

半导体芯科技

S/S **SILICON**
SEMICONDUCTOR
Connecting the Silicon Semiconductor Community

• **CHINA**

ISSN 2523-1294

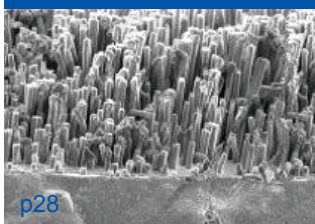
www.siscmag.com

2021年 8/9月

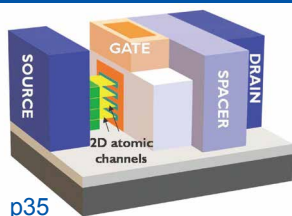
裸片粘贴



金属纳米线



二维晶体管

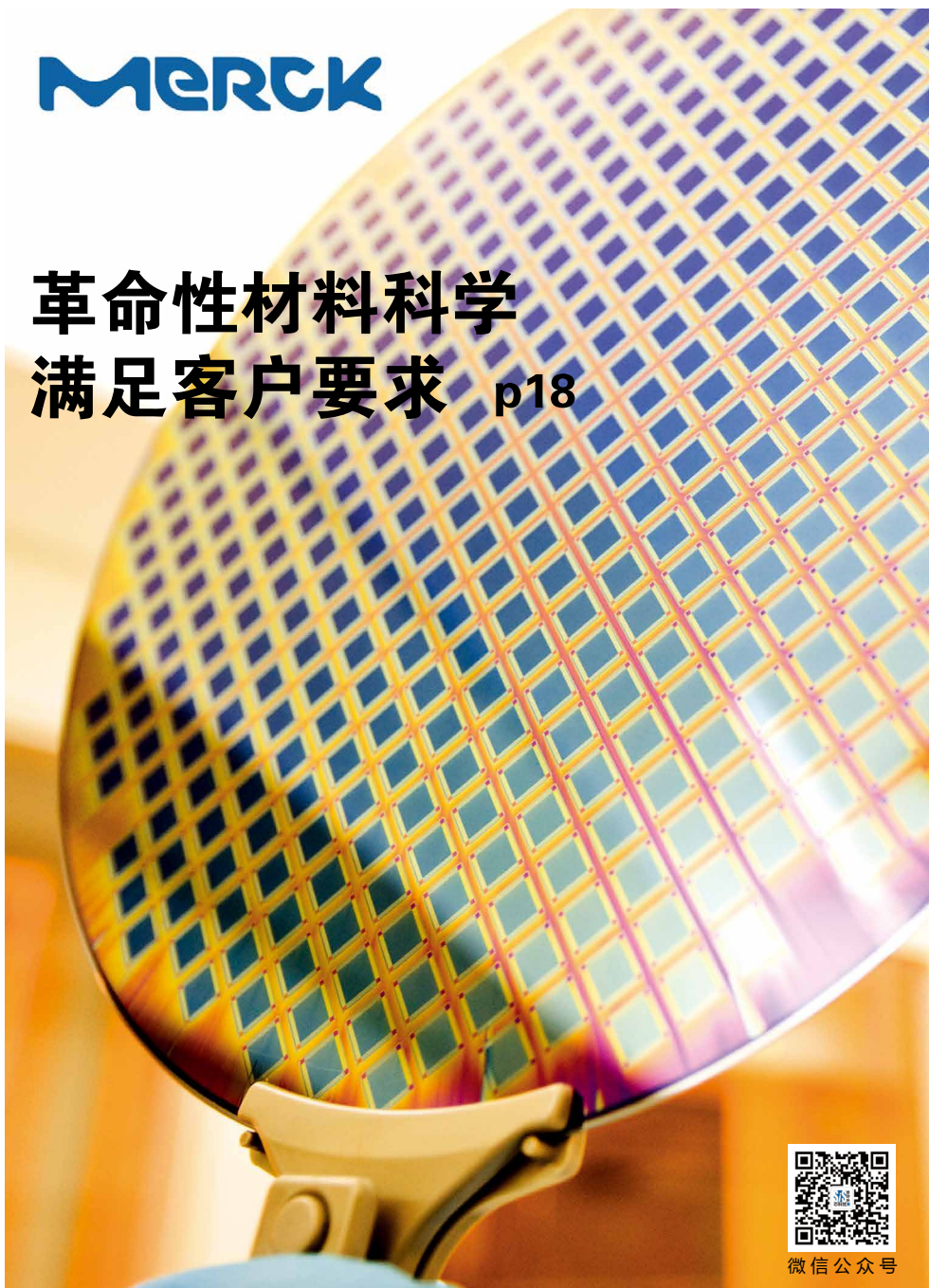


脑电图应用



MERCK

革命性材料科学
满足客户要求 p18



微信公众号



国际授权翻译
国内发行高新科技杂志
8本杂志免费送一年
(6期/印刷版)
包揽全年行业资讯



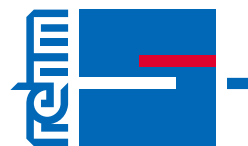
www.actintl.com



免费
订阅

扫一扫添加
ACT读者服务号免费订阅

雅时国际资讯 (ACT International) 成立于1998年, 为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT通过它的一系列产品 - 包括杂志和网上出版物、培训、会议和活动 - 为跨国公司及中国企业架设了拓展中国市场的桥梁。ACT的产品包括多种技术杂志和相关的网站, 以及各种技术会议, 服务于机器视觉设计、电子制造、激光/光电子、射频/微波、化合物半导体、半导体制造、洁净及污染控制等领域的约二十多万专业读者及与会者。



THERMAL SYSTEMS

Rehm Thermal Systems

Pioneer of
Thermal Solutions

30 more
than
years
experience



Specialist
for Semicon
Industry

锐德VX-Semicon回流焊具备高效的松香残留管理系统

- > 安全稳定的工艺环境，造就可靠的焊接
- > 松香高温分解系统温度可达500°C，用以分解松香残留物
- > 提供洁净干燥的工艺环境
- > 热分解保养间隔长，高达1年
- > 维护间隔周期长，维护停机时间短
- > 当今市场上具有高效的松香残留管理系统

锐德热力设备（东莞）有限公司 | 中国广东省东莞市松山湖高新技术产业开发区畅园路2号
T +86 769 - 8238 0238 | info@rehm-group.com | www.rehm-group.com



目录 CONTENTS

封面故事 Cover Story

18 凭借革命性的材料科学默克满足严苛的客户要求

Merck meets demanding customer requirements through revolutionary materials science

随着集成电路制造的复杂性日益增加，半导体器件的持续发展迫切要求材料供应商在消除缺陷和提高良率方面发挥更加积极的作用。默克 (MERCK) 是一家总部位于德国达姆施塔特的科技公司，该公司对其如何重新定义材料科学以加快生产，提升良率，并使客户拥有竞争优势提供了深刻的见解。



18

编者寄语 Editor's Note

4 半导体的埃米时代

行业聚焦 Industry Focus

5 思锐智能专注 ALD 创新，突破产能效率边界和性能新高度

6 中微公司发布用于 MiniLED 量产的 MOCVD 设备

6 长电科技发布用于异构集成的 XDFOI 多维先进封装技术

7 用于锂电池负极的新型硅碳复合材料 Siridion® Black

8 液态金属纤维毡：适用于穿戴式电子设备的创新导电材料

10 上海精测半导体 12 寸独立式 OCD 机台与全自动 Review SEM 设备出机

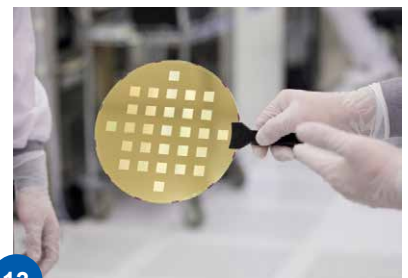
11 思特威推出 Stack+RS 结构全彩图像传感器 SC850SL

12 普发真空推出可靠低振动的 HiPace 80 Neo 涡轮分子泵

13 电子多光束掩模写入器实现微芯片进一步小型化



6



13

关于雅时国际商讯 (ACT International)



雅时国际商讯 (ACT International) 成立于1998年，为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT通过它的一系列产品——包括杂志和网上出版物、培训、会议和活动——为跨国公司与中国企业架设了拓展中国市场的桥梁。ACT的产品包括多种技术杂志和相关的网站，以及各种技术会议，服务于机器视觉设计、电子制造、激光/光电子、射频/微波、化合物半导体、半导体制造、洁净及污染控制、电磁兼容等领域的约二十多万专业读者及与会者。ACT亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT总部在香港，在北京、上海、深圳和武汉设有联络处。www.actintl.com.hk

About ACT International Media Group

ACT International, established 1998, serves a wide range of high technology sectors in the high-growth China market. Through its range of products -- including magazines and online publishing, training, conferences and events -- ACT delivers proven access to the China market for international marketing companies and local enterprises. ACT's portfolio includes multiple technical magazine titles and related websites plus a range of conferences serving more than 200,000 professional readers and audiences in fields of electronic manufacturing, machine vision system design, laser/photronics, RF/microwave, cleanroom and contamination control, compound semiconductor, semiconductor manufacturing and electromagnetic compatibility. ACT International is also the sales representative for a number of world leading technical publishers and event organizers. ACT is headquartered in Hong Kong and operates liaison offices in Beijing, Shanghai, Shenzhen and Wuhan.

关于《半导体芯科技》

《半导体芯科技》(原半导体科技) 中文版 (SiSC) 是全球最重要和最权威的杂志Silicon Semiconductor的“姐妹”杂志，由香港雅时国际商讯出版，报道最新半导体产业新闻、深度分析和权威评论。为中国半导体专业人士，提供他们需要的商业、技术和产品信息，帮助他们做出购买决策。《半导体芯科技》内容覆盖半导体制造、先进封装、晶片生产、集成电路、MEMS、平板显示器等。杂志服务于中国半导体产业，包括IC设计、制造、封装及应用等。

About Silicon Semiconductor China

Silicon Semiconductor China is the 'sister' title to Silicon Semiconductor - the world most respected and authoritative publication, published by ACT International in Hong Kong (former SST China), reports the latest news, in-depth analysis, and authoritative commentary on the semiconductor industry. It provides for Chinese semiconductor professionals with the business and technology & product information they need to make informed purchasing decisions. Its editorial covers semiconductor manufacturing, advanced packaging, wafer fabrication, integrated circuits, MEMS, FPDs, etc. The publication serves Chinese semiconductor industry, from IC design, manufacture, package to application, etc.

目录 CONTENTS

智能制造 Smart Manufacture

- 14** 国产化浪潮下，“芯”时代的智能制造趋势
The trend of smart manufacture for semiconductor industry with chip localization

技术 Technology

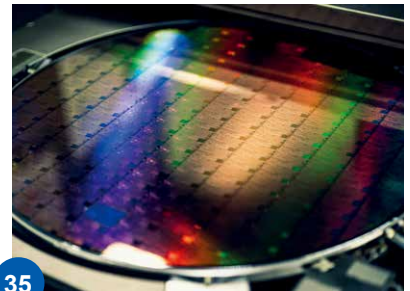
- 22** 关于封装中的裸片 - 总是与粘贴有关
For die in a package-it's always about the bond
- 25** 声学成像检测最具隐秘性的缺陷
Acoustically imaging the most elusive defects
- 28** 金属纳米线在三维互连中的应用
Metal nanowires in three-dimensional interconnection
- 30** 评估Fab生命周期和SubFab服务成熟度模型, 还有进步的空间吗?
Evaluating the Fab Lifecycle and SubFab Service Maturity model. Is there more to gain?
- 35** 二维晶体管有望扩展逻辑技术路线图
2D transistors look to extend the logic roadmap

专栏 Conlunm

- 39** 探索光子集成电路的新兴应用
Exploring emerging applications for photonic integrated circuits
- 44** 使用头戴式脑电图设备进行神经营销学研究
Using EEG headsets for neuromarketing research
- 48** 广告索引 Ad Index



22



35



44

《半导体芯科技》编委会 (排名不分先后)

刘胜 教授
武汉大学 工业科学研究院执行院长

郭一凡 博士
日月光集团工程副总经理

姚大平 博士
江苏中科智芯集成电路科技有限公司总经理

汤晖 教授
广东工业大学、精密电子制造技术与装备国家重点实验室

于大全 教授
厦门云天半导体创始人
须颖教授
中国仪器仪表学会显微仪器分会副理事长

罗仕洲教授
磐允科技总经理

林挺宇 博士
广东芯华微电子技术有限公司总经理
杨利华 院长
两江半导体研究院

王文利 教授
西安电子科技大学电子可靠性(深圳)研究中心主任
雅时国际商讯顾问

张昭宇 教授
香港中文大学(深圳)理工学院
深圳半导体激光器重点实验室主任

刘功桂 教授级高工
中国电器科学研究院股份有限公司威凯技术中心主任

云星 总经理
深圳安博电子有限公司

李光 常务副总裁
深圳雷曼光电股份有限公司

张弛 总裁
深圳贝特莱电子科技股份有限公司

乔旭东 博士
深创投集团投资发展研究中心总经理

徐开凯 教授
电子科技大学、电子薄膜与集成器件国家重点实验室

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
贺贵鸿 Mizy He
mizyh@actintl.com.hk

出版社 Publishing House

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

北京 Beijing

Tel/Fax: 86 10 64187252

上海 Shanghai

Tel: 86 21 62511200

Fax: 86 21 52410030

深圳 Shenzhen

Tel: 86 755 25988573 /25988567

Fax: 86 755 25988567

武汉 Wuhan

Tel: 86 27 59233884

UK Office

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



半导体的埃米时代

英特尔公司近日公布未来制程工艺和封装技术路线图，展示了从现在到2025年乃至更远的未来，驱动新产品开发的突破性技术。英特尔展示了一系列底层技术创新，除了公布其近十多年来首个全新晶体管架构 RibbonFET 和业界首个全新的背面电能传输网络 PowerVia 之外，还重点介绍了迅速采用下一代极紫外光刻（EUV）技术的计划，即高数值孔径（High-NA）EUV。英特尔正与 ASML 合作，有望率先获得业界第一台 High-NA EUV 光刻机。

随着行业越来越接近“1 纳米”节点，英特尔改变命名方式，以更好地反映全新的创新时代。具体而言，在 Intel 3 之后的下一个节点将被命名为 Intel 20A，这一命名反映了向新时代的过渡，即工程师在原子水平上制造器件和材料的时代——半导体的埃米时代。

PowerVia 和 RibbonFET 这两项突破性技术开启了埃米时代。PowerVia 是英特尔独有、业界首个背面电能传输网络，它消除晶圆正面的供电布线需求，优化信号布线，同时减少下垂和降低干扰。RibbonFET 是英特尔研发的 GAA 晶体管，是公司自 2011 年率先推出 FinFET 以来的首个全新晶体管架构，提供更快的晶体管开关速度，同时以更小的占用空间实现与多鳍结构相同的驱动电流。Intel 20A 预计将在 2024 年推出。

2025 年及更远的未来：从 Intel 20A 更进一步的 Intel 18A 节点也已在研发中，将于 2025 年初推出，它将对 RibbonFET 进行改进，在晶体管性能上实现又一次重大飞跃。

随着英特尔 IDM 2.0 战略的实施，封装对于实现摩尔定律的益处变得更加重要。英特尔的先进封装路线图：

- EMIB 作为首个 2.5D 嵌入式桥接解决方案将继续引领行业，英特尔自 2017 年以来一直在出货 EMIB 产品。下一代 EMIB 的凸点间距将从 55 微米缩短至 45 微米。

- Foveros 利用晶圆级封装能力，提供史上首个 3D 堆叠解决方案。Meteor Lake 是在客户端产品中实现 Foveros 技术的第二代部署。该产品具有 36 微米的凸点间距，不同晶片可基于多个制程节点，热设计功率范围为 5-125W。

- Foveros Omni 开创了下一代 Foveros 技术，通过高性能 3D 堆叠技术为裸片到裸片的互连和模块化设计提供了无限制的灵活性。Foveros Omni 允许裸片分解，将基于不同晶圆制程节点的多个顶片与多个基片混合搭配，预计将于 2023 年用到量产的产品中。

- Foveros Direct 实现了向直接铜对铜键合的转变，它可以实现低电阻互连，并使得从晶圆制成到封装开始，两者之间的界限不再那么截然。Foveros Direct 实现了 10 微米以下的凸点间距，使 3D 堆叠的互连密度提高了一个数量级，为功能性裸片分区提出了新的概念，这在以前是无法实现的。Foveros Direct 是对 Foveros Omni 的补充，预计也将于 2023 年用到量产的产品中。

英特尔公司 CEO 帕特·基辛格表示：“摩尔定律仍在持续生效。对于未来十年走向超越‘1 纳米’节点的创新，英特尔有着一清晰的路径。我想说，在穷尽元素周期表之前，摩尔定律都不会失效，英特尔将持续利用硅的神奇力量不断推进创新。”

赵雪芹

思锐智能专注ALD创新，突破产能效率边界和性能新高度

沉积、光刻、刻蚀以及等离子注入是半导体和超越摩尔领域制造工艺的4大关键技术。在新晶圆产线的投资建设中，约80%的投资用于购买设备，薄膜沉积设备更是占据其中约25%的比重。业界主流的薄膜沉积工艺主要有原子层沉积(ALD)、物理式真空镀膜(PVD)和化学式真空镀膜(CVD)等。其中ALD属于CVD的一种，是当下最先进的薄膜沉积技术。调研机构GIR相关报告表明，全球ALD设备的市场规模在2021-2026年的年复合增长率预计达到25.1%，将从2019年的10.661亿美元增至2026年的26.129亿美元。

随着新材料、新制程、新工艺在新兴半导体制造行业的应用与发展，ALD技术可以使得材料以单原子膜(0.1nm)形式沉积在基板表面的特性，在沉积层的厚度控制、3D异形材料表面均匀度、表面无针孔、折射率等方面具有显著优势，因此特别适用于MEMS、CMOS图像传感器等产品的制造与生产，并逐渐成为超越摩尔领域的镀膜沉积技术首选。

