

化合物半导体

CS

COMPOUND
SEMICONDUCTOR · CHINA

2012年8月

LED产能

IHS IMS Research分析全球
LED产能情况

离子束蚀刻

离子束技术在蚀刻工艺中的
主要应用和优势

氧化镓材料

氧化镓挑战传统的宽禁带半导
体材料具有巨大的潜力

白光LED

纳米级的棱锥体结构实现白光
LED的效能突破

III-V 族器件

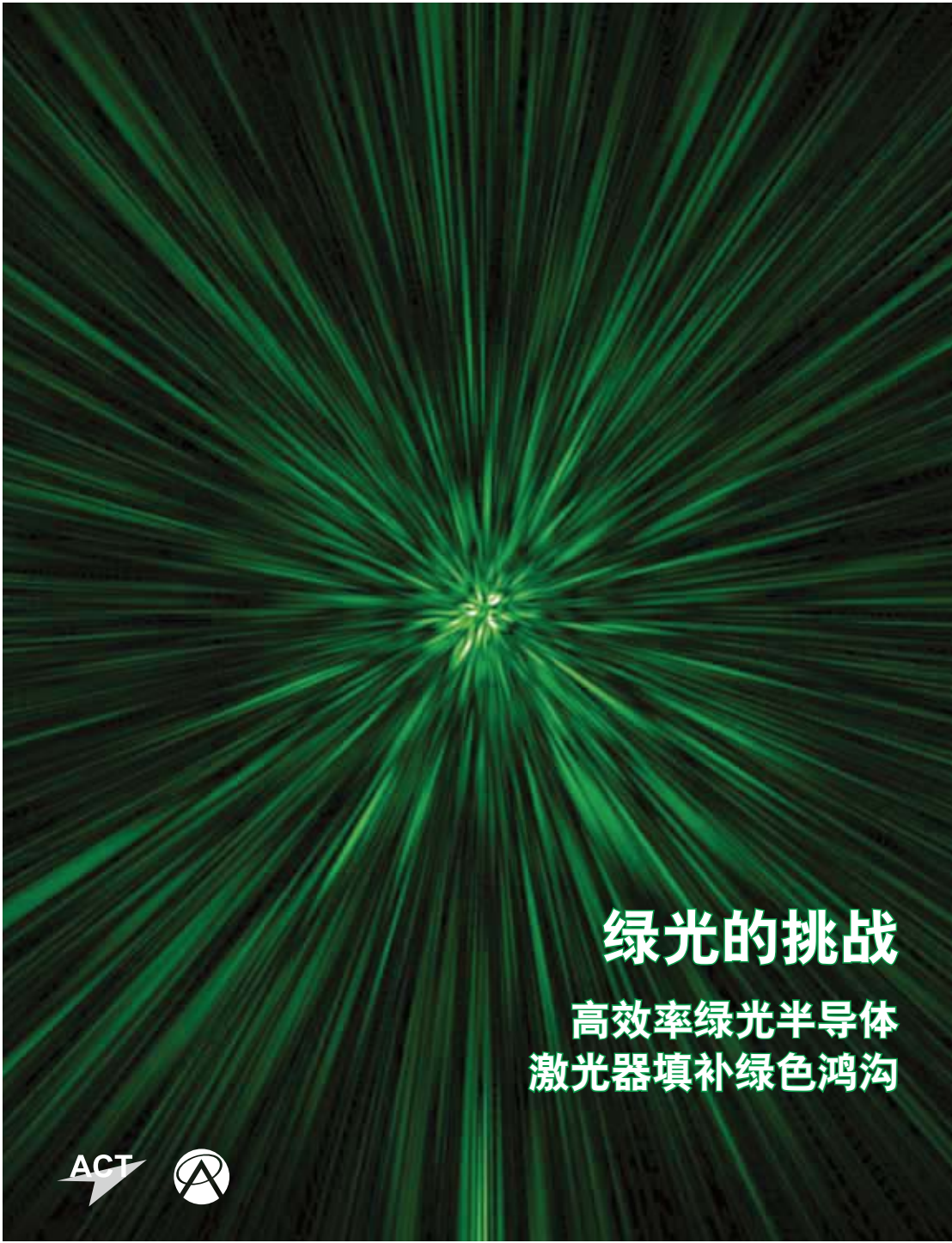
2020年晶圆代工工厂将会从硅
器件转向锗和III-V 族器件

挑战光效下降

电障层分级可以改善光效下降
现象提高GaN LED的性能

氮化硼薄膜

机械方法分离GaN和蓝宝石
衬底层取代目前的蚀刻及激
光剥离方法

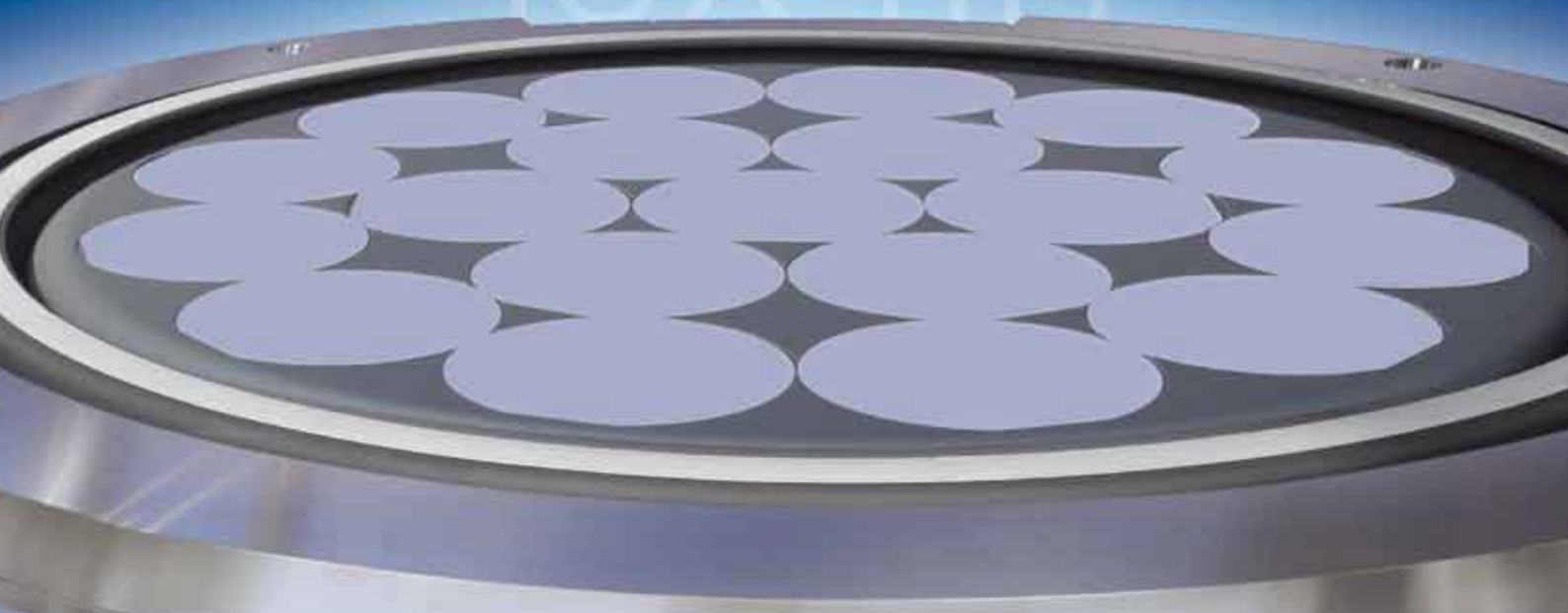


www.compoundsemiconductorchina.net

AIXTRON

Industry's largest and most productive MOCVD Reactor

19x4in



CRIUS® II-XL



- Highest Throughput
- Lowest Cost of Ownership
- Seamless Product Transfer
- 69x2, 19x4, 7x6 or 3x8 inch

ALWAYS *ONE* **AHEAD**

AIXTRON China Ltd. · Rm 1103, Treasury Building · No. 1568 Huashan Road · Shanghai, 200052 · P.R. China
Phone: +86 (21) 6445-3226 · Fax: +86 (21) 6445-3742 · Email: chinainfo@aixtron.com



一个针头可以容纳多少设备？
明天再问我们一次。

35年来，Plasma-Therm不断地缩小可能的极限。我们目前的产品Mask Etcher V[®]可以制造小于32nm的节点，并且也已经瞄准22nm或更小的制程。

无论您想的是新的设计，或要加速生产，或要挑战创新材料，来找我们，我们将为您办到。



Advanced ICP, RIE, DSE™ and PECVD
for R&D to Production

plasmatherm.com
sales@plasmatherm.com
+1 727 577 4999



网址：www.cn.iqep.com



全球领先的 半导体 外延片 制造商

IQE 生产先进的半导体衬底和外延片，并应用于当今高科技领域中。

射频产品：

HBT、pHEMT、BiFET、BiHEMT。

光电产品：

VCSEL，边射型激光器，发光二极管（LED）、
超高亮度发光二极管（UHB LED），
多结聚光光伏（CPV）太阳能电池。

电子产品：

硅，硅锗合金，硅层上覆锗，
MEMS，Sensors。

请立即联系IQE 以获知详情。

IQE二十多年的外延片代工制造经验，将为您 带来独特的竞争优势。

亚太营业部：

电子邮件：nhayafuji@iqep.com

电话：(65) 9138-8526

[代办处: scistar@263.net]

[代办处: (86) 10-689-10068]

封面故事Cover Story

- 15 绿光的挑战
The challenges for going green



GaN绿光半导体激光器与红光及红外III-V族半导体激光器的差别非常大：前者器件中的材料处于应变状态，而且为强大的内部电场及显著的能带偏移所困扰。但如果你能深入理解这些特性并加以利用，就有可能设计出高效率的绿光半导体激光器填补绿色鸿沟（Green-gap）。

- Dmitry Sizov、Rajaram Bhat、Chung-En Zah；康宁公司

技术 Technology

- 20 离子束蚀刻
Ion beam etching

牛津仪器公司对离子束源进行了工艺改进，通过在石英室内放置静电屏，只允许射频磁分量传递能量给气体原子，抑制“容性耦合”，进而主要通过“感性耦合”来电离气体，产生等离子。静电屏除了可以屏蔽射频天线的静电场进入离子源之外，还可以有效防止石英等离子管内部导电层的沉积，避免了射频场产生等离子效率降低。本文主要阐述离子束的产生原理，讨论相对于等离子蚀刻等技术而言，离子束技术在蚀刻工艺中的主要应用和优势。

- Sebastien Pochon 博士、David Pearson 博士；牛津仪器公司等离子技术部

- 25 氧化镓：挑战传统的宽禁带半导体材料
Gallium oxide trumps traditional wide bandgap semiconductors
- 化合物半导体器件都需要使用廉价的同质衬底，但对GaN和SiC来说，简单廉价的方法非常困难。采用Ga₂O₃材料的晶体管相比GaN与SiC基器件而言，电场强度要高得多，而且Ga₂O₃同质衬底的生产成本较低、方法也相对简单。因此具有巨大的潜力。
- Masataka Higashiwaki, 日本国家信息与通讯技术研究所（NICT）

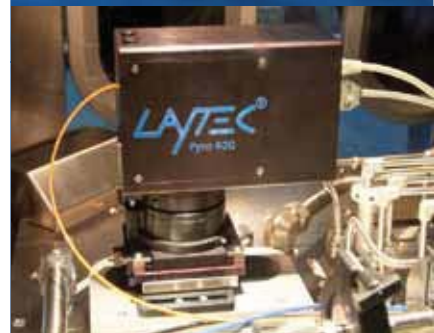
- 28 棱锥结构引领单片式白光LED迈向光明
Pyramids pave the way to monolithic white LEDs
- 传统的白光LED的效能已很难再有提升的空间，但采用一个单片式多重波长光源，取代传统蓝光芯片结合黄光荧光粉的方法，在提升效能上将会有重大的突破，使用纳米级的棱锥体结构便是实现这一突破的一个极佳方式。
- Taek Kim、Joosung Kim和Moonseung Yang；三星公司

- 33 硅器件与III-V族器件发展路线图
III-Vs and the silicon roadmap
- 预计到2020年，晶圆代工工厂将会从硅器件转向锗和III-V族器件。实现这一转变绝非易事，但是研究人员在电介质层、接触电阻、峰值电流、材料质量等方面不断努力寻求突破。
- Richard Stevenson PhD, Consultant Editor of Compound Semiconductor

为LED产能
增加带来质
的飞跃

精确的GaN表面温度控制技术已被证明，是今天能量产出 波长变化在2nm范围内的LED芯片的关键技术。

Pyro400是一款经过了产线验证的设备：
这是唯一一款可以直接测量出GaN在Sapphire 或者SiC衬底上生长时的温度的工具！



完美的在线温度控制技术能帮您实现LED激发波长的控制！

LAYTEC

in-situ metrology

LayTec中国的代理商
佳霖电子上海有限公司
联系人: 張寶曜
电话: 0086-21-68471388
邮箱: boris@challentech.com.cn



MERSEN CARBOSIL™
碳化硅(SiC)镀层石墨托盘
被广泛应用于各类
MOCVD制程中



美尔森先进石墨（昆山）有限公司
联系电话：4001-628-288

MERSEN

市场Market

- 14 LED产能是真的饱和了吗?
Is LED capacity really saturated?
-Dkins Cho, Senior Analyst, LEDs and Lighting, IHS IMS Research; Alice Tao, LED Market Analyst, IHS IMS Research

科技前沿 Research Review

- 36 抑制氮化物二极管的漏电流
Supressing leakage in nitride diodes
- 36 数百万原子QD计量
Multi-million-atom QD metrology
- 37 功能强大而简单的紫外LED
Powerful, simple ultraviolet LEDs
- 38 载流子处理挑战光效下降现象
Carrier manipulation combats droop
- 39 辐射复合饱和导致LED光效下降
Saturation of radiative recombination gets the blame for LED droop
- 40 氮化硼的机械转移
Mechanical transfer with boron nitride
- 41 降低蓝宝石上外延GaN的缺陷密度
Slashing defects in GaN-on-sapphire films

- 6 编者话 Editorial
- 7 产业要闻 Industry News
- 42 产品橱窗 Product Showcase
- 44 广告索引 Advertisement Index

关于雅时国际通讯
ACT国际成立于1998年，为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT国际通过它的一系列产品—包括杂志和网上出版物、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国际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、电子设计、电子制造、污染控制、激光/光电子、光通信、LED技术、射频/微波等领域的十多万专业读者。ACT国际亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT国际总部在香港，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, 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, electronic design, electronic manufacturing, contamination control, laser/photronics, optical communications, LED technology and RF/microwave. 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

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.



与您同舟
共济!

LEDs	半导体
气体及化学品	实验室

你的EPI工艺是在与时间赛跑。为了最大限度地提高良率和吞吐量，LaserTrace 3X可在以下情况下监测H₂O：

- 在大于50托（torr）压力条件下多达4个不同沉积室
- 混合多达4个减压沉积+转移室
- N₂、H₂和HCl气体

检测下限
在大于50托压力条件下为1 ppb

工作范围
0 – 10 ppm

精度
+/- 4%或500 ppt

灵敏度
500 ppt

速度
95% < 3分钟

工作原理
专利CW-CRDS技术（绝对测量；无需校准）

与Tiger Optics一起享受一帆风顺!

有关LaserTrace 3X的更多信息，
请访问我们的网站
www.tigeroptics.com



完美的宽禁带材料

为了实现能耗更低的产品设计，就需要效率更高的功率电子器件。

因为宽禁带半导体材料相比硅材料具有更优异的性能，例如更高的击穿电压和更低的功率损耗，所以，业界认为有必要在二者之间进行替代。

目前，功率电子器件所使用的最成熟、最有前景的两种材料是 GaN 和 SiC，但是它们在大规模量产时都面临着巨大的障碍。在理想情况下，化合物半导体器件都需要使用廉价的同质衬底，但对 GaN 和 SiC 来说，简单廉价的方法非常困难。由于天然衬底成本高且非常缺少，影响了 GaN 和 SiC 器件进一步走向成熟。为了具有成本竞争力，GaN 器件必须在硅上生长，然而，这需要开发复杂的沉积工艺来控制由异质外延引起的应力和应变。碳化硅基板虽然没有这些问题，但价格昂贵，并且不太可能很快下跌。

但是，还有另外一种一直以来被忽略的宽禁带材料——氧化镓 (Ga₂O₃)，它也许具有更广阔的发展前景。因为 Ga₂O₃ 的禁带宽度差不多达到 5eV，比 SiC 和 GaN 还要大，所以相比而言，其器件的击穿电压与效率都会更高。

作为新兴技术，新的 Ga₂O₃ 器件的性能尚不如目前先进的 SiC 和 GaN 器件，但是相对于 SiC 和 GaN 器件，Ga₂O₃ 器件在某些方面胜过它们。采用 Ga₂O₃ 材料的晶体管相比 GaN 与 SiC 基器件而言，电场强度要高得多，而且 Ga₂O₃ 同质衬底的生产成本较低、方法也相对简单——Ga₂O₃ 单晶衬底的生产可采用与生产蓝宝石衬底同样的工艺，适合于低成本的大批量生产。因此具有巨大的潜力。

为了促使 Ga₂O₃ 功率电子器件的愿景走向现实，自 2010 年以来，日本国家信息与通讯技术研究所 (NICT) 的 Masataka Higashiwaki 与京都大学、东京工业大学以及 Tamura 和 Koha 公司合作，开发出几项基本性的技术，取得了可喜的进展，包括世界上首个 Ga₂O₃ 晶体管原型器件。关于他们研究工作的报道请阅读本期第 25 页开始的文章“氧化镓：挑战传统的宽禁带半导体材料”。

要实现 Ga₂O₃ 功率电子器件的发展，研究人员必须要解决几个问题。例如，目前没有关于在 p 型层的空穴导电的报道，还有器件工艺技术必须与 4 吋 (或更大) 衬底的生产同时开发。

一旦 Ga₂O₃ 器件开发成功并投放市场，产品性能将可以与新一代的 SiC 和 GaN 器件媲美。当然，成功将来之不易，可能需要许多年才能实现。预计至少要到 2020 年 Ga₂O₃ 器件才能成功投放市场。

本刊编辑部

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
朱杰 Jerry Zhu
jerryz@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





第二届中国 LED 照明论坛在上海隆重举行

2012 年 7 月 18-20 日，由中国照明电器协会主办的“2012 年中国 LED 照明论坛”在上海国际会议中心隆重举行。本届论坛共有来自生产企业、设计院所、工程公司的 550 余人参加。本届论坛的主题是“质量 效率 创新 发展”，会上总结了近年来 LED 照明应用方面的成果，研究了 LED 光源、灯具、驱动电源、智能控制等相关技术，探讨了 LED 照明相关标准，交流了 LED 照明产品设计、研发、生产工程实践等方面的经验，并展望了 LED 照明技术和应用的未来发展方向。发言结束后，论坛还进行了互动环节，与会者和台上专家就 LED 照明的价格成本、标准制定、设计创新、技术研发等广受关注的问题进行了交流。

中微公司在专利诉讼中再次获胜

中微公司在由美国泛林科技（LAM）于台湾针对中微公司及其关联公司发起的专利诉讼中再次获胜。台湾最高级法院分别做出以下两项判决：

第一项判决涉及泛林科技指控中微公司侵犯其第 I36706 号台湾专利（“电浆密封环专利”）。此前，台湾智慧财产法院针对该项指控已做出有利于中微的判决，泛林科技因不服而再次提起上诉；2012 年 7 月 11 日，台湾最高法院做出终审且不可上诉的判决，驳回了泛林科技的二次上诉。

第二项判决结束了关于另一项专利——第 126873 号台湾专利（“聚焦环装置专利”）的侵权争端。此前台湾智慧财产局曾做出判决认定泛林科技的该项专利为无效专利，泛林科技不服该判决再次提起上诉；2012 年 6 月 21 日，台湾最高行政法院驳回了泛林科技提起的上诉，维持原判。并认同中微公司原先的主张，认定该专利因缺乏新颖性和创造性而无效。因此，泛林科技控告中微专利侵权的基础不成立。此判决为终审判决，不可再上诉。

台积电 20 纳米 8 月试产

晶圆代工龙头台积电的 20 纳米制程预计将于 8 月试产，成为全球首家导入 20 纳米的半导体厂。若试产成功，将超越英特尔先前以 22 纳米制程生产自家处理器芯片，大幅拉开与韩国三星电子的差距，在全球晶圆代工取得绝对优势。

根据设备商透露，鉴于英特尔、三星加快跨足晶圆代工脚步，台积电原计划于今年 6 月提前试产 20 纳米制程，但因 20 纳米制程是 28 纳米延伸，在 28 纳米良率未达预期进展，客户又疯狂排队抢产能，台积电决定先提升 28 纳米制程良率以满足客户需求，将 20 纳米制程进度延后。另外，台积电近期除启动 28 纳米制程产能布建计划，同时通知设备商于 8 月开始准备试产 20 纳米制程，必须做好相关试产有关材料准备，代表台积电在 28 纳米制程良率大幅提升。

另据消息人士表示，由于 20 纳米也是台积电承接苹果新一代处理器的利器，随着台积电决定 8 月试产 20 纳米制程，也预示着台积电的苹果处理器订单已入袋。如果试产成功，台积电将以极快的速度布建产能，进度不仅领先英特尔，更将韩国三星追赶时间拉长至少 1 年以上。

KLA-Tencor 安装首个能够处理 450mm 硅片的 Surfscan® SP3 系统

KLA-Tencor 公司宣布其第一台能够检测 450mm 硅片的半导体制程控制系统已装机。该系统被命名为 Surfscan SP3 450，是市场领先的 Surfscan® SP3 平台的最新配置。这种全自动化的无图案硅片检测系统是为满足 20nm 及以下制程缺陷与表面品质特性的严格要求而专门设计的。该系统除了可以用于对 450mm 抛光基板和外延硅基板生产工艺的控制外，还可以为 450mm 工艺设备的生产商如湿清洗设备、化学机械抛光 (CMP) 垫、研磨液和抛光机、薄膜沉积设备和退火设备提供所需的检测能力。

新的 Surfscan SP3 450 检测系统可以帮助表征硅片的表面缺陷与质量，测量薄膜厚度和表面粗糙度均匀性，甚至甄别退火问题。SP3 450 是业界向 450mm 过渡的一个关键工具。

SP3 是业界唯一采用深紫外线 (DUV) 光照的高灵敏度无图案晶圆检测系统，并且是同类工具中唯一能够生成高分辨率图像的表面质量检测产品。Surfscan SP3 450 的另一项优势是其光学系统可靠性和算法已在 50 多台安装于全球先进开发与生产部门的 300mm SP3 平台上得以证明。

Surfscan SP3 450 系统现已收到多笔来自业界领先的芯片厂商、基板与工艺设备生产商以及一个纳米电子研究中心的订单。Surfscan SP3 还提供单一 300mm 操作版本和 300mm/450mm 共用结构。



