 对制造执行系统（MES）管理软件，包括西门子公司 PLM 软件中高效能 Camstar 半导体套件（CSS）的应用情况进行了调研。西门子公司这种制造执行管理（MOM）软件产品可以实现对半导体工艺制造过程的各个层面进行控制、监视和持续的改进。

Annie Mullen, Camstar Enterprise Platform, Siemens PLM Software

你正在被竞争甩在后面吗？

如果你公司所使用的制造执行系统（MES）已经超过七年的话，该问题的答案将可能为“是”。一个新的 MES 系统可以在不降低产品质量的前提下提供快速的应变能力——在如今的全球市场中这将具有决定性的优势。

半导体工业正在稳定地增长，根据 Gartner 的研究报告，全球半导体销售额有望在 2015 年增长 5.4%，达到 3580 亿美元。[<http://www.gartner.com/newsroom/id/2962117>]，研究显示驱动这一增长的源由是来自于汽车、通信和智能消费产品。

新产品的传统创新周期正在迅速缩短，与此同时，消费者对于产品价格将变得更加敏感，并且需要更为新颖的高质量产品。为了实现这个目标，半导体制造商必须具有高度灵活和快速的反应能力，具有可以大批量、高质量持续生产具有创新性复杂产品的能力。

加速创新能力是将成功的公司与其竞争者区分开来的重要因素。相比于以往任何时候，半导体公司更加需要能时刻保持位于技术曲线顶端的领先地位，来向客户提供能满足其期望的产品。

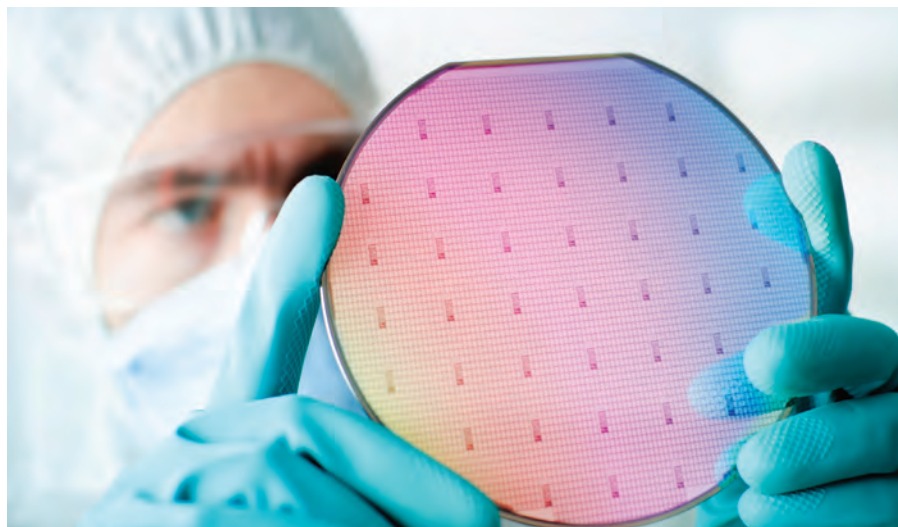
达到这个目标的一种途径是需要消除即使是大公司也会遇到的障碍。尽管从商业开发到售后服务中的各种因素都会起作用，但相比于那些还在“凑合”着使用已经过时的、效率低下管理系统的竞争者而言，对制造执行系统（MES）进行升级并实现利用最大化将会具有关键性的优势。

目前的状况

在度过了自 2008 年开始的全球经济不景气之后，半导体公司逐渐恢复了可观的增长，如今已意识到他们需要替换陈旧的 MES 管理系统，因为旧的系统缺乏应对现在产品所需要的灵活性。半导体生产包括了数百道繁复而又精细的加工步骤，并且这些步骤是分散在多个不同的加工位置点来进行的。少许的工艺错误和在生产加工时间上的延迟就可能给半导体制造商带来巨大的损失。

Fairchild 半导体公司全球制造系统（GMS）部门的信息技术总监，Harold Caldwell 先生在由 Iyno Advisors 组织的 MES PESB 会议上表示：“[旧的系统]在快速响应用户需求上面临着挑战，这些用户来自于制造业、工程界、质量部门、供应链、金融和其它领域”。

很多半导体公司发现了他们在 MES 应用上所遇到的最大问题，即是对前道和后道工艺中能否保证不同制造系统间的持续性问题。这种“系统断开”在工艺流程、可追溯性和市场时效性上



会产生各种各样的问题。

制造商们需要对生产过程进行更强的整体监控以及更高质量的互动，以能更快地对工艺做出调整，并对其快速的变化做出有效的响应。为了确保他们在各种不同的市场能以更少的工作量和更低的成本来满足高等级的期望值，制造商必须抓住这种改变和调整的机会，以能在整个增长着的全球市场中来显现他们的地位。

处于领先地位的半导体制造商正在积极地进行变革，并正在投资开发一种统一的全局性的生产企业管理系统，它能够对从晶圆到成品端对端的工艺进行管理。一些具有多个生产场所、变化的生产环境和全球性客户服务基地的半导体制造商已经对现代的 MES 管理技术表现出了兴趣，如今他们可不再受到自动化孤岛和互不连接系统的限制，他们现在可以自由地进行创新、调整并且获得成功。

从先进的全局性 MES 中能获得什么

半导体公司如果想要采用单一解决方案来对从前道到后道的生产工艺实现管理的话，应该主要考虑 MES 管理平台的几个关键性特征：该解决方案必须包括有开箱即用的功能；它需要提供最高等级的可配置性，并且能与其它商业化应用系统现实全面的互联互通；它必须能提供即时的智能化信息；能包括从测试结果、良品率到统计质量控制的所有信息。除此之外，它还要能与自动化设备和单元控制器进行集成来提升产品的产量和质量。任何一个对半导体制造商的新 MES 应用还应该包括其应对市场变化的能力，还要包括能够整合进 MES 管理系统的制造执行管理 (MOM) 软件包，以及还要加上十分有用的对质量和生产流程的管理能力以及能先进地安排生产计划及其进度的能力。

对变化进行管理是另一个需要考虑的关键因素，半导体公司每周至少会做出数百项有关产品和工艺上的变化。利用统一的现代化企业管理平台结构，公司通过控制中心下达指令就可以在一个或多个生产场所一次性地实现对生产工艺变化的平稳调整。这种控制能力可以节省时间并且增加了整个企业内部的协调性和一致性。

降低 MES 升级时的风险

在高度复杂的半导体生产环境当中，在旧

有系统以不停机方式转换到新系统的过程中，必须要制定转换计划来对数据的转移进行追踪和确认。MES 管理系统的供应商应该提供软件工具使得在转换过程中可以实现两套系统的平行操作。

推荐

在这个新的、快速变化的行业格局当中，为整个生产网络提供基础功能的设施需要有高度的灵活性，同时还要保持可控制性以及能实现持续改进的高度智能性。

很有必要来研究一下关于 MES 的选项。这要从确认富有经验的供应商开始，这些供应商应该要有与半导体工业合作的经历，要确保供应商已经有了“可参照”的客户。在某种情况下，你可以在一个非竞争领域中来选择该供应商的一个客户进行一次实地考察。

优势

使用现代化 MES 的最大的优势是它能够十分容易地与主要商业化管理系统和车间中的工艺设备实现集成整合，可以用一个标准化的解决方案来实现全局性的操作。这种新的企业管理系统必须要能支持以下 6 个核心功能：