青岛四方思锐智能技术有限公司(SRII)全资子公司——BENEQ全新推出的Transform™系列设备是专为超越摩尔应用市场提供的具有竞争力的ALD解决方案。Transform™平台采用了全新的集群设计和尖端的镀膜沉积技术，可以为8"及以下晶圆的表面沉积多种材料，包括Al₂O₃、SiO₂、AlN、TiN等氧化物与氮化物，并实现完全保形和高均匀性的薄膜沉积。

BENEQ半导体业务技术总监Alexander Perros介绍：BENEQ通用型ALD技术的超越摩尔应用矩阵十分

丰富，包括功率器件、滤波器、MEMS和CIS等。同时，BENEQ针对不同的细分市场也推出了不同的ALD解决方案，主要包括高K介电质、表面钝化、ALD成核层、化学阻挡层、防潮层及抗反射膜等。例如，表面钝化，可以用不同ALD材料来实现表面钝化，防潮层则在封装上发挥关键作用；这些均在广泛的应用中具备很强的通用性。

一个平台，多种配置

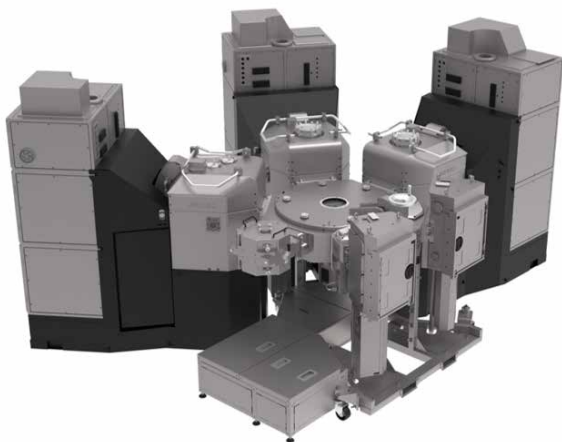
BENEQ Transform™凭借多功能性和灵活性，制造了全新的ALD集群工具设备。可适用于广泛的应用场景并满足不同的市场细分。Beneq Transform™配置多个ALD工艺模块，以满足特定的晶圆产能要求，也可为应对不断增长的产量或新的ALD应用而进行升级。

BENEQ半导体业务负责人Patrick Rabinzohn表示：“Transform™平台兼容单片、批量、热法以及等离子体等功能，是目前业界仅有、集多项功能于一体的通用型先进平台。不仅如此，Transform™平台更具备灵活配置的优势，客户可以根据自身需求，选择‘3组ALD模块+预加热模块’构建Transform™的标准配置、或‘2组ALD模块+预加热模块’构建Transform™ Lite的简化配置，实现差异化、更具效益的生产和管理方式，并在主流厂商中开拓了意向订单。”

以镀膜沉积50纳米的氧化铝为例，若采用标准配置的Transform™系统，最多的产量可以达到每小时40片晶圆以上，即使Lite设备也能达到每小时25片以上，这于整个行业对ALD的传统认知可谓颠覆性的技术突破！

Beneq Transform™专为晶圆厂而设计，适用于广泛的高性能氧化物和氮化物，在工艺制备中可满足最苛刻的薄膜沉积要求，并提供无与伦比的灵活性。工业标准的水平晶圆装载可实现即插即用的无缝集成。配备独特的预热模块，可减少数小时的等待时间，并将产能提升到一个全新的水平。

BENEQ Transform™平台已经通过SEMI S2/S8认证，支持SECS/GEM标准，并逐渐向12"晶圆的成熟沉积技术迈进。除了纵向的技术、性能、产能突破，凭借BENEQ先进的通用型ALD技术，思锐智能正在拓展更多前沿垂直行业的应用创新，将为客户提供灵活、可靠、高产能的半导体晶圆镀膜量产解决方案。



代表BENEQ先进通用型ALD技术的Transform™系列设备

中微公司发布用于MiniLED量产的MOCVD设备

中微半导体设备（上海）股份有限公司推出专为高性能MiniLED量产而设计的Prismo UniMax™ MOCVD设备，该设备在帮助LED芯片制造商提高产能的同时能够有效地降低生产成本。

中微公司Prismo系列MOCVD设备已进入全球大多数领先的氮化镓基蓝绿光LED制造商，此次推出的Prismo UniMax是中微公司Prismo系列MOCVD设备的最新产品，该设备在同一系统中可配备多达4个反应腔。Prismo UniMax配置了创新的多区温度补偿加热系统，具备优异的波长均匀性、重复性和稳定性。该设备还具有其他一些新颖特征，如喷淋头的优化设计实现了更好的均匀性和产出稳定性、超大直径石墨托盘可大幅提升产能并降低成本。Prismo UniMax MOCVD设备专为高产量而设计，具有业内领先的加工容量；通过石墨盘晶片排布的最优化，其加工容量可以延伸到生长164片4英寸或72片6英寸晶片。

中微公司Prismo UniMax MOCVD设备已收到来自国内领先客户的订单。同时，中微公司正在与更多客户合作进行设备评估。Prismo UniMax设备拓展了中微公司的MOCVD设备产品线，亦为全球LED芯片制造商提供最新解决方案以应对MiniLED生产带来的挑战。

MiniLED具有高亮度、精确的动态响应和高对比度等优势，能够显著提升显示品质，因此作为一种新兴技术备受关注。Prismo UniMax MOCVD设备能够帮助客户



在MiniLED生产过程中实现优异的波长均匀性和稳定性，这些指标也是MiniLED生产的制胜关键。

“Prismo UniMax延续了中微公司现有Prismo平台的核心技术，是目前国内外极具创新性的MOCVD设备，为高性能的MiniLED生产提供高性价比的技术解决方案。”中微公司董事长兼总经理尹志尧博士说道，“我们很高兴看到公司开发的Prismo UniMax设备已开始被国内领先的LED客户所采用。产品不仅能满足严格的技术要求，还能帮助客户以更低的成本获得更高的产量。我们欣喜地看到MOCVD设备市场即将迎来一个新的高潮。我们期待与我们的客户和合作伙伴一同并肩努力，进一步推动MiniLED技术和MOCVD设备市场的发展。”

长电科技发布用于异构集成的XDFOI多维先进封装技术

全球领先的集成电路制造和技术服务提供商长电科技宣布推出XDFOI™全系列极高密度扇外型封装解决方案，旨在为全球客户高度关注的芯片异构集成提供高性价比、高集成度、高密度互联和高可靠性的解决方案，引领先进芯片成品制造技术创新迈向新高度。

XDFOI™全系列极高密度扇外型封装解决方案是新型无硅通孔晶圆级极高密度封装技术，相较于2.5D硅通

孔封装技术，该解决方案具备更高性能、更高可靠性以及更低成本等特性。该解决方案在线宽或线距可达到2um的同时，可实现多层布线层，另外，采用了极窄节距凸块互联技术，封装尺寸大，可集成多颗芯片、高带宽内存和无源器件。

XDFOI™全系列解决方案通过将不同的功能器件整合在系统封装内，大大降低系统成本，缩小封装尺寸，具

有广泛的应用场景，主要集中于对集成度和算力有较高要求的 FPGA、CPU、GPU、AI 和 5G 网络芯片等应用产品提供小芯片 (Chiplet) 和异质封装 (HiP) 的系统封装解决方案。

长电科技首席技术长李春兴博士表示：“摩尔定律前进趋缓，而信息技术的高速发展和数字化转型的加速普及激发了大量的多样化算力需求，因此能够有效提高芯片内 IO 密度和算力密度的异构集成被视为先进封测技术发展的新机遇，长电科技 XDFOI™ 全系列解决方案将以独特的技术优势为实现异构集成扩展更多可能性。长电科技 XDFOI™ 全系列解决方案目前已完成超高密度布线，即

将开始客户样品流程，预计于 2022 年下半年完成产品验证并实现量产。”

长电科技首席执行官郑力先生表示：“依托在封装测试领域丰富的技术积累和业界领先的研发能力以及对技术发展的敏锐洞察，长电科技积极布局热门技术市场。XDFOI™ 全系列解决方案的推出，不仅体现了长电科技强大的技术创新实力，也代表着我们向助力先进封装技术实现颠覆性突破这一目标迈进了至关重要的一步。长电科技将继续保持对技术领先力的不懈追求，不断加深与产业链上下游紧密的协同合作，共同为集成电路产业的持续发展献力。”

用于锂电池负极的新型硅碳复合材料 Siridion® Black

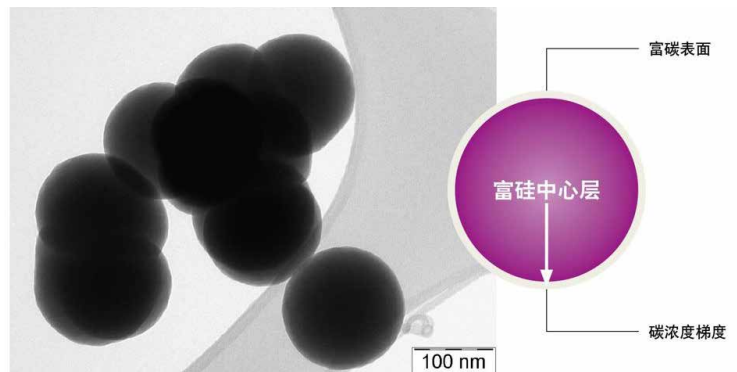
全球领先的特种化学品公司赢创推出全新锂电池硅碳复合型负极材料 Siridion® Black，可有效提高电池的能量密度，提升快充容量和能效，从而使锂电池性能更强大。

全新高性能材料 Siridion® Black 进一步完善了赢创电池材料产品组合。目前，赢创电池材料解决方案包括正极活性材料和用于隔膜涂料的气相金属氧化物。

“石墨是目前常用的锂电池负极材料。然而，随着人们对电池容量、充电时间提出更高的要求，开发新型负极材料势在必行。”赢创硅烷业务线电池市场负责人 Björn Borup 博士说，“作为一种添加剂，我们的解决方案适用于现有的负极材料和生产工艺，也可用于其他类型的电池材料。”

Siridion® Black 硅碳粉末采用气相合成法制成，由上百个纳米级分离非烧结球形颗粒组成。在这种无定形结构颗粒中，碳浓度从内向外递增，从而实现卓越的稳定性。“此外，这一材料具有更高的表面碳含量，可增强氧化保护，且更易于加工。”Siridion® Black 产品开发和商业化负责人 Julia Lyubina 博士说道。

Siridion® Black 高性能负极材料由赢创研发创新部和硅烷业务线联合开发，并被纳入了赢创与杜伊斯堡 - 埃森大学的锂电池储能联合研究项目中。该项目已获得德国联



赢创 Siridion® Black：透射电子显微镜图像 (左) 和碳浓度梯度硅基/碳基结构示意图 (右)

邦经济与能源部的资助。

“Siridion® Black 可根据客户要求进行定制，帮助电池负极制造商及其客户实现灵活的电池配置。”Lyubina 博士补充。这一定制服务尤其可以满足可穿戴设备或移动设备制造商对设计自由度的需求。

赢创 SIRIDION® Black 旨在为锂离子电池提供高能量密度和优异性能。这种高性能负极材料粉末采用气相合成法制成，由粒径小于 200 纳米的分离非烧结球形颗粒组成，具有无定形结构。除现有产品外，赢创还提供可高度定制的硅基负极材料。目前，赢创已实现 Siridion® Black 碳包覆型硅粉末的工业级规模生产。

液态金属纤维毡： 适用于穿戴式电子设备的创新导电材料

香港理工大学研发出一种适用于穿戴式电子设备的高透气及超弹性导电材料。此种创新导电材料是以涂抹或者印刷方法将液态金属物料加于弹性纤维网上，这种弹性纤维网是以静电纺丝程序制成，透气度高、弹性强、能导电且导电稳定性高，可以广泛应用于健康监测设备、软体机械人和贴在皮肤上的电子装置。本研究项目的结果（Permeable superelastic liquid-metal fibre mat enables biocompatible and monolithic stretchable electronics）已经发表在《Nature Materials》杂志上。

据 IDTechEX 预测，在智能电话之后，穿戴式电子产品将会在市场上具有庞大的发展潜力，预计到 2026 年，市场总值将超过 1500 亿美元。穿戴式电子设备、贴在皮肤上的电子装置、软体机械人和生物电子零件均需采用高弹性的电子装置和系统部件。

然而，现时很多这类部件只能嵌在不透气的弹性薄片上，长时间佩戴会引致严重皮肤敏感、发炎等问题。此外，由于市场上用于电子装置的材料透气度低，不适合把具感应功能的装置植入，然后叠起多层嵌置在产品中；因此令可拉伸的电子装置产品在功能增润方面受到局限。

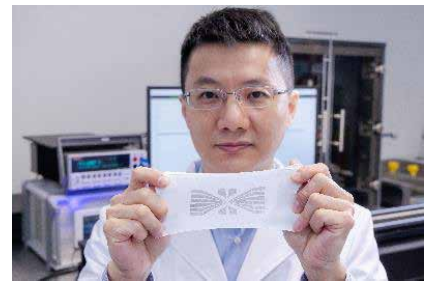
由香港理大纺织及服装学系郑子剑教授所领导，并由应用物理学系、生物医学工程学系跨专业科研人员组成的研究团队，成功研发出新型高透气、超弹性的导电材料，该导电材料能应用于多功能并可与生物兼容的电子设备。此创新导电材料名为「液态金属纤维毡」（liquid-metal fibre mat），利用涂抹或打印技术，把液态金属加于以静电纺丝制成的弹性纤维网上，再经过拉伸程序，悬挂在弹性纤维网之间的液态金属便会自行形成横向多孔、纵向弯曲的结构。「液态金属纤维毡」透气度极高，并且经拉力测试后仍能维持高弹性和超高导电能力。

此外，物料亦具备优良的生物兼容性，可直接在人体皮肤上使用。

郑教授解释：「我们所选用的液态金属是通常用于制造可屈曲电路板的低熔点镓铟合金（EGaIn），并打印在通常用于手套、气球等橡胶产品的弹性苯乙烯-丁二烯-苯乙烯（poly(styrene-block-butadiene-block-styrene)，SBS）物料上，组合成『液态金属纤维毡』。之后我们把毡子拉展至 18 倍，并重复进行 12 次，毡子便会自动形成一些小孔，令透气度大大提高。以测试的样本为例，我们把 0.8mg cm^{-2} 份量 EGaIn 涂印在 320 微米厚的 SBS 纤维物料上，再经拉伸程序后，其透气度提升至每天 724gm^{-2} ，较日常用的护理胶布（每天 31gm^{-2} ）高出 22 倍。样本亦曾在活体小兔皮肤上进行测试，生物兼容的效果理想，并没有出现任何皮肤敏感的状况。」

EGaIn 是一种在室温下仍能保持液态的金属材料，不但黏性低、导电能力高、毒性低，而且暴露在空气时，能在表面迅速形成薄薄一层氧化物（ Ga_2O_3 ）。经过拉伸程序后，氧化物会出现小孔和弯曲的折纹，令其变得更具弹性，导电效果更佳。

此外，研究团队亦利用「液态金属纤维毡」制成三片分别用以量度心电图、汗液和温度的传感器，并且把



香港理大纺织及服装学系郑子剑教授率领团队，成功研发适用于穿戴式电子设备的「液态金属纤维毡」。这种创新导电材料透气度高，而且极具弹性，导电能力高，可印上相关电路，作为健康监测传感器使用。

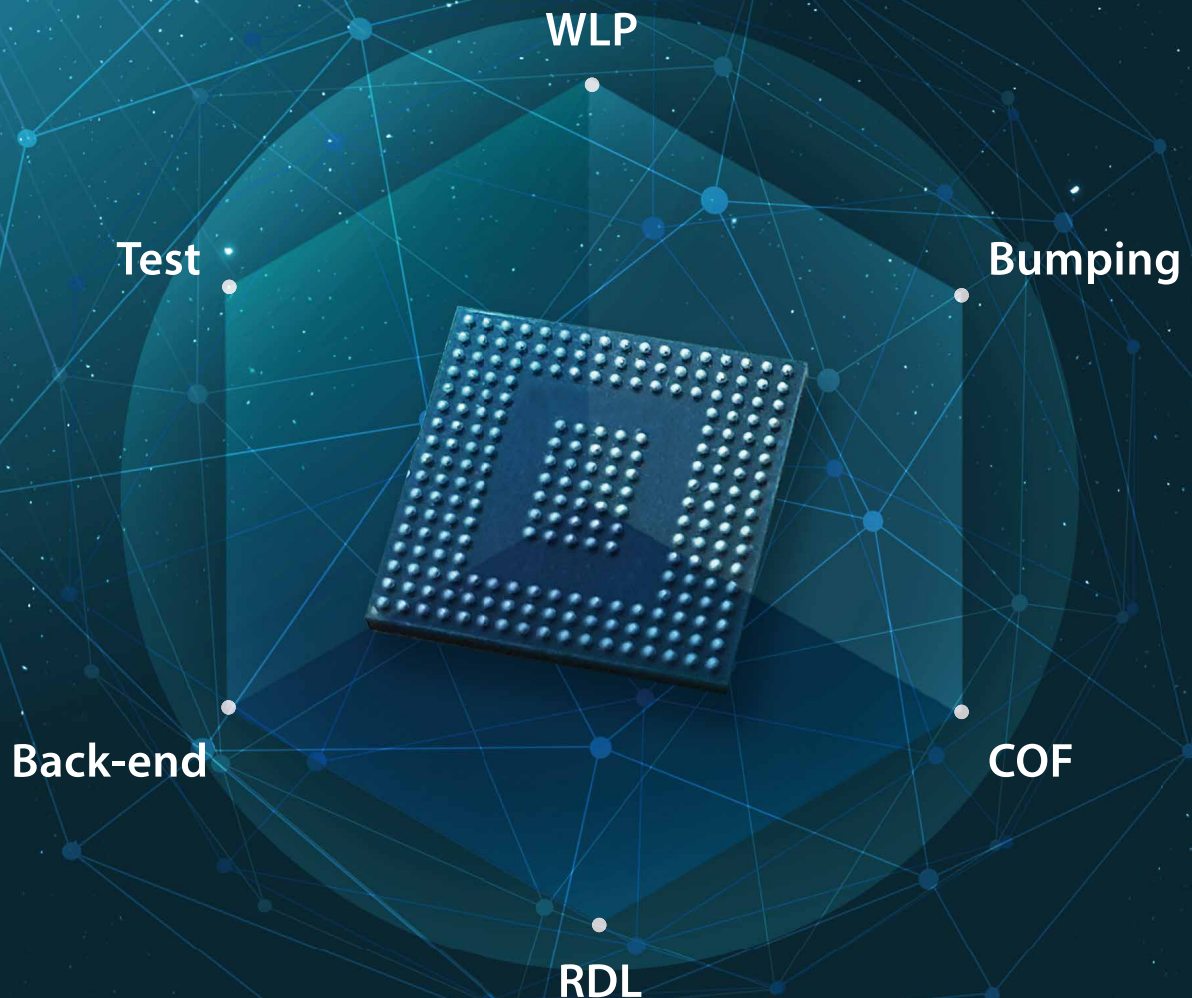
它们迭在一起使用。迭起三层后，物料厚度约为一毫米，而三个传感器均能正常运作，且保持高透气度。这足以证明此创新的「液态金属纤维毡」能够叠起使用，具备多功能且穿戴舒适的优点。