CS International

Incorporating CS Europe

www.cs-international.net

2013年3月4—5日
德国法兰克福喜来登

**捷足
先登**

**9月1日
之前预订
节省50欧元**

领先化合物半导体业内人士聚集一堂

欲了解整个化合物半导体产业的全面情况，就要参加2013年在德国法兰克福喜来登举行的第三届CS International 会议。

与会代表将有难得的机会与III-V芯片制造行业的领先专业人士交流，与将提供最新研究成果、商业模式和见解的供应商和行业专家互动。

来自世界各地的专业人士将出席这次为期2天活动，聆听各位领先分析师的最新见解和机会，学习LED、太阳能电池、激光器和电源及RF电子领域最新芯片开发知识。

主持人



Andrew Nelson 博士, IQE
总裁兼首席执行官
会议主席

主题演讲人



Wilman Tsai 博士, Intel 公司
技术制造项目经理
III-V CMOS

演讲嘉宾



Daniel Cline, Lux Research
高级分析师
WBG器件的电网机会



Philippe Roussel 博士, Yole Developpement
业务部经理
电力电子中GaN与SiC的对比—到2020年的现状和发展蓝图



Simon Fafard 博士, Cyrium Technologies
首席技术官
新型太阳能电池技术



Bryan Bothwell, TriQuint Semiconductor
战略和业务发展部经理
最大限度地利用氮化镓产品解决方案和代工服务实现先进RF设计



Tudor Williams 博士, Mesuro Ltd
高级系统工程师
改善RF测量



Gunnar Stolze, Oclaro Inc
工业和消费销售副总裁
高功率激光器



Tao Wang 教授, Seren Photonics
科学顾问
提高LED性能



YiFeng Wu 博士, Transphorm
产品开发副总裁
宽带隙电力电子器件现状



松下欧洲
功率器件的干式蚀刻技术



Asif Anwar, Strategy Analytics
战略技术实践总监
GaAs 微电子制造的未来



Michael Lebby 博士, Translucent Inc
总经理兼技术官
规模经济LED、功率FET和太阳能CPV的硅上平台



Rainer Krause 博士, Soitec
智能电池孵化器部总监
PV芯片开发



Vijit Sabnis 博士, Solar Junction
技术副总裁
真正的高效率三结太阳能电池



Markus Behet 博士, 道康宁公司
电子解决方案全球市场部经理
电力电子应用的大直径SiC和GaN/Si衬底



AJ Nadler, RF Micro Devices (RFMD)
研发和工程总经理
高压电力电子器件用氮化镓



Ertugrul Sönmez 博士, MicroGaN
业务发展
应对新出现的电力市场



Schang-jing Hon 博士, Epistar 公司
助理副总裁
高电压LED技术



Frank Schulte 博士, Aixtron
副总裁
介绍TBC

请访问网站 www.cs-international.net 获取进一步信息
或在 www.cs-international.net/registration 注册

马上行动

白金赞助商



黄金赞助商



所有演讲人和介绍均可能随时变更

TECHNOTUBES 项目取得成功——爱思强推出全新 BM 300T 碳纳米管系统

爱思强股份有限公司日前宣布,由欧盟委员会提供资金的 TECHNOTUBES (晶圆级碳纳米管技术) 项目取得圆满成功,并演示了新型自动化生长设备 BM 300T。

这个为期三年的项目旨在开发碳纳米管的生长工艺、自动化设备、质量控制 / 监测和多种终端应用。合作参与项目的成员包括剑桥大学 (协调人)、苏黎世联邦理工学院、丹麦理工大学、柏林理工大学、Fritz Haber 研究所、意大利国家研究理事会、飞利浦公司、泰雷兹集团、剑桥 CMOS 传感器公司、IMEC 和爱思强。

来自剑桥大学的项目协调人 John Robertson 教授评价说:“这是一个独一无二的项目,集合了业界和科研界的世界一流机构,从生长设备、材料制造到可用设备,打造出一条基于碳纳米管的价值链。该项目研究成功的应用领域主要包括连接器产品、导热材料、医疗及安保 X 光光源、气体探测器、生物探针、微流体技术和新型能源存储装置。衷心感谢欧盟委员会为此项目提供资金支持,令我们的研究得以顺利开展。”

爱思强纳米仪器 (Nanoinstruments) 部门主管 Ken Teo 博士补充说:“我们的职责就是制造用于沉积各种碳纳米管结构的设备,以满足这些应用领域的要求。最大的挑战就是将多种生产工艺 (单壁结构、多壁结构、支线垂直纳米管等) 整合到同一个平台之中,为工业生产的合作伙伴提供所需的统一、稳定、高度自动化的生产设备。我们所研发的 BM 300T 系统成功满足了上述标准,结合热学和等离子沉积技术、前体活化技术和新型的晶圆装载和加热系统,令高通量的晶圆级碳纳米管生产成为可能。”

格罗方德 28 纳米下半年预计进入量产

晶圆代工厂格罗方德 (Globalfoundries) 与 Rambus 共同发表双方合作开发的 28 纳米两款独立存储器架构式硅测试芯片,其中,第 1 款测试芯片是专门提供智能型手机和平板计算机等行动存储器应用所设计的解决方案,第 2 款测试芯片则是专为服务器等运算主要存储器应用所设计的解决方案。

格罗方德表示,这两款测试芯片均采用 28 纳米超低功率 (28nm-SLP) 制程,为目前先进的系统单芯片 (SoC) 发展提供最省电及具最高效能的类比 / 混合讯号的产品,功耗及效能面更是超出预期。格罗方德 28 纳米下半年预计进入量产。

半导体行业的未来在于太赫兹技术

MarketWatch 著名专栏作家德沃拉克 (John C.Dvorak) 先生撰文指出,半导体行业的未来在于太赫兹技术,并且在其文章中推荐了一些相关的值得考虑的投资对象。

有一种所谓激光扫描设备能够扫描整个机场,能帮助快速找到炸弹,这样我们就不必再为让人困窘的安检而感到别扭了。但现实的问题在于,我们是否能够生产某种能够发生和侦测到太赫兹波的设备。

总的来说,这些波的频谱从 300 吉赫到 3000 吉赫不等。这是一种非电离辐射,意味着你不会受到其损害,但是它却可以穿过服装、木头、砖石和塑料,但水和金属是不可穿越的。这同时也是一项极其复杂的技术,目前的半导体技术是远远不够的。因此,我们需要各种各样的稀土以及罕见的半导体材料,该技术的成本在今天看来可能是天文数字。除我们较为熟知的材料以外,我们需要的原材料还有磷化铟、磷化砷镓铟和二氧化锗等。

GaN LED 和 CMOS 传感器的光遗传学

日本奈良科学技术学院的研究人员于近期对外宣布,他们已经建立了首个集成的光学神经刺激和集成了 LED 和 CMOS 图像传感器的观测器件。这个器件可以帮助光遗传学领域的研究人员,其中包括利用光来改变细胞的行为。

在此之前,英国斯特拉斯克莱德大学的工程师所采用的是,用一个雪崩光电二极管阵列而非 CMOS 传感器建立一个类似的系统。根据奈良科学技术学院的 Takashi Tokuda 的说法,雪崩光电二极管阵列的优势之一是它可以提供高速检测,这对时间分辨荧光测量是必不可少的。但同时 Takashi Tokuda 也补充道,这种类型的探测器不适合生物细胞和组织的片上成像,因为每个光电二极管的尺寸为 10 μm 级。

据悉,这支研究小组通过倒装芯片将一个蓝宝石上 LED 阵列键合在 CMOS 图像传感器上而建立了其神经接口器件。由于在蓝宝石和 LED 氮化物层的可见光吸收水平非常低,它可以将样本,如脑的切片放在衬底的背面。通过结合一个 470 nm 的 LED 阵列与一个 128×268 的探测器像素,即可形成神经接口器件,每个为 15 μm×7.5 μm。目前已被用于拍摄老鼠的大脑切片的图像。



**III-V族元素、砷化镓 (GaAs)、
磷化铟 (InP) 和锗 (Ge) 衬底及
相关重要原材料的首选**

**GaAs 50-150mm
InP 50-100mm
Ge 50-150mm**

半绝缘型和半导体型

GaAs

衬底

半绝缘型和半导体型

InP

衬底

Ge

衬底

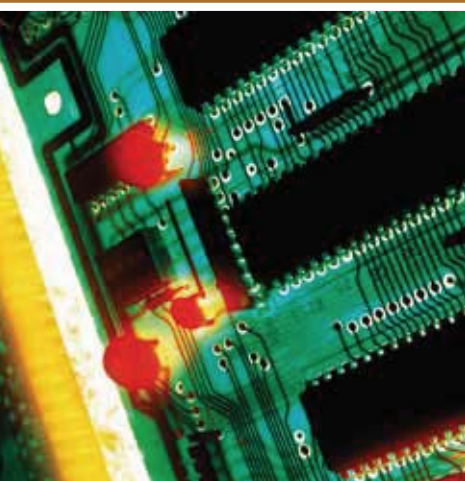
原材料

4N、6N、7N镓

三氧化二硼

锗 • 砷

PBN坩埚和MBE设备用配件



- **超低的位错密度 (EPD)**
- **更低的应力与更大的机械强度**
- **超洁净、开盒即用外延级**
- **优质的外延层形貌**
- **优质的几何尺寸的控制、对称性和热动力特性**

美国总部

AXT Inc.

4281 Technology Drive
Fremont, CA94538

Tel: 001.510.438.4700 ; Fax: 001.510.353.0668

Email: sales@axt.com

www.axt.com

北京通美晶体技术有限公司

地址: 北京市通州工业开发区东二街四号

Tel: 010-61562241/ 61562242

Fax: 010-61562245

www.axt.com

量子点太阳能电池

随着对可再生能源期待的高涨，日本已经把新一代太阳能电池的研发作为国家项目教学推进。其中，被视为终极太阳能电池的是“量子点太阳能电池”。常见的晶体硅太阳能电池的能量转换效率上限约为 30%，而量子点太阳能电池有望达到其 2 倍以上。

“量子点”是指为封闭电子而形成的极小颗粒，1 个量子点的直径从几纳米到几十纳米不等，由大约 1 万个原子构成。把量子点镶嵌在太阳能电池板的半导体薄膜中，就能够大幅提高能量转换效率。近来，关于量子点太阳能电池已有新的研究成果。东京大学纳米量子信息电子研究机构主任荒川泰彦教授与夏普的研究组证实，量子点太阳能电池能量转换效率上限为 75% 以上，推翻了此前公认的 63% 的说法。因此，为实现量子点太阳能电池的实用化，全球众多研究者都在加快研发速度。

2012 年半导体产业增长将来自无线市场

据 IHS iSuppli 公司全球半导体制造与供应市场追踪报告，2012 年无线应用将是全球半导体市场的救星。预计该应用领域的半导体营业收入将实现两位数的增长，而其它六个主要半导体市场领域的增幅则小得多，甚至是负增长。

2012 年无线通讯领域的半导体营业收入预计达到 726 亿美元，比 2011 年的 658 亿美元增长 10.3%。预计今年只有工业电子一个领域可以和无线领域相提并论，其半导体营业收入预计增长 7.7%。今年工业电子领域半导体营业收入增长率实际上低于去年的 9.3%，而无线半导体营业收入增长率则高于 2011 年的 8.5%。

与其它半导体领域相比，无线领域显得更加突出。有线通信领域的半导体营业收入预计仅增长 0.7%，消费电子与汽车电子领域分别增长 1.3% 和 2.7%。今年至少有两个领域将呈现负增长：数据处理领域预计下降 1.9%，多芯片内存模块 (MCP) 预计锐减 17.9%。

海洋薄膜公司开设网上自选平台

海洋薄膜公司于近期开设了网上平台，让用户自己定制配置滤光片。用户只需登录 www.opticalfiltershop.com，就可以浏览不同类型的滤光片，配置滤光片的尺寸。选择圆形或矩形滤光片，然后输入想要的尺寸，则会立即生成一份报价单，在线完成选型并结算。然后，规格生产滤光片会在 48 小时内配送发货。

“滤光片商店”内存有多种带通滤光片、彩色滤光片、紫外 - 红外滤光片以及氧化铟锡 (ITO)，所有这些产品均可供用户选购。对于那些急需采用非标准尺寸的滤光片来测试某项理论的研究人员和开发工程师来说，这是他们绝佳的选择。

“滤光片商店”同时拥有各种组件，包括熔融石英光学平晶、Zerodur® 光学平晶、可在 NIST 查询的反射系数标准、以及剪切板准直检测仪。海洋薄膜存有上千种滤光片，并且将定期扩大网店内的滤光片品种。

意法半导体祝贺 CERN 成功发现希格斯玻色子

在欧洲核子研究组织于 7 月 4 日发布经过长期努力后终于成功发现希格斯玻色子 (Higgs boson，俗称“上帝粒子”) 的新闻后，横跨多重电子应用领域、全球领先的半导体供应商意法半导体公开祝贺这一研究成果，向负责该项目的多国研发团队致以最高敬意。

意法半导体为 CERN 的大型强子对撞机中用于寻找希格斯玻色子的紧凑渺子线圈 (Compact Muon Solenoid, CMS) 和 ATLAS 超导环场探测器开发并提供专用电子元器件。CMS 实验通过一个粒子检测仪观察光子之间的碰撞如何把能量转换成有限质量粒子，让科学家能够观察到在宇宙大爆炸后物质是如何产生的。自 2002 年起，这个设备采用了数以万计的意法半导体的硅传感器，这些传感器有特殊的技术要求，例如，这些传感器裸片大小大约是普通半导体裸片的 100 倍，同时还须保证具备相同的感应精度。凭借高质量的内部芯片制造工艺，意法半导体生产所需高纯度的传感器。

GE 中国创新中心在西安正式成立

2012 年 7 月 18 日，全球最大的多元化企业通用电气 (GE) 公司在中国西北地区的首个客户协同创新中心——GE 中国创新中心 (西安) 正式成立。

据悉，GE 中国创新中心 (西安) 总面积达 1.4 万平方米，将致力于 LED 照明技术和产品的研发以及整体绿色照明解决方案研究；开发航空软件，支持 ARJ21 支线飞机试飞；在煤化工 / 检测控制技术 / 数字能源 / 水处理等能源领域，开发创新性技术与解决方案。目前，GE 公司已投入 6000 多万美元用于 GE 中国创新中心 (西安) 的建设、人员招聘和运营，有超过 260 名员工已入驻。



CHINASSL2012 邀您关注：后危机时代 LED 之路

第九届中国国际半导体照明展览会暨论坛（CHINASSL2012）紧紧抓住产业发展的主动脉，以“后危机时代的转型、合作与创新”为主题，将于 2012 年 11 月 7-9 日在广州举办，届时将有来自政府部门、研究机构、企业、行业组织等行业精英齐聚一堂共同探讨行业发展新战略、新动向和新思路。

据主办方介绍，为期 3 天的论坛将设置两场大会，主要探讨国际经济形势下半导体照明行业发展的新推力；企业追逐半导体照明的高效率与低成本的变革方向、目标及技术路线；政府在支持和推动半导体照明产业方面的新措施和新动向。展览会将包括四大主题展区：“材料与制造设备专区”、“商业照明专区”、“户外照明专区”和“十城万展”试点城市成果展示区，集中展示半导体照明行业各领域的最新产品与技术。

InfiniLED 公司获 Tyndall 研究所使用设备许可 着力开发 MicroLED 技术

LED 光源模块开发商 InfiniLED 公司宣布，已与位于 Cork 地区的英国廷德尔国家洁净室研究所签署合作协议。根据该协议，InfiniLED 公司的工程研究人员将被允许进入该研究所的复合半导体洁净室开发并研制 MicroLED 技术。MicroLED 技术是一种镌刻在 LED 晶圆背面的一种抛物线曲面结构，其作用就是将光集成成平行光束，这些结构将有效地在 LED 晶圆级上进行微型光束的集成。

相对于传统 LED 技术，MicroLED 拥有众多优势，MicroLED 在蓝宝石衬底上就是一个平面的二维结构，这就如同将最简单、最普遍的 LED 晶圆技术应用在传统 LED 上。另外，MicroLED 的像素集中在大约 10-25 微米之间，发光表面是最小化到周围区域的焦点抛物型结构，这样的结果就是产生平行光束。投射出的平行光束将直接垂直投向蓝宝石衬底，最后非常关键的是，MicroLED 技术可应用于当前所有的 LED 材料（蓝色、绿色、红色、近红外与紫外）。

由爱尔兰与英国合办的 Tyndall 国家实验室拥有先进的技术、实验设备以及 ISO 的认证等。这对于 InfiniLED 公司更好的研发 MicroLED 技术提供了有利的环境。

ATMI 与 IBM 达成新材料合作研发协议 应对未来芯片制造

ATMI 于 7 月 11 日宣布与 IBM 达成合作研发协议(JDA)，这项协议旨在应对 14nm 及更小技术节点的关键湿法工艺 (wet process) 挑战。该协议将在未来两年内，在前道和后道清洗所用的先进化学产品上进行广泛的开发和商业合作。

ATMI 微电子部门执行副总裁兼总经理 Tod Higinbotham 说，这项与 IBM 的最新协议在两家公司之间建立了多重的合作和努力。为解决下一代技术节点的挑战，这样的合作模式对供应商和关键客户来说是至关重要的。将该协议的合作模式与我们的湿法工艺高效生产力发展能力相结合，意味着我们可以更快的发现并解决问题，保证我们的客户将他们的资源集中于其它关键的挑战上。

莎益博公司北京办事处开业暨光学技术 VIP 峰会举行

莎益博工程系统开发（上海）有限公司北京办事处开业暨光学技术 VIP 峰会于 2012 年 7 月 12 号在北京举行。特邀嘉宾美国新思科技公司光学部的 CEO, George Bazy 先生, 全球销售总监 Stuart David 先生专程到场, 与中国 LED 显示背光 (BLU) 和照明行业的企业高管，高校的教授和政府官员进行对话，共同探讨先进光学设计与仿真技术在高科技产品开发及生产制造中的应用与推广。

莎益博公司北京办事处总经理王千介绍了北京办事处的宗旨以及发展规划，Cybernet 集团日本总公司副总裁兼中国总经理陈扬介绍了 Cybernet 集团的情况以及在中国市场战略。Cybernet 集团是日本最大的 CAE 技术服务公司，于 1985 年在日本东京成立，专业提供 CAE 软件、行业解决方案及相关技术服务，提供的解决方案覆盖了光学、电子、机械、控制系统、通讯，IT 信息技术、纳米技术、新药开发、知识创新等各个学科，为客户提供从产品的概念设计、物理设计、仿真优化、设计验证和产品性能检测全流程相关解决方案和服务。

美国新思科技公司光学部全球销售总监 Stuart David 先生介绍了著名的光学设计软件 LightTools 和成像设计软件 Code V 的最新进展和发展计划。Stuart David 先生很高兴看到中国的几大电视机厂全部在使用 LightTools 软件开发设计背光板，他相信中国的 100 多家专业的背光板供应商将逐步导入 LightTools 软件，中国的背光板产业水平将会大大提升。Stuart David 先生还介绍了 LightTools 软件新增加的路灯设计功能，这将有利于中国 LED 路灯的开发推广。关于成像设计软件 Code V，Stuart David 先生特别强调了在移动设备上的机会，由于摄像头的像素从 2 年前的 200 万，快速提升到目前的 1200 万，移动设备的摄像头设计的难度大大增加，Code V 软件可以有效地提升镜头的开发能力和加工的成品率。





LED 产能是真的饱和了吗？

Dkins Cho, Senior Analyst, LEDs and Lighting, IHS IMS Research; Alice Tao, LED Market Analyst, IHS IMS Research

IHS IMS Research 的分析师每季度都会联系全球 LED 生产商，询问其后面 4 到 6 个季度 MOCVD 机台购买计划（例如设备型号和外延尺寸），以调查 GaN 基板 LED 产能扩张计划。然后我们会根据设备信息推算出外延片产能，芯片产能，考量良率后芯片产能，以及分档后的芯片产能；并通过与市场需求数据相比较了解整个市场的供求关系趋势。前几个季度我们观察到 MOCVD 的出货不断下降，是 LED 的产能真的达到饱和了吗，还是照明市场兴起前的暂时平静？

我们在上一季度的报告中调低了 2012 年 MOCVD 出货预计至 281，如图 1 所示，比去年下降 40%。由于产能过剩，芯片价格和利润减少，很多 LED 外延生产商推迟甚至取消设备安装计划。今年 LED 在电视背光的渗透率有所增长，但三星和 LG 推出的低成本直下式电视由于使用了较少的 LED，会影响 LED 在电视背光的出货量。我们目前并不能确定这种新型电视会占到多少市场份额，这取决于消费者使用后的反馈，而反馈结果的搜集可能会在出货的一到两个季度以后。此外，照明市场不论是在将来还是现在都是 LED 最重要的市场。

从供求关系来看，LED 背光市场的快速增长导致 2009 的供不应求，而 2010 年下半年市场开始供应过剩直至去年下半年，导致一些 LED 公司取消 MOCVD 订单，退出 LED 行业，产能利用率下降。从今年来看，国内部分公司仍然在购买设备，而国外的商用 MOCVD 市场几乎完全崩溃。

照明市场的快速增长以及旧的

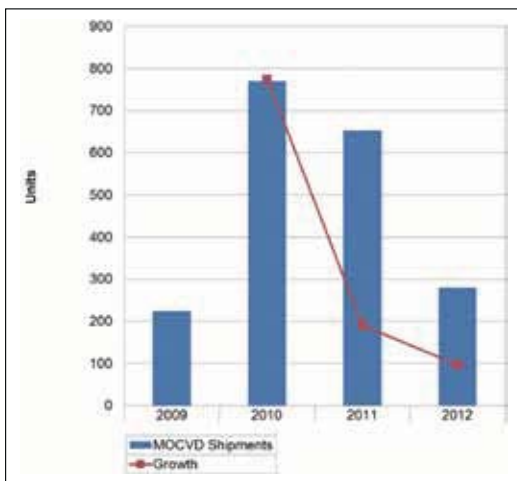


图1: GaN LED MOCVD 出货量及预测

来源: IMS Research Q2' 12 GaN LED 供求报告

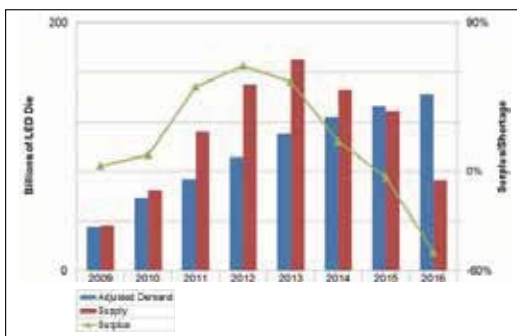


图2: GaN LED 供应和需求预测

来源: IMS Research Q2' 12 GaN LED 供求报告 (供应的数据是基于 2012 年年底计划安装的设备产能)

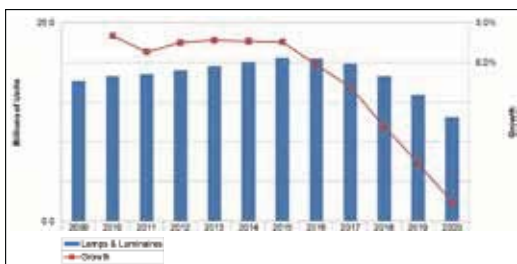


图3: 照明市场出货

来源: IMS Research Q2' 12 GaN LED 供求报告

MOCVD 设备退出使用会导致 2014-2016 期间新的 MOCVD 设备需求增加；但是如果多数 LED 公司不能保证盈利，旧设备的淘汰延后，势必会影响到 Veeco 和 Aixtron 的生意。图 2 显示了需求与供应的预测比较，为了让大家有个直观的印象，我们假设 2012 年以后没有新设备安装。

另一挑战是目前部分 LED 公司的产能利用率很低（尽管今年有些提高），可能会影响进一步的投资和 LED 照明行业的成长。

此外，硅衬底 LED 技术的研发也使得行业龙头企业考虑何时引进何种机型来进行技术的转变。Bridgelux 预计 2013 年硅衬底 LED 达到量产水平，而其他公司可能在 2014-2015 期间量产硅衬底 LED。我们认为硅衬底技术 LED 要达到目前的良率水平和品质还需要一段时间，预计 5 年之内在照明和背光领域可以和蓝宝石一争高下。从 CMOS 和其他领域转而做硅的公司包括三星，Micron，LG，Toshiba 和 TSMC 等都会影响硅上长氮化镓的发展。这些公司长期累积的工艺专门知识有助于迅速地扩大产能和降低成本，加快 LED 灯和卤素灯以及节能灯的竞争。

如今的 LED 产业很像早期的存储芯片和 TFT 液晶面板产业，起始阶段从业者很多，但那些投资时机错误，没能很好的控制成本或发展技术的公司都会损失惨重。在这种环境下，合并和收购可能性很大。

产能过剩的情况会由于照明需求的增加而减缓。图 3 中的数据表明整个照明市场（不仅仅是 LED）的出货会持续增长至 2016 年，之后的下降是考虑到 LED 的渗透率提高会影响灯的更换频率（LED 寿命较长）。