标准化：建立一个统一的平台，由中心来控制制造工艺，管理数据以及应对局部变化进行指导。

互联性：建立一个共同的互联通讯平台，使位于各场所的工艺设备可如同在一个虚拟的整体工厂一样实现无缝操作。

可控制性：按照设计来生产产品，能够捕捉到生产过程中的工艺变化，并且对缺陷快速地对做出相应的控制。

持续性工艺改进：支持国际性的全局持续性工艺改进网络。一旦做出了改进，所批准的工艺变化在一个地点实施的同时，可同步到全球的其



推荐的特性包括：	
管理复杂的工艺	可以对复杂的工艺状况实现追踪，包括对废弃、返工和批次分割的各个晶圆实现全方位的追踪——甚至是当工艺要求在各个批次之间和没有批次分割的设备之间存在多对多的关系时。
完全的可追溯性	所有制造批次、晶圆和序列化单元均能实现系统追踪，覆盖从晶圆制造、中间测试、组装、一直到封测的全过程。在整个制造过程中具有提供前所未有的监视和控制能力。可以根据加工批次、晶圆、序列号来收集数据，也可以是这些数据的组合。
集成化设备维护管理	对于基本设备和次级设备问题可提供前瞻性的解决方案，优化设备的调度安排。
控制灵活预防性维护	提供对设备具有覆盖性和级联性的预防性维护，即用每月的预防性维护（PM）来替代每周的维护。
应对变化的管理	能快速适应大批量生产中的变化。对于必须在全球多个生产地点对复杂产品的变化进行统一协调的制造商而言，这一特征将是一个可以改变行业格局功能。
先进计划和调度能力	可以根据小公司到大公司的不同需求来配置灵活的数据模型和调度逻辑。可以添加或改变信息组和数据表。为了与其它多个站点的系统实现紧密的集成，可以安装独特的排序规则。
统计工艺控制（SPC）	在制造过程中所收集的缺陷数据能使制造商在生产过程中来识别、分析和解决潜在的工艺问题，以保证生产的连续性，防止设备停机、材料浪费和在生产时间上的损失。
工艺的自动化控制	可将工厂中的多台设备集成到MES中，能提供全自动化控制、状态监测、物料跟踪和数据收集。
设备的自动化	详细的资源追踪支持SEMI的《半导体设备材料协议（SEMI E10）》。
工作流程的建模	在用户界面应用拖入和拖放工具，可以很容易地建立动态工艺路线，增加新的步骤，改变生产要求，变化客户的订单，所有这些都将伴随有版本的控制和审查的跟踪。
调度管理	向操作者显示由生产计划和调度所规定的加工进程优先级。通过指示操作员对合适的单元进行优先操作，消除了人为估计操作。它通过强制执行的调度规则来提高生产效率。
自动认证的确认	确保只有经过认证的员工才能在车间进行规定的操作。操作者只需使用简单的方式来查看指令和记录数据和事件。
自动化质量检测	将参数数据结果控制与结构化数据相结合，监测和分析设备就可以快速地解决问题，这样就可以避免该问题的再次发生。
自动化质量控制	根据“自动未来保持（AFH）”和/或基于特定损失代码、SPC失效或良率控制失效来生成不合格报告。
对不合格品的管理	进行结构化的失效分析、根本原因的识别、隔离和最终处置，来防止产品在规定处理步骤之外进行发货或加工，直到所有问题都得到了解决。
事件管理	监控企业生产过程，确定质量事故，开启必要的调查和实施质量控制流程。
标签打印	依据实际规格和制造数据来自动打印产品的标签，确保标签是准确的，是及时制造的产品，并是粘贴到适当的加工批次、晶圆或单元上。
多种界面语言	能够根据生产地点的不同来选择不同的操作界面语言。
晶圆位图的可视化	能够在一个晶圆产品位图上根据失效原因和“x/y”坐标位置来标出废品位置点。这包括可以从系统数据或使用已有位图来动态地建立晶圆位图。观察/编辑所存在的废弃位点。
试验晶圆的追踪	等待晶圆的母加工批次到达“x”步骤，并且要确定其是否已经通过所需的“y”要求，才能进行下一步的加工。如果试验晶圆重新回到母批次中，那么他们就不再需要进行他们已经成功完成的工艺步骤。
试验晶圆的管理	可以采用超越标准工艺流程的规范来对工程研究和R&D用的晶圆批次进行加工。

它工厂网络。

简单化：创造一个直观易用的管理系统，降低对不同水平和背景使用者的学习难度，并且能促进相互间的合作。

加速性：充分利用新平台的各个方面来加速优质产品推向市场的过程，并坚持不懈地对它们进行改进。

一个具有全局性的生产企业管理平台提供了很多新的发展机遇，并且可以克服陈旧MES管理系统所带来的在成本、局限性上的风险，因为这些陈旧的MES通常是自我开发的孤立系统。将所有操作归结到一个系统中就能够实现流水线化的精简操作并可以监控整个生产过程。

这种新系统可以保证在工厂和后道加工之间

不会有数据的丢失，采用单一化的系统可以缩短产品推向市场的时间并且降低经营成本。采用新MES管理系统的半导体制造商可以快速地使制造执行系统平台实现投资回报（ROI）的最大化。灵活并且强大的制造管理系统可以连接全球范围内的多个生产场所。使用现代化的MES并搭配有效的MOM能使一个公司成为市场领袖，树立起更高的行业标杆，由MES所带来的高效率将会帮助他们来满足客户的需求并且不断创新开拓未来。

文章原载于：
<http://camstar.industrysoftware.automation.siemens.com/cn/industries/semiconductor-manufacturing/>

与时俱进： 从硅到 SiC 的缺陷检测

Lasertec 公司是一家有着几十年历史的半导体设备供应商，公司一直致力于优化它的 SiC 检测分析设备，用来确认和减少半导体材料中各种类型的缺陷。

YUJI ASAKAWA, LASERTEC

化合物半导体产业走过了二十多年的发展历程，然而，坐落于日本横滨新区的 Lasertec 公司却已经有着 55 年的发展历史。从 1960 年以来，我们就一直致力于为半导体、化合物半导体、可再生能源和平板显示器等高新技术产业提供服务。

Lasertec 公司的创建者是 Yasushi Uchiyama，他是一位有着丰富创造力的创业型工程师。一开始公司是以 Tokyo ITV 名义为松下电器的 X 射线相机进行图像部分的设计和改进工作。在 1962 年，公司的名字改为 NJS (Nihon Jido Seigyo – Japan

Automatic Control)，成为了一家独立的公司。

自从 Lasertec 公司创建以来，我们一直遵循着公司创始者的理念，那就是每年都要研发并向市场投放一款新的设备产品。因为有了这种理念的指引，我们公司已经研发了很多重要的设备，帮助世界众多科学家和工程师们来解决他们的实际问题。

我们在 1976 年取得了一个重大的突破，研发并推出了世界上第一款光刻掩模板的缺陷探测系统。很快，这个系统就在日本取得了商业上的重大成功，而且在 1978 年我们开始接受该系统的海外订单。由于全球对该系统的安装需求不断的增加，需要我们公司在全球范围内扩大规模，之后我们公司就在美国成立了三个办事处，它们分别位于加州、纽约和德州。

在 1986 年，我们又研发了另一款创新性的产品——彩色激光显微镜。这款产品卖得相当火爆，直接促使了我们公司更名为 Lasertec。在那个年代，Laser (激光) 这个词具有未来主义的含义，所以一个有着前瞻性技术规划的公司选择这个名字是十分贴切的。