总之，「液态金属纤维毡」是一种高透气和超弹性的崭新导电材料，通过把液态金属涂抹或打印于弹性纤维物料，再经过简单的拉伸程序而制成。即使叠起多层使用，仍能维持高透气度。此创新导电材料有助于开发各种穿戴式电子设备，进一步整合具有多项功能的设备，令长时间穿戴更感舒适。

本研究项目主要获得香江学者计划与香港研究资助局拨款支持。研究团队会进一步加强「液态金属纤维毡」的性能，并开发不同类型的护理电子产品及系统。



LB Semicon



Look Beyond
LB Semicon



VISIT US

随着全球的半导体晶片缩小化趋势, 近年来 wafer bumping 技术的价值日益引起人们关注。伴随半导体制造技术趋势, LB Semicon 将不断研发技术, 向国内外顾客提供高质量服务。作为最佳技术解决方案提供商, LB Semicon 会以尖端技术和不畏惧变化的挑战精神, 竭力提供优质的产品和最好的服务, 与客户共同成长。

上海精测半导体 12寸独立式OCD机台与全自动Review SEM设备出机

2021年7月13日，在上海精测半导体技术有限公司成立三周年之际，经过全体精测人的努力拼搏，迎来了属于自己的荣耀时刻：国内首台12寸独立式光学线宽测量设备（OCD）与国内唯一12寸全自动电子束晶圆缺陷复查设备（Review SEM）顺利出机。

国内首台12寸独立式光学线宽测量机台



12寸独立式光学线宽测量机台(OCD)是该类型的国内首台机台，主要用于45nm以下、特别是28nm平面CMOS工艺的测量，并可以延伸支持上述先进工艺节点的快速线宽测量。EPROFILE 300FD测量系统拥有完全自主知识产权，包括宽谱全穆勒偏测头、对焦对位系统、系统软件等核心零部件均为自主研发，是真正意义上的高端国产化机台。

配套EPROFILE 300FD，上海精测还同时发布了新一代电磁场仿真建模工具J_Profiler™ V3.0；该款软件允许用户在数百核的高速建模运算服务器上进行OCD建模与库匹配，可以在获取复杂三维纳米结构光谱变化信息后，实时高速的对于纳米结构的各个维度精确值进行计算。

EPROFILE 300FD和J_Profiler™ V3.0将为国内高节点产线提供稳定、实时、高速的测量解决方案。

12寸全自动电子束晶圆缺陷复查设备

12寸全自动电子束晶圆缺陷复查设备(Review SEM)是上海精测半导体的另一项主力产品。公司从底层开发做起，扫描电子显微镜、配套扫描成像电路等关键核心部件均为自主设计，自主知识产权，并用了近两年的时间打通了电子显微镜核心零部件加工的国产化供应链。此次出厂的机台配备了基于深度学习的高准确率智能化自动缺陷检测与分类算法，将进一步帮助客户提升缺陷复查分析的效率并显著提升设备使用的便捷性。

上海精测半导体技术有限公司通过自主构建研发团队及海外并购引入国产化等手段，实现半导体测试、制程设备的技术突破及产业化，成为全球领先的半导体测试设备供应商及服务商。通过与多家知名研发中心、大学院校开展合作，共同开发新型检测解决方案，提升国内半导体检测装备行业的技术水平。



思特威推出Stack+RS结构 全彩图像传感器SC850SL

先进 CMOS 图像传感器供应商思特威科技 (SmartSens Technology), 推出其首颗 Stack 的 Rolling Shutter 架构 800 万像素图像传感器产品 SC850SL, 作为思特威首颗 Star Light (SL) 超星光级系列产品, 力求以 4K 超星光级夜视全彩影像赋能高端智视应用市场。

大数据时代下催生的视频结构化技术持续走热, 该技术旨在通过提高对目标物细节特征的识别提取能力从而更高效地为后端运算获取图像关键信息。因此对 CIS 的成像清晰度、画面覆盖范围、暗光成像以及色彩呈现力等都提出了较高的性能要求, 同时 CIS 成像技术的高速发展也为 AI 视频时代的到来提供了更为优质的影像保证。

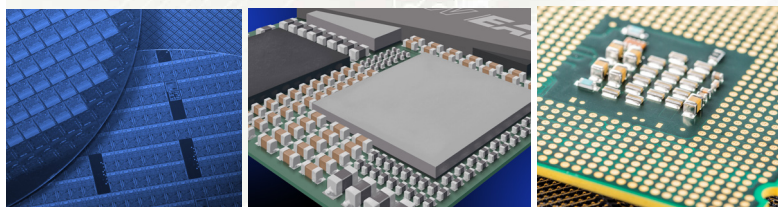
Stack+RS架构辅以升级芯片工艺, 呈现超星光级夜视全彩!

SC850SL 作为思特威首颗 Stack 的 Rolling Shutter 产品, 采用 Stack BSI 架构设计辅以新一代工艺双重升级, 使图像传感器的感度大幅提升, 相较于业内同类产品, 感光度提升 15%。此外 SC850SL 还采用思特威创新的超低噪声外围读取电路技术, 成像噪声大幅优化, 相较于业内同类产品, 读取噪声 (RN) 与固定噪声 (FPN) 分别降低 69% 与 59%, 实现优异的夜视全彩成像。

第二代近红外感度NIR+技术, 高清4K影像, 更多图像细节尽现眼前!

SC850SL 搭载思特威全新的第二代近红外感度 NIR+ 技术, QE (量子效率) 显著提升, 相较前代 NIR+ 技术, 在 850nm 波段下大幅提升 54.9%, 940nm 波段下提升 79.6%。即使在仅有微弱星光的环境下, 也能呈现清晰的如可见光般的高清影像。

在面对诸如商场、广场、智慧城市及智慧港务等视场角较大应用场景时, 画面清晰度及图像细节成为摄像头终端智能化升级的迫切需求。思特威此次推出 800 万像素图像传感器 SC850SL, 以 4K 高分辨率提



用于半导体封装的 印刷、点胶、回流焊、 清洗和热处理设备

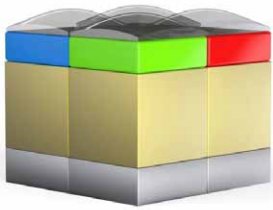
ITW EAE 正在推进半导体封装下一代技术的创新与发展。新技术能显著提高生产率和良率。

MPM® Edison™ 是市场上最精确的印刷机。Camalot® Prodigy™ 点胶机具有最先进的技术, 例如 Dynamic Dual Head™ (动态双头), 无论零部件之间如何旋转, 两个点胶泵都可以同步点胶。Vitronics Soltec 回流焊系统具有无与伦比的可靠性。Electrovert® 离心和在线清洗系统能对高级封装进行高性能清洗。Despatch® 提供用于聚合物固化等的高性能烘箱。

专为提高半导体良率而设计



请参观 ITW EAE 的展台在 2021 年9月8日至10日, 在 Semicon Taiwan 台北南港展览馆展示 (一楼) 展台 J2646 获取更多信息。

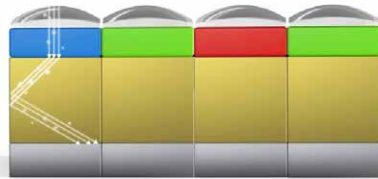


Stack Rolling Shutter

有效提升感度减少噪声

第二代NIR+ Technology

先进工艺大幅提升量子效率



升摄像头成像清晰度以及捕捉图像细节能力，无论是白昼还是夜晚，均可在视野宽阔的场景中清晰捕捉人脸及车牌等后端需求关键信息，实现高清4K影像。

此外，SC850SL不仅能够支

持高达100dB的动态行交叠HDR (Staggered HDR)，还可在保有800万分辨率的同时，支持思特威创新的PixGain HDR[®]，从而有效解决摄像头捕捉运动物体场景中HDR合成带来的鬼影问题。同时，SC850SL还

提升了信噪比及高温适用性，可展现出影院级的色彩视效，以卓越成像表现赋能高端智能安防视频应用。

思特威首席技术官莫要武博士表示：“思特威一直致力于为未来AI视频应用提供更清晰的影像，此次推出的超星光级新产品SC850SL正是思特威在超低照成像技术上的成果展现，除800万4K高分辨率外，Stack BSI+RS架构芯片设计大幅提升了产品的灵敏度与暗光成像性能，同时我们也在不断追求更优异的近红外性能，创新的第二代近红外感度NIR+技术将产品850nm/940nm下的QE再次拔尖至新高度，此外兼具动态行交叠HDR与PixGain HDR[®]两种HDR模式，使SC850SL拥有更出色的高动态范围表现，从而让智能影像覆盖到全时段及更多的应用场景。”

普发真空推出可靠低振动的HiPace 80 Neo涡轮分子泵

近日，普发真空推出了寿命更长、振动更小、噪声更低的全新HiPace 80 Neo涡轮分子泵，同时问世的还有普发真空专为涡轮泵转子开发的Laser Balancing[™]激光平衡技术。采用这项专利技术的相关真空泵特别适用于包括质谱分析、电子显微术、检漏仪和残余气体分析系统等对振动敏感的应用。

在控温方面，HiPace涡轮分子泵配备集成传感器，集成的转子温度测量功能可确保HiPace 80 Neo始终发挥最佳性能，保障其最高运行安全性。

在轴承方面，HiPace 80 Neo的混合轴承由两部分组成：前级真空侧



运用耐温高、转速高且寿命长的润滑油式陶瓷球轴承，而高真空侧则使用灵活、抗压强的永磁径向轴承。坚固耐用的轴承材料让HiPace系列涡轮

分子泵的具备更高可靠性。

此外，相较于其他涡轮泵，HiPace 80 Neo体型更加小巧紧凑，可集成到各种便携式和移动式应用中。同时，该泵还具备自动配件检测功能的Micro-USB接口，在短短几步之内即可投入使用，为用户带来便捷和高效的使用体验。

在润滑方面，HiPace 80 Neo配备一种新型高性能润滑剂，具备更高的抗老化性、更优化的润滑性能和更强的耐热性，进一步提升真空泵组的安全性能，而且各款HiPace 80 Neo泵均可免维护运行5年。

电子多光束掩模写入器实现微芯片进一步小型化

智能手机和很多其他电子设备的不断发展可以概括为“更小、更快、更强大”。这些设备的核心是微芯片，作为这一发展的一部分，微芯片也需要变得更小、更好。过去在这个领域已经取得了良好的进展，但许多制造技术现在已经达到了极限。

由位于维也纳的IMS 纳米制造有限公司开发的一项创新技术：电子多光束掩模写入器 (electron multi-beam mask writer)，成为改变了现有极限的解决方案。该设备的关键元件来自弗劳恩霍夫硅技术研究所 (Fraunhofer ISIT)。弗劳恩霍夫硅技术研究所和IMS 纳米加工有限公司成功地对一个微系统开关元件进行了MEMS 加工，该元件是电子束掩模机的核心，是生产最新一代微芯片的关键设备。他们的努力为他们赢得了2021年约瑟夫-冯-弗劳恩霍夫奖 (Joseph von Fraunhofer Prize)。

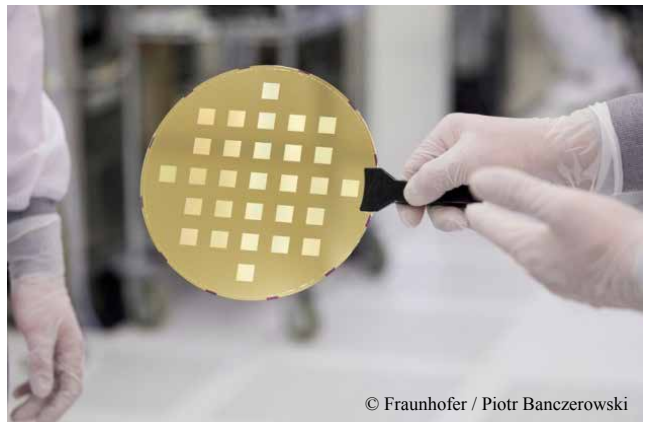
Fraunhofer ISIT 的马丁·维特说：“以前，只能在芯片上实现略低于10纳米的工艺尺寸 - 一个原子是0.1纳米 - 但新的制造方法使7纳米及以下的工艺尺寸成为可能。”这在全世界都是非常领先的，电子多光束掩模写入器是目前能使芯片进一步小型化的技术。

在传统的芯片生产中，半导体材料硅的晶圆被均匀地涂上光刻胶，通过将其暴露在定向光线下进行硬化。未硬化的区域被移除，而硅则在曝光区域进行加工。然后，硬化的光刻胶部分也被移除，整个过程重新开始。通过这种方式，芯片被一层一层地创造出来 -- 对于复杂的芯片，甚至需要多达70次曝光。为了确保光照对准需要硬化的光刻胶区域，而将其他区域留在黑暗中，使用了各种掩模。这就是芯片的方式生产，但在这种情况下，电子束被用来硬化光刻胶。

这种新方法的主要特点是什么？坎普曼解释说：“我们使用 512×512 的光束，即超过262,000个光束，而不是用一个光束在电子敏感的光刻胶上书写掩模结构。”这是通过Fraunhofer ISIT的一个MEMS开关元件实现的，它实际上构成了这种新的多光束掩模写入器的核心。简单地说，这个微系统开关元件就像一个有超过262,000个开口的薄膜，允许电子束通过。但与淋浴头的水柱不同，这些光束并不是平行运行的。相反，它们可以被特殊的控制电极单独控制和重新定向。



马丁·维特、杰奎琳·阿塔内洛夫博士和迈克尔·坎普曼 (从左至右) 因开发出创新的微芯片进一步小型化技术而被授予约瑟夫-冯-弗劳恩霍夫奖。



电子多光束掩模写入器实现工艺尺寸小于10纳米的微芯片的创新工艺。

阿塔内洛夫补充说：“电子多光束掩模机使我们能够在短短几个小时内创建高质量和高分辨率的复杂的结构。”目前还没有任何技术可以与创新的电子多光束掩模机相媲美。因此，市场上有很大的需求，这些设备为IMS公司带来了4亿美元的年收入。行业收入现在每年远远超过一百万欧元。这项获奖技术不仅使进一步的小型化得以实现，而且还带来了杰出的商业成功。

约瑟夫-冯-弗劳恩霍夫奖

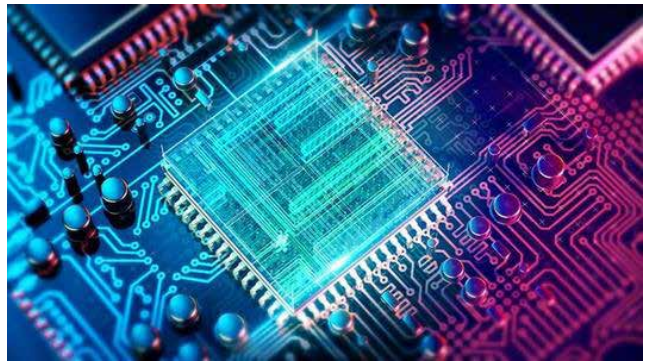
自1978年以来，弗劳恩霍夫公司每年都为员工解决实际问题的杰出科学成就颁发奖项。今年，将颁发三个奖项，每个奖项价值50,000欧元。获奖者还将获得一枚印有约瑟夫-冯-弗劳恩霍夫简介的银质胸针。

国产化浪潮下， “芯”时代的智能制造趋势

国产化“芯”浪潮

近年来，随着中美贸易摩擦持续进行，半导体国产化已经成为我国经济发展的重要战略之一。伴随着中国制造2025 和新基建的进一步推进，越来越多传统制造业将转型为智能制造、智慧工厂，绝大部分生产将由计算机、人工智能等控制。众所周知，半导体产业是现代经济社会发展的基础性、战略性和先导性产业，是我国实现经济持续增长、打破中等收入陷阱的重要途径。大力推进半导体产业发展，促进半导体产品的智能制造，对于当前及未来一段时间内我国的实体经济发展和商业贸易繁荣具有重大意义。

中国芯片公司主要向通信、消费和工业终端市场销售分立半导体、低端逻辑芯片和模拟芯片。在高度互联、层次分明的全球半导体供应链环境下，中国已拥有显著优势，成为了外包组装、封装和测试 (OSAT) 的全球领导者。中国领先的 OSAT 企业跻身全球前 10 名 OSAT 公司之列，2020 年总计占 OSAT 市场总量的 38%。中国在全球芯片