灯和灯具的出货预计会在 2016 年达到峰值 200 亿。

LED 产业对于照明市场的增长和成本挑战的依赖性越来越大。LED 灯的价格是卤素灯和节能灯的 5 倍，白炽灯的 20 倍，LED 灯需要缩小成本差距。





绿光的挑战

Dmitry Sizov、Rajaram Bhat、
Chung-En Zah; 康宁公司

GaN 绿光半导体激光器与红光及红外 III-V 族半导体激光器的差别非常大：前者器件中的材料处于应变状态，而且为强大的内部电场及显著的能带偏移所困扰。但如果你能深入理解这些特性并加以利用，就有可能设计出高效率的绿光半导体激光器填补绿色鸿沟（Green-gap）。

高清电影及索尼游戏终端 Playstation 的爱好者们对 GaN 半导体激光器的发明者及制造者十分感激。但他们可能并不了解，科学家和工程师们在研发这种能够读取光盘中 1 和 0 的蓝紫色半导体激光器时，面临传统 III-V 族半导体材料的激光器中并不存在的诸多新的艰难挑战：缺乏原生同质衬底，更高的材料生长温度和室温下更低的化学反应活性，纤锌矿（Wurtzite）晶体结构产生的极化效应，更高的电子有效质量，以及获得无应变的异质结构非常困难等。

近些年来，上述问题一直在阻碍氮化物材料研发者们将激光器的发射波长扩展至更长的区域，即光谱中被称为绿色鸿沟（Green Gap）的部分。彩色投影系统需要绿光激光器来组成红、

绿和蓝三色光源。另外，国防、生物医药、工业及仪器等诸多领域也对单芯片集成激光器有可观的需求。

芯片设计者们需要为绿光激光器选择一种体系结构，能够解决以下三项主要挑战：应变，找不到晶格互相匹配材料系来制备器件；需要能够在高电流密度的条件下工作以实现光学放大，这是激光产生的前提条件；能够往能带结构不佳的有源区均匀注入足够的载流子。本文接下来就将详细讨论每项挑战，以及如何克服它们的方法。

处理应变

氮化物材料的晶格匹配非常复杂。III 族氮

封面故事 | COVER STORY – 绿光激光器

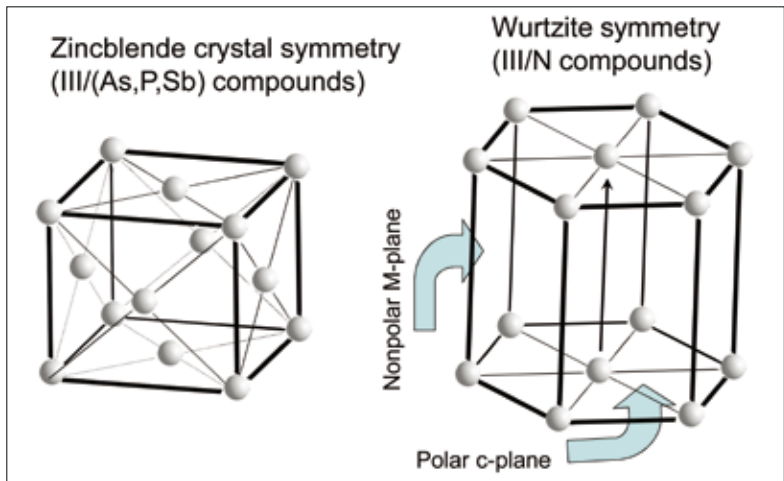


图1：III族氮化物的纤锌矿晶体结构与传统III-V族化合物的不同，是其更具挑战性的根本原因之一。

化物与其他 III-V 族材料晶格结构的不同使两者无法匹配，前者的纤锌矿结构与后者的闪锌矿结构差别显著，如图 1 所示。用其他 V 族元素来取代氮也不容易，因此三元 III 族氮化物只有三种。其中两种分别为 AlGa_N 和 InGa_N，但他们的晶格不能相匹配；第三种为很少使用的 AlInN，由于该种材料的均匀生长非常困难。

还有一种四元氮化物 AlInGa_N，在给定的晶格常数的情况下能对能带进行某种程度的调节。但该类材料极少使用，因为 AlGa_N 和 InGa_N 的生长温度不同，会造成多元化合物的组分不易控制，以及表面形貌粗糙。

因此，对于深蓝和绿光氮化物激光器，设计者们倾向于选择 AlGa_N 作为熔覆层（Cladding Layers），而 InGa_N 作为光波导层（Waveguides）。

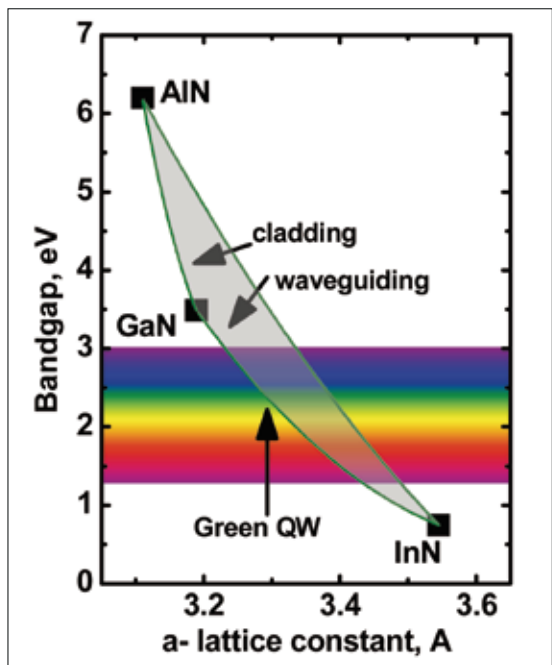


图2：绿光半导体激光器由若干晶格不匹配的异质结构组成，因为大部分的传统III族氮化物合金与GaN衬底的晶格都不匹配。

为了减少多余的应变，AlGa_N 和 InGa_N 中 Al 及 In 元素的浓度一般均不超过几个百分点。但这也导致光波导层与熔覆层之间的折射率差较低。更糟糕的是，对于波长的光两种材料间的折射率就可忽略不计。

每位氮化物半导体激光器设计者都会面临的一个选择就是衬底的晶向。就传统而言，氮化物半导体激光器一般选择在蓝宝石衬底的 c 面上生长，在该晶向上允许存在相当显著的应变而不会形成缺陷，因为在其滑动面间要相互滑动需要相对来说非常大的力。

当在半极性面上生长激光器时，在应变水平非常低时就会发生滑动位错，使氮化物外延层能够弛豫。纤锌矿晶体中，相对 c 面偏转 β 角 (0<β<90 和 90<β<180) 得到即是半极性面。已经有许多半极性面可供选择，而且有的晶向能够生长具有足够高 In 组分的化合物，使最终器件能够发出绿光。更重要的是，半极性面还能使生长在其上的外延结构具有更高的光增益。这是制备绿光半导体激光器的关键优势。

当氮化物半导体激光器外延沉积生长在半极性的衬底上时，当 AlGa_N 和 InGa_N 层的厚度超过 100nm，即使 Al 和 In 的组分只有几个百分点，也会在二者的界面间产生失配位错阵列。如果这些失配位错对其他 III-V 族材料器件的影响同样发生在 III 族氮化物器件上，就将会影响后者的可靠性。

我们在康宁公司（Corning）的团队发现失配位错还是强烈非辐射复合的渠道，并且降低表面形貌的质量。幸运的是，我们可以使用巧妙的方法避开上述弛豫特性，并最终在半极性蓝光半导体激光器中获得足够的光学限制和良好的量子效率，从而有可能实现高光学增益。

将失配位错控制在有源区之外是管理应变的一种方法。这样做，还能使材料弛豫变得有利。关键是在熔覆层上生长 InGa_N 光波导层时有意使二者的界面间产生位错。这可以增加该 InGa_N 层的晶格常数，大大减少接下来在其上生长的绿光 InGa_N 量子阱层的应力，从而避免该重要部分的弛豫。

接下来，必须在阱层之上生长第二个 InGa_N 光波导层，并与底部的光波导层具有相同的晶格常数。这样做是为了在两个 InGa_N 光波导层之间生长一致的多量子阱结构。

封面故事 | COVER STORY – 绿光激光器

完成上述步骤之后，外延工程师需要在顶部生长一层晶格不匹配、处于弛豫状态的熔覆层，目的是在其下的界面形成另一个失配位错阵列。使用这种方法，位错将只位于光波导层和熔覆层之间，远离有源区从而不能参与非辐射复合过程。值得一提的是，在存在大量失配位错的界面上立刻能生长出弛豫、低缺陷密度的外延层，这是半极性 III 族氮化物异质结构的独特之处。

也有不少文献报告在 III-V 族闪锌矿结构中所使用的应变弛豫方法，例如 In(Ga)As 量子阱近红外激光器、GaAs 衬底上生长量子点，以及多结太阳能电池等。但是，上述应用中大多采用生长厚的过渡层或超晶格的方法来减少有源层中的缺陷，而不同于在半极性 III 族氮化物中使用的单界面结构。

另外，通过应变补偿层能够完全避免产生失配位错。方法是通过 Al(In)GaN 势垒层的拉应变来平衡势阱层和 InGaN 光波导层中的压应变。很显然地，当光波导 InGaN 层中 In 含量足够高时，就有可能通过应变来进行补偿，并不影响其光学限制的能力。

这得益于 InGaN 材料的一个有利特性：其折射率随着 In 组分含量超线性（Superlinearly）提高。也就是当激发光子能量与 InGaN 材料能带隙之间的差别越小时，其折射率增加越快。直觉地说，往 InGaN 光波导层中插入 Al(In)GaN 层可能会降低其整体的平均折射率。但由于应变补偿的缘故，可在光波导层中使用更多的 In，从而使其折射率反而比没有使用应变补偿的设计更高。

提高电流

绿光半导体激光器研发者们面临的第二大主要挑战是，使器件能够在非常高的电流密度情况下工作，这也是光放大的必要条件。在 InGaN 量子阱中，载流子密度相对较高，两种载流子的有效质量均较大，在 InGaN 中空穴和电子的有效质量分别大于 $1.4m_e$ 和 $0.2m_e$ ，而在 GaAs 中则分别仅为 $0.51m_e$ 和 $0.063m_e$ （ m_e 为自由电子的质量）。电子和空穴的有效质量越高，电子和空穴的态密度也就越大。反过来，更高的电子和空穴态密度，表明了 InGaN 量子阱中透明载流子的密度就越高（这也是产生激光的前提之一），达到了 InGaAs 量子阱激光器所要求的 2 倍多。

透明载流子密度的大幅提高也带来了不好的后果。复合电流是载流子浓度的超线性函数，特别是在高电流密度情况下非辐射的俄歇复合占主导地位，因此 InGaN 量子阱中载流子密度需要为 InGaAs 中的几倍，才能使之透明。（见图 3）

更糟糕的是，In 组分含量的提高使 InGaN 量子阱的发射波长往绿光方向偏移，同时会导致微分增益迅速降低。

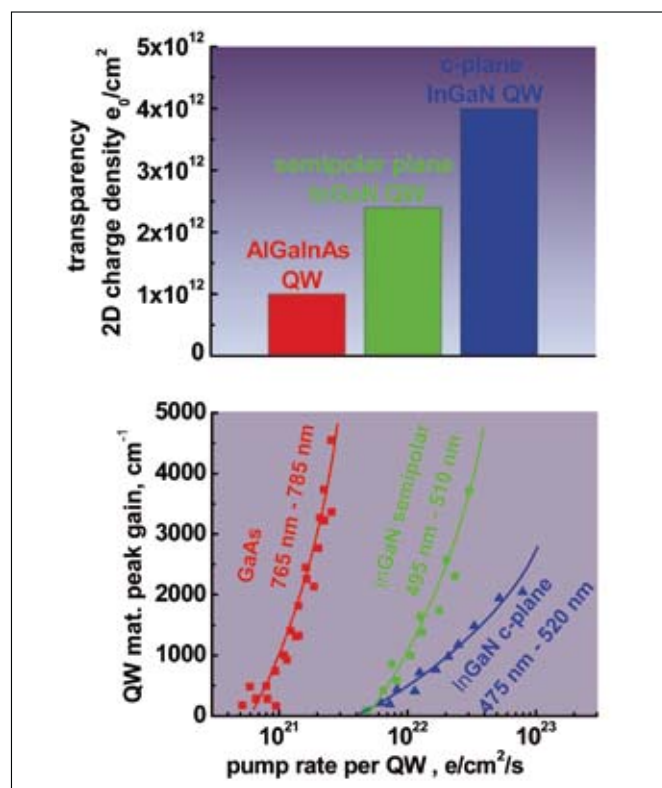


图3：（a）InGaN量子阱达到透明所需的带电载流子密度比III组氮化物量子阱要高得多，当生长在c面上时更是如此；（b）因此，InGaN量子阱需要更高的泵浦电流来进行光放大。尽管如此，绿光InGaN量子阱中的差分增益还是非常低（图中曲线根据P. Blood等所发表文章J. Appl. Phys. 701144 (1991)中数据绘制）。

RABOUTET S.A.

钼材料制造商。
分子束外延材料。
可用于专业的清洗
和消毒。



RABOUTET S.A.

地址：250 Av Louis Armand

Z.I Des Grand Prés

F-74300 Cluses France

电话：33 (0)4 50 98 15 18

传真：33 (0)4 50 98 92 57

电子邮件：info@raboutet.fr

http://www.raboutet.fr





封面故事 | COVER STORY – 绿光激光器

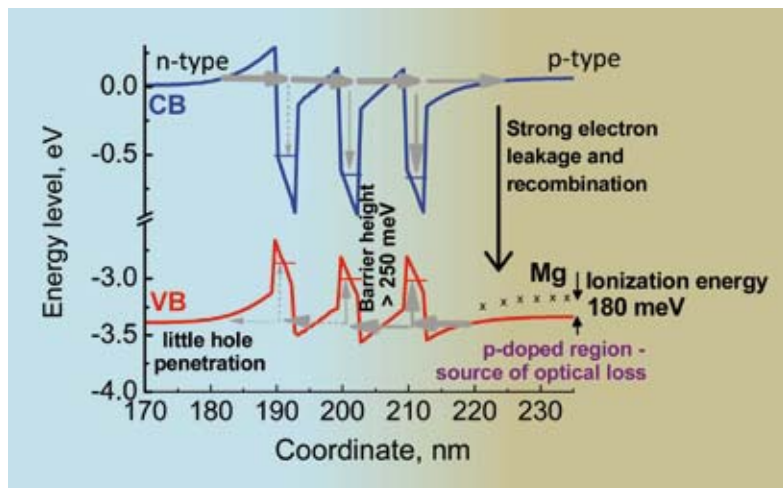


图4：量子阱对带电载流子的深度束缚限制了载流子在多个量子阱中均匀分布，这是载流子注入非对称的根本原因。需要Mg重掺杂来获得足够的p型导电率。有源区中非对称的载流子注入导致电子泄露进入p型重掺杂区，如果不加以阻止载流子就会进行非辐射复合。

这不仅是非辐射复合突增的结果，还因为 InGaN 混合物的组分波动导致显著的输出光谱非均匀展宽，发射绿光要求 In 在 InGaN 三元化合物中的摩尔浓度达到约 30%。

氮化物半导体激光器发射长波长激光要求大电流密度的根本原因之一还是 III 族氮化物纤锌矿晶体的极化特性。这一特殊晶体产生的极化场减少了电子和空穴在势阱中的重合，该现象被称为量子约束斯塔克效应（Quantum confined Stark effect, QCSE）。为了弥补光损失，蓝光和绿光半导体激光器的电流密度需要分别超过 2 kA cm^{-2} 和 4 kA cm^{-2} 。这样的电流密度值比 InGaAs 量子阱激光器高一个数量级。

绿光激光器的低光增益问题可藉由采用半极性衬底部分解决：当绿光 InGaN 量子阱生长在半极性面上时，与生长在传统的极性面上相比差分光增益可加倍。半极性晶向具有这一优点的原因是，通过打破纤锌矿晶体的 90 度旋转对称性，减少量子约束斯塔克效应和各向异性光增益。传统的 III-V 族化合物具有的是立方对称性，因此并不具备上述性质。

半极性半导体激光器的研发工作还处于起步阶段，其外延生长结构还不成熟。大家仍在探索该方法的局限性，包括前面讨论过的应变处理方法。半极性半导体激光器的缺点之一是，多数情况下光增益只在某一方向上较高，但这一方向并不总与谐振腔面一致。其原因也与打破平面旋转对称性有关。

低增益的原因不仅是高阈值电流，还与高光损失有关。在红光和红外光 III-V 族半导体激光

器中，带间跃迁吸收（Inter-subband absorption）以及自由载流子吸收（Free carrier absorption）是光损失的主要元凶，对 980nm 波长的激光光损失可减少至 1 cm^{-1} 。对于 III 族氮化物蓝绿半导体激光器，由于受体束缚吸收（Acceptor-bound absorption）其光损失比前者高十倍。

III 族氮化物还有一个不如人意的特性是受主（Acceptor）的活化能非常高。受主掺杂浓度需要非常高以达到必要的空穴导电性。对于 GaN 及多元化合物，镁（Mg）是唯一实际可用的掺杂施主，而其活化能更是超过 160meV，起码是传统 III-V 族掺杂物浓度的 4 倍。这意味着使用 Mg 掺杂时，当受主浓度约为 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 时，只有不到 2% 的空穴实际参与了传导。因此需要 Mg 掺杂的浓度需要非常高，以使该结构层具有合理的 p 型导电率，它也是制备低工作电压器件所必须的。但这就是必须付出的代价——高的光吸收率。

激光器设计者们只能通过一些方法来调整器件的整体光损失。他们能将前端反射镜的反射率选择得相对更高些，这也会导致输出光的斜率效率（功率 - 电流曲线的斜率）降低。另外，还可使 p 掺杂区远离光模，同时保证有足够的空穴注入量子阱中，以及激光器的工作电压在合理范围内。实现上述目标的一种简单的方法就是使用非对称光波导折射率分布，从而使光模偏向 n 极一侧。尽管这将略微减少光模与有源区的重合，但会显著减少其与 p 掺杂层的重合。

注入载流子

绿光 III 族氮化物半导体激光器研发者们面临的第三大主要挑战是：将载流子注入量子阱层中，阱层的势差较大，并且能带结构由于 QCSE 效应被严重扭曲。

在红外半导体激光器中，使用折射率渐变、约束分隔的异质结构能够获得很好的载流子输运。在这类器件中，能带隙朝远离量子阱区的两个方向都逐渐增加。但电子和空穴仍然被约束在多量子阱区域内，因为能带隙的梯度在其周围形成的电场阻止了载流子向外扩散。另外，该方法还能形成光约束，因为在距离势阱区最远的部分能带隙最大，而折射率最低。

很遗憾，到目前为止上述优雅的解决方案还被证明无法再绿光氮化物半导体激光器上使用。在我们看来，其原因是多量子阱中势垒和势阱所





用 GaN 和 InGaN 材料的奇异能带结构。两种材料的带隙能量分别为 3.49 eV 和 2.34 eV，因此整体的能带差超过 1 eV。由于导带与禁带的偏移比率变化差异显著，很难精确得出能带结构。但这些差别并不十分重要，因为毫无疑问的是对每个带点载流子来说势垒高度（以能量计）超过 kBT 值至少十倍。

为了能复制传统 III-V 族材料半导体激光器中使用的折射率渐变结构，工程师们必须制备出带隙比 GaN 更窄的 InGaN 势垒。但是这将增加有源区中 In 的总含量，对势阱层进一步增加压应变。因此势垒层中 In 的含量必须非常低，甚至不含 In。这意味着载流子从势阱基态热逃逸的速率比载流子复合速率低得多，因为随着势垒高度的增加热逃逸速率迅速降低。得到的结果是，载流子将被束缚在一个势阱中直到被复合，载流子通过飞跃势垒在不同势阱间运动。

这样做的结果就是糟糕的载流子分布，如果激光器器件生长在 c 面上则更是如此。压电效应会大幅提高势垒的高度，影响载流子的弹道传输运动。由于平均有效质量更高及迁移率更低，空穴的情况比电子更差，导致载流子在多量子阱靠近 p 极的一侧大量聚集。

无论是在 c 面衬底上生长的绿光激光器还是 LED，最靠近 p 极的势阱会聚集数量最多的载流子。这也是 p-n 实际靠近 p 极一侧的部分原因所在，增加向 p 型掺杂区的电子泄露。任何电子到达该区域后就会经历复杂的多重非辐射复合过程。为了防止它的发生影响器件的性能，通常会在势阱与 p 型区之间加入一个电子阻挡层。该薄层阻碍电子往 p 型区流动，但也会阻碍部分空穴注入量子阱区，并不能解决有源区内载流子分布不均的问题。当我们在衬底 c 面上制备多量子阱绿光半导体激光器时，只有靠近 p 型区的一两个势阱能提供光增益，其余势阱还会对光进行吸收，因为它们处于泵浦不足的状态，除非加以非常高的电流。

半极性半导体激光器则不同，由于内建极化场强度减弱，空穴能比较容易地注入若干量子阱内。更弱的电场降低了势垒的高度，使载流子能更均匀的飞跃势垒，并最终令多个势阱内的电子和空穴分布更加均匀。

我们发现半极性半导体激光器的优越能带结构使设计者们能够免于使用电子阻挡层，III-V 族



红外半导体激光器也不需使用电子阻挡层。由于空穴能够更深地穿入多量子阱区，因此被吸引至 p 型区的电子也就更少，亦减少了 p-n 结位置的偏移。

载流子在量子阱内的深度束缚也有其好处，减少对温度改变的敏感性。半导体激光器中用来衡量该敏感性的指标是阈值电流特征温度 T_0 。在基于 As 和 P 化物材料的半导体激光器中，载流子约束一般为 0.2 eV 或更低，在正常工作温度下，有源区中大部分的载流子都泄露出去了。而绿光氮化物半导体激光器更强的载流子束缚可以使电子在温度低于 400K 时不能从量子阱中逃离。

非极性比半极性绿光半导体激光器的 T_0 值更高。我们相信该现象的原因有二：在所有氮化物半导体激光器中均存在的载流子深度束缚；以及量子阱量子态间特别显著的分离。这也导致了高能带中热粒子的数量减少。

很显然，III 族氮化物材料是覆盖更宽光谱区域的希望所在。当设计绿光半导体激光器时所面临的挑战与 III-V 族红光及红外光半导体激光器非常不同，因此就需要不同的解决方法。对于 III 族氮化物绿光半导体激光器，应变的出现影响深远，低光增益和高光损失需要解决，载流子深度束缚会影响多量子阱中载流子的均匀分布，但它也有有利的一面，降低了其间对于温度的敏感度。深入理解上述挑战，探索一条克服所有困难的新路，是提高绿光激光器性能的关键所在。□□



离子束蚀刻

Sebastien Pochon 博士、David Pearson 博士；牛津仪器公司等离子技术部

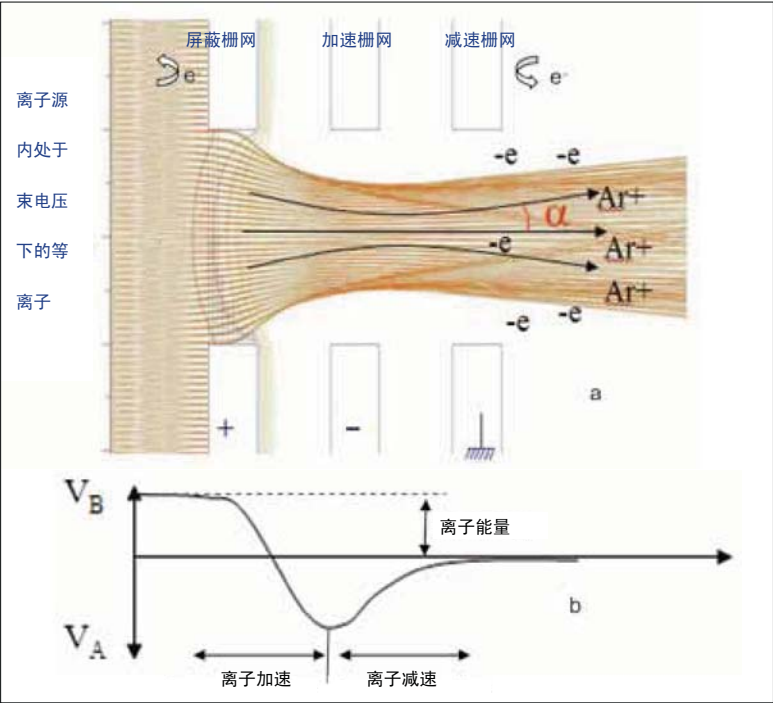
本文主要阐述离子束的产生原理，讨论相对于等离子蚀刻等技术而言，离子束技术在蚀刻工艺中的主要应用和优势。