从那以来，我们继续研发了很多具有创新性的设备产品系列。在这段时间中，我们致力于研究那些可以改变世界的技术，这个信念指引着我们做出了很多的成果，其中就包括集中我们公司的大部分资源所研发的化合物半导体设备，例如应用于 SiC 的检测设备。SiC 是一种制备大功率半导体器件的材料，它能够极大地提高功率半导



体器件在数字电路系统中的工作效率。因此，高质量的 SiC 外延层晶圆在功率器件产品的供应链中扮演了一个十分重要的角色。

在高质量 SiC 晶圆的大规模生产中，减少缺陷是其最重要的工艺因素之一。在研磨和外延生长工艺中经常会产生这些缺陷，对它们进行迅速和准确的探测并将其准确分类是非常重要的，因为它们会损害到器件的性能。通过在早期工序中去除这些致命性缺陷，高质量器件的大规模生产才会有保障。这些缺陷可能会有很多种存在形态，包括在晶圆表面的划痕和外延缺陷，还有与结晶相关的缺陷，比如在外延层中的基础面的位错和堆垛层错等缺陷。

在 2009 年，我们推出了 SiC 检测分析仪 (SICA)。从那以来，我们就一直在对该仪器进行持续的改进，使其在缺陷检测、复查和分析上能达到最先进的水平。

SICA 是值得我们去大书特书的一个成功的设备产品，目前全世界都存在着它的身影，由于这个仪器可以提供高分辨的缺陷图像，而使其自动缺陷分类可以做到非常的精准。

SICA 能够探测到很多种缺陷，包括胡萝卜

状、三角状和陷落状等缺陷，如图 1 (a) 所示。用我们仪器的缺陷探测功能就可以在工艺加工过程中对这些缺陷进行监控，这样就可以发现基底中缺陷和外延层中缺陷间的相互关系，如图 1(c) 所示。

现在我们正在研究以光致发光为基础的一项检测技术，这项技术将能使探测晶体缺陷的输出信号强度有了明显的提高。

通过将这项新的探测技术与现有的表面缺陷检测手段相结合，SICA 将会成为现有市场上最为快速，最为简便的进行缺陷探测及其根本原因分析的一种仪器。我们已经在新的光致发光技术上取得了很大的进步，最近在氢氧化钾腐蚀工艺后进行的检测实验证明了这项光学探测技术具有精确检测基面缺陷和堆垛层错缺陷的能力，如图 1 (d) 所示。

我们的成功历史记录了我们研制检测仪器上的光辉历程，使得众多的工程师能制造出高良率的优质器件产品。SiC 必定是一种会对功率电子产业产生巨大影响的材料，我们在检测仪器上的工作可以提升其生产的良率，并可使新的 SiC 器件要比现有的硅器件更具竞争力。Sc

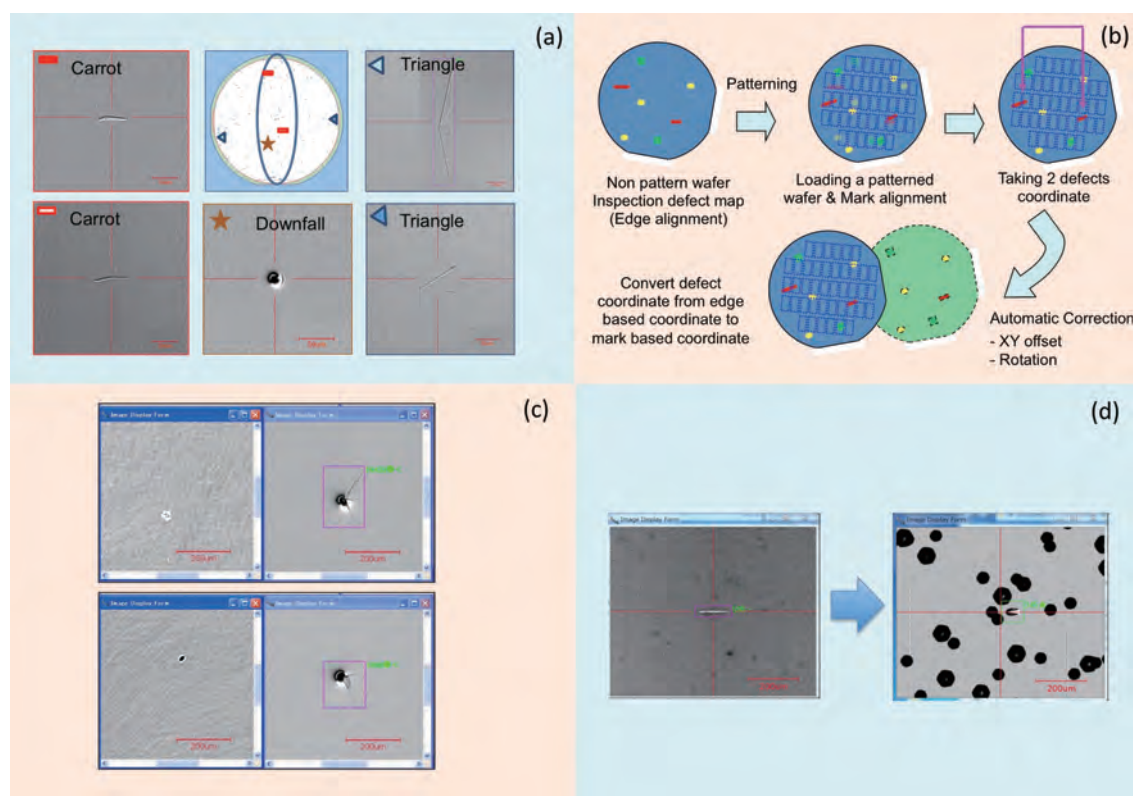
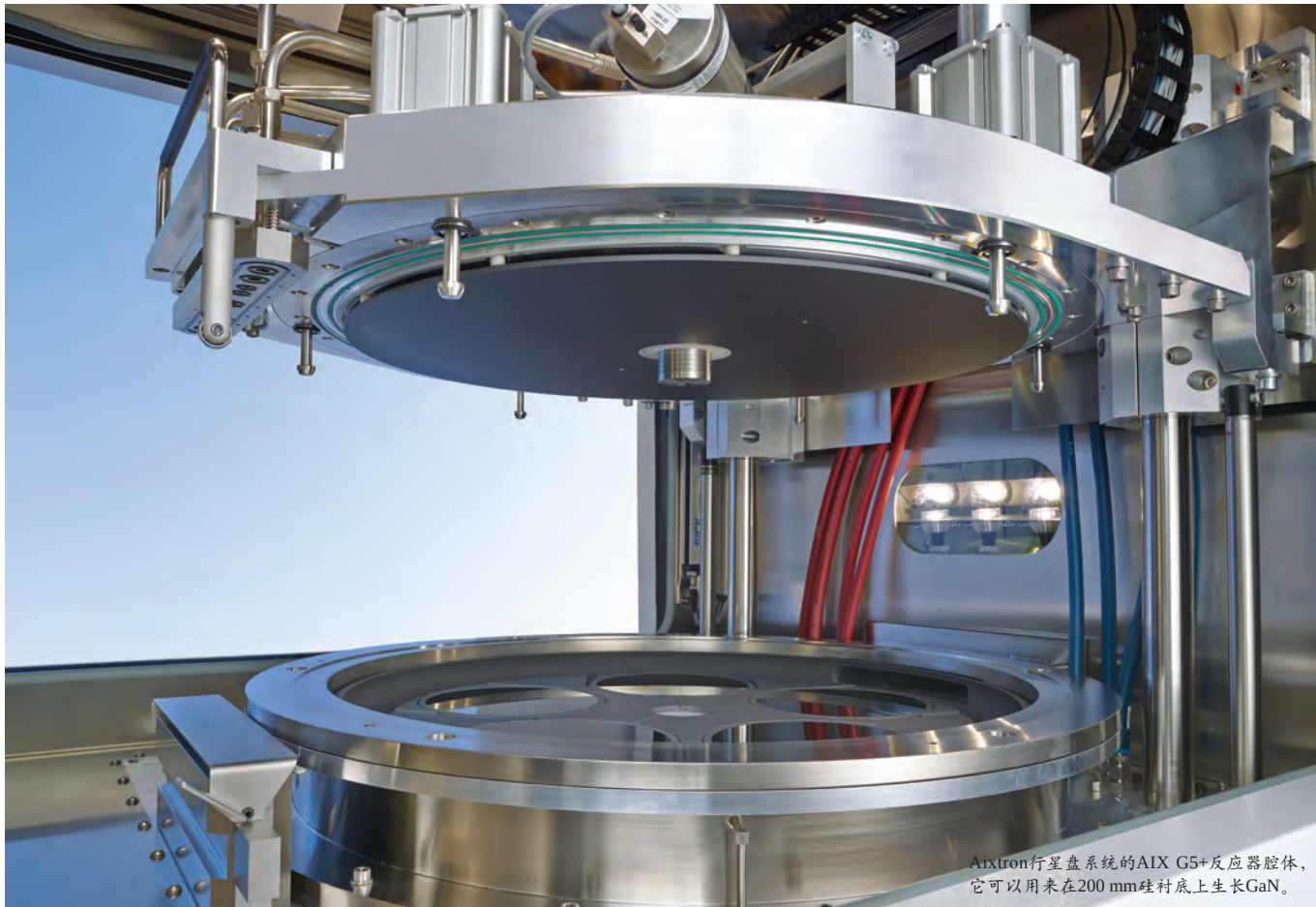