销售市场的占比正在快速增长，而且由于国内市场处于蓬勃发展阶段，中国正在取得更大的突破。

半导体制造是一个极其复杂的过程，一颗芯片的制造需要成百上千道工序，并且对精细化程度要求极高，既要保证生产车间的洁净度，还要保证不同的生产设备可以实现无缝对接，完成各类物料按需从线边库、配料车间到生产线的自动化转运和上下料。但是，在大规模生产车间中，



作者：白雪，苏州艾斯达克智能科技有限公司

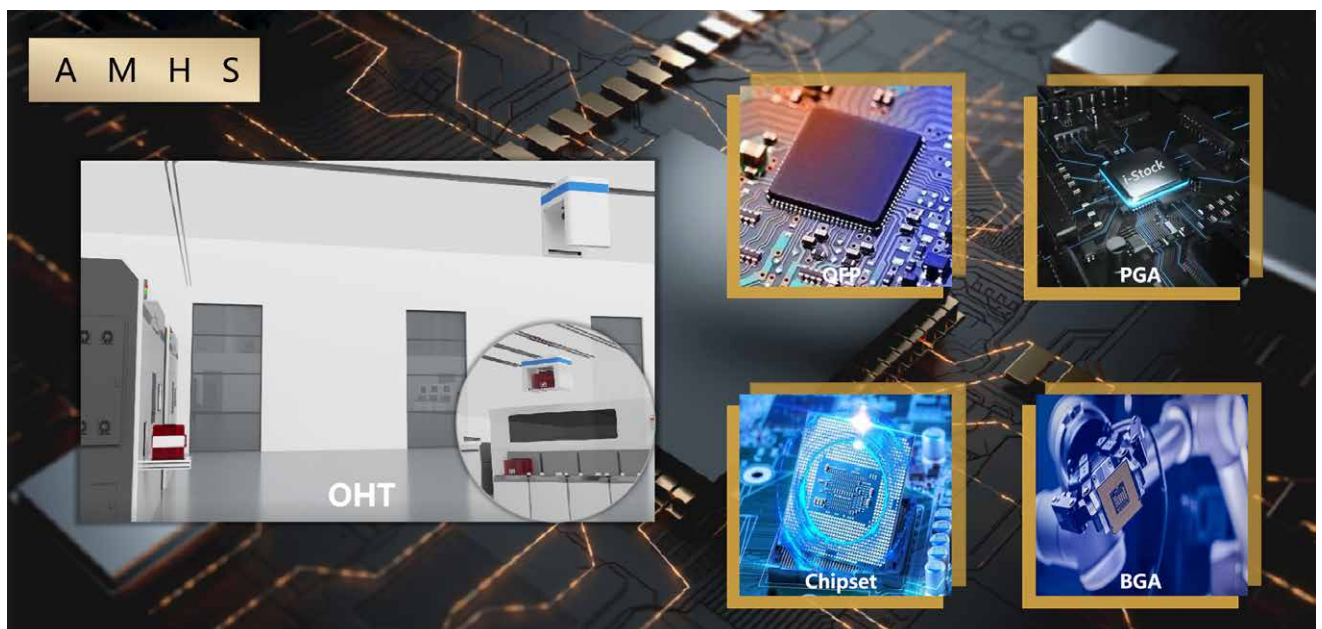
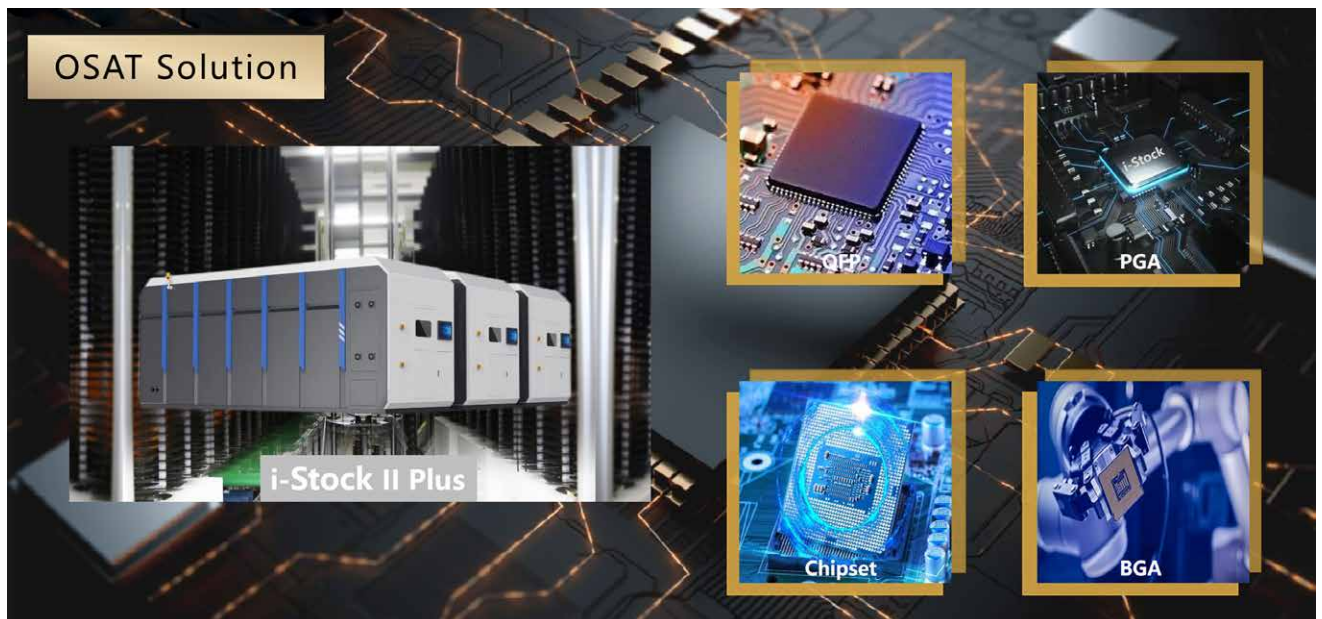
一般设备都是集群式分布，生产过程离散，大多数情况下订单需求又相对柔性，需要各种原材料、辅料及半成品、成品等物料灵活配送。所以想要提高半导体制造效率，全方位智慧物流整体解决方案是十分有必要的，它不仅可以让整个半导体制造摆脱重复性的人工搬运流程，还能提升效率，提高产品整体质量水平，这其实已经是半导体“智造”的范畴了。

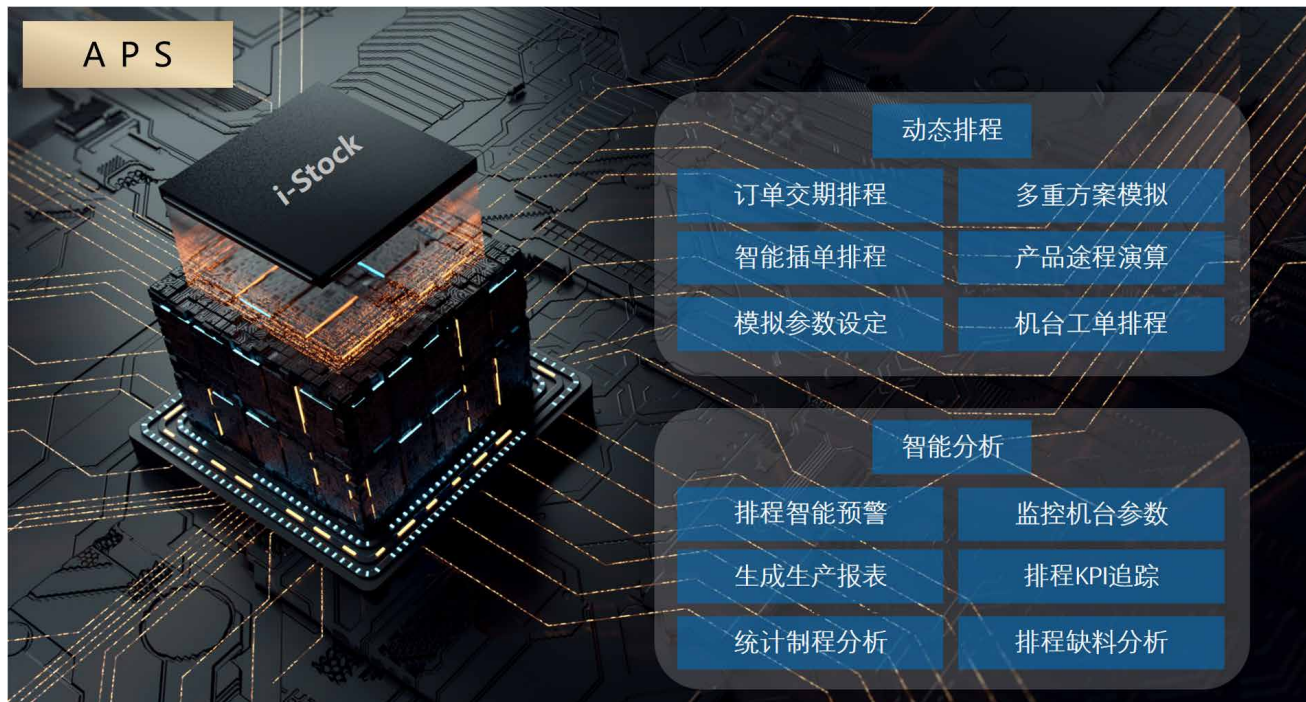
千亿市场下的机遇

近年来半导体产业正处于上升阶段，根据全球半导体

贸易协会（WSTS）预测，2021 年全球半导体产业市场规模将达到 4882.7 亿美元，将创历史新高，而随着半导体国产化的提出，国产半导体同样迎来高速发展时代。2020 年，中国进口了高达 3780 亿美元的半导体；对全球 35% 的电子设备完成了组装；出口了电视、电脑和手机出口量的 30% 至 70%；并消耗了所有支持半导体的电子产品的四分之一。能够进入这个庞大的市场体系对于当今和未来任何具有全球竞争力的芯片公司的成功都至关重要。

万物感知、万物互联、万物智能驱动业务场景越来越多样性，多样性的应用场景驱动算力需求的多样性，如今





已经进入多样性的计算新时代，智能制造已经成为新生产力，驱动数字经济发展的关键指标。

根据中国半导体协会的数据显示，2020年中国集成电路产业销售额为8848亿元，同比增长17%。其中半导体制造业销售额为2560.1亿元，同比增长23.3%，封测产业销售额2509.6亿元，同比增长6.8%。

想要在如此一个巨大的市场中拿下更多的市场份额，需要让产线更高效运转，所以也需要对工厂进行智能改造。比如智能化车间，智造产线，以及全方位智慧物流整体解决方案。而艾斯达克一直致力于为半导体企业和3C电子行业客户提供全方位智慧物流整体解决方案，从2014年成立至今，已经累计取得40家EMS 100强客户，拥有百项专利技术，并荣获国家及行业内多项荣誉证书。

半导体智慧物流整体解决方案

智慧工厂的本质在于“智慧”二字，不仅需要“强有力”的智能设备，更需要的是“软实力”来实现，这也是艾斯达克特别重视的。要实现“智慧”，首先需要用网络打通各个生产环节，满足工业环境下设备互联和远程交互的应用需求，其次将数据收集并进行分析处理，实现自动化工厂，为企业打造一个高效智能的制造协同管理平台。此外，管理者可以实时掌握生产计划以及产线资讯，为决策者提供依据，从而提高整个厂的生产效率。艾斯达克的软实力

还包含了智能排产系统，APS智能排产系统是系统的核心，而作为APS智能排产系统的一部分，智能感知单元在其中起着重要作用，它会根据业务流程以及操作，智能捕捉数据，实时分析，多途径与终端交互作业，来达到高效精准的排产指导。APS智能排产系统的另一大核心是智能排产算法，该算法可根据订单交期排程、多种方案模拟排程、智能插单排程、产品过程演算、机台工单排程、模拟参数设定等进行动态排程，可以优化生产流程、缩短生产周期、提高产品完成率和设备稼动率。有了智能排产系统，不仅仅有效缩短了备料周期，提升产品品质并降低人力成本。

半导体国产化的浪潮之下，国产半导体不仅要攻坚克难，拿下一个个技术高地，还需要提高生产效率，尤其是在这个产能紧缺的关键时刻，拿下更多的市场份额。艾斯达克通过多年的积累，已经将电子元器件智慧物流解决方案落地多家知名企业，同时在助力3C电子、半导体企业工厂实现自动化、数智化的智慧工厂转型方面，也有着丰富经验，并且其全方位的解决方案，已经通过市场的验证，尤其是已经在全球知名的半导体企业——海力士、日月光、长电科技等半导体企业中得到应用。在当前如此紧缺的国产半导体浪潮背景下，奋力协助半导体企业迈向更加智慧智能制造时代，同时期待中国“芯”实现更加高速的智能化发展，走向全球化市场。◆

艾斯达克智能科技有限公司

I-STOCK INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.

i-Stock

智慧芯科技 智造芯未来

半导体智慧物流整体解决方案



电话：0512-67639775

邮箱：sales@intelligent-stock.com

网址：www.intelligent-stock.com

地址：苏州高新区泰山路2号和枫产业园中试创业基地A栋101室

凭借革命性的材料科学 默克满足严苛的客户要求

随着集成电路制造的复杂性日益增加，半导体器件的持续发展迫切要求材料供应商在消除缺陷和提高良率方面发挥更加积极的作用。默克（MERCK）是一家总部位于德国达姆施塔特（Darmstadt）的科技公司，该公司对其如何重新定义材料科学以加快生产，提升良率，并使客户拥有竞争优势提供了深刻的见解。

对于先进节点半导体的苛刻生产要求，继续使世界上最复杂的制造工艺更具挑战性。一些在两代或三代器件以前无足轻重的缺陷，如今在 10nm 及以下器件中却是“致命的”缺陷。

由于工艺要求越来越严格，因此，制造商以及为他们提供支持的供应链成员正在寻觅有效的方法，以使先进节点器件的制造尽可能地简单和可靠。作为尽量减少缺陷的一种方法，需要更高的材料纯度和精确控制的配方，这些配方从根本上保证制造出的每一种化合物具有仔细记录的“特征指纹”，这样，就能更加容易地完成材料批次的采购、贮存，以及从它们进入制造流程的切入点到最后制程最终工序的全程跟踪。

所有化合物无一例外地都在不断改进质量控制要求，因为制造商认识到，他们对材料组成各个方面施加的控制越多，那么由其中某一种材料意外注入导致缺陷的可能性就越小。这关系到数十亿欧元的微电子器件和数万亿欧元的最终产品，它们的成功与否都取决于其半导体含量。

材料科学的不断发展，为业已采用严格标准和模范质量控制的供应商和工艺化学品制造商创造了独特的机会。在满足半导体器件制造商日益增长的需求方面，此类公司处于理想的位置。与半导体制造有几分相似的是，制药和生命科学产品的开发和配方也需要极其精确和严格的质量控制。因此，像默克这样以质量和先进技术闻名的公司，会不断投资于其先进电子材料部门，也就不足为奇了。

如今，在为全球越来越多的 IC 制造商提供高纯度/高品质半导体工艺化学品配方方面，默克已崭露头角，成为规模最大的国际厂商之一。

收购整合增加战略优势

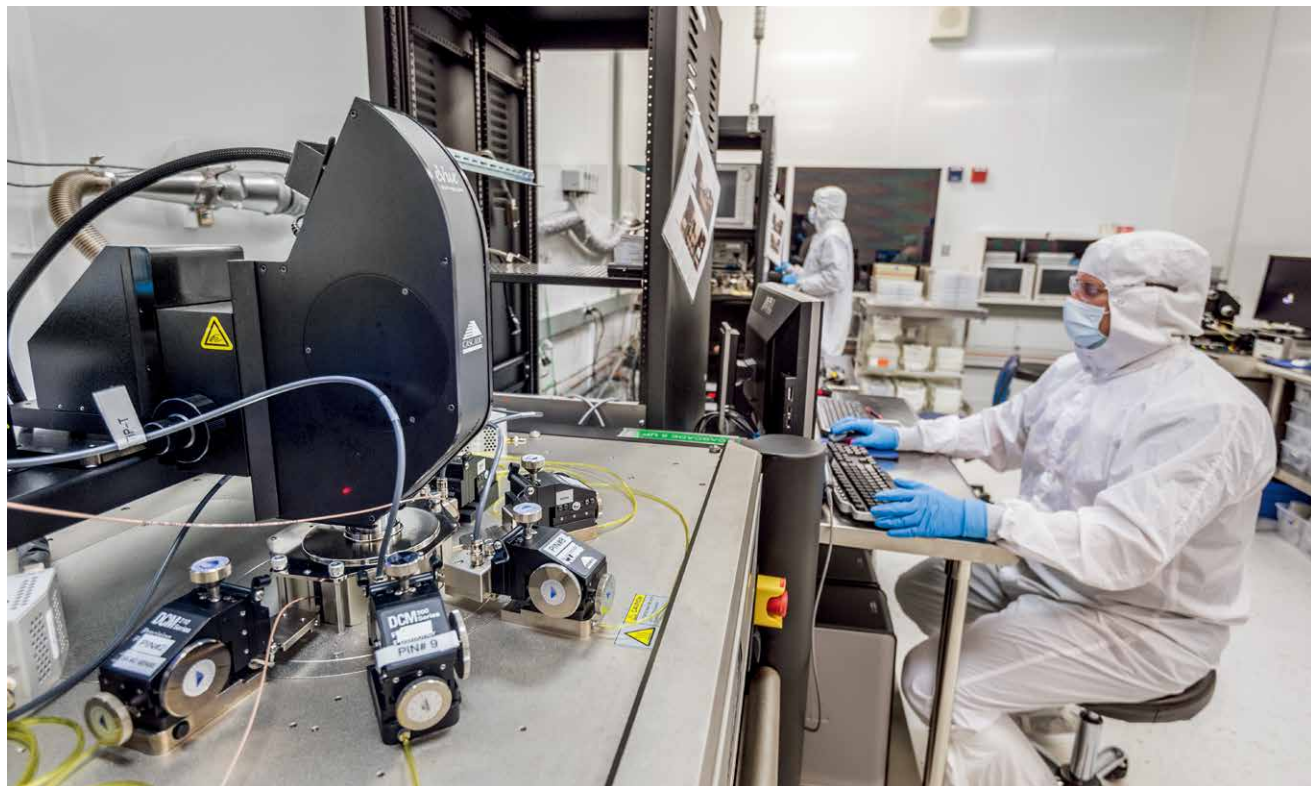
默克并不满足于现有的业绩，也不指望凭借其 300 多年的工业卓越表现来满足 21 世纪全球市场不断变化的各种需求。2007 年以来，默克已经进行了总额约 400 亿欧元的收购和资产剥离，在此过程中，默克已转型为一家领先的科技公司，除了在保健和生命科学工业领域拥有突出地位之外，还能够为半导体制造商提供支持。