设备和技术

离子束源是一种安装有栅网并能析取离子的等离子源，OIPT（Oxford Instruments Plasma Technology, 牛津仪器公司等离子技术部）离子束源主要由三个部件组成：放电室、栅网、中和器。

放电室是一个周围环绕有射频天线的石英或铝室，它的作用是对室内气体（通常为氩气）施加射频场，使其电离并产生等离子。射频场激发自由电子，直到它们具有足够能量使气体原子分解为离子和电子，这些离子和电子又可以反过来促进气体原子的分解，从而使气体最终发生电离，产生等离子。射频天线的端对端电压非常高，它对离子的静电力效应可使离子成为高能离子。采用以上方法的离子源虽然很容易启动，但其产生的离子会通过溅射腐蚀离子源，使离子源损坏并在工艺中产生污染，这种效应称为“容性耦合”；同时，它还会产生广谱的初始离子能量。

图1：三栅网结构中离子束的形成过程



OIPT 离子束源对此进行了工艺改进，通过在石英室内放置静电屏，只允许射频磁分量传递能量给气体原子，抑制“容性耦合”，进而主要通过“感性耦合”来电离气体，产生等离子。静电屏除了可以屏蔽射频天线的静电场进入离子源之外，还可以有效防止石英等离子管内部导电层的沉积，避免了射频场产生离子的效率降低。

栅网的作用是析取离子并将离子加速到所需要的能量。OIPT 离子束源的栅网由 2~3 块栅网组合而成（如图 1a），栅网上有许多独立的可作为离子出口的开孔，这些离子出口孔具有特定的布局图案，组合在一起可形成宽离子束。栅网间的间隔和栅网的曲率也是关键的设计特性，可以根据溅射靶尺寸、晶片大小或蚀刻速率等应用需求来进行调整。

OIPT 离子束源可以通过栅网上明确定义的能量，从离子源中析取出，由低温（电离）的低速等离子组成（离子温度 <1eV）。如图 1a 所示，三栅网结构的离子束源可以在栅网间施加特定的电压来驱动离子并对离子进行光学聚焦。在该结构中，与等离子接触的内部栅网称为“屏蔽栅网”，屏蔽栅网设定为对地正电势，它决定了离子束的电压（能量）高低。中间栅网称为“加速栅网”，加速栅网设定为对地负电势，它和屏蔽栅网之间的电势差为离子束提供了析取电压。任何进入屏蔽栅网开孔的离子都被析取电压加速，并通过加速栅网，部分离子会高速撞击并腐蚀加速栅网，但相对于整个离子束而言，这只占较小的比例。外部栅网称为“减速栅网”，通常设定为接地电势，它有助于保持离子束准直，减小发散，减少电子返流，避免溅射材料向后沉积到加速栅网上，从而延长清洗栅网的周期，也使得清洗栅网更加容易。在三栅网结构中，离子加速后的最终能量等于设定的离子

束能量（图 1b 所示的电压 V_B ）。

中和器是一种电子源，用途是中和离子束中的离子电荷，减小由于离子互斥引起的离子束发散，并有效防止晶片或溅射靶表面充电。一般来说，中和器发出的电子比离子束的离子要多，剩余的电子由室壁吸收。离子束发散度不仅是束电压（ V_B ）、束电流（ I_B ）、加速栅网电压（ V_A ）、中和器电流（ I_N ）等参数的函数，还会受到气体散射的影响（气体散射往往取决于工艺室压，这是需要保持低室压的原因之一），这些参数之间的相互作用非常复杂，优化就是要平衡各种参数直到获得理想的结果。不管怎样，离子束明显好于等离子的一个优点是：离子电流和离子能量可以独立设定。

OIPT 离子束源（蚀刻源）是双离子溅射（Dual Ion Beam Sputtering, DIBS）装置的组成部分（如图 2 所示），它把中和后的离子束精确定向到位于基板载台的晶片上。在要求良好均匀度的前提下，通常 15cm 蚀刻离子源可用于蚀刻高达 4 英寸的晶片，而 30cm 蚀刻离子源则适合用于蚀刻高达 8 英寸的晶片。应当指出的是：

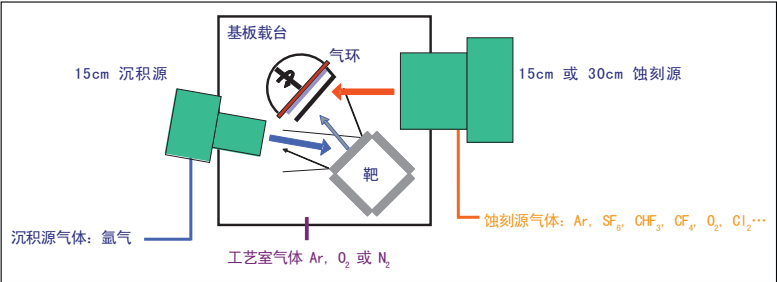


图 2: Ionfab 离子束蚀刻与沉积系统的原理示意图

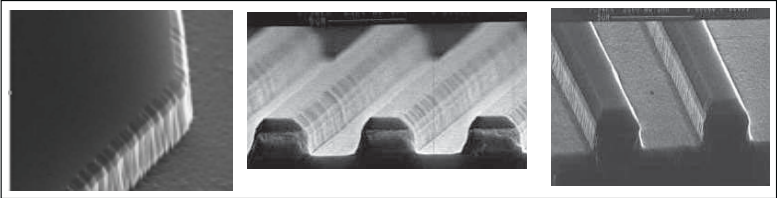


图 3: 离子束蚀刻。左：0.3 μm 铬；中：3 μm 金；右：2 μm 钼

根据不同应用，有多种不同孔密度图案和几何形状的栅网可供选择，30cm 蚀刻源的栅网结构通常为钼三栅网结构，而 15cm 蚀刻源则可以是二栅网或三栅网结构，并且材料结构还可以使用热解石墨。

蚀刻主要有两种类型。第一种类型是仅使用氩气、氙气、氟或氦等惰性气体的离子束蚀

我们跟您一块增长

我们了解半导体工业增长所需。因此我们一直持续投资更大的金属有机源钢瓶。源瓶尺寸的增长不仅是源瓶设计的优化，也是我们生产成功的重要因素。阿克苏诺贝尔是全球大宗金属有机源的领先供应商。我们是唯一的有自己完整整合关键原材料的Ⅲ族金属有机源的制造商。我们使用专一的、大型的反应器生产高纯金属有机源。我们充足的产能使我们独到的优势支持客户未来的增长。

www.akzonobel.com/hpmo





刻 (IBE)。IBE 主要提供物理蚀刻，与其它工艺相比，优点是可对金、铂、钯等非活泼金属进行蚀刻 (如图 3 所示)，而这些非活泼金属通常对活性等离子蚀刻或化学蚀刻无响应。此外，IBE 也适合用于蚀刻一些需要在蚀刻前后保持某种特性不变的材料 (如 CMT)。通常来说，对于多层材料，IBE 是首选的蚀刻方法。例如，磁敏随机存储器 (MRAM) 器件，虽然也能够使用加强型化学蚀刻，但优化过程会高度复杂，不及 IBE 蚀刻简单和高效。IBE 形式的物理蚀刻通常称为“离子铣”。

第二种类型称为反应离子束蚀刻 (Reactive Ion Beam Etching, RIBE)。RIBE 通常在氩气或其它惰性气体中添加 SF₆、CHF₃、CF₄、O₂ 或 Cl₂ 等化学活性气体。引入化学活性气体有两种方法：通过蚀刻源引入或通过基板载台上晶片

周围的气环引入，后者的处理方法称为“化学辅助离子蚀刻” (Chemically Assisted Ion Beam Etching, CAIBE)。CAIBE 使用气环的原因是因为早期产生离子束的等离子源是直流卡夫曼离子源 (Kauffman ion source)，卡夫曼离子源使用的是热灯丝，如果在离子源中使用 Cl₂ 等腐蚀性气体，灯丝的寿命非常有限；相反地，如果在离子源中使用氩气、氙气或氦等惰性气体，同时在远离离子源的晶片旁，由气环引入 Cl₂ 等腐蚀性气体，可大大延长灯丝寿命。

使用化学活性气体可以提高蚀刻速率和对掩膜材料的选择性，RIBE 模式的活性气体可能在离子源内部和晶片表面发生分解，而 CAIBE 模式的活性气体只可能在晶片表面发生分解，效率高于 RIBE 模式；此外，CAIBE 模式还有一个优势：可在一定程度上独立控制晶片表面惰性气体与活性气体的分压。仔细调整惰性气体与活性气体的分压可以控制蚀纹，例如，对侧壁轮廓进行控制，当然，这还要取决于对蚀刻材料和掩膜的认真挑选。同时，配合基板载台的倾斜与旋转控制，可获得更多的蚀刻特性。

基板载台可以在 -90° (加载位置) 到约 +65° 之间倾斜，其最大角度取决于溅射室和各个终点选项。图 4 显示了处于加载位置和 +45° 的基板载台，载台倾斜提供了对侧壁轮廓和径向均匀度的进一步控制；载台还可以按高达 20rpm 的转速转动，以便提供轴线对称的蚀刻特性。为了在蚀刻过程中保持晶片温度尽可能低，保护掩膜的质量，载台和载台轴均使用专用的制冷器冷却，并使用氦气作为媒介来传导蚀刻过程中产生的热量；氦气在后侧的冷却效率受到很多因素的限制，比如晶片结构、离子束能量、使用的晶片载台是否引入附加界面等，晶片载台引入的附加界面可能会反过来降低晶片表面的冷却效率。由于晶片形状和尺寸大小各不相同，可以使用定制的各种钼、不锈钢等晶片载台来传导热量，载台上部可以加上氧化铝环，尽量减少蚀刻过程中从载台到晶片边缘的重新沉积。

此外，在需要的情况下，基板载台内置的加热元件还可以把载台加热到高达 300℃ 的温度。例如，使用 Cl₂ 蚀刻磷化铟 (InP) 比使用 Cl₂ 和 BCl₃ 蚀刻砷化镓 (GaAs) 更困难，这是因为含铟的材料挥发性较差，使用 Cl₂ 在室温下蚀刻磷

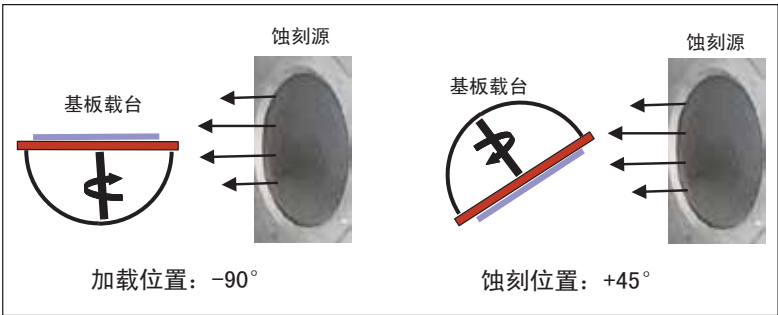


图 4: 基板载台定位原理视图

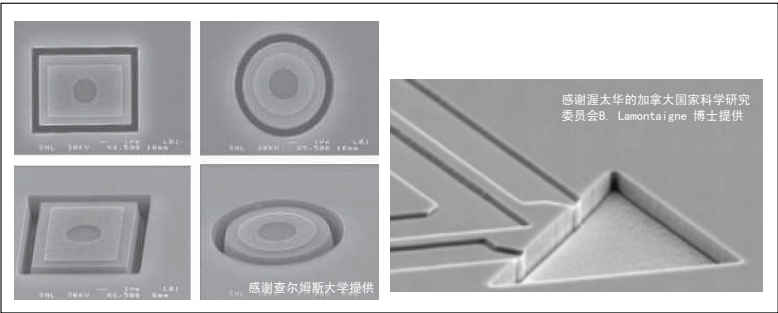


图 5: 左: 使用 Cl₂/BCl₃ 蚀刻的砷化镓/砷化镓铝 (GaAs/AlGaAs)；右: 使用基板载台加热和 Cl₂ 蚀刻的磷化铟 (InP)

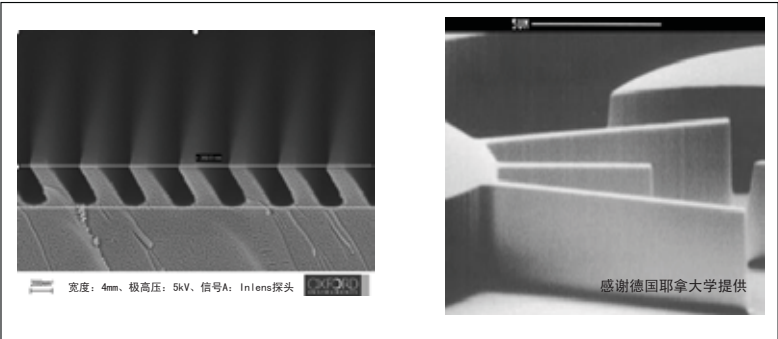


图 6: 左: 300nm闪耀光栅蚀刻的石英；右: 5 μm 深的各向异性蚀刻的石英

化铟，会因为表面残留的氯化铟 (InCl_2) 衍生物而形成粗糙的表面；把温度升高到 150°C 以上，增加含铟材料的挥发性，使表面光滑，有助于提高残留的氯化铟的挥发性和增加蚀刻速率。在 Cl_2 蚀刻磷化铟过程中，通过升高温度，蚀刻机制从更物理的溅射过程迁移到更面向化学的过程（如图 5 所示）。

最后，仔细平衡活性气体（如 CHF_3 ）和离子束能量还可以对石英进行角度蚀刻（如图 6 所示）；使用 CF_4 活性气体也可以对石英进行各向异性的深度蚀刻。

氟气蚀刻常见的缺陷是开槽、针尖 / 耳状物和粗糙表面。开槽通常发生在蚀刻轮廓的边缘，产生的原因是离子在侧壁近旁由于离子束发散和侧壁反射引起的“双剂量”效应；产生针尖 / 耳状物的原因是掩膜两侧的侧壁沉积；粗糙表面则通常出现在蚀刻多晶粒基板的时候。

解决上述问题的方案是使用旋转蚀刻，匀化引起开槽的“双剂量”效应（消除开槽），溅射掉掩膜两侧的侧壁沉积（消除针尖 / 耳状物），从各个方向有效撞击多晶晶粒（消除粗糙表面）。大多数情况下，载台角度设定在 $10^\circ \sim 30^\circ$ 之间的单个旋转蚀刻步骤就可以获得很好的效果（该角度通常与样本和材料有关），在某些情况下，可以运行两个或更多角度的旋转蚀刻步骤。例如，第一次蚀刻以接近垂直入射角的角度蚀刻主要部分，然后以某个倾斜角完成简短的旋转蚀刻步骤。通常，对于给定的离子束参数组合，如果第一个蚀刻步骤使用 20° 的倾斜角度（相对于蚀刻表面的法线），则进行第二个蚀刻步骤时，随着倾斜角度的增加，蚀刻速率和蚀刻厚度均匀度会随着提高，一旦超过特定点后，蚀刻速率和均匀度会重新下降，因此，以高很多的角度进行第二个蚀刻步骤会产生不同的性能，需要加以考虑。

解决上述问题的另一个重要方法是提高掩膜的图案质量（掩膜通常为光致抗蚀剂），因为氟气蚀刻是一个能把抗蚀剂图案形状有效传送给蚀刻材料的物理过程，蚀刻之前需要具有良好垂直方形图案的抗蚀剂，才能在蚀刻后得到良好的垂直侧壁。根据材料的不同，掩膜和蚀刻材料之间的选择比通常约为 1（或更低）。

为具体的蚀刻样本寻找理想的参数，取决于不同因素，例如蚀刻速率、侧壁形状与质量、掩

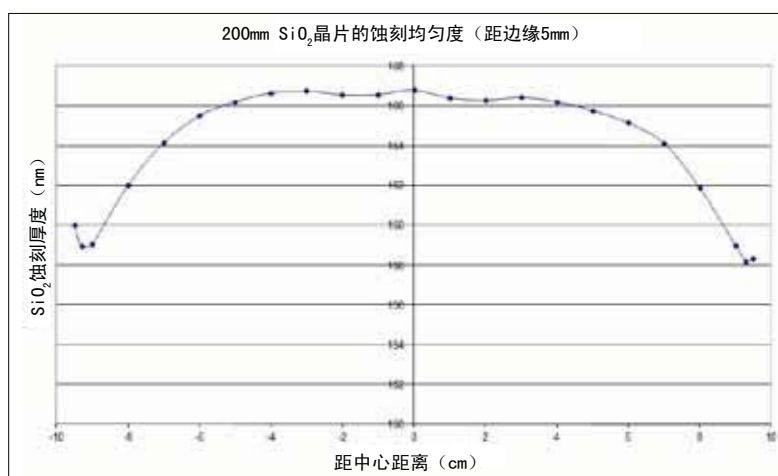


图7: 200mm SiO_2 晶片的蚀刻均匀度 (例1)

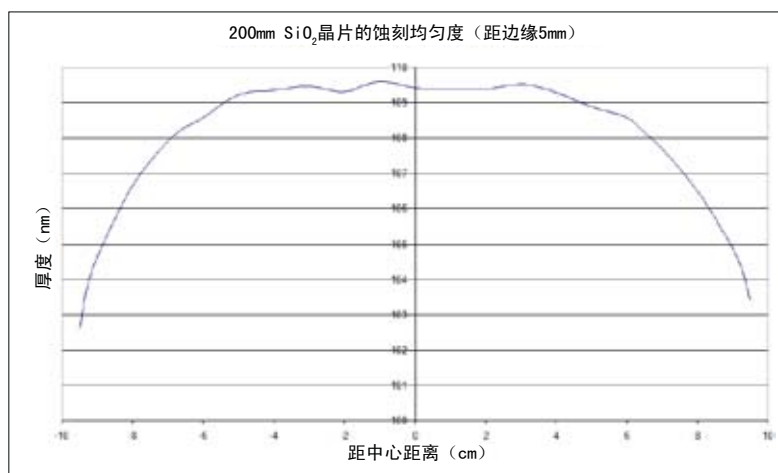


图8: 200mm SiO_2 晶片的蚀刻均匀度 (例2)

膜可容许的最高温度等实际需求。如图 7 所示，使用倾斜角为 10° 的 30cm 蚀刻源可以在超过 200mm 的范围达到非常好的均匀度， SiO_2 晶片距中心 $\pm 95\text{mm}$ 半径上的蚀刻厚度均匀值低于 $\pm 2\%$ 。应当指出的是：对于特定种类的材料和样本的几何形状而言是最佳的参数，但在其它情形而言未必是最佳参数。另外，因为载台晶片夹具的遮挡，蚀刻速率在晶片的边缘会出现下降，这种情况以及测量设备的检测能力都需要加以考虑。

为了锁定尽可能理想的参数，牛津仪器利用 SiO_2 晶片进行了调校蚀刻参数的基础工作，获得的参数组合在大多数情形下通常都会传递均匀度。有些应用可能需要在较小的区域上要求达到更好的均匀度，这种情况下，可能需要不同的束能量、气体流量、束发散度和倾斜角。图 8 显示了这种效果：当倾斜角设定为 30° ，并使用特定的束参数时， $\pm 95\text{mm}$ 半径区域的蚀刻厚度均匀值约 $\pm 3.3\%$ ，但是 $\pm 65\text{mm}$ 半径区域

技术 | Technology – 蚀刻

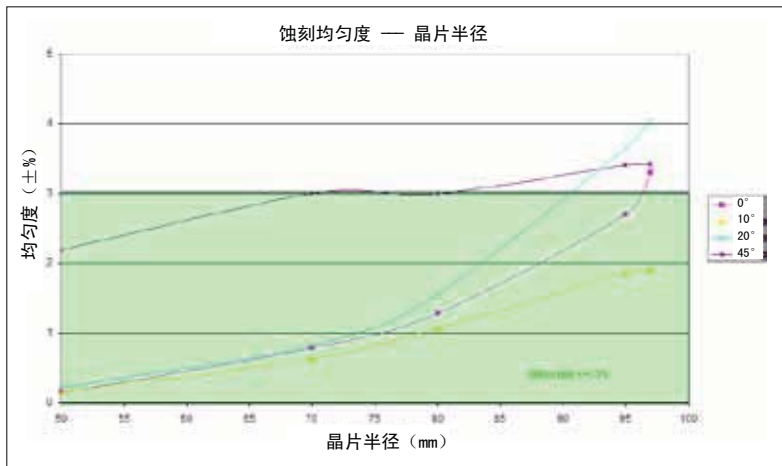


图 9: 倾角变化时 200mm SiO₂ 晶片的蚀刻均匀度示例

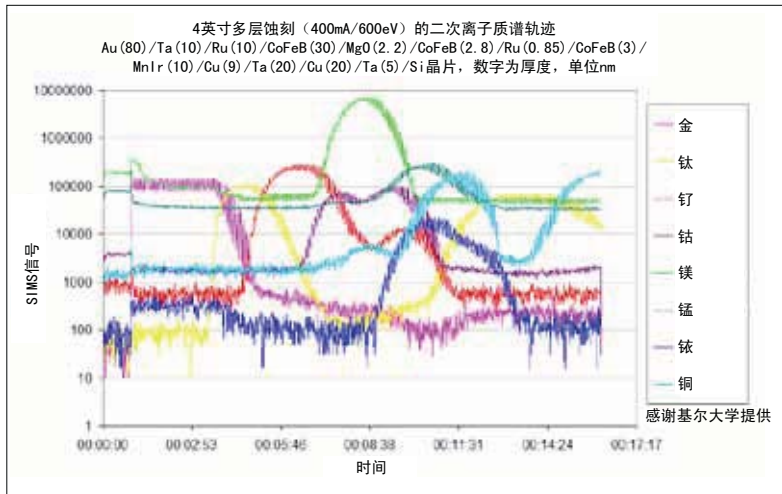


图 10: 多层蚀刻的二次离子质谱轨迹示例

的均匀值在 ±1% 以内。图 7 和图 8 两个例子说明：可以在特定倾斜角和束参数条件下（非整个范围），达到特定的均匀度，而且，蚀刻均匀度还与样本几何形状、蚀刻材料的性质以及其它工艺要求密切相关。

图 9 的曲线显示了在某个选定束能量和气体流量组合，均匀度随倾斜角变化而变化的情况。在这个具体情形中，均匀度在倾斜角为 10° 时最佳（载台朝向见图 4）；总体趋势是：随着倾斜角的增加，不均匀值下降达到最小值的一个临界点，然后随着倾斜角的增加，不均匀值重新升高（见图 9）。

离子束蚀刻中，其中典型的终点监测法 (End Point Detection, EPD) 为二次离子质谱 (Secondary Ion Mass Spectroscopy, SIMS)。为了在多层磁性材料或半导体元件的特定层上停止蚀刻，可以在设备功能中增加 SIMS 选项。蚀刻时，离子撞击蚀刻表面会产生具有多种重量特性的二次离子，这些从样本射出的二次离子

具有广谱的重量和角度，可以通过仪器进行过滤和识别。仪器所使用的方法是选择在多层中已知存在的或预测可能存在的元素重量，然后对样本进行蚀刻并监测所选元素的信号强度。

从二次离子质谱信号图（图 10）中可以很容易看出不同层之间的过渡，当某层为化合物时，可选择某个元素作为监测对象。以 CoFe 为例，可选择 Co 元素作为监测对象，之所以不选择 Fe 元素，是因为溅射室和元件内部已存在 Fe，可能会遮盖样本的信号。此外，从所有数据的小周期性变化也可以明显看出蚀刻时载台在旋转。