图1: (a) SICA可以探测很多类型的缺陷，包括胡萝卜状、三角状和陷落状等缺陷。(b) 通过对由图形本身和/或其分布密度所造成的对准偏差进行补偿，SICA的缺陷跟踪功能可以对随机缺陷实现精确的定位。(c) 用缺陷探测功能SICA发现的真实样品上的缺陷。(d) SICA的光致发光探测技术可以发现用氢氧化钾进行刻蚀工艺后的缺陷。



Aixtron行星盘系统的AIX G5+反应器腔体，
它可以用来在200 mm硅衬底上生长GaN。

改进 MOCVD 反应器 来削减芯片成本

新型 MOCVD 自动化反应器设备能容纳更多的晶圆并具有原位清洗功能，可降低大功率宽禁带电子器件的生产成本。

CHRISTOPH GIESEN, MICHAEL HEUKEN; Aixtron 公司

电子系统的设计师十分乐意采用新的芯片技术——只要产品不会因采用这些先进元器件而增加系统总的材料成本，但不幸的是，当今的实际情况并非如此。不过现今在 GaN 与 SiC 二极管和三极管上的这种弱点正在被克服，在 Neuland 项目的支持下，宽禁带半导体器件的竞争力正在增强。Neuland 项目执行时间是从 2011 年到 2014 年，由联邦德国教育和研究部（BMBF）

提供 470 万欧元基金的支持，其参与者包括有 Infineon 技术、Aixtron、SiCrystal AG 和 SMA 太阳能技术等公司。

这个 Neuland 项目采用了两条交叉的开发途径来达到它的目标：一是改进 SiC 技术，其目标是通过提升材料的质量来降低成本，最终在良率上取得跨越式的提高；二是开发一种基于高阻塞电压 GaN 层的全新大功率电子技术，该 GaN 层

Book your place at the

CS International Conference

Tuesday 1st & Wednesday 2nd March 2016

The compound semiconductor industry is developing and manufacturing new devices that will help to shape the world of tomorrow.



This industry is currently debating a handful of key questions: -

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

To know what the leading industry insiders are thinking about these important issues, make sure you attend CS International.

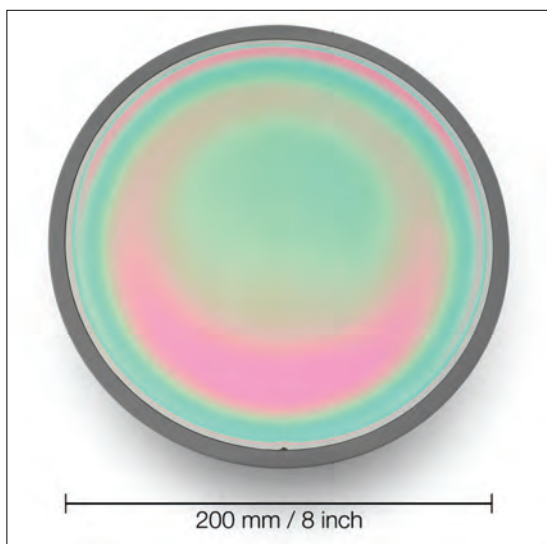
Book your place NOW!

Sheraton Brussels Airport Hotel, Belgium

Register: www.cs-international.net

CS INTERNATIONAL
CONFERENCE

Connecting, informing and inspiring the compound semiconductor industry



利用5×200 mm的AIX G5+ 系统生长的外延晶圆。

是生长在200mm硅晶圆上，这是一种相对低成本的大尺寸的衬底材料。这两种不同的技术路线用一个相同的目标联系起来，即是要制造出二极管和倒相器的原型器件，它将可以在高达1500V阻塞电压和10A电流下工作，具有基本无损耗的开关性能。

位于德国Aachen的Aixtron公司，在Neuland项目中所扮演的角色是开发MOCVD技术，应用于功率电子器件GaN基HEMT外延结构的工业化生产。我们已经成功地完成了这项挑战，我们制造了一种多晶圆的MOCVD反应器，它将具有业界领先的产量以及拥有非常长的正常运行时间，这主要归功于它所具有的原位清洗技术和高度自动化。

在硅晶圆上外延生长

由于缺乏大尺寸的低成本同质衬底，使得GaN HEMT的制造通常都是在异质衬底上进行外

延生长。尽管蓝宝石衬底广泛用于GaN LED的制造，但是它并不适用于功率器件，这是因为其热导率很低，并且在生长过程的高温下会产生弯曲。值得令人注意的一个现象是，尽管只是在预生长的加热过程中，150mm衬底晶圆的边缘部分（相对于反应器平面）就可能就会有几个毫米的翘曲，有时甚至会产生开裂。

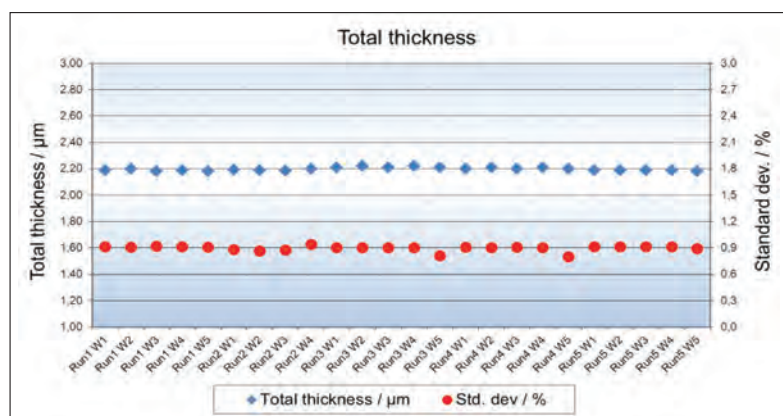
与此同时，虽然SiC材料可以具有很高的热导率，但是其应用受到了晶圆尺寸和昂贵成本的限制。因此，选择硅晶圆作为衬底来开发GaN HEMT的原因是十分显然的。在这个平台上的技术成熟、质量优异，并且其晶圆直径可以做到大至300 mm，同时能够提供与GaN可比拟的热导率数值。