默克近期的收购活动包括在 2019 年 10 月将 Versum Materials 收归旗下。同年 9 月，默克还完成了对 Intermolecular 的收购，后者是一家位于加利福尼亚州的公司，专注于先进材料创新。默克业已拥有十分深厚的高性能材料专门知识，而这两笔收购又为默克增添了产品门类和工艺制程，以及丰富的经验。

在完成了对 Versum 的收购之后，默克公司执行董事会前主席和前首席执行官 Stefan Oschmann 指出：“通过收购 Versum，我们为充分利用电子材料行业的长期增长趋势取得了最佳的定位。与此同时，我们将逐步拓展对电子材料的承诺，使我们的产品库与三个走势强劲的业务领域达到某种平衡，并强化我们对于创新驱动型技术的战略关注。”

作为对上述言论的回应，默克执行董事会成员、默克电子科技首席执行官毕康明（Kai Beckmann）说：“我们非常高兴地欢迎 Versum 加入我们的团队。在最近收购了 Intermolecular 之后，对于我们志在成为电子材料市场领军者的‘光明未来’（Bright Future）转型计划而言，此次收购标志着该转型之旅的另一个重要的里程碑。业务合并后形成的专门知识，将使我们能够为电子行业中的客户提供尖端技术创新。”





在它所有的收购中，默克均在寻求增添战略优势，以对自己现有的全球产品库形成补充。该公司 2019 年收购 Intermolecular 的主要好处之一是，有机会将位于 Menlo Park 的默克硅谷创新中心团队搬迁到 Intermolecular 设在加州圣何塞、占地面积 15 万平方英尺的工厂。迁往圣何塞远非仅仅是一次整合，此举使默克得以充分利用 Intermolecular 公司面积达 3 万平方英尺的洁净室、化学实验室、办公室、会议和活动空间，这不仅让默克受益，同时也创造了一个独特的空间，使得默克能够与专注于面向半导体制造的先进材料和支持服务的初创公司开展合作。

在默克员工于 2021 年 3 月迁往圣何塞之际，默克硅谷创新中心负责人 Thomas Herget 表示：“默克硅谷创新中心的任务是为默克发现和探索尚未被开发的创新和商业机会。在这种背景下，生命科学与材料科学的交叉变得越来越重要，并且开辟了新的创新领域。现在，将硅谷创新中心与 Intermolecular 聚拢在默克旗下，将使我们和我们的合作伙伴能够开发和测试面向生物应用的新材料。我们对这些新机遇感到非常兴奋。”

为半导体材料设立新标准

材料科学能够且确实在下一代半导体的制造中发挥

着决定性的作用。对于新的晶圆生产步骤能否获得成功，以前可能被认为是次要因素的产品和工艺现在已被证明是至关重要的。同样重要的是，制造商必需了解并掌握：相比于传统方法，究竟是什么构成了一种成功的新材料或制程。

默克在半导体材料领域持续表现出众并设立新标准，包含提供优质材料以及优于同类竞争方案的性能数据。在化学机械平坦化 (CMP) 技术中就能找到一个现成的例子，在将裸硅晶圆片转变为承载高良率和高性能成品器件的衬底的整个过程中，都运用了 CMP 技术。CMP 在器件制造中具有许多功能，其中，在生产成品铜互连线中起着至关重要的作用。在生产中，在通过铜 / 阻挡层 CMP 工艺去除了阻挡层之后，测量铜互连线的薄膜电阻 (Rs)。

但是，一般来说，在 CMP 消耗品供应商的实验室里无法提供这种分析。

CMP 工艺对于铜互连线的有效性如何？一种对此进行估量的组合方法是，在平坦化处理完成之后，检查碟形缺陷和侵蚀情况。一般而言，由于估量这两种品质的难度非常大，因此仅对碟形缺陷进行部分分析。

默克公司发现，随着特征尺寸的不断缩小，传统 CMP 测量变得耗时更多、噪声更大、且更具挑战性。所

以，电气测试能提供最全面、准确和可靠的数据集。默克在电动试验模型 (test vehicle) 上实施了后段制程 (BEOL) 铜和铜阻挡层 CMP 研磨液测试。该试验模型随后被送往公司内部的电特性分析实验室。

可以采用一种自动化高吞吐量程序 (high-throughput program) 来探测试验模型。例如，32 颗晶片上的 16 个特征可以在 4 个小时内完成测量，而如果采用物理方法 (原子力显微镜 (AFM)、表面光度仪)，则只能测量 3 颗晶片上的 11 个特征，且通常需要花费多一倍的时间 (即 8 个小时)。

默克能够应客户的要求向他们提供此类数据；其他 CMP 供应商没有使用此类电气特性分析，而且通常缺乏电气数据分析方面的专门知识。默克的方法是与客户共同开发的，以确保提供的数据不仅有用，还能让制造商拥有对于 CMP 有效性的表征方法，这是胜过其他 CMP 供应商的“优势”。

UMC Fab12i (联电 (UMC) 公司在新加坡的 12 英寸晶圆厂) 是一家与默克合作的公司。这家晶圆厂的主管 Steven Hsiao 也认为，近期晶圆生产运营的加速成功，不仅与公司内部工程团队和生产技术人员的支持有关，还与默克在评估其 CMP 铜平坦化工艺的性能过程中所给予的直接支持密不可分。Hsiao 表示：“我们相信，假如与默克保持合作，那么一切皆有可能，我们期望在下一个项目上与默克再度携手。”

对于 BEOL 后段铜研磨液 (copper bulk slurries)，默克产品可提供以下优势：

- 无残留和 100% 的铜清除 (添加剂含量低)
- 可调的晶圆轮廓和碟形 (dishing)，以满足客户的技术要求 (低台阶高度到大台阶高度)
- 研磨颗粒含量低 (减少缺陷)
- 研磨垫无铜绿现象
- 高选择性
- 研磨液处于甫尔拜图的无腐蚀状态
- 可以根据牛顿流体力学和普林斯顿定理，用于提供不同消耗产品组合的可预测性

对于 BEOL 铜阻挡层研磨液，默克产品提供的优势如下：

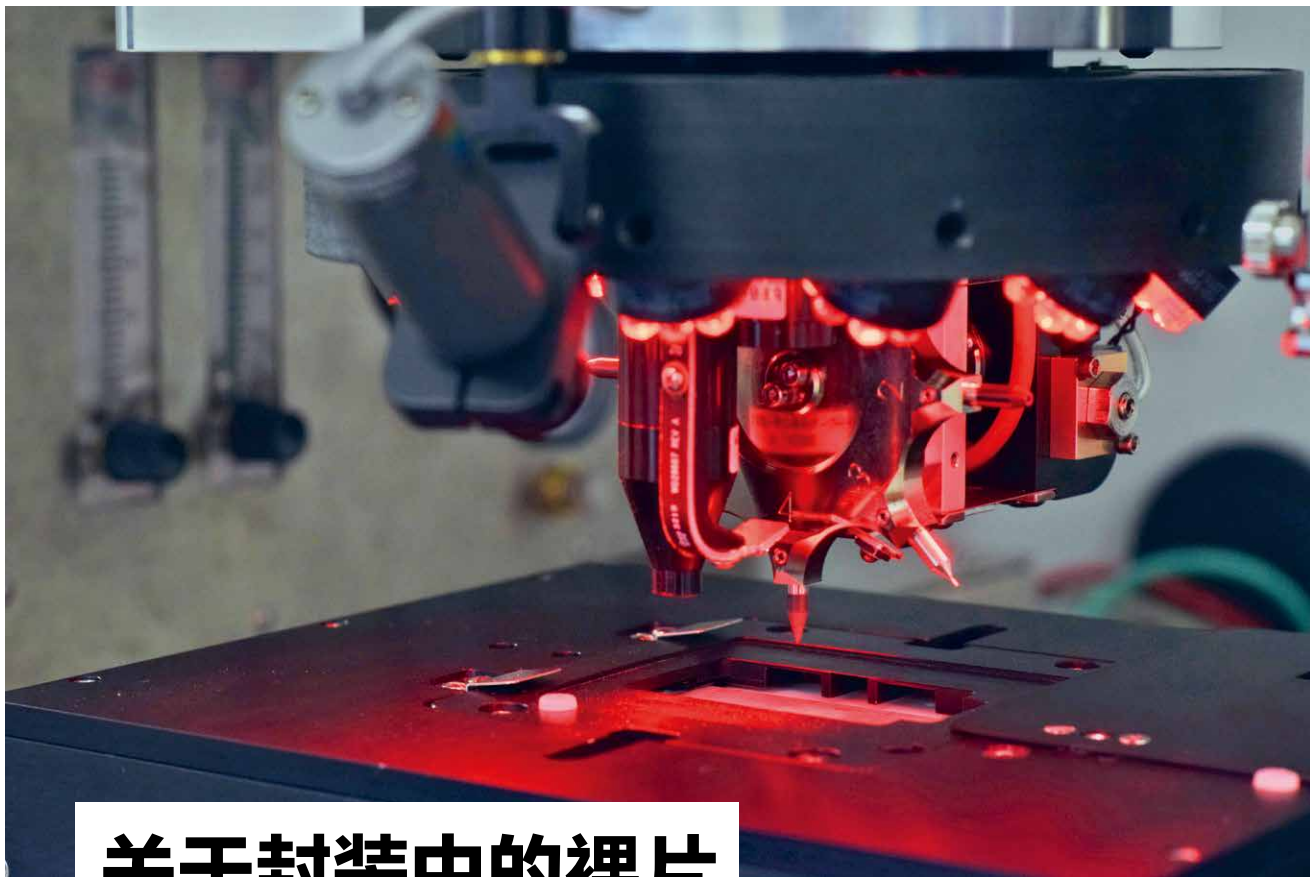
- 可调选择性定制，能与客户的特殊要求相匹配
- 低缺陷率
- 极好的晶圆表面形貌控制



- 更浓缩的配方
- 可兼容新颖的离型膜方案 (liner schemes)

默克公司首席科技官 Laura Matz 说：“默克正在打破界限，以创建下一代 CMP 研磨液，从而为半导体行业带来革命性的变化。默克与 Intermolecular 的整合能够为客户提供更多的价值，并使我们能与客户进行合作，以解决目前和未来的集成挑战。例如，默克开发出了创新的新型 CMP 研磨液，并能提供材料的碟形缺陷 / 腐蚀 (物理) 数据以及电气数据，以测量 CMP 研磨液的性能。对于我们的客户而言，电气数据的这种预先查看有助于最大限度地降低风险，实现良率的最大化，并缩短循环时间，这也表明默克是一家整体解决方案供应商。在默克公司，我们努力快速应对业界面临的挑战。我们的目标是提供整体解决方案，并力争成为能够满足客户未来需求的首选合作伙伴。”

为了不断改进其业界领先的“高性能材料与可操作性数据”组合法，默克还在考察新颖研磨料的开发和更改研磨料组份表面的能力，这样就可以根据制造商的独特需要和要求高效地完成定制。这是晶圆表面形貌和缺陷控制的一个关键因素，随着半导体行业从一代器件发展到下一代器件，它的重要性将继续增长。默克致力于成为半导体材料行业的领军企业，正在实现这一目标的道路上顺利迈进。◆



关于封装中的裸片 总是与粘贴有关

半导体生产极其复杂，因而导致制造商不断地寻求进一步降低成本和改善性能。随着先进节点器件几何尺寸的持续缩小，制程复杂性、成本和风险也在成倍增长。Silicon Semiconductor 杂志与 Palomar Technologies 公司的专家进行了交流，以了解裸片粘贴（die bonding）技术是怎样不断发展，并在 II-VI、III-V 族半导体、光子和混合模块制造中发挥核心作用的。

有些半导体工艺的通用性是针对其跨技术平台的本质属性而言的。尽管器件尺寸外型、光刻工艺创新、缺陷管理和性能改善技术层出不穷，但是，仍然有一些工艺步骤始终是必需的，比如，需要将成品裸片放置在一种为其提供保护并启用其功能的“容器”（receptacle）之中，就是一个这样的必需工艺步骤。

随着半导体工艺技术节点向更小的特征尺寸发展，制

造商敏锐地意识到：精细调整工艺步骤和材料配方的重要性日益增长，这有助于缺陷消除和质量控制，同时改善产品生命周期并实现增值。这种对细节的关注带来了回报，包括提高了利润率，加快了产品上市进程，并降低了成本，更不用说客户满意度的整体提升了。

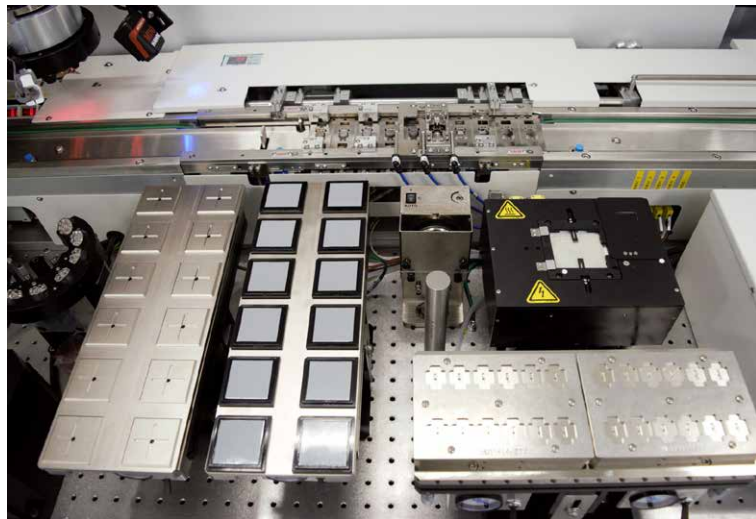
裸片粘贴（die bonding, 又称为贴片）就是一个典型的例子，这项技术在广泛应用的自动化出现之前就已经

成为半导体生产的一部分，它的持续发展并为复杂制造系统带来价值的过程说明了通用性工艺对于半导体进步至关重要。在近期与 Palomar Technologies 公司产品市场经理 Kyle Schaefer 的交谈中，Silicon Semiconductor 杂志的技术编辑 Mark Andrews 说到了裸片粘贴技术的发展路径，以及该领域的技术进步怎样帮助实现高吞吐量需求和工艺控制的平衡。裸片粘贴这种通用性工艺的进步可以使多种多样的产品受益，从滤波器到功率放大器、再到光子组件等均在之列。

Schaefer 指出，通过 RF 功率放大器市场，可以看到裸片粘贴是如何不断发展的，预计该市场在今后的 5 年内将大幅增长。这种预计源于支持 5G 服务应用和推广的需要，而这在很大程度上依赖于基站中的新型功率放大器组件。2020 - 2025 年间，通用 RF 功率放大器市场的预估 CAGR 为 5% ~ 6%。该预期需求造成的结果是，制造商必需提高其生产能力。但是，与先前的几代技术演进存在差别，5G 技术不同于过去从 2G 变为 3G，进而产生 4G 的渐进式技术过渡；简单的生产上量将无法满足所有的 5G 要求，这是因为与 5G 立体式增长结伴而来的将是新的挑战，需要开发和改善新的工艺制程。

5G 供应商必须快速大量地生产更多的器件，与此同时，还需处理设计、材料和工序故障。就长期供应链关系而言，这也是事关重大的。5G 技术是新的广泛商业初创计划的基础，包括运用无线网络来填补有线网络中的缺口，或者取代固定宽带接入的机会。夹杂其中的是较高频率的新型放大器设计和新技术，还有提高产量所面临的所有常见压力。在预期需要花费 10 年甚至更长时间的扩建初期，一个失策就有可能导致制造商被阻隔在未来业务以外。如果未来业务投标未能转化为设计中标，那么在良率、质量或产品可靠性方面的执行不力，确实有可能会被证明是要付出高昂代价的。

由于使用的是混合技术，因此，RF 功率放大器的裸片粘贴是值得研究的。虽然没有像对光子组件的要求那样不同，但是，在放大器类型之间有着实质性的差异，主要分为使用横向扩散金属氧化物半导体 (LDMOS) 技术的裸片，和基于碳化硅氮化镓 (GaN-on-SiC) 等较新技术的组件。尽管 LDMOS 被认为是成熟的技术，但是对于使用期限为 LDMOS 寿命一小部分的场合，SiC 基 GaN 已经成为一种主流产品。另外，GaN 放大器还可用于差别很大的频率范围 (3.5 GHz 及以上)，而且，由于其功率



密度明显提高，因此，对于 GaN 放大器裸片粘贴的评估，最重要的衡量标准就是热管理了。

Schaefer 指出：“对于器件的使用寿命和性能而言，确保芯片和晶体管封装之间粘合剂的高导热性是最为重要的。此外，构建要求也会因使用的组装方法和材料而异。”除了热管理要求之外，与尺寸相似的 LDMOS 器件相比，GaN 器件更脆，且成本更高。由于 GaN 裸片存在易碎性，而且表面容易受到损坏，因此在搬运和粘接过程中，对“拾取 - 放置 - 粘贴”的系列操作需要更加小心。