二次离子质谱 (SIMS) 信号图的纵坐标为“个/秒”，横坐标表示时间。为了使二次离子质谱 (SIMS) 的信号具有可控性，较薄的层通常会使用较慢的蚀刻速率。虽然本例的样本直径为 4 英寸，但是尺寸小很多的样本（低至 5×5mm）仍然可以对其进行 SIMS 监测。根据不同的样本尺寸，可设置不同的二次离子质谱 (SIMS) 探头来获得最大的监测信号。当然，蚀刻材料的外露面积也很重要，因为二次质谱 (SIMS) 的信号强度取决于蚀刻材料受监测的面积和入射离子束的电流强度。

结论

综上所述，离子束蚀刻具有如下优点：

- 可蚀刻各种材料（甚至是非等离子蚀刻的材料）
- 可通过样本倾斜进行侧壁造型
- 可通过添加化学活性气体提高蚀刻速率
- 可独立控制离子束电流与能量
- 高度的运行重复性
- 优异的蚀刻均匀度
- 广泛的工艺灵活性

氧化镓：挑战传统的宽禁带半导体材料

Masataka Higashiwaki, 日本国家信息与通讯技术研究所（NICT）

采用 Ga₂O₃ 材料的晶体管相比 GaN 与 SiC 基器件而言，电场强度要高得多，而且 Ga₂O₃ 同质衬底的生产成本较低、方法也相对简单。因此具有巨大的潜力。

为了确保稳定的能源供应，在不远的将来有

为

两方面的技术需要得到发展：其一是替代化石燃料的革命性技术的广泛使用；其二，更多采用能耗更低的产品，同时这也能减少温室气体的排放。

实现上述第二个目标的渠道之一就是使用效率更高的功率电子器件。因为宽禁带半导体材料相比硅材料具有更优异的材料性能，例如更高的击穿电压与更低的功率损耗，所以有必要在二者之间进行替代。

功率电子器件所使用的最成熟、最有前景的两种材料是 GaN 和 SiC，但是它们在大规模量产时都面临着巨大的障碍。在理想情况下，化合物半导体器件都需要使用廉价的同质衬底，但对 GaN 和 SiC 来说，简单廉价的方法非常困难。目前，生产 GaN 衬底材料的技术让功率电子器件的商业化应用望而却步，而 SiC 虽然幸免如此，但成本也高的吓人，且材料质量也不尽人意。

而 Ga₂O₃ 却是一直以来被忽略的宽禁带半导体替代材料，且有广阔的发展前景。因其带隙比 SiC 和 GaN 还要大，所以相比而言，电子器件的击穿电压与效率都会更高。而且，Ga₂O₃ 单晶衬底的生产可采用生产蓝宝石衬底同样的工艺，适合于低成本的大批量生产。而目前在 GaN 基 LED 产业中，蓝宝石衬底的成本已经很低，并且数量上已经超越了硅衬底，所以，Ga₂O₃ 衬底也会步其后尘、一片坦途。

为了促使 Ga₂O₃ 功率器件的愿景走向现实，自 2010 年以来，我一直与京都大学、东京工业大学以及 Tamura 和 Koha 公司合作，而且我们的团队已经开发出了几项基本性的技术，并取得了若干进展，包括世界上首个 Ga₂O₃ 晶体管原型器件。

氧化镓的特性

Ga₂O₃ 有很多结构，到目前已确认报道的有

5 种不同的多形体结构，分别标为 α、β、γ、δ 与 ε，其中 β 结构最稳定，而其他 4 种为亚稳定态。因为关于 Ga₂O₃ 方面的研究仍处于早期阶段，有关的晶体生长与材料特性的数据不是很多，且针对的都是 β 结构。该多型体结构具有几个特点：带隙宽度达到难以置信的 4.8-4.9eV，可以通过掺杂锡与硅、在 10¹⁶ 到 10¹⁹cm⁻³ 之间控制 n 型电导率。但是，截止目前还没有有关 p 型 Ga₂O₃ 薄膜的空穴导电性数据。

因 β 结构 Ga₂O₃ 的带隙较 SiC 和 GaN 还要大，因此它具备生产性能优异器件的潜力，例如高击穿电压、高功率以及高效率器件。（在表 1 中，就功率器件所应用的几种常见半导体材料和 β-Ga₂O₃ 进行了对比）。

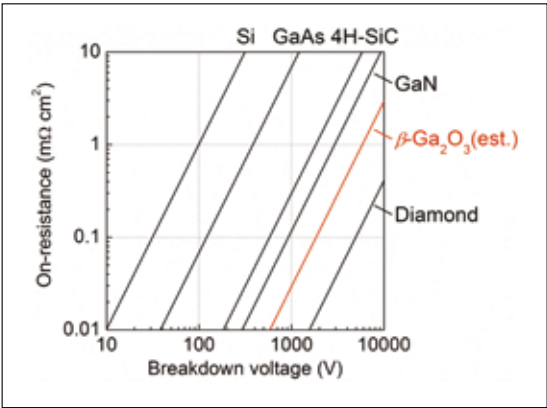
β-Ga₂O₃ 的优异特性表明该宽禁带半导体材料的击穿电场达 8MV/cm，是 GaN 和 SiC 的三倍。作为表征一种材料适合功率器件程度的基本参数，Baliga 优值对击穿电场的依赖性比迁移率要高的多，所以高的电场强度是 Ga₂O₃ 的获胜王牌。此优值与击穿电场的三次方成正比，但对迁移率只是线性关系。

在击穿电压的范围内，可用半导体的材料特征参数来计算导通电阻的理论极限（如图 1），这说明，在相同的击穿电压下，Ga₂O₃ 基器件的导通电阻比 SiC 与 GaN 基器件要低 1 个数量级。

	Si	GaAs	4H-SiC	GaN	β-Ga ₂ O ₃
带隙(eV)	1.1	1.4	3.3	3.4	4.8-4.9
电子迁移率(cm ² /Vs)	1,400	8,000	1,000	1,200	300
击穿电场(MV/cm)	0.3	0.4	2.5	3.3	8
相对介电常数	11.8	12.9	9.7	9.0	10
Baliga优值(相比Si)	1	15	340	870	3,444

表1. 就击穿电场和Baliga优值（Figure of Merit）数据而言,Ga₂O₃要比其他常见化合物半导体材料优良。

图1: β -Ga₂O₃ 的击穿电压与导通电阻具有突出的优势。



同质衬底

为了发挥出 Ga₂O₃ 器件的潜力，首先需要开发出同质衬底材料。制备 GaN、SiC 体单晶衬底一般采用升华法、气相外延法和高压合成法，成本很高、能效很低；与此形成鲜明对比的是，大尺寸的单晶 Ga₂O₃ 衬底可以低成本的熔体工艺生产，而且耗能也不大。

我们的两个合作成员单位 Tamura 公司和 Koha 公司，已经成功地开发出 2 英寸 β -Ga₂O₃ 单晶衬底的熔体法生产工艺，也即众所周知的导膜生长法（Edge-defined Film-Fed Growth,EFG）。该方法已经被用于生产蓝宝石衬底，而同样配置的系统就可以制造 Ga₂O₃ 衬底。

除此之外，熔体法还有更多吸引人的优点。原则上 Ga₂O₃ 熔体法生长不会产生微孔缺陷，而这一点对生产 SiC 衬底所采用的升华法来说，却一直是一个瓶颈。而且，与升华法不同，熔体生长不需要高压环境。其中最大的优点是，EFG 法的衬底尺寸仅仅受制于生产设备，升级到大尺寸只需放大设备即可。

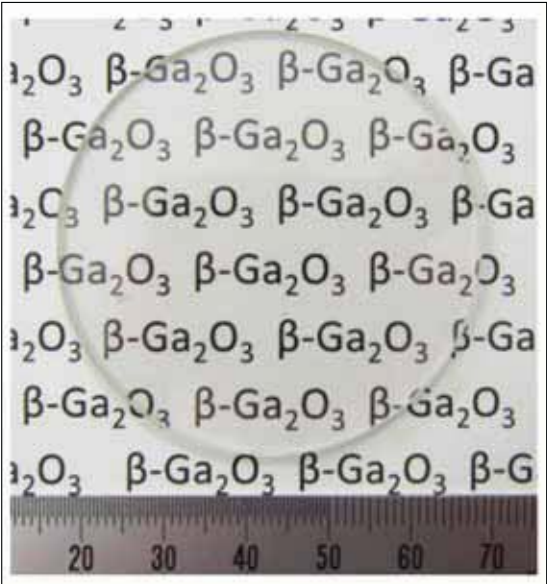


图2: 采用生产蓝宝石衬底的熔体法所制备的2吋 Ga₂O₃衬底。

生产 Ga₂O₃ 衬底的成本可以降到很低。我们估计，量产型系统可以 120 美元的单位成本生产 6 吋的高品质衬底。相比 SiC 的升华法来说，该高效的工艺温度低、生长速率高，可使衬底单位面积的生产能耗降低为前者的 1/3。

器件制备

最近，采用单晶 β -Ga₂O₃ (010) 衬底，我们率先成功地制备了单沟道 Ga₂O₃ 场效应管，这些金属 - 半导体场效应管（MESFET）器件仅仅只是简单的功能验证性器件。当然，这并非首个氧化物器件。曾经有几年时间，作为透明的晶体管材料诸如 InGaZnO₄ (IGZO) 与 ZnO 的氧化物半导体受到显示行业的关注，但是它们都是非晶和 / 或多晶材料，并不适用于高功率器件。为了制备 Ga₂O₃ 基器件，我们在同质衬底上使用 MBE 工艺沉积了掺锡的 n 型 Ga₂O₃ 沟道层，其中镓源与锡源采用传统的 Knudsen 分子束源、氧源由 5% 的臭氧和 95% 的氧气构成。

因为没有使用器件隔离技术，所以我们采用了环形场效应管的芯片结构（如图 3）。采用 BCl₃ 与氩气反应离子刻蚀法以及蒸镀 Ti/Au 的方法形成欧姆接触，之后又沉积 Pt/Ti/Au 的栅极并进行剥离。从而制成了 MESFET，没有表面钝化，栅长为 4 微米、源漏间距为 20 微米。漏极的内圈电极直径为 200 微米。

我们的一颗圆环形 Ga₂O₃ 基 MESFET 直流输出特征曲线如图 4 所示，其中最大漏电流密度达 25mA/mm、并且预夹断出色。在断态下进行三端击穿电压的破坏性测试，结果栅极被击穿、电压为 250V，漏极偏压为 40V 时的跨导最高达 2.3mS/mm。

上述 MESFET 的其他前景广阔的特征还包括：断态的漏极漏电电流只有 5 μ A/mm，且漏极的开 / 关电流比可达 10000。大部分的漏电流与栅电极的面积大有关（如图 3b），而栅极插指结构的漏电流要比上述数值至少低 1 个数量级。断态时的漏极电流与栅极漏电电流相当，这说明透过半绝缘衬底的漏电微乎其微。因此，只需优化调整器件的设计就可进一步降低断态电流。

如果把 1990 年代的 GaN 基 MESFET 的性能作为对这个原型器件的判断标准，那么我们这个氧化物器件的性能相当甚至更佳。当然，相比当

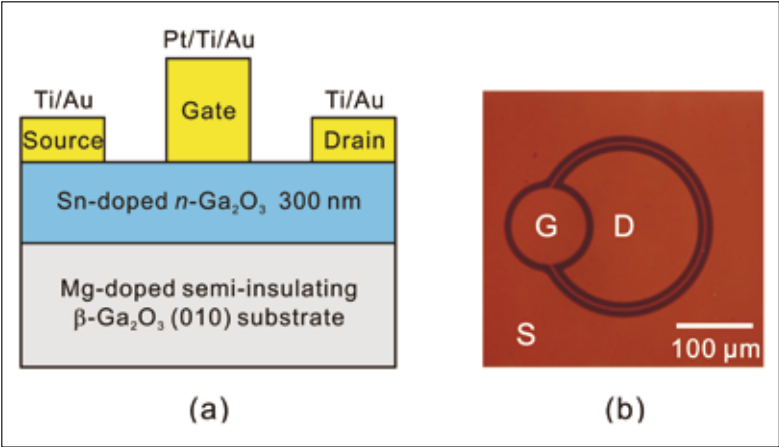


图3: (a) n-Ga₂O₃ MESFET结构的截面图示; (b) 器件的光学显微图示。

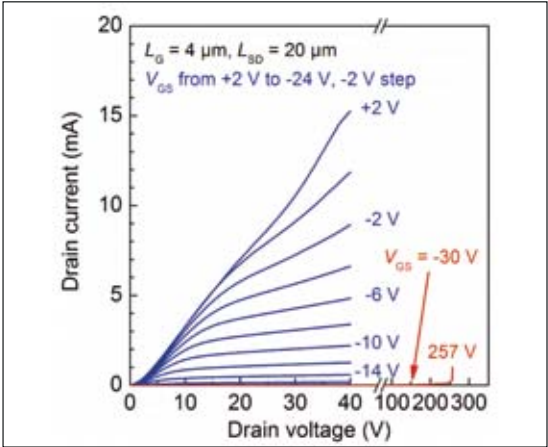


图4: n-Ga₂O₃ MESFET的输出特征曲线。

今高品质的 SiC 和 GaN 器件，我们的器件还相差很远，但是其高击穿电压和低漏电电流说明了其作为功率器件所具备的潜在优势。

为了提升这个原型器件的性能，我们还需解决一系列挑战，包括 4 吋以上衬底的批量生产、器件工艺、外延生长以及掺杂。为了使我们的器件可以尽快走入商用，我们希望开发出开关设备中的常闭晶体管，其最佳结构是 MOSFET，其中的栅极界面

层会使用 Al₂O₃ 或 SiO₂，鉴于它们都是氧化物材料，所以有理由相信，我们可以生产出具有高品质、低缺陷密度结界面结构的 Ga₂O₃ 基 MOSFET。我们相信，该最新的晶体管成果预示着高品质功率电子器件时代的到来，它们不仅有助于降低全球能量消耗，也可以优化半导体工业的功耗。

本项研究得到 NEDO（新能源与产业技术研究组织）和 JST（日本科技振兴机构）的支持。📄



HB LED和 OLED薄膜产 品高良率解密



从ITO到DBR和金属，EVATEC 能为HBLED和OLED薄膜产业提供高产量的蒸发设备和无等离子体损伤的溅射设备。访问我们您可以找到更多基于BAK蒸发台和RADIANCE溅射平台定制的OLED和HB LED薄膜产品解决方案。

LEDs • POWER DEVICES • TELECOMS • PHOTOVOLTAICS • MEMS • EVATEC - THE THIN FILM POWERHOUSE

www.evatecnet.com

棱锥结构引领单片式白光 LED 迈向光明

Taek Kim、Joosung Kim 和 Moonseung Yang; 三星公司

传统的白光 LED 的效能已很难再有提升的空间，但采用一个单片式多重波长光源，取代传统蓝光芯片结合黄光荧光粉的方法，在提升效能上将会有重大的突破，使用纳米级的棱锥体结构便是实现这一突破的一个极佳方式。

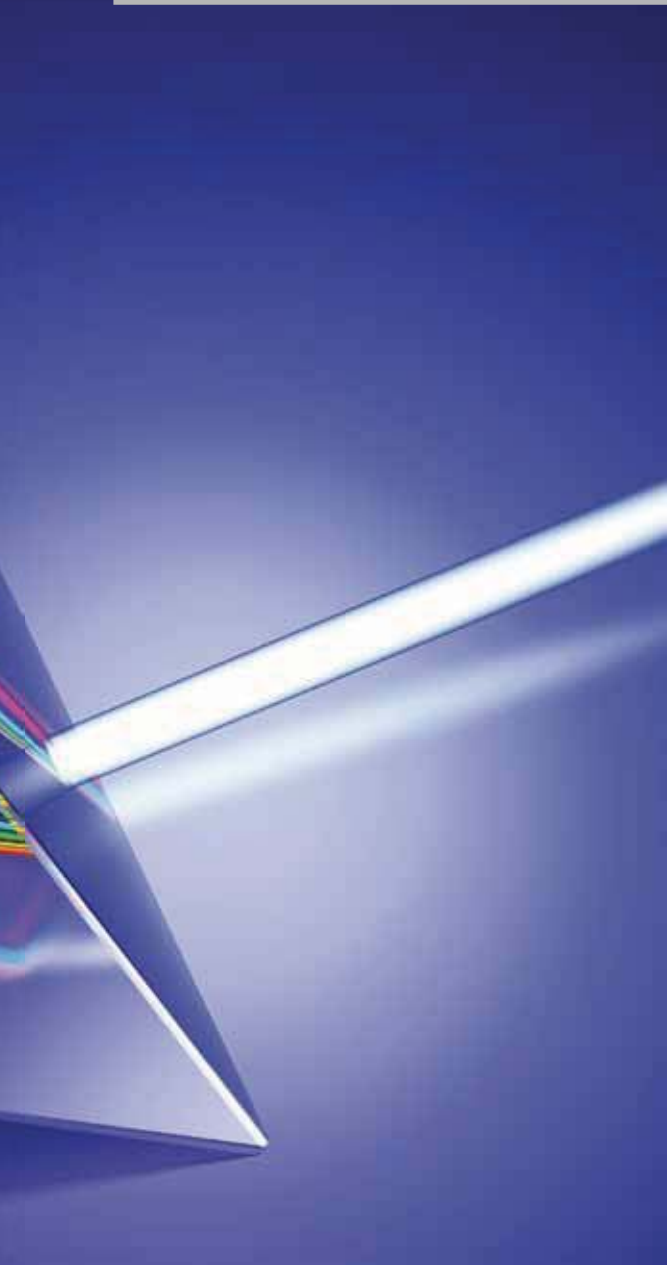
或许就在 2012 年，LED 即将完全主宰显示器背光的市场，这将驱使 LED 芯片制造商猎食这一新的有利可图的应用市场。目前为止 LED 最大的应用是通用照明。LED 的生产商已准备好去挖掘这个市场，但惟有当他们能大幅降低每流明的成本时才会大举进军，而透过提升发光效率能实现此目标。

白光 LED 将驱动这项照明革命。传统白光 LED 由发射蓝光的芯片及由吸收蓝光而放出黄光的荧光粉结合而成。在这样的装置中，由混色而成的白光之发光效率受到限制。即使蓝光芯片和荧光粉的效率都非常高，芯片放出光子的能量及实际被荧光粉吸收的能量间的差距，仍造成不可避免的能量损失。此外，使用荧光粉也有个实行

上的缺点，将荧光粉涂布于 LED 芯片上将增加制造成本。

终极的解决方式就是单片式白光 LED，发出多重光谱，如蓝、黄或三原色。然而，制造这样一个装置相当具有挑战。氮化镓 (InGaN) 蓝光 LED 在长波长下效率骤降，而磷化镓 (InGaP) 红光 LED 在短波长下则效率锐减，这些缺点合起来导致缺乏效率的绿光和黄光射极，称为绿光能隙 (green gap)，阻碍了单片式白光 LED 的发展。

在三星公司的研究机构 SAIT(Samsung Advanced Institute of Technology) 已经着手开发另一种全新的 LED 结构，我们利用纳米级的棱锥结构来制造单片式白光 LED，能顺利解决绿光能隙的问题。



LED 之发光效率超过 200lm/W。在 350mA 驱动电流下，美国 Cree 公司创下发光效率 231lm/W 的记录。纪录无疑的仍会继续往上增加，但能提升的空间不多了，因为荧光粉转换白光 LED (phosphor-converting white LED) 的理论最大发光效率为 263lm/W。

理论值限制之最大发光效率的关键因素是史托克转换 (Stokes shift) 能量损失。当以蓝光激发黄光荧光粉时该损失达 20%，且当蓝光被用以激发较长波长的荧光粉，如橘光荧光粉时，则该损失会更大。橘光荧光粉是被用来产生居住照明市场所需的暖白色调光源。利用混色方式所结合出的白光在发光效率上亦会产生限制，因人眼对绿色敏感，而传统白光 LED 缺乏会对光源效率有很大的影响的绿光光谱。综合此因素，对于广泛的发光光谱结合荧光粉所发出的光，人眼对其光波长反应迟钝；更糟的是，暖白光中的可见光则更严重。

去除波长的转换可避开这些问题，且可增加理论最大发光效率到超过 400lm/W。但建构这样的装置非常棘手，因为不只是制造一个能产生多色光之波长的单一芯片，并且要能发出高效率的绿光、黄光、甚至是红光。

单片式白光 LED 的障碍

氮化物 LED 的绿光能隙源自于富含铟氮化

为什么不用荧光粉？

高质量且价格实惠的 LED 灯泡是固态照明的终极目标。现在市面上已经可以买到色彩质量佳且高发光效率的 LED，但对消费者而言成本仍然太高。显而易见，大量生产可降低芯片成本，采用大尺寸硅晶圆能够获得更高的利润。我们已经发展出这样的技术，且最近已应用于蓝光 LED 的生产，其在 4 吋及 8 吋硅芯片上以电流 350mA 驱动下可产生 510mW 的功率。但既然最终是要降低整个经营成本，比起降低制造成本，提升发光效率会更为有效。这是因为加强发光效率能带来三个层面的效益：对芯片而言可降低每流明的成本，对整个灯具而言能降低封装成本，针对使用上而言可以降低耗电量。

在芯片制造大厂的实验室中，最佳的白光

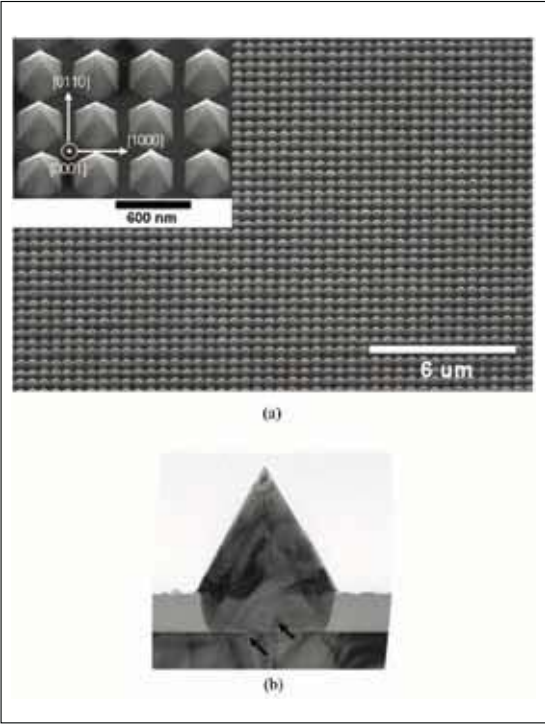
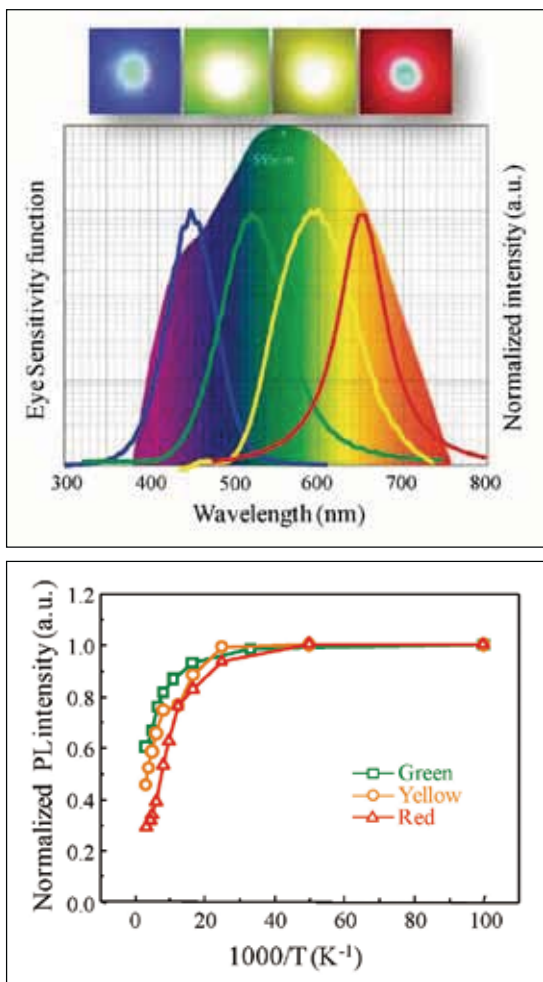