然而，尽管有这么多良好的特性，硅晶圆并不是一个完美的衬底材料。由于硅衬底与GaN层间在热膨胀系数和晶格常数上存在有显著的差异，其生长过程是十分具有挑战性的。这种差异就是导致在材料内部产生应力的元凶，这些应力是在生长过程当中积累起来，并且会导致晶圆片的翘曲问题。一旦晶圆不再能与衬底基座的平面保持完美的接触，就会由于不均匀的温度分布而引发问题。更为糟糕的情况是，这种问题随着晶圆衬底尺寸的增大而被放大，甚至在晶圆冷却时就会产生开裂。

硅上GaN LED的生产者也面临同样的情况，但是他们至少不需要去处理AlGaN薄膜中由于高浓度铝所引起的问题。在三元和四元材料当中增加铝的含量会在材料中引入更高的应力，同时也会增加铝和氮源之间的预化学反应。这种寄生的反应是应该极力避免的：它会影响到工艺的效率，并且会引入不均匀的损耗分布，进而引起在衬底不同区域材料组分上的变化。除此之外，它们还可能成为反应器腔室中颗粒的来源。尽管如此，我们已经解决了上述的各种问题，已经有可能用于Neuland项目所要求的AlGaN基HEMT的制造。

为了使这些HEMT能与硅基的同类产品进行竞争，需要尽可能地压低制造成本。外延生长工艺占据了芯片制造成本中相当大的比例，为了削减这部分成本，我们尝试增加多晶圆反应器的容量，并且改进了生长工艺以适应硅晶圆衬底的直径从100 mm增加到150 mm、直至200mm。

在这个方向上的工作包括了一种可容纳56片2英寸晶圆的行星盘式反应器，它是在我们42



规模生产中批次-批次间的稳定性：使用了相同HEMT工艺菜单，在5片晶圆满载状态下各加工批次的厚度均匀性。

片 2 英寸晶圆（或者 $11 \times 100 \text{ mm}$ ）反应器的基础上进行开发的。这个反应器也可以同时容纳 14 片 100mm 直径的晶圆，或者 8 片 150mm 直径的晶圆，或者 5 片 200mm 直径的晶圆。由于缺乏高质量工业标准的 2 英寸硅晶圆，我们以直径 100 mm（4 英寸）的晶圆作为起点来研究我们的 HEMT 生长工艺，之后再推进到 150 mm 和 200 mm 直径的晶圆。

Neuland 项目在该设备硬件上的改进工作包括有：对晶圆基座、废气排放收集器（流体动力学），气体入口（液体动力学、均匀性和效率）和腔室内壁（颗粒和温度管理）进行优化。我们还开发了一个新的晶圆基座设计方案，可以兼容放置 8 片 150mm 直径的晶圆或者 5 片 200mm 直径的晶圆。而且他还能与自动化设备相兼容，保证了在整个大尺寸硅晶圆衬底范围内都有着极其均匀的温度分布。

这项工作还包含开发用于 150 mm 和 200 mm 晶圆的特殊气体入口，以确保在晶圆上实现三元和四元材料极为均匀和可重复性地沉积。由于采用了这种新的气体入口，明显地扩展了高质量材料沉积的工艺窗口。

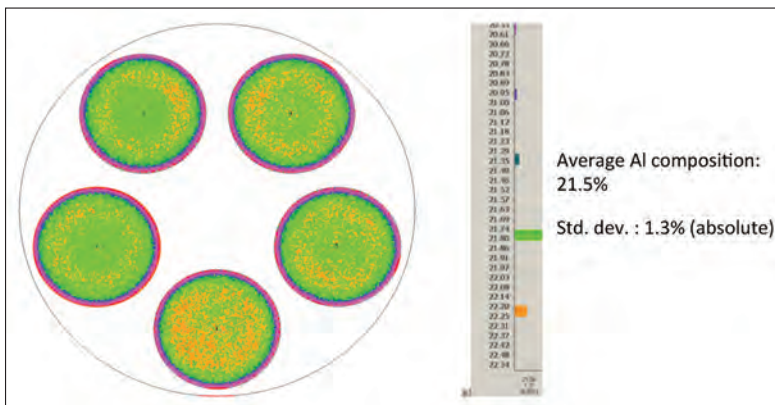
除此之外，我们做出的另一个主要突破是对反应器内部腔室材料的质量实现了优化，减少了腔室内颗粒的生成以及延长了整个系统的无故障工作时间。

我们将所有针对反应器设计的改进进行了仿真模拟，可以更清晰地认识新设计对沉积工艺的影响。如果因这些改进得到的结果是正面的，就可以制造出经优化设计后的设备部件，并且将它集成整合到现有的系统中去，以实现工艺质量的改进。

我们同时还开发了一个经改进后的化学模型来描述铝基氮化物的外延生长。这个模型考虑到了可能在 MOCVD 腔中所发生的寄生气相反应过程，并且利用一个翔实的实验数据库来揭示 AlGaIn 的化学行为不仅受到通常的考虑因素，比如温度、源气体偏压等的影响，还会受到反应器的设计和外延工艺本身的影响。在模拟结果的指导下，我们可以加速优化我们反应器的整个设计过程。

优化温度分布的均匀性

均匀的温度分布对于实现高质量的外延生长



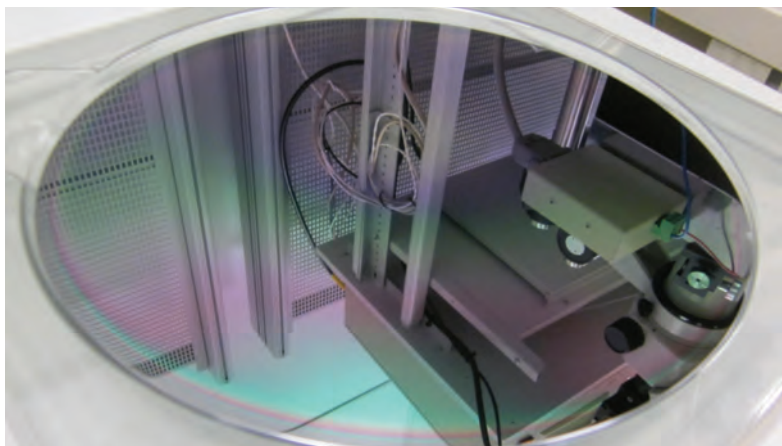
在200mm硅晶圆上生长GaIn基HEMT结构，其中AlGaIn势垒层元素浓度分布的均匀性。

是至关重要的。为了在这方面达到卓越水平，我们模拟了在生长室中不同反应器部件对于温度分布所产生的影响。在实验室中根据模拟结果来优化部件的设计、制造和测试。通过优化装载晶圆行星基盘的设计，我们可以达到减少温度偏差这一目标，但是在卫星盘与卫星盘间的温度差异还可能会超过设计要求。为了满足这一要求，我们随后开发了一种能够在原位实时调节温度偏离的技术，使得我们能够实现在所有卫星盘间温差只有 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的设计要求。