LDMOS 和 GaN 之间的明显差异，除了影响搬运和裸片粘贴方法以外，第二个最重要的区别则涉及实际的组装和裸片粘贴材料选项。有很多可用的选择，这些选择均是为了提供具有高强度和长寿命的无空洞粘贴而设计，适合主要的芯片技术。裸片粘贴一个重要的相关方面是视觉系统，该系统不仅用于确保高度准确和一致的放置，而且还有助于在收集数据的同时保持质量，以确保每颗裸片的无损坏放置。Schaefer 以 Palomar Technologies 3880 Die Bonder 作参考，说明了业界最新的裸片粘贴系统提供以前无法达到的性能水平所用的方法。

Schaefer 解释说：“对于在总体上防止组件受损，甚至只是监视裸片放置，贴片机视觉系统均可以发挥巨大的作用。通常，一个简单的、由单一基准组成的主动过程控制步骤，就足以防止发生重复的裸片误置或连续的组件损坏。这可以通过采用 VisionPilot® 基准系统的一项独特功能来实现，该功能被称为‘给杂乱评分’ (score clutter) 的能力。从本质上讲，图形识别算法可以利用来自碎片、缺口和划痕的多余数据 (即杂乱) 来降低对于某个基准的

通常情况下，一个简单的、由单一基准组成的主动过程控制步骤，就足以防止发生重复的裸片错位或连续的部件损坏。

给定‘得分’。这样就可以根据损坏或清洁度状况来判定是否拒收裸片。”

“在开始任何组装之前使用该方法，能在实际构建过程中进行裸片分拣，以防止发生任何材料浪费。而且，还可以在裸片放置之后同样采用这种‘芯片损坏检查’，从而避免由真空工具上聚集的碎片造成损坏，此类情况如果不加遏制，就有可能导致器件的连续损坏，直到之后很晚才被注意到。该控制步骤还能同时检查在 X、Y 和 θ 轴上的裸片位置重复性，因而进一步增加了可用的完整控制选项。”

尽管有些工艺工具（process tool）随着裸片的世代更迭而不断变化，登场又退场，但是，其他的工艺工具却在不断地发展，因为执行诸如晶圆操作（wafer manipulation）等特定功能的需要依然存在，即使晶圆直径变化、裸片尺寸日益缩小，或者衬底材料在晶体结构、厚度和脆性方面发生变化的情况下也不例外。而且，即便其他因素有所改变，但是沿着加工生产线移动晶圆的需要仍继续存在。同样的道理也适用于裸片粘贴，因此更受欢迎的方法是构建能够不断发展演进的工艺工具，而不是进入生产流程后不久便被取代或淘汰（使用期有限）的工艺工具。

灵活发展演进的理念是 Palomar Technologies 3880 Die Bonder 开发的核心。Schaefer 阐释了该系统的一些亮点，包括耐用性和广泛应用的吸引力等。

“对于跨许多商业模式（从学术界、中小企业、合同制造商 (CM)、到 Lumentum 和 II-VI 公司等全面型制造业巨头）提供优秀投资回报率 (ROI) 来说，灵活性是关键所在。通常，Palomar 的客户使用 Palomar 裸片粘贴系统都有很多年，因此，随着产品和工艺制程的成熟和变更，当投资裸片粘贴解决方案时，对于工程师和采购专职人员来说，裸片粘贴系统供应商提供相关支持的长久性，以及裸片粘贴系统重新配置的简易性，是重要的考虑因素。”

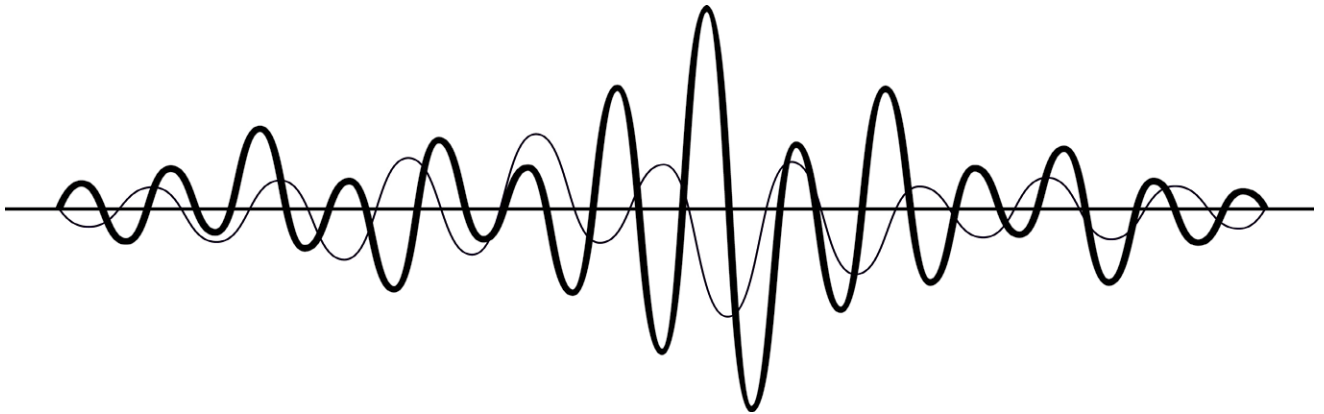
“确切地说，灵活性是 Palomar 3880 的核心设计理念。该系统的灵活性是独一无二的，因为它具备从一种工艺制程或配置变更为另一种的能力，同时对于所有的潜在应用，其性能也都保持有效。”

“使 3880 极其灵活的，并不仅仅是 8 个位置的双向工具转塔 (tool turret)，此转塔只需 250 毫秒就能在运行之中完成工具的更换。这种高度灵活性还源于其超大的工作范围 (work envelop)，在这样的工作区可以采用许多粘贴硬件配置、材料外观选项和自动化选项。此外，工具的更换快捷省力，因而能够支持任何公司的多品种生产需求。”

“从本质上说，软件和硬件的强大能力是使 3880 的灵活性如此具有影响力的核心功能，因为它不是‘仅在某个方面极为出色、在其他许多方面也不错’，而是‘在所有方面都拥有超卓的优点’。3880 是集研发、新产品导入 (NPI) 和量产于一身的多用途机器。” Schaefer 表示。

随着后续器件世代的更迭，半导体工艺和制造目标将会变化，但是有些需要则保持不变，比如：拾取和放置裸片，然后在器件与其封装之间建立永久的牢固粘贴。Palomar 3880 Die Bonder 始终是研究工作和各种各样生产环境的核心机器。有的时候，最好的产品只会变得越来越好。◆





声学成像检测最具隐秘性的缺陷

在组装之前，利用超声波声学微观成像（AMI）工具，大多数缺陷可以很容易被发现，该工具将超声波脉冲发射到组件中并分析返回的回波，以识别缺陷，但是，有些隐秘缺陷仍然很难被发现。

在电子封装中，可能出现的内部间隙型结构缺陷包括：裂纹、分层、未粘结和空洞，等等。在使用过程中，这些缺陷可能会对热力和机械力做出反应，从而中断电气连接。

在组装之前，利用超声波声学微观成像（Acoustic Micro Imaging, AMI）工具可以很容易发现绝大多数此类缺陷，这种工具将超声波脉冲发射到组件中并分析回波，以识别缺陷。那些有缺陷的组件被从生产环节中清除掉。

当 AMI 工具的扫描传感器在电子组件的上方移动时，它每秒向该组件发射数万个脉冲。每个脉冲在一个特定的 x-y 位置发射，并从它遇到的内部材料界面（比如：塑封料 - 硅界面）送回回波。这些回波包含大量的信息，而且每个回波决定了声学图像中一个像素的颜色或灰度梯度。

被扫描的组件可能包含两类内部界面：

(1) 两种固体（如塑封料和硅）之间的粘结界面。固体 - 固体界面反射部分脉冲，并将其余的脉冲传送到组件中更深的地方。

(2) 某种固体与空气之间的界面。在组件制备过程中，空气可能被纳入到器件之中。固体 - 空气界面几乎将所有的超声波脉冲都反射回传感器。因此没有超声波进入或穿过空气。

固体 - 空气界面是空洞、裂纹和其他包含空气的内部结构缺陷的表面。热应力或机械应力有可能会使这种间隙扩大，进而导致组件内部的电气连接断开。也有一些不含空气的内部异常。它们是固体特征，但可能是倾斜的、翘曲的，或者处在错误的位置。

大多数空气间隙类缺陷都可以采用 AMI 工具很容易进行检测和成像。扫描传感器在组件的表面上高速扫描时，每秒发出数万个脉冲。每个脉冲针对组件表面上的一个特定的 x-y 位置，并进入组件。传感器在到达下一个 x-y 位置并发射下一个脉冲之前，收集来自内部界面一个位置的回波。在为 Nordson SONOSCAN C-SAM® 工具开发的许多成像模式中，在某个给定 x-y 位置上的最高振幅（“最响”）回波决定了处于该位置上的像素的颜色。

如果使用的是高分辨率 230 MHz 传感器，它实际上发射的脉冲的频率范围大约是从 160 MHz 至 300 MHz。一个出射脉冲包含这个范围内的所有频率。在各种频率的回波分布可以不同，这取决于界面的特性。通常，当回波到达传感器时，其振幅被用于确定该 x-y 位置的像素颜色。这就是所谓的“时域”模式下的序列，在这种模式下，回波的其他方面（频率、到达时间、极性）被忽略。

图 1 详细地展示了脉冲 - 回波序列。代表每个脉冲或

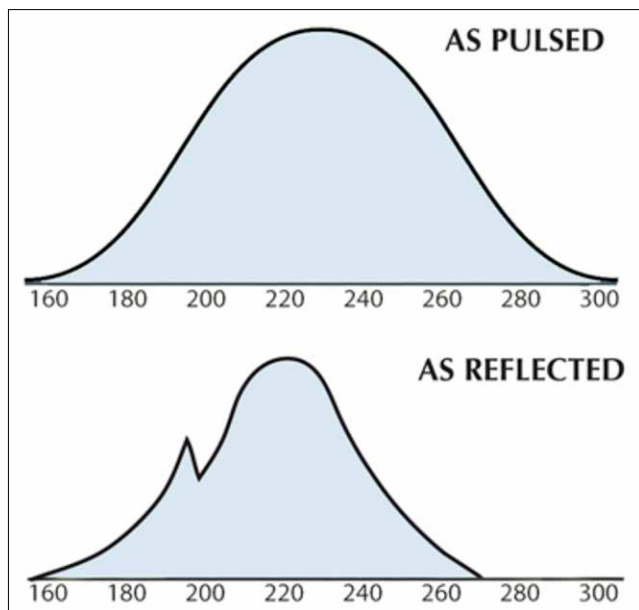


图 1: 回波反射 (1) 来自固体-固体界面, (2) 来自一个固体-空气界面。

回波的波形的长度和宽度, 与其振幅相似。

在 Frame 1 中, 扫描传感器将一个脉冲射入一个组件的顶部。该脉冲穿过第一层材料, 并射击到第一层和第二层材料之间的界面。它的部分能量被向上反射到传感器那里。

在 Frame 2 中, 剩余的脉冲继续向前。在第二层和第三层材料之间的界面处, 它越界进入了第三层, 同时一部分能量再次被送回到传感器。在 Frame 2 中, 剩余的脉冲比最初发射时小得多, 而被送回传感器的回波更小。

在 Frame 1 中, 右半部分的情况与左半部分基本上是相同的。但是, 在 Frame 2 中, 剩余的脉冲遇到的并非固体-固体界面, 而是一个空洞的顶面, 换句话说, 就是一个固体-空气界面。脉冲的能量基本上以高能量回波的形式全部返回至传感器。需要注意的是, 反射回波的大小与到达脉冲的大小是相同的。没有能量继续进入第三种材料。在回波的 x-y 位置上, 位于该点正下方的界面不会被成像。

但是, 在某些情况下, 超声波检查仍然发现不了充满空气的缺陷。怎么会发生这种情况呢?

如前所述, 一个 230 MHz 脉冲包含了大约从 160 MHz 至 300 MHz 范围内的所有频率。由该脉冲产生的一个回波中的频率含量将覆盖相同的频率范围, 但是很有可能具有一种不同的频率分布。

然而, 有些固体-空气界面在微观上可能并不光滑, 这意味着它们会将反射的超声波向各个不同的方向散射。

返回至传感器的回波也许具有一种独特的频率分布。此类空气间隙缺陷在标准的时域成像中可能是看不到的。

撞击固体-空气界面的每个脉冲都送回一个包含该脉冲中所有频率的回波, 但是, 这些频率内的短程脉冲会以较高的振幅反射。在大多数模式中(比如时域成像), 传感器在到达某个 x-y 位置的所有回波中选择最高的振幅, 来为每个 x-y 位置分配一种颜色。在这种情况下, 较小的回波和对频率敏感的反射就有可能“逃脱”检测。

图 2 展示出了一颗大芯片的一块很小的区域, 该区域被怀疑存在采用时域成像未能检测到的缺陷。左图是标准的高分辨率 230 MHz 时域图像, 此图像没有显现有可能表示存在空气间隙的亮白色区域。时域是一种成像模式, 它产生图像依据的是, 在规定的时门(time gate)之内, 数千个 x-y 位置中的每一个到达的回波的振幅。该系统通常选择到达某个给定 x-y 位置的最高振幅回波, 以决定像素颜色。

图 2 中左图未显示有可能表示存在空气隙的明亮区域。研究人员抱定决心, 要在有缺陷的情况下把它找出来, 因此决定使用另一种资源: 虚拟重新扫描模块(Virtual Rescanning Module, VRM)。该模块首先扫描组件, 并在此过程中获得回波的振幅和频率, 以及从界面至组件表面的传播时间。

VRM 产生一个矩阵文件, 该文件包含来自整个组件体积的所有回波。用户能够使用该矩阵文件来快速生成介于 160 MHz 和 300 MHz 之间的任何频率下的组件图像。这幅“幻灯片”的扫描可以采用时域或频域成像来完成。在某个点上, 用户可能会发现这样一幅图像, 该图像具有一个或多个未在时域成像中显露出来的特征。在图 2 的右图中, 出现亮白色缺陷的频率范围介于 195 MHz 至 201 MHz 之间。



图 2: 左图采用标准成像没有发现右图显示的声学上“明亮”的缺陷。

对于原先采用时域模式进行扫描的区域,采用频域模式扫描得到 VRM 回波。在由 230 MHz 传感器生成的每个频率上(即:从 160 MHz 至 300 MHz),扫描产生了该区域的一幅单频图像。在这些数量极为众多的图像中,只有那些在 195 MHz 至 201 MHz 频率范围内的图像将靠近右边缘的空气隙显示为一个明亮的特征,如图 2 右图所示。

所有其他频率均缺少空气隙的图像,看起来很像左边的时域图像。结论:频域图像中的亮白色特征是一个空气隙,很容易引起电气故障。但是,这个空气隙使用通常用于大量筛查的成像模式却不能显露出来,需要使用 VRM 技术才能检测到。

图 3 示出了在固体 - 空气界面上会发生的情况,进而导致空气隙变得更难采用时域成像进行检测。在上面的

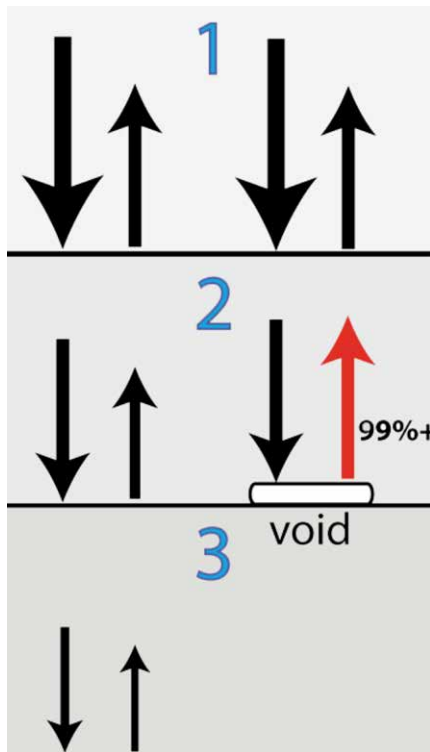


图 3: 缺陷可能改变回波的频率含量的范围。

示意图中,来自传感器的输入脉冲显示了多种不同的频率在其穿过组件时(且在撞击一个将反射它们材料界面之前)的有序分布。如果该界面没有不规则现象,那么回波将具有与脉冲相同的超声波频率分布。不过,假如某个界面并不光滑,或者,倘若空气隙不是清洁干净和连续完整的,则频率分布将发生变化,如图 3 中间的示意图。

图 3 底部示意图中的 V 字形不规则,表明了来自固体 - 空气界面上每个 x-y 位置的 195 MHz 至 201 MHz 反射的分布。来自这个界面的每个回波都将产生一个亮白色像素,而在缺陷外部的的位置将产生较暗的像素。用户现在可以自由地使用频率模式作为高吞吐量筛查的一部分,以检测出具有这种缺陷的组件。◆