图 1: (a) 纳米棱锥数组的 SEM 图，其中插图表示结晶方向。(b) 横截面 TEM 显示，线差排在传入氮化铟镓层之前被终止。



技术 | Technology – LED

图2: (a)(上图)平面区(蓝光)及纳米棱锥(绿光、黄光、红光)上的氮化镓之PL光谱图;将人眼感光度的函数重迭作为参考。(b)(下图)纳米棱锥上积分后的绿光、黄光、红光氮化镓PL强度与温度间之关系。



镓的晶体质量不佳,以及三族氮化物在c平面上的极化性质所导致的。巨观的极化现象于此材料中,引起垂直量子阱平面的压电场。压电场在电子井中将电子与电洞拉开,导致自发辐射率的衰退,此现象称为量子局限史塔克效应。

当波长增加,效率的衰退更为严重。镓含量需提高来达到长波长,而这增加了量子阱的应变,导致更高的压电场而阻碍辐射复合。若要容纳更多的镓则需要较大的应变与较低的成长温度,而这更恶化了发光效率,因为产生很多非辐射复合中心,如点、线缺陷。有一延伸的研究指出,利用氮化镓(GaN)成长于半极化或非极化的基板来避开压电场,已在实验阶段证明是可行的。这可由蓝宝石(sapphire)或氮化镓之一来制造。然而,非极化与半极化膜成长于蓝宝石上时会产生迭层缺陷(stacking fault),而独立式(free standing)氮化镓基板则太昂贵不适合用来制造LED。包含台湾大学,许多团队正在研究一具潜力的替代方式,透过应变控制来降低电场,比如多重量子阱(multi quantum wells, MQW)的预应变(pre-straining)方式。

用氮化镓纳米结构来建构LED是一个更新且具有潜力的概念,利用这些结构放射正蓝光到红光的方式已被证实可行。这引起相当大的关注,因为这样的方式有希望能克服绿光能隙的问题,而实现多色光的白光LED。纳米结构的优点包括半极化和非极化氮化镓的成长、光萃取(light extraction)的提升、因为纳米结构微小的特征能有效降低应变,进而达到更佳的晶体质量。

我们已使用这类结构,特别是使用纳米级棱锥与氮化镓来产生磊晶层,其可放出高效率的绿光、黄光与红光。此外,我们已制作出单片式LED,可放射出由不同量子阱混色而成的白光。

关闭绿光能隙

我们使用有机金属化学气相沉积法(Metal-organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)去生长氮化镓/氮化镓(InGaN/GaN)多重量子阱(MQW),或成长双异质结构(Double heterostructure, DH)于纳米尺寸的氮化镓六角棱锥上。其制备方式系透过选择性的成长于已图案化的c平面氮化镓模板上,模板上有具圆开孔的100纳米厚的氮化硅(SiN)膜。

透过独有的成长制程,图案化后的晶圆,形成无意的氮化镓六角棱锥掺杂。随着三个氮化镓量子阱与氮化镓电障层(GaN barrier)或一个氮化镓/氮化镓双异质结构的增加,则成长制程终结。三元层成长条件需小心选择来控制放射波长及效率。其中氮化硅膜在成长制程后不需进行移除。

这些棱锥数组结构的六个晶面可以很清楚的在扫描式电子显微镜(scanning electron microscopy, SEM)及穿透式电子显微镜(transmission electron microscopy, TEM)下看到(见图1)。根据高分辨率的X光散射,所有的晶面是半极化{1,1,-2,2}平面。此方法的好处之一是差排现象在传入氮化镓层之前会终止,如图1(b)的TEM横截面图所示。透过因氮化镓及介电层罩之间的热应力不匹配(thermal mismatch)所出现的纳米级孔洞,选区成长(selective-area growth)时的差排现象将会被过滤掉。

我们能利用纳米锥体结构产生广泛的颜色及高发光效率,光激发荧光光谱(Photoluminescence, PL)量测展现绿、黄、红光的放射结果,见图2(a)。根据10到300K的温度范围中,一般化后积分的



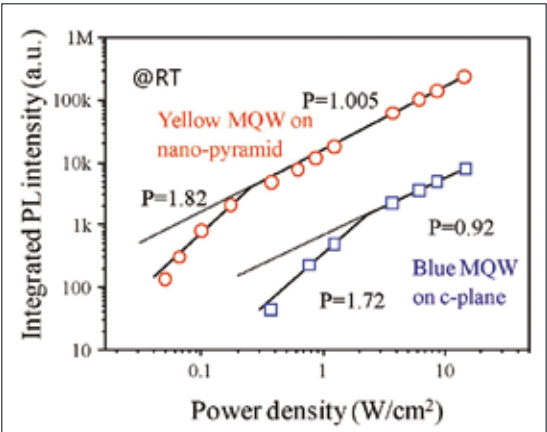


图3：纳米椎体上黄光氮化镓MQW及c平面基板上蓝光氮化镓MQW的积分光激发荧光光谱强度，随激发功率强度变化的函数。光强度(L)正比于IP，其中I为载子密度而P为幂次。如果P=1，辐射复合为主导。如果P>1，则Shockley-Read-Hall非辐射复合为主导。

光激发荧光光谱强度（normalized integrated PL density）之阿瑞尼士曲线图（Arrhenius plot）所得的绿光、黄光、红光的内部量子效率分别为61%、45%及29%，见图2（b）。

为了确认高发光效率的原因，我们比较纳米棱锥黄光MQW，和另一晶圆上成长在c平面的蓝光MQW。两种结构的光激发荧光光谱显示，

激发功率和光激发荧光光谱强度存在一线性关系，且发射出黄光的结构存在较低入射功率，这显示比起蓝光MQW有较少的缺陷，见图3。

透过低温下测量发射峰随激发功率变化偏移的函数，我们已确定压电场的强度，见图4。光生载子会遮蔽压电场，因此可从激发功率对发射峰造成的蓝偏移（blue shift）估计压电场强度。再一次的，我们比较发射出黄光与蓝光的结构；

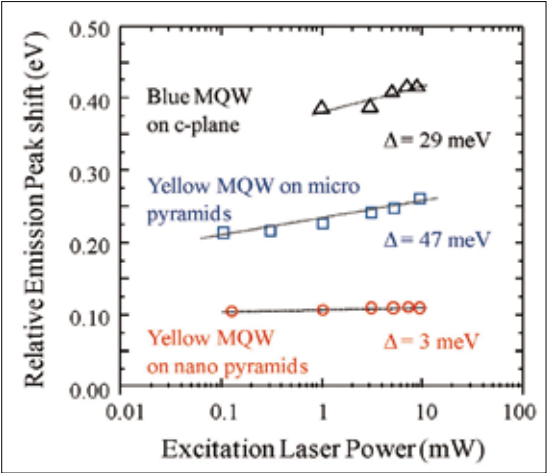
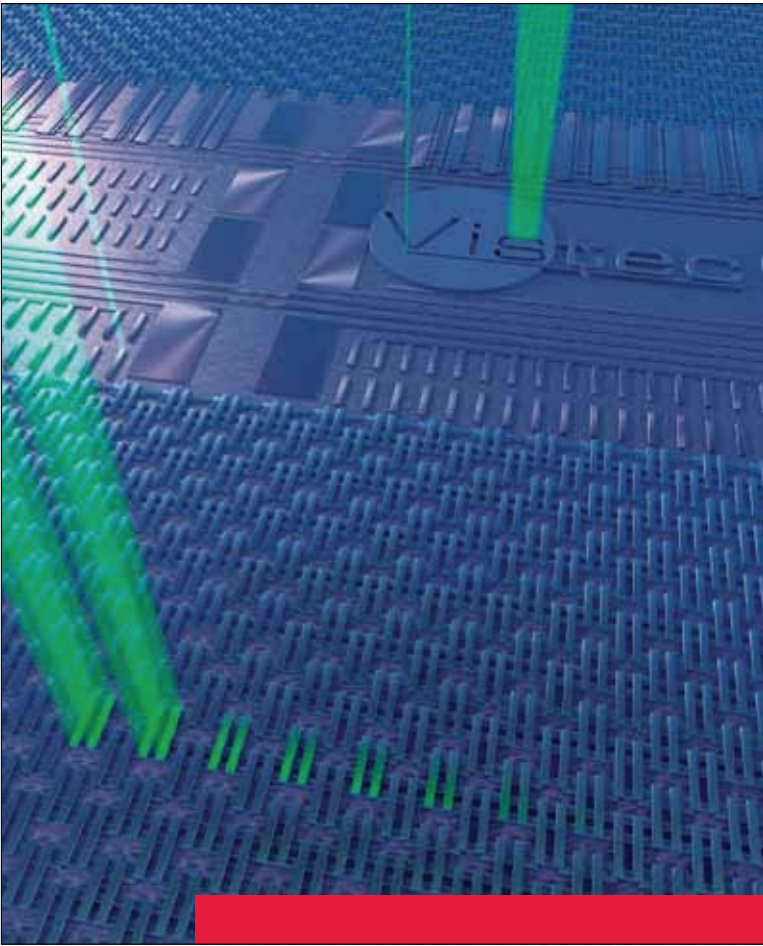


图4：三种结构之发射峰偏移量为入射强度变化的函数。由于三种结构发射波长不同，将可比较它们的相对发射峰偏移量。



为什么您应该使用Vistec的电子束光刻系统？

基于我们多年积累的开发、制造和提供全球服务的经现场验证的电子束光刻系统的丰富经验，积极进取的员工队伍、优秀的研究人员和高质量的工程师尽全力满足了我们客户的要求。

您的电子束光刻专业性能合作伙伴



Vistec Electron Beam Lithography Group | www.vistec-semi.com

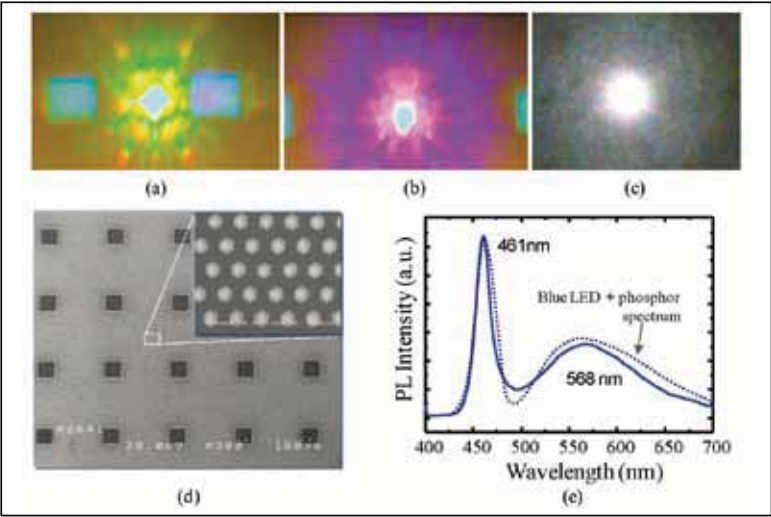


图5: 光激发荧光光谱图。(a)纳米锥体结构。(b)微平面区。(c)用5微米直径的光束取得的显微光激发荧光光谱图,显示由蓝光、黄光组成的白光。(d)发射出白光的SEM结构图,黑色方型区域为微米级的平面区。其中插图(e)为(d)结构的纳米棱锥数组图中的光激发荧光光谱,荧光粉转换白光LED的光谱图则以虚线表示作为比较。

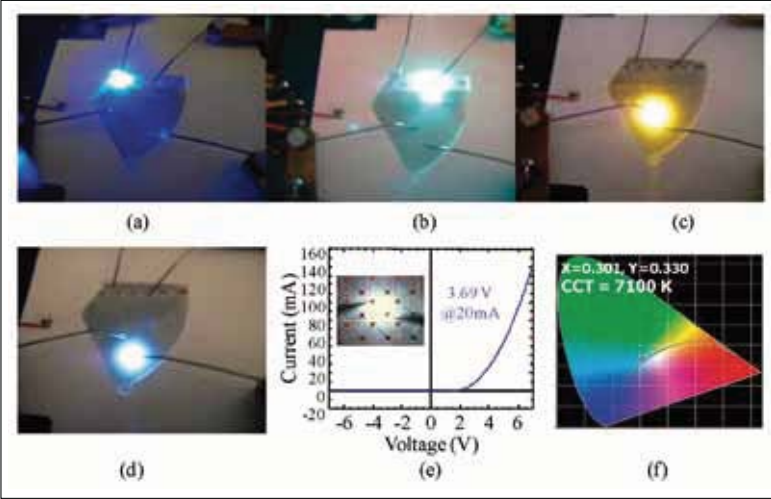


图6: 来自于同样基材的蓝光(a)、青光(b)、黄光(c)及白光(d)的LED。蓝光LED结构成长于平面区的c平面上,青光和黄光LED结构成长于纳米棱锥上,而白光LED成长于平面区及纳米棱锥混合的平面上。(e)白光LED的I-V曲线。(f)白光LED的色温。

在蓝光 MQW 中,当激发功率从 1mW 增加到 10mW,发生的蓝偏移为 29meV,这即显示出其产生的压电场大小。相比之下,黄光量子阱的蓝偏移小到几乎可以忽略。

因为这些纳米结构中半极化平面或应变的释放,使压电场被强烈抑制。而为了证实是否真实存在于我们发射黄光的棱锥中,我们将这些结构放大,建构底径 2 微米的等量角锥,发现这次的蓝偏移变为 47meV。

当放射集中到约 570nm 时,蓝偏移相对较小,显示半极化成长平面的显著影响。相较之下,在 500nm 条件下放射的 MQW 结构,激发功率产生巨大的 143meV 的蓝偏移。

然而,微米级角锥的蓝偏移仍远远大过纳米级的结果。我们的结论是,纳米级角锥 {1122}

晶面上的 MQW 成长,透过其半极化成长平面与应变释放,能有效抑制压电场。

打造白光光源

用选择性成长氮化镓的一个好处是,透过成长方式和成长条件的改变,可变换其位置。这点有着非常重要的意涵,氮化镓层的波长在纳米棱锥上及平面基材上是不同的,因此可能实现多重波长的放射现象。我们成长氮化镓 MQW 于纳米图案化结构上,有 20μm x 20μm 面积的开孔让晶体沿平面成长。Micro-PL 光谱显示,磊晶结构激发出的白光,系透过平面区域发出的蓝光以及纳米棱锥发出的黄光混和而成的。(如图 5)

在纳米棱锥的 MQW 中,拥有较高的镓含量能产生较长的波长,这并非简单的由于不同的沉积平面。而是因为镓遭受侧向的蒸气扩散及从介电层屏蔽到氮化镓锥体的表面迁移所导致的,进而使得镓的含量增加。

事实上,我们发现当移除氮化硅再成长氮化镓 MQW,锥体的发射峰减少 15nm。我们也学到,透过调整这些纳米锥体的间距,可以控制这些锥体上量子阱的发射波长。

藉由改变磊晶图案的选择性,我们制作出多重波长的 LED。(如图 6 所示,蓝光、青光、黄光及白光 LED 均来自于相同的基版)。白光是由纳米锥体上氮化镓 MWQ 放出的黄光,以及微米大小的平面区域放出的蓝光结合而成的。

在 20mA 下装置的顺向电压是 3.69V,由于纳米结构上 p 型透明导电层有较高的电阻率,这数值高于预期。然而,其开启电压低于蓝光 LED,这是因为黄光 MQW 的能隙较低所致。此条件下的 LED 的色温为 7100K,但经由纳米角锥与平面区之间的面积比的调整,可有效降低色温。

我们的努力展现纳米棱锥 LED 的惊人潜力。由于缺陷的减少、应变的释放、以及压电场的抑制,纳米棱锥 LED 可在广泛的光谱范围间产生高发光效率。

然而,挑战依然存在。其中最大的挑战是如何在氮化镓层拥有均匀的电流;因为三维的几何结构使电流穿过最短路径时发生壅塞。虽然壅塞不如在纳米棒中那么严重,但对高功率 LED 而言,均匀的入射电流是绝对必要的;我们将试图克服此问题,且试着开发更高含量的 p 型掺杂于 {1122} 的晶面,这是降低 LED 操作电压的必要步骤。CS

硅器件与III - V 族器件发展路线图

预计到 2020 年，硅晶圆代工厂将会从硅器件转向锗和 III - V 族器件。实现这一转变绝非易事，但是研究人员在电介质层、接触电阻、峰值电流、材料质量等方面不断努力寻求突破。理查德·史蒂文森报道。

舆论曾一次又一次声称降低硅基晶体管尺寸的进程终有一天会终结。一些人认为，光刻尺寸不可能超越光波长的界限——但是我们现在已经可以实现这一点；另一些人警告说，当晶体管达到纳米级别，电子无法获取足够的速度——然而只要在材料体系中施加应力就能迎刃而解；还有人指出高漏电流会限制器件尺寸的进一步降低，但是，诸如氧化铪等高 K 电介质取代氧化硅成为开关材料，使得这一难题也未能阻挡尺寸降低这一潮流的发展。

现如今，越来越多的评论家声称硅晶体管将会终结，这一次他们或许是对的。因为不仅是评论家们，众多的半导体行业从业者也相信这一点。国际半导体技术路线图（ITRS）就给出了到 2015 年半导体技术发展到 11 纳米时，锗和 III-V 族器件将会发挥重要作用。

最近在德国法兰克福的欧洲化合物半导体会议上，来自英国格拉斯哥大学的 Iain Thayne 对于新材料工艺对硅工艺生产线所能产生的实质的影响力给出了合理的解释。Thayne 致力于研究 III - V 族的器件在射频及毫米波段前道工艺上的应用。他指出随着器件尺寸的降低引入化合物半导体来提高性能是很有必要的。

Thayne 说：“硅工艺中晶体管密度的增加导致严重的热效应，很快就会超越器件所能承受的极限。”他解释说，防止电路中的器件过热可以采纳新型的晶体管，在保证电路中电压降低的同时不会影响器件整体性能。唯一能满足这些要求的就是利用锗和 III - V 族器件来替代硅基晶体管。

他同时指出器件尺寸降低的关键就是增加器件上晶体管的密度。每一个新的节点都要求更短的栅长，但同时栅极节距也在不断缩短，缩短幅度反而更大。图 1 中根据国际半导体发展路线图（ITRS）栅极节距的下降幅度超过了栅长的下降。

硅行业中持反对意见的业内人士则认为，III - V 族器件无法匹配到逻辑电路当中。由于化合物半导体中态密度较低，这类晶体管无法产生

足够高的驱动电流。但 Thayne 的一位同事 Asen Asenov 则指出上述责难中的关键点所在，在 III - V 族器件当中尽管较低的态密度会导致较低的有效电容，然而这种材料体系具有较高的迁移率和较低的有效质量，使得注入载流子具有较高的速度并增强冲击电流特性。更重要的是，由于载流子能量高，低态密度意味着注入载流子具有更高的速度；由于载流子迁移率高，这类材料体系通过阻值调节可以在栅极调制方面具有更好的性能。

材料特性

为优化 III - V 族器件的性能，研究人员需要找到一种材料体系，能够将高速载流子和低工作电压器件结合起来。Thayne 介绍到，栅极节距从 75nm 下降到 15nm(2024 年的目标值)意味着沟道载流子浓度将从 $8.5 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ 下降到 $5.1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ ，同时载流子速度从 $1.3 \times 10^5 \text{ms}^{-1}$ 增加到 $3.5 \times 10^5 \text{ms}^{-1}$ 。这其中最有价值的材料是 InGaAs，MIT 的研究结果显示 $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ 作为沟道可以使载流子速度达到 $3 \times 10^5 \text{ms}^{-1}$ ，同时栅长可以降到 20nm 以下。

Thayne 指出 III - V 族器件应用到逻辑电路中还需要更高的要求。他说这类晶体管需要具有 75 mV/decade 的亚阈值摆幅才能容易实现关断，还需要能够制成非平面器件结构，类似于 Intel 公司在 22nm 级中所应用的三栅极结构。此外由于尺寸降低，源极和漏极直接距离仅有几纳米，接触电阻将会意外上升。

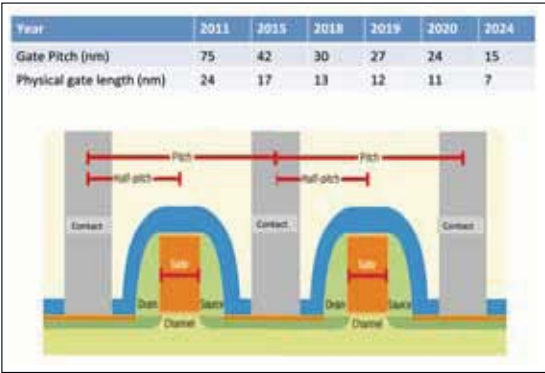


图1：根据国际半导体发展路线图（ITRS）栅极节距的下降幅度超过了栅长的下降。

格拉斯哥的技术团队同时参与了欧洲双层逻辑计划 (European Dual Logic programme) 以及半导体研究公司非典型 CMOS 研究中心 (Semiconductor Research Corporation Non-Classical CMOS Research Center) 的研究项目。他们的主要研究方向包括以下三个方面：栅层叠的提升；解决源极和漏极接触尺寸减小相关的问题；硅工艺和 III - V 族器件工艺流程兼容性的问题。

Thayne 研究小组正致力于研发一种平带结构的 MOSFET (如图 2)。这是一种类似 HEMT 器件的结构，在宽带隙部分采用 Delta 掺杂，电子在迁移到窄带部分时会产生高迁移率的二维电子气。如果在介质层顶端采用功函数较高的栅极金属，器件就会形成耗尽，驱动其在零偏压下形成关断。加正向偏压载流子会重新注入到沟道中。

这种 MOSFET 具有两项关键优势：宽带隙低掺杂避免了短沟道效应；沟道非掺杂、界面漫散射低以及源极和漏极扩展区域较低的电阻所导致的高迁移率。

当该研究小组最初在 2000 年初开始研发该 III - V 族 MOSFET 时，他们一部分的主要工作是希望能制成良好的栅层叠。起初他们采用 Veeco 公司的第三代双腔室的 MBE 系统在半绝缘的 GaAs 衬底上来分子束外延研究团队外延层，样品在真空状态下由第一反应室转到第二反应室，在第二反应室中他们加入了 Ga₂O 模板和 GdGaO 层。由这些外延片制作出来的平带 III - V 族 MOSFET 器件具有良好的性能，迁移率达到 5000cm²V⁻¹s⁻¹，方块载流子密度达到 2x10¹²cm⁻² 以上，在 1 μm 的栅长下跨导达到 357 μS/μm，亚阈值摆幅为 68 mV/decade。

为提高载流子的注入速度，研究人员尝试使用 In_{0.53}Ga_{0.47}As 作为沟道层，Al₂O₃ 作为介质层，厚度大约为 60 个原子层。这种新结构的好处在于可以增加迁移率，在掺杂浓度 2x10¹²cm⁻² 条件下，迁移率最高可以达到 6000cm²V⁻¹s⁻¹。

对于表面沟道结构的晶体管而言，这种晶体管的栅长为 1 μm，Al₂O₃ 介质层厚度为 2.5nm，晶体管的跨导达到 357 μS/μm，但同时亚阈值摆幅可以达到 150 mV/decade。

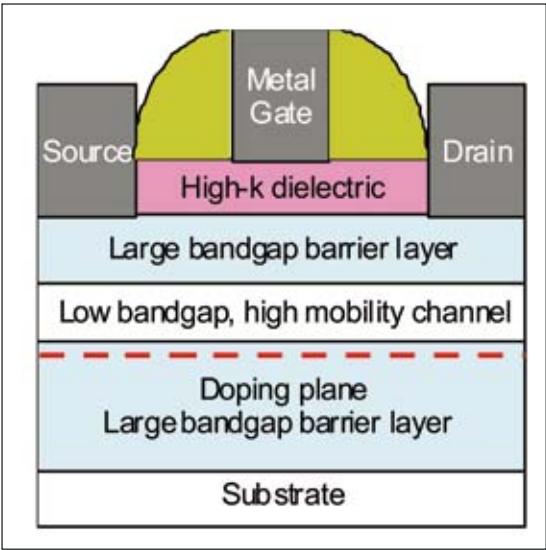
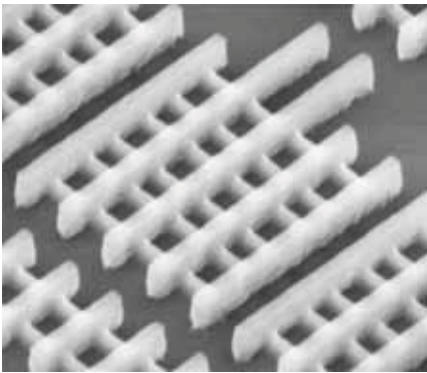