利用这项经改进后的温度均匀化技术，我们在 150mm 衬底晶圆上使用了上述优化技术来制备 HEMT。所制得的外延片具有极其优越的性能，无论是在晶圆的垂直方向还是在水平方向，所测得的薄层电阻和击穿电压都可与在较小反应器中制备的商品化晶圆相当。

如果从另一个角度，也即从 Neuland 项目所设定的目标来评价的话，这些外延片同样也是成功的。对于 HEMT 要达到 $1600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 的迁移率和 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 的薄层载流子浓度这一目标来说，不仅如期可以在 100 mm 衬底晶圆上实现，在 150mm 衬底晶圆上同样也可以达到。我们同样可以制作未经钝化加工的样品，其平均电子迁移率为 $1700 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}^{-1}$ ，载流子浓度为 $1.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ ，还可以制作没有裂纹、厚度为 $6 \mu\text{m}$ 的高电阻率 ($>105 \Omega/\text{sq.}$) 缓冲层结构。把经优化设计后的反应器、外延工艺和缓冲层结构相结合，我们就可以制备出 200mm 直径的外延晶圆，其弯曲度小于 $50 \mu\text{m}$ 。这对于硅晶圆生产线而言已经是足够平整的了。

为了保证这种外延晶圆的制造成本具有足够的竞争力，我们同样需要关注设备的生产吞吐量问题，例如维护和故障修复所需的时间等。这就

200 mm硅上Ga_N HEMT 外延晶圆。

会要求增加设备的自动化程度，来提高加工制造的效率。原位实时清洗技术对于有效的自动化设备而言是一个基本要求，我们将会在 Neuland 项目的进行期间和完成之后都在这方面开展工作。

原位实时清洗所带来的回报远远不只是增加了设备的自动化水平。通过它来保证每一个外延生长周期都有一个相同条件的起始点，就可以保证生长过程有着更好的重复性和更高的良率。除此之外，原位实时清洗可以减小在生产批次间更换设备部件的需求，由此可减少工艺循环的时间并且可消除可能会存在的操作错误。设备备件的成本以及工艺中的颗粒物数量都将会有下降。

G5 反应器系列

我们利用了 Neuland 项目成果来提高我们 G5 设备产品系列的性能，尤其是 AIX G5+ 设备的性

能。这个反应器的行星盘系统可以同时容纳 5 片 200mm 晶圆，它于 2012 年 7 月发布，至今仍然是硅上 Ga_N 功率电子器件进行生产的标准设备。

与此同时，我们在 Neuland 项目当中获得的经验能使我们来改进 G5 反应器腔室的热壁系统，这个系统是专门为 SiC 外延而设计的。这个反应器可以同时处理 8 片 150mm 晶圆，并且具有最大的晶圆生产吞吐量、最短的工艺循环时间以及最低的维护成本。

我们对反应器设计和工艺的改进并没有随着 Neuland 项目的结束而停止，如今它已经成为由欧盟资助 HiPoSwitch 项目的一个组成部分。这个项目的目标在于发展用于功率转换器中的 Ga_N 基常闭型大功率开关晶体管，包括寻找提高 MOCVD 设备的生产能力及其效率的可能发展途径。

通过 HiPoSwitch 和 Neuland 项目的支持，我们分三步来开发一个全自动的 MOCVD 设备，可以容纳 5 片 200mm 晶圆。首先是通过优化反应器的腔体来优化 200mm 晶圆上的外延生长工艺；之后是引入和优化之前已开发的反应器原位实时清洗技术来减少各生长批次间的维护时间；最后是实现片盒对片盒的全自动晶圆操作，最终制造出了可用于 HEMT 工艺的先进生长设备，并已通过了验证。

归功于上述这些进展，这种反应器设备及其用于 SiC 生长的变型设备已经成为当前功率器件大规模生产中最为先进的设备系统。☞

新款带硅树脂透镜和陶瓷底的高功率 UV LED 具有极长使用寿命

Vishay Semiconductors 日前推出带有硅树脂透镜的新系列陶瓷底、高功率 UV LED 的首批两颗器件 ---VLMU3500-385-060 和 VLMU3500-385-120。这两颗器件的主要特性包括：使用寿命非常长，采用小尺寸 3.5mm x 3.5mm 表面贴装封装，具有可靠、节能的优点，可取代汞灯，用于医疗、工业和印刷应用。

VLMU3500-385-060 和 VLMU3500-385-120 使用硅树脂透镜，使用寿命远远超过典型的汞灯。环境友好的 UV LED 不含重金属，具有良好的耐冲击能力，不会因频繁的开 / 关切换而劣化，提高了可靠性。

VLMU3500-385-060 和 VLMU3500-385-120 器

件采用 InGa_N (镓氮化物技术) 制造，500mA 和 700mA 下的典型辐射功率为 780mW 和 1037mW，波长范围在 380nm 和 390nm 之间。VLMU3500-385-060 的发射角为 60°，VLMU3500-385-120 的发射角为 120°。这些器件在 700mA 下的辐射强度分别为 730mW/sr 和 390mW/sr。

新款 LED 的规格使其非常适合美甲、牙科和海报印刷应用中的紫外固化，血液和假钞检测，以及光催化净化。VLMU3500-385-060 和 VLMU3500-385-120 符合 RoHS 和 Vishay 绿色标准，无卤素，可采用回流焊工艺，潮湿敏感度等级达到 J-STD-020 的 2 级。

常关型 HEMT 的一个突破

嵌入式集成一个肖特基二极管可以得到高性能的常关型 GaN 基 HEMT。

一个来自韩国的科研团队在 AlGaIn/GaN HEMT 上增加了一个二极管来制造低成本、高性能的常关型 HEMT。

这种器件是 GaN 基 HEMT 的一种新形式。由于 HEMT 结合了高速开关和极高击穿电场两大特性，这类器件在功率电子学领域有着广阔的应用前景。

这个韩国团队所开发器件的一个优点是它是常关型的，这赋予了 HEMT 安全的操作特性。由于在 AlN 和 GaN 界面极化会产生二维电子气，使得 GaN 基 HEMT 一般倾向于采用常开型。

根据文章的通信作者，来自 Honik 大学的 HoYoung Cha 的说法，有一些研究团队对 GaN 基 HEMT 器件进行了调整来制作常关型 HEMT，所采用的方法包括有氟处理、或者是引入凹栅或 p 型栅，然而这些调整都会对晶体管的电流密度产生限制。

他强调说，想要实现常关型高电流密度的 HEMT，除了上述的调整方法之外，唯一的替代方案就是将一个常开型 HEMT 与硅的 MOSFET 进行配对。MOSFET 以共源共栅方式连接，充当了开关作用，然而使用两个器件来形成常关型 HEMT 无疑会增加成本。

这个韩国团队所开发的器件中还包括有一个肖特基势垒二极管，它是嵌入在具有 MOS 栅常开型 HEMT 的输入端位置。

嵌入式二极管外接一个电容就可以将输入信号电平下移，使具有负阈值电压的常开型 HEMT 可以像具有正阈值电压的常关型 HEMT 一样工作。

Cha 表示：“二极管的嵌入式集成并不会增加成本，因为它几乎不需要额外的空间或者加工工序”。他还补充道，唯一需要增加的工序就是要在器件上增加一个电容器。

“如果一个芯片的电容是集成在功率器件的封装中，而不

是以单片集成形式制作的电容，那么它的成本要远远低于硅 MOSFET。因此，从成本控制的角度来看，我们的方案比共源共栅方案要更好”。

工程师是用 GaN/Si 外延晶圆来制备器件，采用了 p 型导电衬底，之上是 3.9 μm 厚的碳掺杂 GaN 缓冲层、0.4 μm

厚的 GaN 沟道层、20 nm 厚的 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ 势垒层，以及 2 nm 厚未经掺杂的 GaN 层。通过刻蚀形成有源区之后，利用酸和溶剂清洗晶圆，之后装入等离子体增强 CVD 生长室来生长 30 nm 厚的 SiO_2 层。