芯华章引领EDA 2.0时代

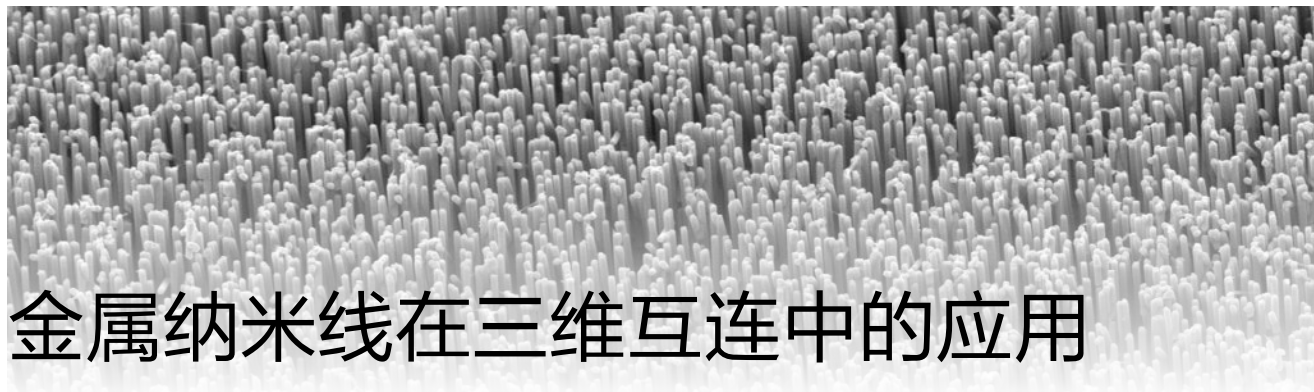
芯华章科技近日发布“EDA2.0 白皮书”,开创性提出芯片设计平台服务模式 - EDaaS(Electronic Design as a Service)的理念,引领新一代 EDA。芯华章科技董事长兼 CEO 王礼宾先生在南京世界半导体大会发表“EDA 2.0,面向未来的新技术与新生态”的主题演讲。

王礼宾表示:数字化时代的到来,为芯片产业的创新变革注入了一剂新的动力源。在近几年的 CES(国际消费类电子产品展览会)也有个非常有趣的现象,有越来越多的汽车厂商参加电子消费产品展。而在 2021 上海车展上,除了传统车厂之外涌现出许多科技公司的身影。这样互相跨界的现象不仅仅出现在汽车行业,越来越多的系统公司产品正跨界到芯片设计领域。而系统公司与互联网公司都纷纷下场自研芯片的根本原因在于,他们在不断追求系统创新的过程中意识到芯片的性能和创新是提升产品竞争力的关键技术。

回顾 EDA 的历史,我们可以发现,90 年代 EDA 技术的诞生是一个非常革命性的发展,到了 2003 年,集成

电路设计基本定型为基于 IP 的模块以及大规模 RTL 集群的设计方法。从 2003 年到如今近 20 年间,芯片的复杂度提高了数万倍,成本提高了 100 倍,芯片工艺也已演进到纳米级别。芯片设计和制造作为数字化时代的底层支撑,已经成为全球很多重要行业的一个关键环节,但现在 EDA 发展速度越来越跟不上芯片设计规模和需求的快速增长。

基于此,我们认为在后摩尔时代中,芯片设计环节必须得到革命性的变革和发展,而未来的数字化系统是由系统、芯片、算法和软件深度融合集成的,系统应用的创新对芯片产生了更多的定制化需求,科学的研究范式也在发生深刻的变革,我们在做好现实产品开发的同时,也必须研究和发展下一代的 EDA 2.0 技术,并构建面向未来的全新生态。我们坚信智能化的 EDA 2.0 这个时代,会使设计芯片像开发程序那么简单,制造芯片像搭积木那么灵活,这个未来并不遥远,技术已经在路上,我们有信心让 EDA 2.0 诞生在中国。



金属纳米线在三维互连中的应用

随着集成度要求的提高，三维堆叠封装会在今后的应用中得到越来越多的使用。由于三维封装的工艺复杂，成本高，所以对它的可靠性就会提出高要求。目前的三维互连主要是用 TSV 加回流焊料做的凸点。今后，混合键合（硅硅键合加铜铜键合）也是发展的方向。但是这些方法均有对工艺控制要求高，成本高的缺点。德国 NANOWIRED 公司发明的金属纳米线互连工艺填补了这个缺陷。

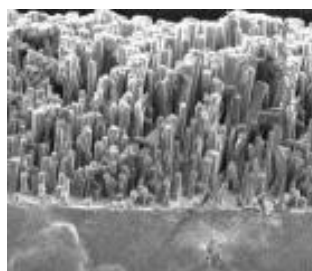


图1：生长在基板上的纳米金属线



图2：互连后的金属纳米线界面

原理

将纳米金属线（30nm-100nm 直径，高度可以在一定范围内选择）生长在需要互连的面上。就像梳子上的刺一样。如果相互互连的两面均有纳米金属线，那么在相互对

准后将两面的纳米金属线直接压到一起。就像将两把梳子上的刺相互插在一起，因此这种互连是非常牢固的。同时，由于金属纳米线非常小，所以可以相互间扩散形成一体的金属，使得这种互连非常可靠。

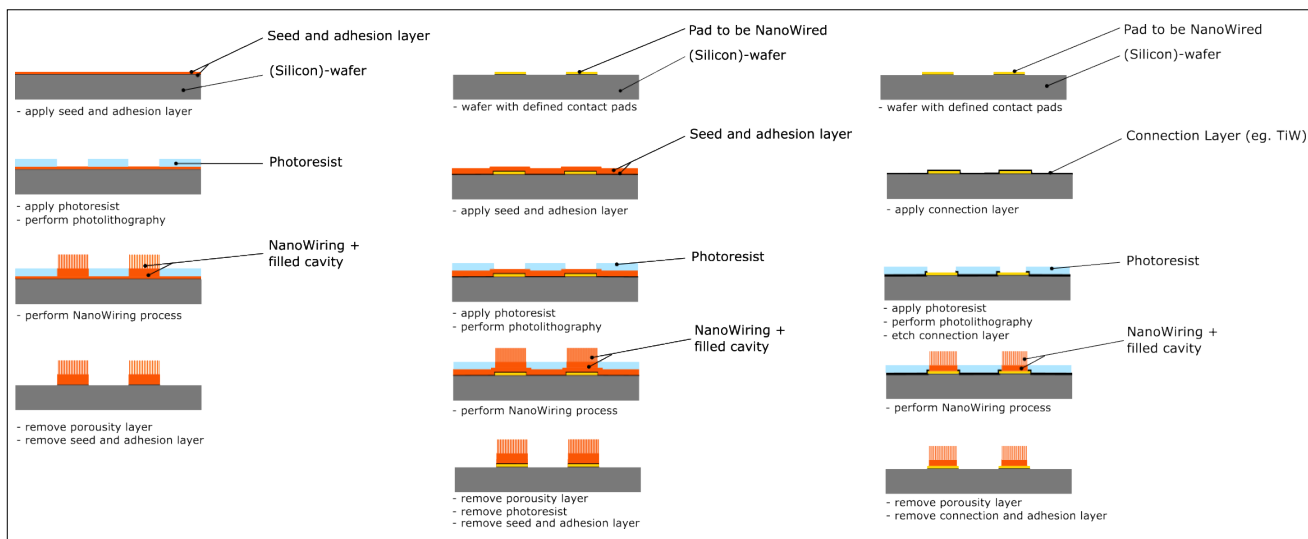


图3：生长纳米金属线表面的处理要求

作者：龚里博士，苏斯贸易（上海）有限公司总经理

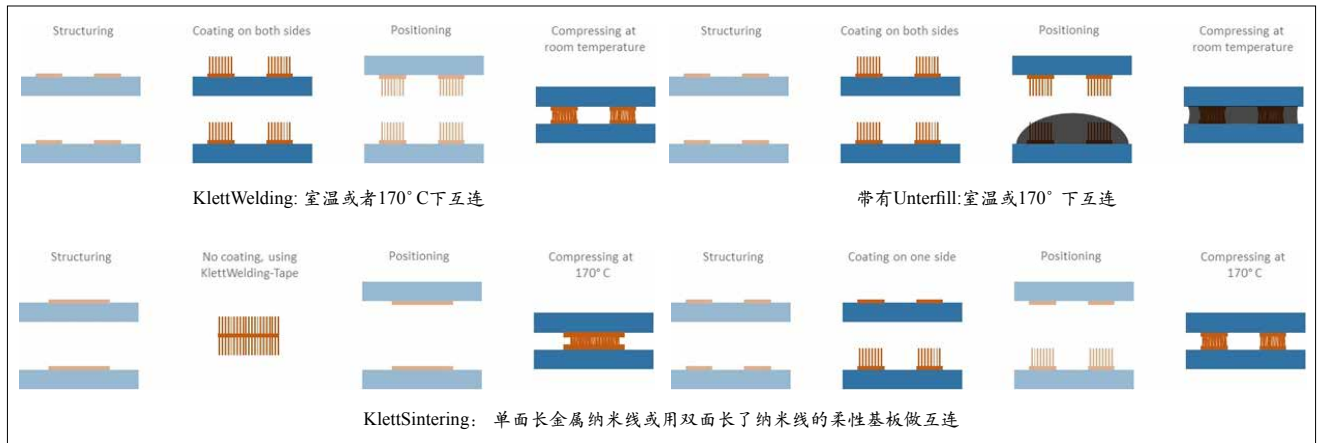


图4: 各种基于金属纳米线的互连方式

工艺

那么如何实现金属纳米线在基板上的生长呢？金属纳米线是通过一种特殊的电镀方式生长在基板上的。这种电镀的方法是将一种带有纳米孔的薄膜作为电镀的掩膜。这样电镀时金属只能从孔中长出，形成纳米金属线。薄膜的厚度为25微米，所以金属纳米线的高度可以到25微米。图3显示了生长纳米线的表面处理要求。从中可以看到这些表面的处理要求和普通的bumping工艺需要的没有不同。只是电镀工艺和做bumping不同。更重要的是纳米金属线可以生长在多种不同的材料上，如硅或别的半导体基板，陶瓷基板，聚合物（柔性）基板，当然也可以在金属基板上。能实现的金属纳米线的金属材料也是可以不同的。目前能实现铜，金，银和镍。

纳米金属线的互连方法

有了金属纳米线的基板可以用四种不同的工艺来做互连（图4）。

1) 如果互连的两面均有金属纳米线，那么就可以用KlettWelding将两个面相互压紧就可。这个互连方法可以在室温下完成。如果需要更高的互连强度，那么可以在较高的温度下做互连（170°）。

2) 如果只是单面有金属纳米线，那么可以用KlettSintering将金属纳米线压紧到另一面。在170°的温度下加压力10MPa，10秒就可。

3) 将金属纳米线直接插进underfill材料和另一面互连（KlettGlueing）。这个工艺可以在室温下完成。

4) 用在柔性基板上长好的金属纳米线作为接板进行互连。对于那些平整度不高的面，有扭曲的芯片，这种互连工艺是非常合适的。

电导率和热导率

这种金属纳米线互连方式的电导率和热导率如何呢？实验的数据证明用这种方式互连后产生的接触电阻小于 $1\mu\Omega/\text{mm}^2$ ，热导率为350W/mK（纯铜的热导率为397W/mK）。

电学和力学的可靠性测试是样品在温度为150°C下存储1000小时后进行的。同样样品在湿度为85%，温度-50°C到140°C的条件下做1000次循环后测量了电学和力学的参数。这些均没有退化现象。这些均证明其可靠性非常高。

应用领域

这种互连方式能用在哪些领域呢？目前这种金属纳米线互连方式能用于很多领域，如大功率模块，LED，存储器件的三维互连，等等。

金属纳米线的应用是近年来才研发出来的工艺。目前尚在推广过程中。基于这种方法的优点，我们相信金属纳米线将在今后的三维互连中会扮演一个非常重要的角色，会有其特殊的地位。

金属纳米线工艺有很大的适用性。特别是对那些平整度不高的面，那些由于减薄后带扭曲的芯片，金属纳米线的互连技术能提供很大的帮助。◆

评估Fab生命周期和SubFab服务成熟度模型，还有进步的空间吗？

在半导体制造工艺中，真空和尾气处理系统十分重要。如果它们发生故障，相关工艺机台也会受影响。它们可用于清除工艺废气，对其做无害化处理，并维持工艺运行所需的真空环境。不过，这些设备的工作环境中充斥着各种危险化学品及副产物，因此必须进行定期维修或更换。相比计划内维护，代价更大的是计划外停机。无论是对产品还是机台，这类故障造成的损失都更加难以承受。优化真空和尾气系统，缩短计划内和计划外停机时间，能显著提高半导体工厂生产力。

许多制造商纷纷开始尝试使用智能制造工具和工业4.0原则，其中依靠数据优化维护调度（即预测性和主动

性方法）的做法，能大幅缩短停机时间，降低故障风险。只有相关人员通力合作，熟练运用专业知识，这些方法才能达到预期效果。服务成熟度模型通过引入成熟度等级机制，可将目标进度以可视化的方法呈现出来。确定进度时，必须考虑到Fab的生命周期；如果更深入细致些，还要考虑到单个产品和流程的生命周期。服务战略必须足够灵活，才能适应整个生命周期内重点工作不断变化的情况。为保证关键数据能够自由流动，相关人员必须相互协作，这种协作非常关键，它是成功实施智能方案的最核心要素。在最高层面上，维护工作将从降低服务成本，转变为提高生产力的增值投资。



图1: 服务成熟度模型定义服务理念的阶段结构。(来源: EDWARDS真空解决方案公众号)

作者: Matt McDonald, EDWARDS VACUUM公司全球项目经理; John Dalziel, EDWARDS VACUUM公司技术项目经理

服务成熟度模型

第一次工业革命的本质是制造业开始使用机器生产。机械加工普及后，生产力达到了人工劳动的数倍，我们将其称为工业 1.0 时期。此后，机器不断进行迭代更新，工业 4.0 和智能制造应运而生，成为了当代工业界的新宠。可以说，服务和维护机器的方法和途径也在同步发展。服务成熟度模型（图 1）将服务方法划分为五个阶段，并将演变过程可视化为阶段的递进。

最低级别是**什么也不做**——以后的事以后再说。

其次是**反应性维护**——运行到失败，等发生故障后排除故障。在这个阶段上，维护成本属非生产性开支，重点是降低成本。

下一个阶段是**计划性 / 预防性维护**。在这个阶段上，制造商开始关注因维护工作提高效率 and 性能而产生的价值。在设备可能发生故障前，就会定期安排维护。在这种方法中，确定最佳服务间隔很重要，这样做能标准化设备性能和操作流程，从而找到改进的机会。

下一个阶段是**预测性维护**，它是指根据实际情况，依靠强化监测运行参数来预测即将发生的故障。它的目的是延长干预时间，同时避免计划外故障发生。

最高阶段是**规范性方法**，在这个阶段上，用户和供应商紧密合作，双方寻求持续改进，以规范性方法调整机器操作，目的是优化成果，助力用户实现目标。

服务提供者和消费者可根据服务成熟度模型中介绍的进展情况，判断自身在阶段结构中的位置，并调整他们的计划以实现预期目标。服务标准不可能放之四海而皆准。所有客户和供应商所在的服务阶段也不可能相同。事实上，即便是同一位客户，他在整个生产运营的不同环节中，也可能处于不同的阶段。例如，一些装有 Edwards 真空泵的工艺机台选择在预防性维护模型下运行，而许多 SubFab 的解决方案仍以“用到最后一刻”的方式进行管理。服务成熟度模型最适合作为框架使用，它可以确定在优化用户体验的过程中，最理想的下一步做法。

挑战

服务成熟度的提升，最大的挑战便是合作要求越来越高。更高阶段的服务成熟度意味着需要对用户环境和流程有着更高要求的了解。对半导体制造而言，服务解决方案必须根据不同的工艺进行个性化，以体现出差异。为了更好地描述设备的状态、评估和应用相关方案，实现持续改

进，高成熟度的服务对信息双向流动提出了更高的要求。挑战并非都集中在技术层面。例如，组织对保密性和数据安全的要求提高后，可能会产生一些难题。不同工艺段的用户都要更全面地认识操作环境，更充分地了解那些可能影响设备性能和生产效率的相关设备和环境变量。

在设计设备时，运用技术创新可以解决部分问题，比如增加传感器来监测相关性能参数，或利用云存储数据来快速访问更大的数据集。还有一些问题是文化方面的，比如业界一贯对数据共享抱有偏见，或不看好云存储的安全性。部分技术创新仍处于早期发展阶段。机器学习——机器分析自身性能并自行加以纠正，这项技术正在逐渐风靡开来。未来，在解决复杂问题，实施目标导向的解决方案方面，人工智能有望与人类智能相媲美，但眼下它的能力还不成熟。目前人工智能和其他先进技术一样，暂时还离不开人类的操控。即便采用最成熟的服务方法，它也仍然需要依靠人类的创造力才能获得创新的解决方案。不过话说回来，这些先进技术能减少数据审查量，提醒操作员注意可疑情况，因此市场前景十分广阔。它们是不知疲倦的监控器，永远不需要吃饭或睡觉。

Fab 的生命周期

Fab 的生命周期（图 2）非常类似 Fab 生产的硅片的生命周期。生产力和利润率曲线的走势很常见：起点低、上升快、达到峰值后下降。

● **起始期**——初始阶段包括建设 Fab，安装首批设备，招聘并培训负责设备和工艺运维的员工。本阶段中，工作重点是生产“首块硅片”，即非常重要的初始晶圆。无产出的成本很高昂；不过相对于风险投资的整个过程来说，本阶段的服务支出很少。