图2: 英国格拉斯哥大学的Iain Thayne研究小组开发了一种平带结构的 III - V 族器件。

Intel 公司所采用的从平面晶体管到立体结构的转型给非平面器件指明了发展方向，即要求形成非原始态的界面。考虑到这一趋势的影响，Thayne 与斯坦福大学的 Paul McIntyre，德尔研究院的 Paul Hurley 组成研究团队一起共同研究不同的处理手段对晶体管性能的影响。

研究团队采用三种不同方式处理的外延片。其中两个在生长完 III - V 族外延层后从 MBE 反应腔中取出：一个不进行表面处理直接生长栅极介质层，如此空气中的氧化物会在介质层界面处产生；一个进行硫化工艺处理然后沉积高 K 系数的介质层。第三片在 MBE 系统中沉积一层防止氧化的砷盖层，然后利用斯坦福大学的原子层沉积技术去除掉该盖层，使得栅极能够直接沉积在原始表面上。对这些 MOSFET 进行迁移率测试，结果表明硫化工艺处理可以做到和原始表面处理一样具有良好的界面态 (见图 3)。

Thayne 和他的团队要解决的第二个问题是要使得源极和漏极在仅有几纳米维度下具有较低接触电阻。ITRS 路线图表明栅极节距要从 2011

年的 75nm 下降到 2024 年的 15nm, 这种情况下源极和漏极接触从 21nm 削减到 2nm, 源 - 漏之间的电阻要从 160 Ω μm 下降到 110 Ω μm。

“传统”的方法是无法实现的，因为模拟以及实验都论证了在接触面积达到几个纳米时接触电阻会急剧上升。很多

研究小组试图通过不同方式来解决这道难题。来自格拉斯哥大学的研究人员采用 NiInAs 来制备超低阻值浅金属化的源 - 漏级。Thayne 表示这种首次采用的源 - 漏极技术可以最大程度满足 ITRS 所提出的 12nm 技术节点的要求，即相应的栅极节距在 27nm。

格拉斯哥大学研究小组要解决的第三个问题是硅工艺和 III - V 族器件工艺流程完全自对准的兼容性。研究团队首创了两种不同的设计方案：“栅极优先”和“栅极替换”。前一种结构是采用 In_{0.3}Ga_{0.7}As 的平带 MOSFET 结构，采用 GaO/GaGdO 为介质层，栅长为 100nm。这种晶体管漏极峰值电流达到 250 μ A/ μ m，跨导达到 150 μ S/ μ m，同时亚阈值摆幅达到 150 mV/decade。“栅极替换”结构下亚阈值摆幅降到 130 mV/decade，并且由于具有高达 18k Ω μ m 的接近电阻，器件会保持持续的导通状态。这个问题可以通过源 - 漏级退火来解决，需要在一个小型设备上完成材料扩散。

三维器件

来自普渡大学的 Pelde Ye 的研究小组，沿用了 Intel 的技术路线，将三维技术引入到 III - V 族 MOSFET 中。Pelde Ye 详细描述了 FET 的技术发展方向，从 III - V 族平面体材料结构发展到 III - V 族栅极包裹的 HFET 结构（见图 4）。他的研究小组最近完成了后一种结构的器件制备。在 InP 衬底上制作 p 型掺杂的 InGaAs 沟道层多种多沟道结构，并将其埋在 10nm 厚的 Al₂O₃，或者更厚的 WN 介质层下（见图 5）。这其中一种具有 4 平行沟道，栅长 50nm，fin 宽 30nm 的结构可以产生较低的栅极电压，峰值电流达到 1170 μ A/ μ m，同时亚阈值摆幅达到 150 mV/decade。

这些研究成果必将对 ITRS 路线图产生深远的影响。传统上的栅长降低会使得电流已经跨导上升明显。而这些晶体管结构则会避免这种短沟道效应。更重要的是，由于量子限制，仅有纳米尺寸的沟道尺寸降低会导致电流的骤升。

最近电子学快报报道了 Ye 的研究成果的一些细节，他和他的研究团队发现当纳米线宽度从 50nm 下降到 30nm 时，电流上升 40%，迁移率和跨导则分别上升 34% 和 20% 以上。

为了解释纳米线减薄造成电流上升——我们所不希望见到的负面效果，Ye 的研究小组采用 Synopsys 公司的 Sentaurus 工艺器件仿真软件来模

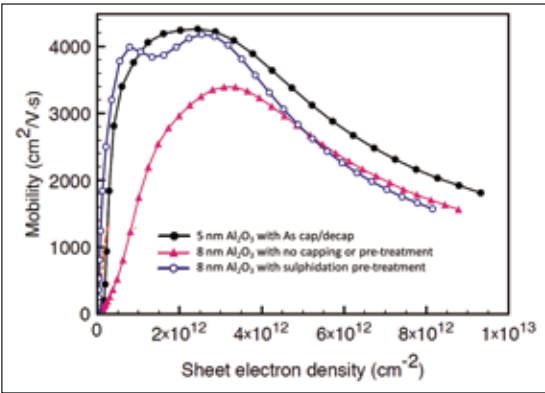


图3：德尔研究院的研究人员开发的一种硫化工艺，通过去除砷盖层来最大程度上抵消迁移率下降的劣势。这是一项被看好的技术成果，因为这是一种破坏原始界面的非平面晶体管结构。

拟器件结构。模拟结果显示纳米线的结构会形成反转效应，即纳米线边缘的电子浓度低而内部电子浓度高。由于这些电荷载流子倾向于偏离散射作用较强的界面，电子就会在以更快的速度穿过沟道区。模拟结果随着纳米线尺寸的下降纳米线中间电子比例上升，尤其到纳米线宽度下降到 10nm 时电子浓度下降的尤为显着。

整合到硅工艺上

如果化合物半导体的 MOSFET 器件想要能够进行产业化，那他必须要能够整合到大尺寸硅衬底上。由于存在晶格常数以及晶体结构上的差异，锗和 III - V 族想要在硅上实现高质量的器件是非常困难的。来自比利时 imec 的 Matty Caymax 研究小组正尝试实现这一工艺。在 2011 年欧洲化合物半导体会议上 Caymax 详细描述了为在硅上实现高质量的锗和 III - V 族器件所做的尝试和努力。III - V 族器件的制作工艺上采用了一种杯状底部（更多细节参考“imec 硅上 III - V 族器件制备工艺” imec prepares the ground for III-V transistors on silicon, Compound Semiconductor March 2011 p.12）。上述制备工艺（见图 6）消除了能够导致器件产生缺陷的反相畴。Caymax 说：“到目前为止

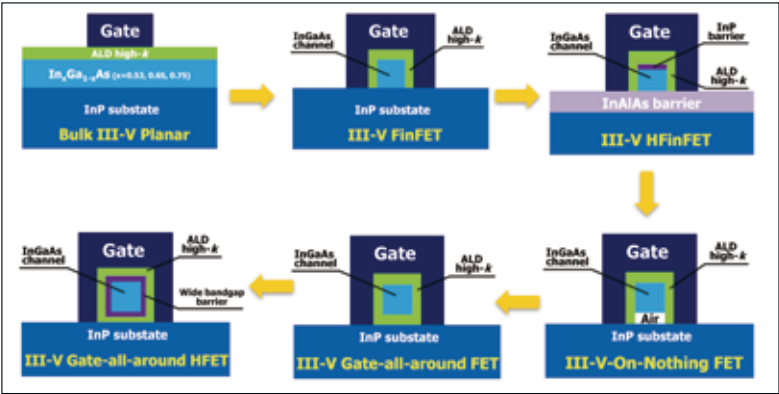


图 4：来自普渡大学的 Pelde Ye 指出，III - V 族 MOSFET 已经从平面结构进化到一种电介质层包裹沟道层的结构。



抑制氮化物二极管的漏电流

当电障层的组成从 $\text{Al}_{0.21}\text{Ga}_{0.79}\text{N}$ 转向 $\text{Al}_{0.11}\text{Ga}_{0.89}\text{N}$ 时,肖特基势垒二极管的漏电流可大幅降低 7 个量级。

日立中央研究实验室的工程师们发现,通过降低载流子面密度 (sheet carrier density), AlGaIn/GaN 肖特基势垒二极管的反向漏电流可以大幅下降。

高漏电流是今天 GaN 二极管的死穴,由于高温、高频率和高功率的组合特性, GaN 二极管有很好的商业前景。

人们普遍认为,泄漏的主要原因是结构上的缺陷,尤其是位错 (dislocation),这可能会导致在 AlGaIn 层应变。

然而,日立研究人员的初步研究表明,载流子密度也会影响漏电流。这一发现促使这些工程师展开了进一步的工作,涉及了三个 AlGaIn/GaN 异质结构,它们共享一个 $3.6\text{ }\mu\text{m}$ 的高电阻 GaN 缓冲层和 5 nm 的 GaN 盖层 (cap)。

在这些样本中,电障层组成为 $\text{Al}_{0.11}\text{Ga}_{0.89}\text{N}$ 、 $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 和 $\text{Al}_{0.21}\text{Ga}_{0.79}\text{N}$,由霍尔测量确定的相应的室温二维电子气密度分别为 3.6×10^{12}

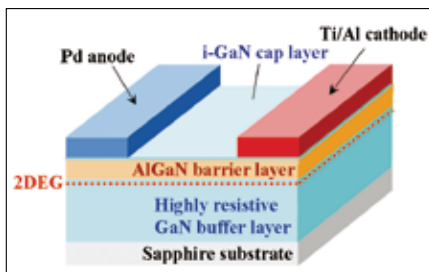


图1: 日立的肖特基二极管具有 $1000\text{ }\mu\text{m} \times 200\text{ }\mu\text{m}$ 的阴极和阳极,相隔为 $200\text{ }\mu\text{m}$ 。

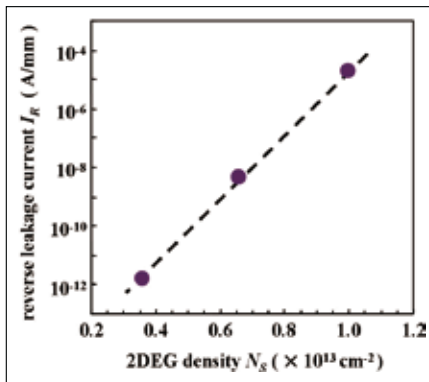


图2: 二维电子气密度相对较小的变化,漏电流结果却有巨大的变化。

cm^{-2} 、 $6.6 \times 10^{12}\text{ cm}^{-2}$ 和 $1.0 \times 10^{13}\text{ cm}^{-2}$ 。

“我们在精确控制的条件下,用我

们自己的 MOCVD 工具制备了这三个样本,”主要作者 Akihisa Terano 说:“我们认为我们的三个样本的材质几乎是相同的。”

所有三个外延片 (epiwafer) 都通过电子束蒸发形成的接触被加工成平面肖特基势垒二极管 (见图 1)。

器件的测量显示,二维电子气体密度下降了 3 倍,从而减少了 7 个数量级的漏电流 (见图 2)。

不幸的是,用这种方法削减泄漏电流也有其不足之处。

“降低面密度被认为导致增加了一些漂移层电阻,使正向电流下降了一些,” Terano 解释说。

他和他的同事正计划迎头而上解决这个问题,开发结合足够高正向电流与低漏电流的器件。

A. Terano et al. Electron. Lett. 48 274

(2012)

数百万原子 QD 计量

研究人员利用 InAs 量子点的模拟准确地再现了实验测得的光谱。

实际量子点器件的生长动态变化已 由一个国际研究小组建模出来,该小组由来自爱尔兰廷德尔国家研究院、意大利国家纳米技术实验室 CNR,以及美国印第安纳普渡大学的研究人员组成。研究人员使用的数百万 (multi-million) 原子仿真据称可提供前所未有的精度。

该半导体器件仿真工具称为 NEMO 3D,是由美国宇航局 (NASA) 和普渡大学 (Purdue) 开发的。这个工具可以通过高性能超级计算集群的并

行计算模拟含有多达 5 千万个原子的结构。

通过用一个创新的量子点 (QD) 两层模型准确地仿真镉-镓混和与钢偏析 (indium-segregation) 效应,研究人员可以重现分子束外延 (MBE) 生长 InAs 量子点的相关偏振光发射光谱。

廷德尔 (Tyndall) 提出了一个 InAs 量子点创新的两个组合模型,包括由接近量子点边缘的贫钢区包围的富钢中心核。该模型使研究人员能够重现实验测得的光谱。

生长动态建模是一个具有挑战性的计算任务,因为它需要用原子分辨率仿真逼真的量子点大小。

通过执行一套数百万原子的原子仿真系统,爱尔兰的研究人员发现了他们的计算和实验测得数据之间的相关性。

定量结果表明了钢镓混杂和钢偏析效应对量子点偏振特性的影响。

M. Usmanet et al. Nanotechnology 23 165202 (2012)



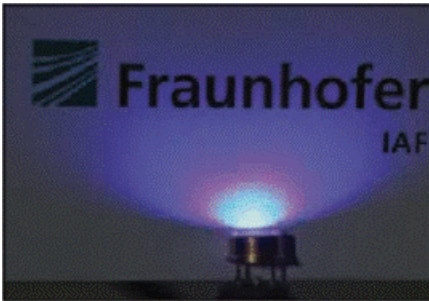
功能强大而简单的紫外 LED

在活跃区添加少许铟并优化金属触点可使 UV LED 性能大增。

GERMAN COLLABORATION 使用数量相对较少的工艺，已经生产出具有最先进效率的 355 nm AlGaIn 基 LED。

“据我们所知，我们的 [器件] 具有比迄今公布的 AlGaIn 基 LED 最佳值略高的 EQE，” 德国弗朗霍夫协会应用固体物理研究所 (Fraunhofer Institute for Applied Solid State Physics) 的 Thorsten Passow 说。

这些高性能的 UV LED 在 100 mA



图：弗朗霍夫应用固态物理IAF和乌尔姆大学的工程师构建的365 nm LED可在100 mA驱动电流条件下提供超过20 mW输出功率。驱动电流时可以产生 22.7 mW，将有助于为多种应用开发固态源，包括光

学检测、荧光光谱、UV 固化、水净化和表面消毒。

该研究小组成员来自乌尔姆大学和应用固态物理 IAF 的弗朗霍夫协会，他们已经制作出了自制的 LED，它用一种专有原位氮化硅 (SiN_x) 技术制备了 2 英寸 Al_{0.2}Ga_{0.8}N/ 蓝宝石模板。

MOCVD 生长形成了三种不同类型的 LED 磊晶结构 (epistucture)。第一种结构 700 nm 厚，硅掺杂的 Al_{0.15}Ga_{0.85}N 的 n 型接点；一个夹在两

上接第35页

图5：来自普渡大学的Pelde Ye的研究小组开创了Ⅲ-V族栅极包裹的FET结构。目前为止，他们研究内容涵盖了栅长50-120nm，fin宽30和50nm，1,4,9和19个平行沟道，沟道长度150-200nm范围，还有一种10nm厚的Al₂O₃作为介质层的结构。

止我们最好的实验结果可以达到缺陷密度 2x10⁸cm⁻²，” 他还说：“这还远远不够，我们会尽力实现更低的缺陷密度。”

一直以来晶体管的结泄漏都是比较严重的。为研究泄漏的起源，研究小组开发了一种截面原子探针扫描，通过这项新技术研究小组发现一些原子跑到了他们原本不该待的位置上：一些锗原子进入 InP 中，而一些铟和磷原子则跑到锗及硅衬底当中。

图6：IMEC的研究人员试图开发一种能将锗和Ⅲ-V族晶体管整合到硅衬底上工艺流程。

Caymax 的研究小组，同之前提到的 Thayne 和 Ye 领导的小组一样，都在致力于将Ⅲ-V族晶体管应用到未来的逻辑电路当中。到目前为止的研究成果让大家看到了曙光，棘手的困难也都在一步步的被克服掉。相信在将来若干年时间内，硅 CMOS 工艺一旦退出历史舞台，那么收拾残局并接手上台的必将会是这些化合物半导体器件。

个 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 电障层 (barrier) 之间的厚度 3 nm 的 GaN 量子阱；一个镁掺杂的 20 nm 厚的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 电子阻挡层；加上一个 50 nm 厚的 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 层和一个 20 nm 厚的 GaN 盖层，两者都掺杂了镁。

第二个变种在阱中和电障层里面包含了少量的铟。根据二次离子质谱检测，这不到百分之一。

第三个设计共享第二个变种的活跃区，但这种结构在两个方面有所不同。

其 GaN 盖层只有 10 nm 厚；优化了生长在量子阱上的层堆栈厚度，从而使这个沟道被定位在反节点，以提高芯片的发光量。

所有这三种类型磊晶都被分别加

工成两边为 240 μm 的方形 LED，具有采用 Ni/Ag/Ni 和 V/Al/V/Au 的 p 型接点和 n 型接点。器件然后被倒装到 AlN 子基板 (sub-mount) 上。

“我们并没有采取任何进一步的措施来提高提取效率，如表面粗化或背面纹理，” Passow 说。

在 40 mA 驱动条件下，在外部量子效率 (EQE) 为 1.4% 时，标准 LED 可产生 2 mW 的输出功率。在相同的驱动电流下，修改活跃区的第二个结构在 EQE 为 5.8% 时产生了 5.4 mW 输出。

研究人员声称，这表现在量子阱有源区 quantum-well active region 非辐射缺陷的有效筛查结果的加息。

第三类器件具有较薄的盖层，是

所有器件中最亮和最有效的。它在 40 mA 条件下产生了 9.8 mW 输出功率，在 100 mA 条件下增至 22.7 mW，而且驱动电流较低，其 EQE 为 7%。研究人员认为，这种优越的性能降低了盖层吸收损耗。

最高效的 LED 有吸引力的特点之一是其工作电压低——仅为 3.8 V，这比发出光子的能量高出 0.3 V。据该研究小组称，这个令人印象深刻的数字源于优化的接点层。

LED 性能的进一步改善应该是可能的，方法是采取表面粗糙化等措施，增加芯片的光提取效率。

R. Gutt et. al. Appl. Phys. Express 5 032101 (2012)

载流子处理挑战光效下降现象

分级量子电障层改善 LED 光效下降现象

台湾国立交通大学的工程师的计算表明，电障层 (barrier) 组成成分的改变可以提高 GaN LED 的性能。通过修改空穴传输，可能设计出更有效和不容易出现光效下降现象 (droop，即当电流密度增加时 LED 效率下降) 的器件。

该研究小组用加拿大伯纳比 Crosslight 开发的 APSYS 软件探讨了三个不同的 LED 结构。所有这些 LED 设计都是在 100 μm 厚的蓝宝石上形成的，有一个 4 μm 厚的 n 型 GaN 层：一个活跃区，它包括六个 2.5 nm 厚的 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 量子阱，里面散布着 10 nm 厚 GaN 电障层；一个 20 nm 厚 p 型掺杂 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 电子阻挡层；以及 200 nm 厚的 p 型掺杂覆盖层。

结构之间的差异与电障层势垒设计的变化有关。第一个结构所有的电障层都是沿生长方向分级 (按照铟组分中从 5% 到 0)；第二个只有在第五电障层势垒分级；第三结构在第四和第五电障层

中分级。这些是可能在真实器件中实现的掺杂分布。“我们的实验展示了相似的结构，” Hao-Chung Kuo 说，他在 Applied Physics Letters 上发表的一篇文章中报道了结果 (Appl. Phys. Lett. 99 171106)。

LED 建模——采用了 1 ns 的肖克利 - 瑞德 - 霍尔 (Shockley-Read-Hall) 复合时间、 $10^{31}\text{cm}^6\text{s}^{-1}$ 量子阱中的俄歇 (Auger) 复合系数和 $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 的器件尺寸，显示出只是第五电障层的掺杂实现了最大的改善。

所做的工作包括在 40mA cm^{-2} 和 200mA cm^{-2} 电流密度条件下模拟电子和空穴分布。在传统 LED 中，空穴累积在最靠近 p 区的阱中。但在有分级电障层的三种类型器件中情况并非如此，其中孔洞分布略更均匀，在第四、第五和第六阱有大量分布。电子分布通过存在的空穴进行了修改，在最接近 p 型区的阱中发现了最多负的载流子。

计算包括所有三个类型有分级电

障层的 LED 的光输出功率和外部量子效率 (EQE)。那些有两个或更多分级电障层势垒的 LED 最擅长应对光效下降现象——相比峰值效率，在 200mA cm^{-2} 电流密度条件下的效率仅下降了 6% 或更低少 (以前相同标准测量的光效下降是 10%)。

然而，这些设计有一个致命的缺陷：它们的 EQE 逊色于传统 LED，因为空穴掺杂的过度改善并不意味着器件效率的提高。相比之下，虽然分级只是在第五电障层，导致空穴传输方面小的改善，但它在 200mA cm^{-2} 条件下增加了标准 LED 的 EQE 42%。

目前，该小组希望进一步证明实际器件中分级电障层的好处和缺陷。“我们已与 Epistar 合作了一段时间，” Kuo 说，“我们将在这个项目上一起工作。”

C. -H. Wang et. al. Appl. Phys. Express 5 042101 (2012)



辐射复合饱和导致 LED 光效下降

当 LED 器件骤降到极低温，由于有源区的有效范围下降，LED 在低电流驱动下光效下降。

来着韩国的研究小组对于 LED 随着温度降低发光效率下降给出了一种不同的解释。他们对于器件发光效率随着温度降低而下降给出了多种理由，提出的理论解释包括：载流子泄露、有效发光区域减少，以及饱和度的辐射重组率等。

来着韩国汉阳大学的研究人员从 InGaN 蓝绿光 LED 的内量子效率入手，他们研究了温度从 50K 到 300K 变化，驱动电流从 1 μ A 到 10mA 范围内变化，量子效率的变化情况。

在极低温下 LED 效率骤降源于载流子泄露。载流子泄露的程度则取决于有效发光区域减少程度和随后的饱和度的辐射重组率。

实验所用的蓝绿光器件尺寸分别为 350 μ m $\times$ 430 μ m 和 400 μ m $\times$ 400 μ m，钢组分分别为 20% 和 35%。这些采用 TO 方式封装的 LED 器件采用闭循环的低温恒温箱并放在铝基板进行温度测试。

来自汉阳大学的通讯作者 Jong-in Shim 说：“铝基板到 LED 芯片的整体热阻并不高，在给定的驱动电流下，铝基板到 LED 有源层的温度梯度并不足以引起效率下降。”

Shim 指出温度低于 100K，电流在 0.1mA 以下才会发生效率下降。这种情况下 LED 芯片的功率耗散非常小。因此实际温度和记录温度之间的温差不足以对测试中所观察到的效率下降产生影响。

测试实验的实验发现之一是当蓝绿光 LED 的温度下降较小时，内量子效率 (internal quantum efficiency, IQE) 有所上升，并没有明显的光效下降产生。Shim 和他的同伴相信这是由于温度下降导致量子阱中的缺陷数量的单

调下降，而缺陷则是导致非辐射复合的重要原因。

温度进一步下降——蓝光 LED 降到 200K 以下，绿光 LED 降到 250K 以下时，器件的性能会发生戏剧性变化，只有在极低的驱动电流下才会发生光效下降。

研究小组据此得出两个结论：在低温下光效下降的主导机制发生本质变化；俄歇复合并不是光效下降的主因，因为它不会对低温下的光效下降产生影响。

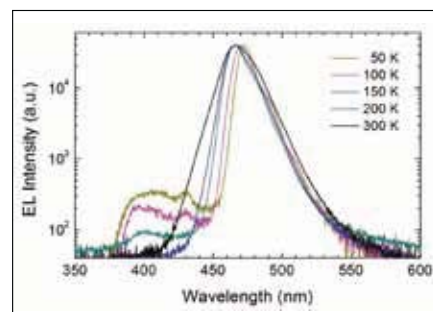
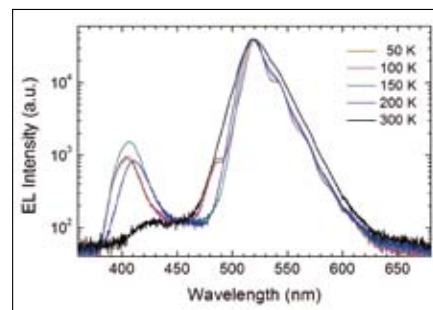
为更进一步研究光效下降的原因，研究小组测试了不同温度下的电致发光。在两种 LED 当中，温度降低都使得 EL 在 400nm 左右有一个发光峰（如图所示）。这个发光峰是由于电子泄漏到 p-GaN 盖层当中，与 p-GaN 当中的 Mg 受主发生复合所引起的。