在刻蚀出欧姆接触区之后，再淀积一个金属叠层并且进行退火，然后进一步刻蚀出肖特基接触区。

采用一个 Ni/Au 叠层来形成肖特基二极管的正极，之后通过在氧气气氛中 400 $^{\circ}\text{C}$ 温度下退火 20 分钟以提升氧化层和界面的质量，最后再加入一个场板来抑制陷阱效应。

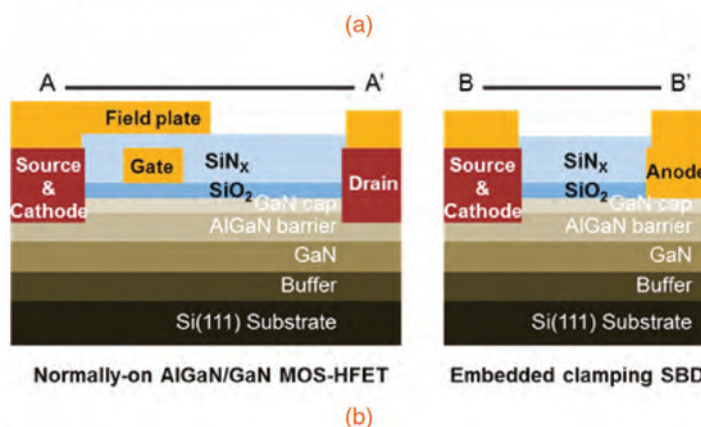
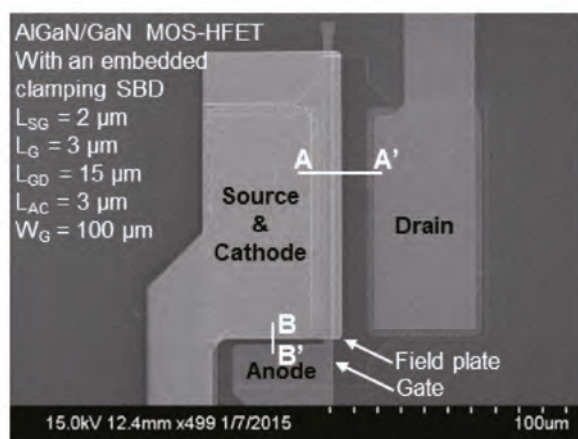
对这种新型的 HEMT 的伏安特性测试显示，其

关态击穿电压超过 900V，开态电阻为 2.34 $\text{m}\Omega/\text{cm}^2$ ，栅阈值电压为 -14V，零栅极电压下的最大漏极电流密度为 600 mA/mm 。这个电流密度几乎是其它常关型 HEMT 结构的两倍，无论它们是经过了氟处理，还是引入凹栅或者 p 型栅结构。

将一个电容与 HEMT 连接可能会引发对高速高频开关能力退化的担忧，这有可能会影响这种器件来取代现有硅基器件的进程。

Cha 对此做出回应：“只要电容在开始状态下就已经充电，这种箝位电路并不会限制开关的频率特性，只要这个电容还没有放电”。

S.-W. Han et. al. Appl. Phys. Express 8 091001(2015)



采用 ScAlMgO_4 衬底的 LED 将更为明亮

将蓝宝石衬底改换成为 ScAlMgO_4 衬底，它能在降低内部应力的同时来增加 GaN LED 器件的光萃取效率。

尽管蓝宝石衬底已经被视为制造多种 GaN LED 的合适基材，但它的缺点也很明显：在它和外延层之间存在着过高的晶格和热失配，从而会导致出现高的位错密度、外延晶圆的弯曲和严重的残余应变。

为了解决这些问题，来自日本京都大学的研究组改用 ScAlMgO_4 衬底来制造 LED， ScAlMgO_4 的基材可以用我们熟知并广泛使用的 Czochralski 方法来制备，这种方法常用于制造各种类型的化合物半导体晶锭，切割下来这种基片和 GaN 的晶格失配只有 1.8%。

对于制造 LED 而言，这并不是 ScAlMgO_4 相比于蓝宝石材料的唯一优势，它在 196nm 波长以下是透明的，所以可以用来制造可见或者紫外 LED， ScAlMgO_4 材料具有较高的相对折射率，能够提高对光的萃取效率。

GaN 和蓝宝石的标准折射率分别是 2.56 和 1.77，它们在折射率上的巨大差异意味着由 LED 活性区发光的大部分都将消耗在器件内部的各种内反射过程中。但是在以 ScAlMgO_4 为衬底的器件很少会产生这种问题，因为我们根据椭圆偏振光谱仪测得其折射率只有 2.2，根据这个折射率数值的计算结果预示，采用 ScAlMgO_4 来代替蓝宝石衬底可以将器件的光萃取效率从 28% 提高到 49%。

ScAlMgO_4 相比于蓝宝石的另一个优势是它的热膨胀系数更加接近 GaN 材料，这一特性可以减少 LED 器件内部的压应变，从而减弱了偏振场，增加了关键发光层的厚度。为了在实际器件中来证明这种理论上的优势，来自京都大学的研究人员将在 ScAlMgO_4 衬底上制作的 LED 与在蓝宝石衬底上制作的 LED 进行了器件性能上的对比。

ScAlMgO_4 上 $4\mu\text{m}$ 厚 GaN 层的发光波长要比蓝宝石上 $3\mu\text{m}$ 厚 GaN 层的更长，说明了前者具有更小的残余应变。通过反射光谱来测量激子的能量就可对这种应变进行量化，结果显示由应变所引起的波长蓝移减小了一个数量级。

将这些测量数据进行计算后发现相比于蓝宝石衬底，在

ScAlMgO_4 上生长的 GaN 能够使 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 关键层的厚度增加 10%，它所对应的偏振感应场强度也将减少了 10%。

在 ScAlMgO_4 衬底上生长 LED 结构，它包含有一个低温生长的缓冲层、一个 $4\mu\text{m}$ 厚的 Si 掺杂 GaN 层、一个厚度为 3nm 具有三周期的 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 多重量子阱、一个 10nm 厚的 $\text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}$ 阻挡层、一个镁掺杂的 P 型 GaN 层和一个

20nm 厚的重掺杂的 GaN 包封层。器件的尺寸为 $350\mu\text{m} \times 350\mu\text{m}$ ，是利用传统光刻技术和反应离子刻蚀的方法来制备，之后再利用真空蒸镀的方法沉积一个 n 型的 Ti/Al 电极层和一个 p 型的 Ni/Au 电极成层。

研究小组将这种 LED 的性能与蓝宝石基 LED 进行了比对，除了

在 n 型 GaN 下方增加了一层 $3\mu\text{m}$ 厚未经掺杂的 GaN 之外，其他条件都相同。

电压 - 电流测试表明对采用 ScAlMgO_4 衬底的 GaN LED 来说，它的开启电压为 3V，要比对比器件高出 0.2V，这是因为相比于蓝宝石衬底上 GaN LED 的 18Ω 串联电阻， $\text{ScAlMgO}_4/\text{GaN}$ LED 的串联电阻要更大一些，可以达到 50Ω 。较高的电阻值是因为缺少了并非有意掺杂形成的 n 型 GaN 下部层。