Shim 和他的同伴相信电子泄漏是低温下光效下降的主要原因。由于在低电流注入下辐射复合饱和，非辐射复合率也会下降，那么当温度骤降，电子泄漏会更加严重。

有源区有效发光范围下降会导致低电流注入下辐射复合饱和。由于温度下降所引起的载流子输运下降，有源区的利用减少，有效发光区域相应减少。具体地说，在较低温度下空穴输运下降，空穴激活率降低导致了量子阱中的空穴减少，相应的有效利用区域减少。

理论争议

Shim 和他的同伴并不是唯一对于温度对 LED 效率影响进行研究并采用上述测试方法研究光效下降的起源的。例如，Fred Schubert 研究小组，同样也在研究不同电流和温度下蓝光 LED 的



图：温度骤降揭示电子泄漏。

效率问题，他们声称光效下降是由于电子和空穴浓度不对称性所引起的载流子输运以及载流子注入方式的不同（见 Appl.Phys. Lett. 99 25115 (2011)）。

Shim 说：“载流子输运的确是影响光效下降的重要因素之一。但我们认为还有一个更为重要的因素，辐射复合的饱和。”

根据他的说法，Fred Schubert 研究小组的理论模型主要是基于 p-n 同质结，并且没有考虑到辐射复合发生的有源区。尤其重要的是，它无法解释下面的三个实验观察结果：光致发光诱导光效下降；不同颜色的 LED 光效下降的幅度不同；器件结构对 LED 性能的影响。

关于他的第一点，Shim 引证了欧司朗和飞利浦的独立工作来说明，光致发光具有和电致发光类似的，共振会诱导光效下降。Shim 说：“这表明还有另外一个重要因素引起光效下降，并且是源于量子阱区。”

关于他的第二点，Shim 补充说：



科技之光 | Research Review

紫外 LED 当中 P 型 AlGaIn 要比蓝光和绿光当中显示出更大的载流子不对称性。然而紫外 LED 当中的光效下降要比蓝光当中小。

Fred Schubert 回应了 Shim 提出的诸多质疑。他指出他们研究小组的实验结果表明共振光致发光的光效下降要比电致发光光效下降需要更大的激发密度。他说：“因此，共振光致发光和电致发光的物理机制并不相同。我也并不排除载流子泄漏是光致发光光效下降的原因。”

Schubert 表示：我们可以从两个方面解释绿光 LED 要比蓝光 LED 更容易产生光效下降：更强的极化电场使得

载流子更难被捕获；更低的生长温度使得 p 型 GaN 材料质量更差，同时 p 型载流子浓度和迁移率也较低。

Schubert 研究小组最近发表了一篇关于 LED 光效下降分析模型的文章(见 Appl.Phys. Lett. 100 161106 (2012))。在这一模型当中，加宽有源区有利于降低光效下降，换句话说，有源区的设计会对器件性能产生影响。Shim 提出的基于镓富集的观点也引起了争议。来自剑桥大学的 Humphreys 研究小组，致力于采用扫描电子显微镜和原子探针扫描研究 GaN 结构，他们的观点认为量子阱当中并不存在镓富集。

Shim 对于他们研究工作所作的回

应是，镓会被点缺陷和线缺陷隔离。他引用其他人的研究报告，报告中采用原子探针及近场扫描光学显微镜等设备观察到了镓的富集（分别参见 Stat. Sol. RRL 3 100 (2009) 和 Appl. Phys Lett. 87 161104 (2005))。

Shim 和他的同伴会继续致力于研究 LED 的光效下降。尤其突出的是他们计划部署实验来研究辐射复合和非辐射复合的寿命问题，辐射复合的饱和程度与光效下降的联系以及能够抑制光效下降的器件结构。

D.-S. Shin et al. Appl. Phys. Lett. 100 153506 (2012)

氮化硼的机械转移

不同于蚀刻和激光剥离，机械方法分离 GaN 外延层和衬底既简单又快捷，并且可以实现较大尺寸。

近日台湾 NTT 基础研究实验室的研究人员开发了一种氮化硼薄膜技术，这项技术使得机械方法将会取代目前在工艺线当中所使用的蚀刻及激光剥离的方法，用来分离 GaN 和蓝宝石衬底层。

这一研究小组已经证实了这种方法的可行性。首先在蓝宝石衬底上沉积六方氮化硼薄膜制作成模板，之后在模板上制作各种结构，包括：高电子迁移率的 AlGaIn/GaN 结构、LED 的多量子阱结构等。高质量的 LED 芯片，尺寸从 5mm² 到 2cm²，都可以顺利的从晶片上用机械的方式剥离下来并转移到其他衬底上。

报道该项技术的通讯作者 Yasuyuki Kobayashi 认为这种氮化硼基的机械剥离方法将会适用到 LED 和 LEMT 器件当中。他说：“我们已经证实可以在一对薄层薄膜上制成灵活性很强的氮化镓基 LED，LED 制造商们将会对此很感兴趣。我们的技术同样可以用来将 AlGaIn/GaN 基的 LEMT 结

构转移到任何高热导的材料上去，这对于饱受热效应困扰的晶体管制造商来说无疑是一大利好的消息。”

NTT 已经对这项技术提交了多项核心专利申请，他们打算将该技术授权给其他芯片制造商。某家日本的实验室从 2005 年开始进行氮化硼的研究。氮化硼是一种可以用来制作深紫外器件的宽禁带半导体材料。2007 年他们利用 MOCVD 方法制备出六方相的氮化硼单晶，2008 年他们将这项技术扩展到在蓝宝石衬底上生长这种宽禁带的外延薄膜。

Kobayashi 宣称他们找到了一种可以实现单步生长，无损伤实现大范围氮

化镓基器件衬底转移的实验方法。氮化硼的 MOCVD 外延生长一直是一样富有挑战性的技术。他说：“氮化硼没有与之晶格匹配的衬底材料，哪怕只是在一定范围内匹配。”他说氮化硼薄膜的生长设备需要进行特殊设计，使之实现衬底温度达到 1300℃ 到 1500℃ 的高温，这是一个经过优化适合氮化硼生长的温度。

为了验证他们的实验结果，该研究小组在蓝宝石衬底上生长氮化硼外延层，之后在上边生长不同结构。他们发现在缓冲层和 LED 结构之间插入一层 AlN 层可以提升 LED 的表面形貌。如果直接在六方氮化硼上外延氮化镓就会形成粗糙的，具有不规则岛状表面的多晶结构。插入 AlN 层之后，氮化镓薄膜表面明显改善，形成层状的平整表面。在原子力显微镜下 5 μm × 5 μm 区域的均方根粗糙度仅为 0.69nm。暗场透射电子显微镜下可以观察到 AlN 层的另外一个优点：AlN 层会阻挡穿透位错，减少氮化镓外延





层当中的穿透位错密度。而 AlN 层主要的位错类型为混合型位错，位错密度达到了 $8.6 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 。

他们在氮化硼模板上生长了一层 25nm 厚的 $\text{Al}_{0.28}\text{Ga}_{0.72}\text{N}$ 层，验证了氮化镓器件的材料质量。当把一个 2cm^2 的器件从衬底上剥离下来之后，测量器件特性发现器件的二维电子气迁移率可以达到 $1100 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，方块载流子浓度达到 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ 。

NTT 的工程师还在氮化硼模板上还制作了一种具有 10 对多量子阱的

LED 结构，并对比了具有低温 AlN 缓冲层的传统的 LED 器件结构。他们发现这种具有转移特性的 LED 结构在驱动电流从 10mA 到 50mA 范围变化下，具有和传统的 LED 可比拟甚至略高的电致发光特性。这其中的主要原因是由于背面的钢接触增加了反射率。

这两种 LED 结构的电致发光光谱宽度是比较接近的，这说明在衬底转移过程中有源区的材料质量没有发生变化。

研究小组还制作了一种电池供电的 LED 原型。LED 的尺寸为 2mm^2 ，

厚度为 $3.4 \mu\text{m}$ 。LED 结构被整合在两个层状的薄膜层中，并且制作有 T 型的 Pd/Au 金属电极。然后再制作上 ITO 的接触层并进行热退火。这一器件具有紫 - 蓝光的发射极以及自由的源极。

研究小组目前以及接下来的研究内容包括：增加器件可剥离的面积区域，转移到更多的其他材料体系上后传统 LED 和晶体管器件的性能的提高。

Y. Kobayashi et al. Nature 484 223 (2012)

降低蓝宝石上外延 GaN 的缺陷密度

无机掩膜可以实现超高质量的 GaN 外延层结构

最近开展的一项国际合作项目小组在蓝宝石衬底上制作了一种难以置信的超高质量 GaN 外延层。这项制备工艺仅需要单步外延生长就可以实现。

来着加州大学洛杉矶分校的谢 tahong 说：“我们希望这项关键技术可以运用到那些需要高性能材料的器件结构上。这些器件包括激光器、限制功率缩放的功率晶体管、超低暗电流的光电探测器以及固态照明用的 LED 等。”

谢的研究小组于来自北京大学的科研人员一起合作，通过一种无机盐的掩膜技术可以阻挡穿透位错，制作的 GaN 薄膜的位错可以达到 $7 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 。

他最初利用这种形式的掩膜可以追溯到 2001 年，当时是想将这种结构利用到横向外延上用以减小位错。不管怎样，他还是利用这项技术降低了位错。

由于简化了外延生长工艺，器件制造商们可以利用这项掩膜技术用以降低生产成本。更重要的是，和采用

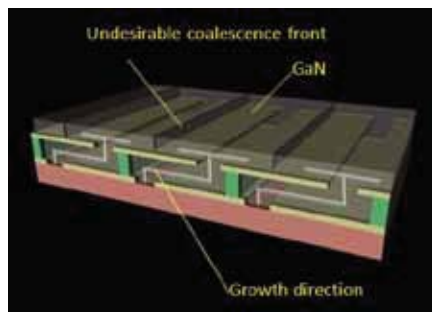


图1: SiO_2 和 SiN_x 形成的复合无机掩膜的生长、光刻以及蚀刻。

传统的过度生长技术的 GaN 材料相比，由于缺陷高度密集区域减少了四倍以上，例如闭合层等，芯片制造商也将会从中获益。

在外延生长 GaN 薄膜生长工艺中，谢和他的研究同伴最初通过在蓝宝石上采用 CVD 的方法先外延一层 100nm 厚的 SiN_x ，通过标准的光刻工艺就会形成 [11-20] 晶面取向，然后再在该掩膜上生长 200nm 的 SiO_2 和 SiN_x 。

这样就会形成另一组的 SiN_x 条纹，与之前较低的窗口层分离并且形成一定的偏移（见图 1）。最后采用氢氟酸去腐蚀暴露在较低窗口层的蓝宝石。研究人员在这样一个无机掩膜层

上，在 530°C 下生长 25nm 的成核层，然后在 1040°C 下生长外延层，获得了高质量的氮化镓外延层（见图 2）。

在掩膜的边缘充斥着 Ga 空位，这样就会形成 GaN 的岛状结构。而掩膜的中心区域，材料的晶体质量比较高，这是由于完全闭合的 GaN 成核层形成了类似镜面的平整表面。

实验结果表明，与传统的蓝宝石上外延 GaN 相比，这种掩膜上生长的外延层其 X 射线衍射的半高宽要更窄，缺陷密度少好几个数量级，电致发光高 16 倍以上。还有一项基于中美间国际合作的项目是与台湾的成功大学合作，要在这种低缺陷衬底上生长激光器及 LED 等。

L. Li et al. Appl. Phys. Express 5 051001(2012)

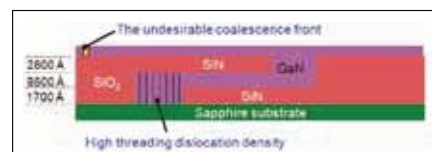


图2: 由于掩膜阻挡了穿透位错，形成了高质量的GaN外延层。



产品橱窗 | Product Showcase

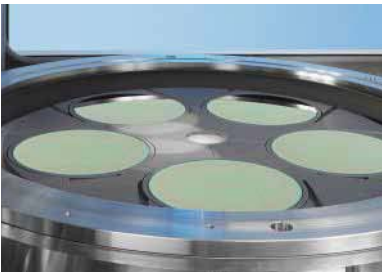
爱思强推出 AIX G5+ 硅基氮化镓生长设备

爱思强公司推出最新产品 AIX G5+，为其 AIX G5 行星式反应器平台提供 5x200 mm 硅基氮化镓生长专用设备。基于以客户为中心的发展计划，爱思强的研发实验室开发了此技术并设计并制造了此产品，包括特别设计的反应器硬件和工艺。该产品现已作为 AIX G5 系列的一部分推出，因此所有现有的 G5 系统均可升级至这一新设备。

“爱思强坚信在 200 mm 硅基氮化镓的工艺上，均匀性与良率是成功的关键因素，因此我们进行了一个专门的研发计划。”爱思强副总裁兼功率电子器件项目经理 Frank Wischmeyer 博士说，“我们经过了反复的数值模拟，从而设计出能够与现有的 AIX G5 反应器平台兼容，而且足以胜任 5x200 mm 工艺的独特工艺性能的新基本部件。”而最终实现的极其稳定的工艺流程提供了较其他任何 MOCVD 平台更为均匀的材料特性以及更高的设备良率，同时也拥有 5x200 mm 的晶圆生产能力。

客户的初步反馈，也印证了这一技术发展的成功。很多客户特别指出，所有 5x200 mm 晶圆具有完全旋转对称的均匀形状、标准厚度的硅基衬底以及严格可控的晶圆弯曲度，均完全符合他们所需的硅质生产需要。Wischmeyer 博士介绍说：“这样均匀一致的生产能力，一直以来都是爱思强行星式反应器®技术的独有优势，如今也可以成功应用到 200 mm 硅基氮化镓晶圆的生产上。”

Aixtron, www.aixtron.com



RFPA2089 0.25W、50-2700MHz InGaP HBT 功率放大器

新型 RFPA2089 是一款专为无线基础设施应用而设计的单级 InGaP HBT 功率放大器。其能够以同等的低直流功率实现高增益线性运行，从而使其非常适用于需要高效率的新一代无线电应用。其外部匹配可使其在各无线电平台中使用。

RFPA2089 主要特性：

- 在 13dBm WCDMA 时，ACPR 为 -60dBc
- 0.25W OP1dB
- 出色的线性 - 直流功率比
- 2.65GHz 时为 17.6dB 增益
- 单电源 5V 运行
- 2 级 (2000V) HBM ESD

RFPA2089 应用包括：用于基站收发器的驱动放大器、用于商用无线基础设施的 PA 级、IF 放大器、2G、3G、LTE 收发器应用等。

RFMD, www.rfmd.com

用于 LED 和化合物半导体制造的新型真空泵

新的 iXH645H 干泵设计用于满足 LED 和化合物半导体两个快速发展的高技术制造细分市场的需求，新设备经过优化，适用于 LED 制造中使用的 MOCVD 工艺，以及在栅堆叠 (gate stack) 中使用 III-V 材料的化合物半导体制造工艺。

iXH645H 提供了非常高的气流量，并能够在最新一代 LED 制造设备所需的高负载下连续工作。iXH 系列干泵采用先进的技术，最大限度地减少了维护需求，并实现正常运行时间最大化，有助于降低成本。

LED 和化合物半导体制造工艺通常使用大流量气和高腐蚀性氨气。iXH645H 业已进行设计优化以满足这些要求，具有出色的氢气抽空性能并采用耐腐蚀设计，包括一个保护泵密封物的专利氮气吹扫屏障 (purge barrier)。XH645 泵具有高温工作能力，有助于防止可能出现的磷化合物冷凝。另外，该泵先进的润滑油和密封技术省去了定期保养需求，同时其散热和电机设计可以防止出现过热、电机过载或工作区域受限等问题。iXH645H 泵的优化温度控制系统确保泵在约 30 分钟启动时间内为工艺做好准备。

Edwards, www.edwardsvacuum.com





新型 Titan ETEM G2 环境透射电子显微镜

新型 Titan™ ETEM G2 环境透射电子显微镜针对材料和工艺应用而设计开发，可以实时现场研究暴露于活性气体和高温的材料和工艺。能源和环境产品研究者，如催化剂、燃料电池、纳米材料，可以采用其在模拟操作环境下观察原子级工艺过程及气 - 固态交互作用。

Titan ETEM 具有高分辨率，采用 FEI 公司的 ChemiSTEM™ 技术，成分分析速度提高 50 倍，是一款高性能原位高分辨率电子显微镜，用以研究在变化的温度和气体条件下原子级化学反应的动态行为。

Titan ETEM G2 的系统的最直接的影响将是在帮助研究者提高催化剂性能方面，比如用于消除汽车尾气中的有害成分，或者合成创新的纳米材料。

ETEM 的独特能力在于，当纳米粒子与其他原子或分子相互作用时，或者因环境的温度、压力或成分气体变化时，允许研究人员直接观察单个纳米粒子的原子结构的改变。

FEI, www.fei.com/ETEM



新型 S 波段 GaN 器件

科锐新型高效 S 波段 CGH35060 GaN HEMT 晶体管适用于军用和商用雷达，能够实现雷达应用的效率最大化。CGH35060 在 28V 工作电压下的额定脉冲功率为 60W（当脉宽为 100 微秒时），功率增益为 12dB，漏极效率为 65%，与传统硅 LDMOS 器件相比高出 50%。CGH35060 型 GaN 器件已经在高功率放大器参考设计（S 波段频率在 3.1 至 3.5GHz 之间）中得到验证。与 GaAs 和 Si 技术相比，CGH35060 还具有长脉冲、高功率性能（低于 0.6dB）、优异的信号保真度以及非常低的功率衰减等特性。

新型 S 波段 GaN HEMT 器件的推出丰富了科锐高效 S 波段 GaN 晶体管与单片式微波集成电路（MMIC）产品系列，从而为客户在商用雷达系统高功率放大电路的应用中提供更多的选择。高效的 S 波段 GaN HEMT 器件率，在具有优异信号保真度的同时扩展脉冲能力，高效率和高功率密度的结合最大限度地降低散热管理需求，从而能够帮助无线射频设计工程师大幅度地降低雷达系统的尺寸和重量，同时扩大应用范围并降低安装成本。

科锐公司, www.cree.com

新型 ProEfficient™ 功率放大器

新的 ProEfficient™ WCDMA / LTE 功率放大器 (PA) 产品系列专门针对新一代 4G 设备而优化，可为所有功率水平带来世界一流的效率。ProEfficient™ 功率放大器采用 ANADIGICS 公司独有的 InGaP-Plus™ 技术，可在高功率模式和低功率模式下实现卓越效率，无需使用 DC-DC 转换器，即可最大限度地延长 4G 设备的电池使用时间。与此同时，这些功率放大器还经过优化，可与平均功率跟踪 (APT) 技术配合使用，从而进一步提高效率，降低中低工作功率下的电流消耗。ProEfficient™ 功率放大器不但拥有出色的效率，而且具有杰出的线性度，为连接的稳定性、清晰的通话质量和高速数据传输提供了有力保障。首批 ProEfficient™ 功率放大器支持世界上使用最广的 3G/4G 频段，如 1、2、3/4/9/10、5 和 8 频段。

ANADIGICS, cn.anadigics.com

采用直驱技术的新型 CoolSiC™ 1200V SiC JFET 系列器件

新的 CoolSiC™ 1200V SiC JFET 产品系列立足于英飞凌在 SiC 技术开发以及高质量、大批量生产方面十多年的丰富经验。CoolSiC™ 也是一种革命性的创新技术，可将太阳能逆变器的性能提升至新的水平。新型 SiC JFET 技术，可以帮助客户开发出更好的气候保护解决方案。

与 IGBT 相比，新型 CoolSiC 1200V SiC JFET 大幅度降低了开关损耗，在不牺牲系统总体效率的情况下，可以支持更高的开关频率。这为使用更小的无源元件创造了条件，其结果是缩小客户设计的产品尺寸，降低其重量，并压缩系统成本。换言之，设计人员可在不增加太阳能逆变器体积的情况下，实现更高的输出功率。

为了确保 JFET 技术的安全性和易用性，英飞凌开发出一种被称为直驱技术的概念。在这一概念中，JFET 与外部低压 MOSFET 和专用的驱动芯片组合在一起，确保了安全的系统启动，以及快速可控的开关。

CoolSiC JFET 集成了一个体二极管，其开关性能可媲美外置 SiC 肖特基势垒二极管。这种组合最大限度提高了器件的效率、可靠性、安全性和易用性。

英飞凌科技, www.infineon.com/coolbic



广告索引

Advertisers & Web Index



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
Akzo Nobel		www.akzonobel.com/hpmo	21
AXT Inc.		www.axt.com	11
China SSL	第九届中国国际半导体照明展览会暨论坛	www.sslchina.org	IBC
Evatec Process Systems		www.evatecnet.com	27
IQE plc		www.cn.iqep.com	2
LayTec AG		www.laytec.de	3
MERSEN Kunshan Co., Ltd.	美尔森先进石墨 (昆山) 有限公司	www.mersen.com	4
Plasma-Therm LLC		www.plasmatherm.com	1
Raboutet		www.raboutet.fr	17
Temescal		www.temescal.net	BC
Tiger Optics		www.tigeroptics.com	5
Vistec		www.vistec-semi.com	31



www.compoundsemiconductorchina.com

行政及销售办公室

Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

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

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

Editor in China(中国版编辑)
Sunnies Zhao (赵雪芹)
sunniesz@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,
Burnsall Road, Coventry,
CV56SP, UK
Tel: +44 (0)1923 690200

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

销售人员 Sales Offices

Asia (亚洲)
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852-28386298

China (中国)
Michael Tsui (徐旭升)
michaelt@actintl.com.hk
Tel: 86-755-25988571

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: 86-10-64187252

Taiwan (台湾地区)
Monica Liu (刘方美)
monica@arco.com.tw
Tel: 886-223965128 x 204

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

9th China International Exhibition and Forum on Solid State Lighting
第九届中国国际半导体照明展览会暨论坛
**技术引领市场
创新赢得未来
共拓华南市场**
2012年11月5~7日 中国·广州保利世贸博览馆



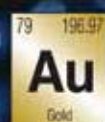
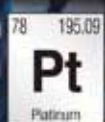
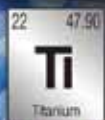
主办单位:
国家半导体照明工程协调
领导小组办公室
广东省科学技术厅
广州市人民政府

中国照明学会 (CIES)
中国照明电器协会 (CALI)
国家半导体照明工程研发
及产业联盟 (CSA)

承办单位:
国家半导体照明工程研发及产业联盟 (CSA)
广州市科技和信息化局
励展博览集团 (REED EXHIBITIONS)
北京半导体照明科技促进中心

www.sslchina.org

展会联系 斯振飞先生, 电话: +86 21 2231 7031, jeffrey.si@reedexpo.com.cn
论坛联系 常江洁先生, 电话: +86 10 8238 1680, chinassl.forum@gmail.com



FerroTec

Temescal is now a
division of Ferrotec

Elemental Knowledge 元素知识库

**Temescal 的Elemental Knowledge™
为化合物半导体金属蒸镀带来极致的精密度**

Temescal工艺科学家已经开发了一个“Elemental Knowledge”基本知识库，可以对3D蒸发云建模，从而优化金属蒸镀工艺。Temescal系统不只是一个蒸发设备，其中的Temescal Control System 控制系统为工艺工程师提供了最完善的程序设定工具箱，同时为操作者提供按钮式控制方式。

更多信息，请访问我们的网站 www.temescal.net



Temescal