利用一个脉冲光致发光测量发现，在 100mA 驱动电流下，生长在 ScAlMgO_4 衬底上的 LED 的发光强度比生长在蓝宝石上 LED 器件高出 40%。在低驱动电流区域，两种 LED 的发光强度基本上都和电流线性相关，但是在高驱动电流区域，生长在 ScAlMgO_4 衬底器件效率会低一些。

研究人员认为， ScAlMgO_4 材料的热导性很差，要比蓝宝石低四倍，而高的输入功率需要达到既定的电流强度数值，这两方面因素的结合使得 ScAlMgO_4 衬底上器件在高驱动电流区域的效率会降低，但是改为倒装芯片结构就能够解决这个问题。

T. Ozaki et. al. Appl. Phys. Express 8 062101(2015)



模拟表明电子泄漏不是 LED 光效下降的主因

对在不同温度下 LED 的发光效率进行模拟，排除了电子泄漏是其光效下降的主要原因。

氮化物研究界讨论最为激烈的议题是：什么是造成 LED 发光效率下降的主要原因，以及谁是高驱动电流下 LED 光效下降的幕后推手。

如果只考虑一种机理，可以用一种简单模型来尝试和确定电子泄漏和俄歇复合哪一个导致光效下降的主因，但此方法并不成功。采用更为复杂的模型也不能起到作用，因为对于模拟计算的一些材料特性参数还不是太清楚。

但是根据来自 NUSOD 的 Joachim Piprek 的理论，在考虑到温度变量的条件下，就能够找出产生光效下降的主要原因。在不同温度和电流下来模拟蓝光 LED 的效率，他总结道：“我可以百分之百确信这些蓝光 LED 的光效下降并不是由电子泄漏所引起的”。对 LED 在 25℃ 和 150℃ 下的性能都可以进行模拟，然而该模型还是考虑了俄歇复合这一因素。

Piprek 是用 Crosslight 公司的 APSYS 软件来对 LED 的性能进行模拟。这个软件能够计算半导体的载流子的输运方程，该方程与一个描述应变 InGa_N 量子阱光子发射的量子力学模型相关联。

在 Piprek 的模拟中采用了两种不同的材料参数：一种是偏重于由量子阱产生的电子泄漏，另一种则将重点放在了俄歇复合上，这两种条件可以通过改变俄歇复合系数和电子阻挡层中的受主密度而进行实际使用。

这位来自 NUSOD 的学者非常清楚：在这两个参数上还存在着不确定性。他在文章中指出：

转变成 AlGa_N 受主的原子比例现在还不清楚，而且关于俄歇复合系数的数值还有很大的不确定性。

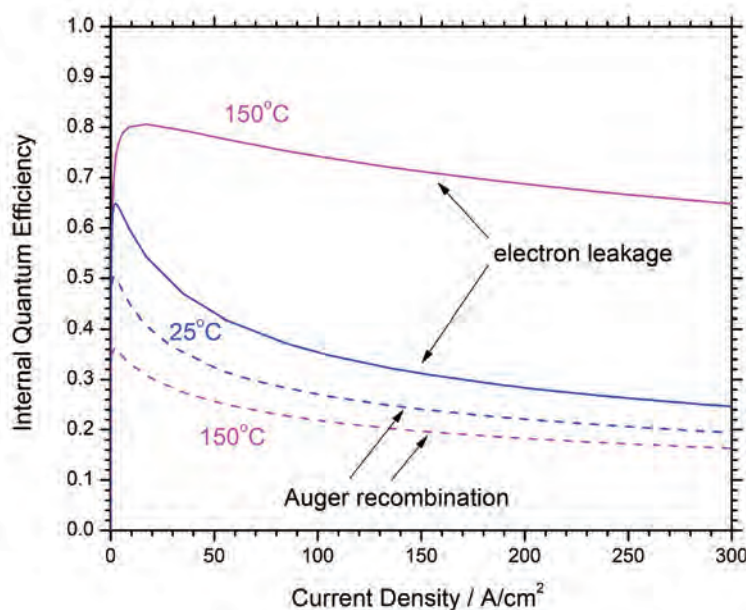
他把他的计算的结果与来自 PRI 的 Fred Schubert 的团队对 440nm 波长 LED 的测量值进行了对比。这个在 2008 年报道的实验采用的是一个由 3nm 厚的 InGa_N 量子阱和一个由 p 型 Al_{0.13}Ga_{0.87}N 电子阻挡层构成的器件。

Piprek 选择了这个实验数据和他的模拟结果进行对比，这是因为这个实验有着电流 - 电压特性曲线和高温下内量子效率的数据。他说：“我开始很重视 I-V 特性，但实际上这样做并不会产生决定性的差别”。

当 Piprek 假设了大多数的镁原子已经成为 AlGa_N 受主时，即在事实上阻止了电子泄漏的产生，他可以复制 LED 的效率曲线来作为室温下的电流密度函数。但是当他在减少受主密度和俄歇系数之后，测量所得到的器件性能仍然有着

良好复制性。所以得到的结果是：在这种状况下，他不能消除任何一种可能导致光效下降的主要原因。

考虑了 LED 效率会随着温度的升高而改变这个因素之后情况就发生了变化。模拟显示：当处于更高的温度时，电子泄漏就会下降，因为此时空穴的输运得到了增强。所以，如果电子泄漏是光效下降的原因，那末在温度升高时



LED 将会具有更高的效率，但是根据器件的实际测量结果，其结果正好相反。

与之形成鲜明对比的是，如果以俄歇复合为主进行模拟的话，很明显能看出 LED 的效率在低温时是下降了。当温度从 25℃ 增加到 150℃ 时，模拟结果显示其效率会从其最高值下降 30%。这种差异可以用俄歇系数随着温度升高而降低，或者热离子发射泄漏贡献的减小来给予解释。

Piprek 将量子阱中的俄歇复合效应描述为“强得令人震惊”，并且很想看到在直接探究此原因上的工作，但是表示他不会从事这项研究，他争辩道：“其他的课题组有着更好的设备来进行此项研究工作”。

J. Piprek, Appl. Phys. Lett. 107 031101(2015)

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	21
Evatec Ltd.		www.evatecnet.com	13
EV Group		www.EVGroup.com	2
PIC International Conference		www.picinternational.net	1
Semicon China		www.semiconchina.org	IBC
Vistec Electron Beam GmbH		www.vistec-semi.com	9

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 (麦协林)
 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 (麦协林)
 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

SEMICON[®] CHINA

2016年3月15-17日
上海新国际博览中心 N1~N5馆

· 全球最大的半导体产业盛会

· 全球高规格的产业聚会

· 前沿技术的研讨平台

· 全球合作交流拓展商机的理想社交平台

同期活动:
Concurrently with:

- 开幕主题演讲
- 做大做强中国集成电路产业链
- 中国存储器产业发展论坛
- 移动和物联网技术论坛



2016中国国际
半导体技术大会



产业与技术投资
论坛-中国2016



CHINA DISPLAY CONFERENCE 2016
中国显示大会2016
暨亚洲信息显示会议 ASID 2016



LED China
论坛 2016

· 功率半导体研讨会

· 技术改变未来-可穿戴和物联网传感器解决方案论坛

主办单位 Organizer:



手机轻松预注册
赢取礼品

www.semiconchina.org

SEMI 中国 地址: 上海市浦东新区张江高科技园区张东路1158号1号楼2楼 电话: +86.21.60278500 邮箱: semichina@semi.org
北京三达经济技术合作开发中心 电话: +86.10.68715396 传真: +86.10.68489406 邮箱: san-da@263.net

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