● **上升期**——晶圆 Fab 的成长阶段，即“生产上升期”，本阶段产能、产量和经济规模均持续上升，目的是降低成本，增加收入。

● **成熟期**——重点是实现利润最大化。由于引入新产品和新技术后，Fab 的生命周期可以延长，因此在本阶段中，Fab 的生命周期与产品的生命周期有所不同。

● **衰退期**——即使不断升级设备和工艺，Fab 也无利可图。如果改为生产无需先进技术的产品，那么本阶段开始的时间就能大大推后。

Fab 生命周期各阶段的重点工作事项各不相同，因此所需技能组合和维护方法也有所差异。

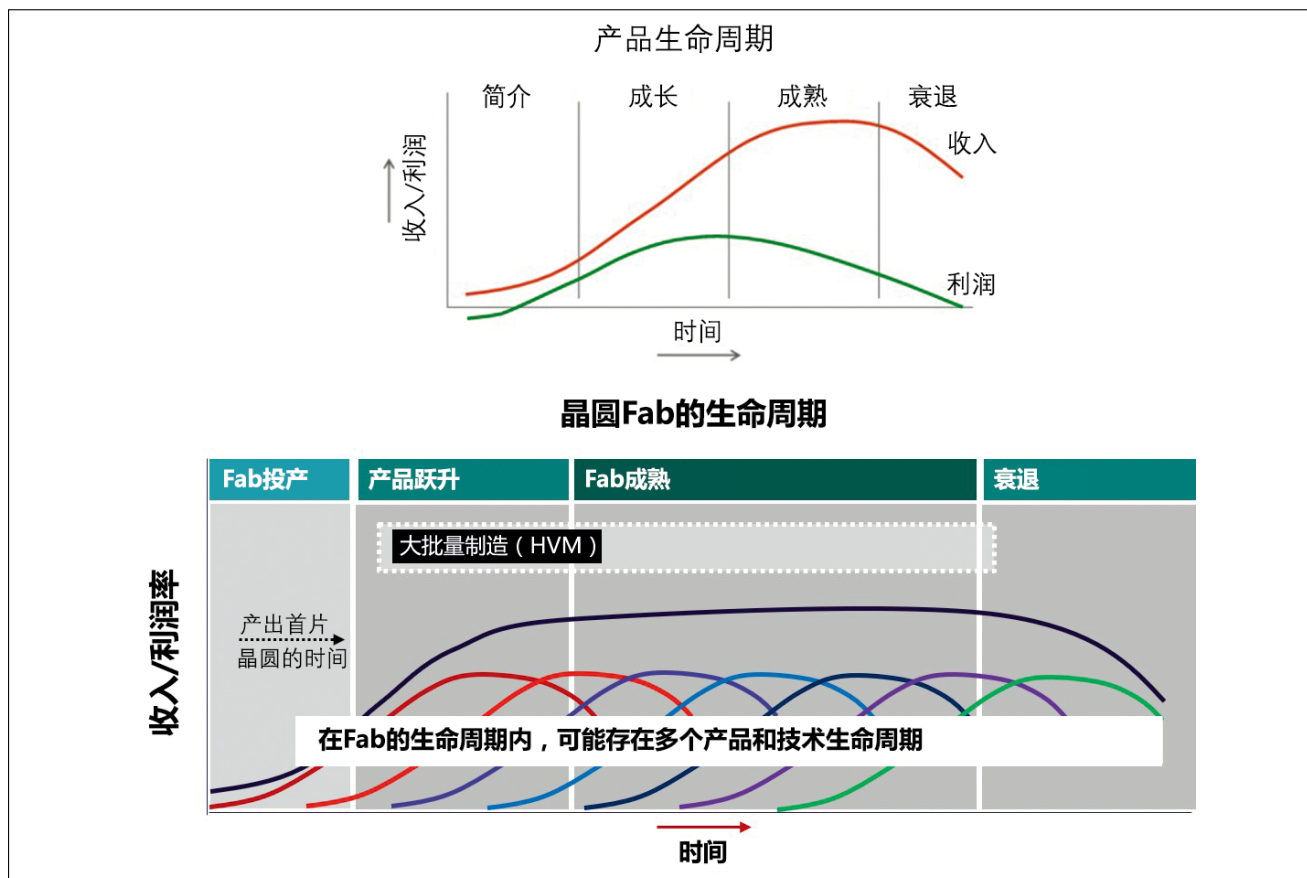


图2: 服务要求随Fab的生命周期而变化。

起始期的工作重点是项目管理：快速有效地交付、安装、调试和设置设备。这些活动大多由设备制造商负责完成。因为设备崭新，性能完善，所以本阶段的维护需求较少。在起始期，预防性维护最好用。这时，设备制造商需要研究性能数据，应用和修改领域知识，并确定维修调度的基线性能，而他们的客户则专注于人员配置和培训，研发首块硅片等工作。

上升期可能会遇到一些困难——避免意外发生非常重要。上线设备增加，首块硅片研发后，预测性方法有望呈现出最佳效果。这时，提高产量和降低维护的负面影响会难以兼顾，所需的技能组合和资源也会与初期有所不同。用户和服务供应商增加后，发展的代价也会逐渐凸显。供应商必须专注于设备的工作状态，优化维护计划，完善零件库存，并应用标准工作方法。在本阶段，用户的重点将转移到增加产出、产量和正常运行时间，同时他们还要继续招募员工，提升员工的技能水平。在大多数情况下，安装和维护仍由设备制造商执行，但此时用户对维护活动

的所有权开始增加，过渡期就此开始。

由于市场上的产品和技术不断迭代，受提升产能的压力影响，成熟的 Fab 从不会停滞不前。新设备、新工艺引入后，维护设备的方式可能会转变。设备制造商必须不断审查设备的运行方式，并相应地调整维护活动，这是规范性维护方法的理想环境。在本阶段，Fab 的员工已配备齐全。员工经过培训，获得了足够的经验，可以开始探索降低维护成本、提高利润的方法。到了这一步，Fab 可以考虑摆脱依靠设备制造商执行维护工作了。这时，为降低成本，Fab 想要自行完成维护工作的动机会越来越强烈。如果设备制造商希望继续由自己维护设备，他们就必须证明他们的领域知识和专长能为 Fab 带来的价值。这时，用户和供应商都要做出重大转变。在 Fab 日趋成熟后，双方都必须理解并适应重点工作变化的情况。供应商必须声明，他们的知识和专长能为客户贡献特殊价值。用户的观念必须发生转变，他们不能再将服务视为一种需要规避的成本，而是要将服务视为一种投资。生产力提高后，他们可以从

中获得回报。施行持续改进计划，或采用预测性、适应性、基于数据的干预措施都能实现这些目标。供应商必须表明，他们的服务难以复制，有知识背书，而且对用户有价值，即使用户可以获得第三方供应商或内部人员提供的低费率服务，获得成本也高于他们能提供的价值。

处于“衰退期的 Fab”正在奋力挣扎。为了养活员工、维持业务运转，他们的目标变成了降低成本。即便如此，智能服务管理同样有望成为 Fab 管理和员工维护的救命稻草。到这个阶段，Fab 已经运行了很长时间。用户对 Fab 工具的行为和性能，以及 SubFab 的支持设备应该已经十分了解。设备制造商在支持、维修和翻新系统的过程中收集了大量数据，对于衰退期 Fab 的维护要求已经了如指掌。他们可以凭借专有知识，设计出分担风险，降低成本的方案。方案不仅能确保系统性能可靠，还能为供应商提供合理的补偿。

协作

有一个趋势自下而上，贯穿了服务成熟度模型的所有层面，即用户和供应商之间需要加强合作。现场服务工程师常把合作的重要性挂在嘴边：随着时间推移，密切合作有助于双方共同致力于持续改进，深入了解用户的流程和目标。

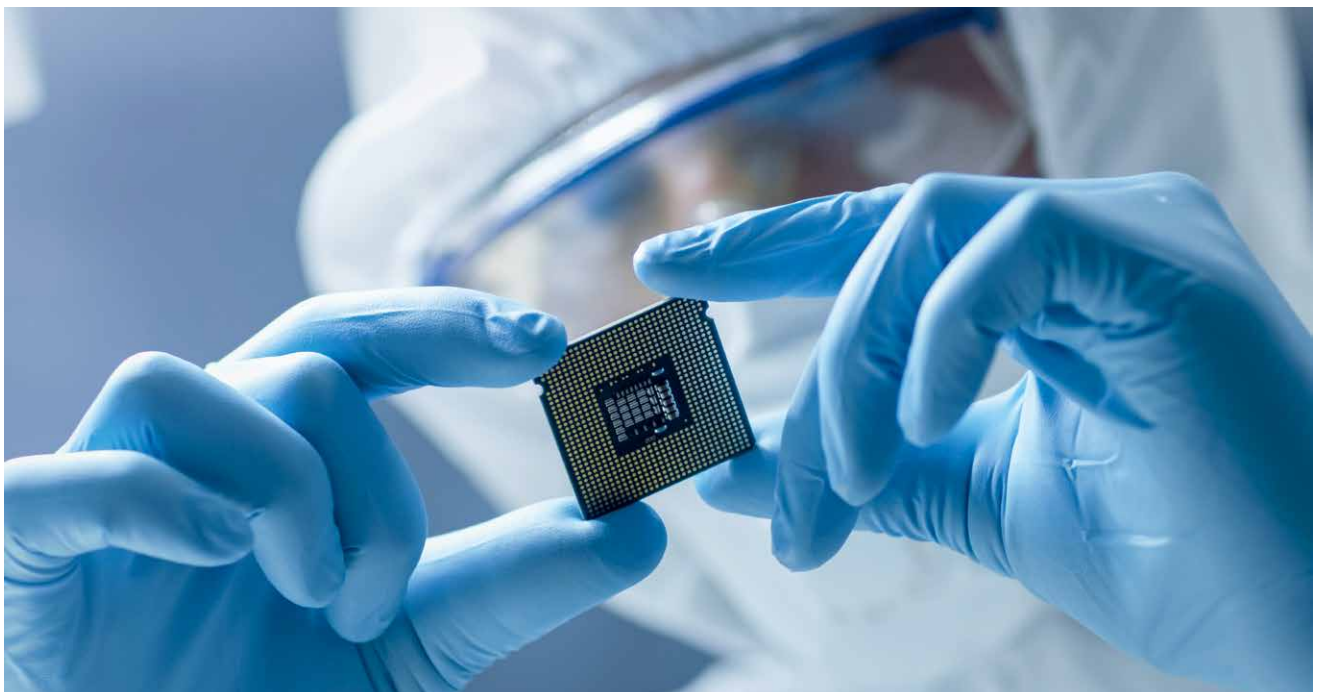
在服务成熟度模型的最高级别，用户和供应商可以构

建共享风险和利益的服务项目，如签订结果导向的合同。这是时间和材料账单的另一端。合作时，用户必须开放相关上下文信息的访问权限，而供应商则必须以开放的心态，看待工艺对设备性能的影响。最终，用户和供应商能实现互利共赢。用户的维护成本稳定、可预见，系统性能有保证；而供应商则可以自行选择最高效、最有利的方式提供所需性能。只有双方彼此信任对方的能力和意愿，项目才能顺利开展下去。

示例

本例中，客户是一家大型半导体制造商，Fab 已经很成熟，产能很高。内部人员会按照基于时间的定期维护计划，完成大部分日常维护工作。从本质上来说，所有此类计划的效率都不高。如果为了确保在故障前提供服务，而把维护间隔设置得很短，那么维护时间基本总会早于真正需要维护的时间。如果把间隔时间拉长，那么意外故障的风险就会增加，维修故障系统会产生潜在成本，产品损失和工艺工具损坏会产生间接成本，这两块成本加起来会远高于预防性维护的成本。

受业务增长和业绩目标驱使，该 Fab 面临的压力与日俱增。他们已经认识到基于时间进行维护的效率很低，但苦于对设备故障及其原因知之甚少，因而无法安全地延长服务间隔。发生计划外停机事件后，重新启动和重新放



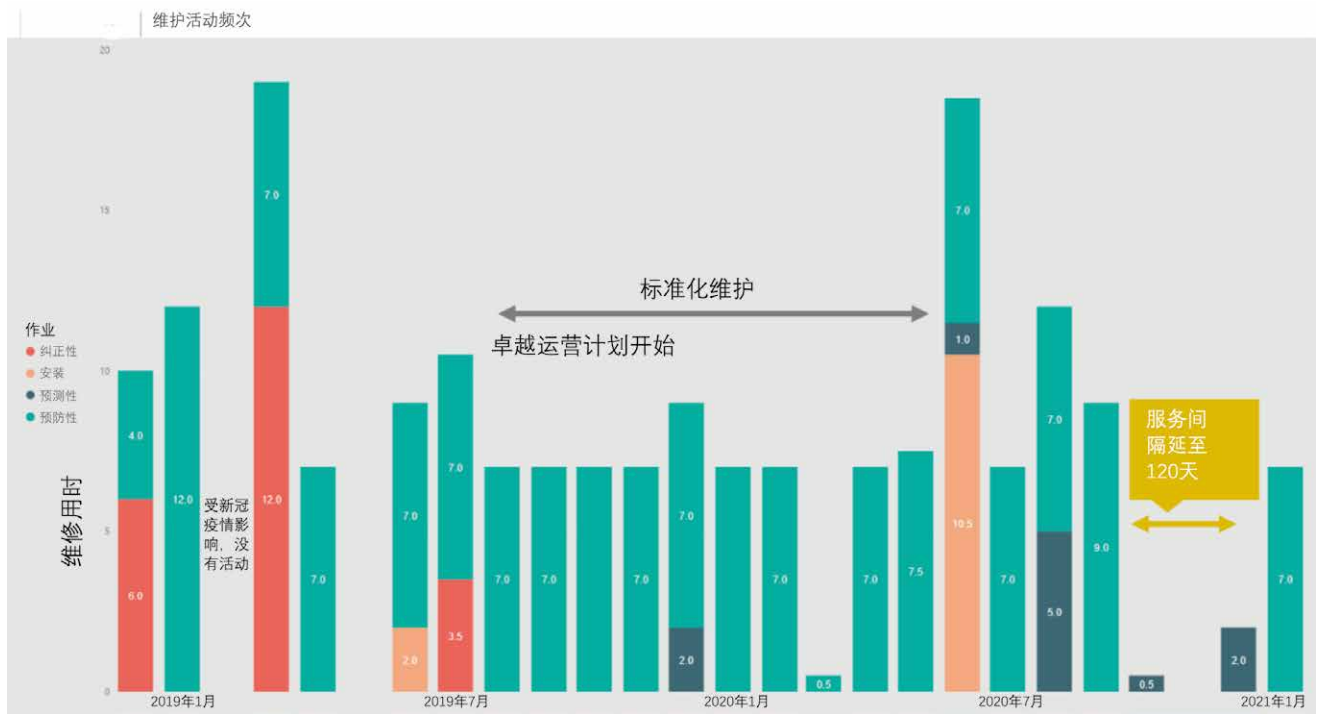


图3: 提升正常运行时间项目的成果——说明见正文。

置工具所耗费的额外时间，分摊到每件工具上的话，大约为每年 6-7 小时。仅仅一家 Fab 中，受影响的工艺机台就有数百台，每年潜在的生产损失高达数百万美元。除了产品损失和生产工具损坏的风险外，备件库存冗余、工作情绪低迷和支持人员临时救场也会产生成本。Fab 和 SubFab 团队之间的隔阂会逐渐加深，进而导致沟通不畅，缺乏数据共享。

Edwards 与现场人员紧密合作，在了解问题后制定了可行的解决方案。方案核心是使用中央服务管理应用程序。借助该应用程序，现场服务工程师几乎能实时输入整个 SubFab 尾气系统的每一条维护互动信息。信息安全地存储在云端，便于工厂专家进行分析。

该项目的执行过程分了多个阶段（图 3）。2019 年上半年的数据说明，早前维护计划的不一致性较为明显。预防性维护（PM）程序（蓝色）执行不规范，并与频繁的纠正性维护（红色）相冲突。新计划于 2019 年 7 月启用，将 PM 标准化并确定了基线性能。（受新冠疫情影响，2020 年 3 月没有 PM）。在这一阶段，工程师们收集了关于故障根源，以及维护和工艺的所有相关数据。数据显示，多起故障由一个共同原因导致，即进气口堵塞。为此，工厂产品工程师开发了一套解决方案。2020 年 7 月，该解

决方案正式投入使用。在接下来的 3 个月里，PM 和监测（预测性维护——PdM）证实该解决方案的确有效，工程师的服务间隔也得以从 30 天延长到 120 天。

通过监测设备的服务周期，SubFab 团队能够了解引发故障的根本原因，并与 Fab 团队建立了彼此信任的关系。在随后的合作中，他们能够同步维护 SubFab 的真空和尾气系统，以及 Fab 的关键“瓶颈”工具，这种协同效果进一步提升了生产力。这种更加智能的维护方法上线后，总服务时间从 2019 年的 10,002 小时锐减到 2020 年的 8,565 小时，正常运行时间增加了 1,437 小时。

总结

总之，智能管理可以提高 Fab 的生产力。服务成熟度模型可用于评估各种方法的智能程度。服务消费者和提供者可以利用它，在成熟度等级中兼顾各种维护要求。在实践中，成熟度等级与 Fab、产品和工艺的生命周期有千丝万缕的联系。尽管这对服务提出了因地制宜的要求，但成熟度等级仍然指出了提高服务效率，优化生产成果的首选方向。协作和信息流是现阶段结构的特点，开展任何行动前都应该重点考虑。更智能、更成熟的服务方法能提高效率、生产力并降低风险，使消费者和供应商双双受益。◆

二维晶体管有望扩展逻辑技术路线图

在300毫米CMOS晶圆厂开发二硫化钨（WS₂）二维晶体管为继续缩小晶体管尺寸提供了一条很有希望的途径。

自2005年以来，由摩尔定律推动的、由半导体界演绎的“快乐微缩”时代面临着严峻的挑战。在那之前，工艺进步相对容易，硅晶体管的缩小带来了多种好处，包括更低的功耗，更高的性能，以及每个晶体管制造成本的降低。大约每两年推出一代新的更强大的技术，以新的节点尺寸表示，在相同大小的芯片上将晶体管的数量增加一倍。

与摩尔定律相伴的登纳德缩放定律（Dennard scaling）表明，当晶体管尺寸变得越来越小时，它们的功率密度保持不变，因此功率的使用与面积成比例。当节点缩小时，固定功率下的性能改善开始放缓，出现了晶体管缩小的好处不会永远持续下去的第一个迹象。短沟道效应成为晶体管尺寸继续缩小的障碍。由于栅极长度的大幅减少和传导沟道的缩短，即使不对栅极施加电压，漏电流也开始迅速上升。尺寸缩小也导致源极和漏极开始对沟道区域产生巨大的影响。

为了弥补器件改进的放缓，并使集成电路继续向前发展，人们在开发新型晶体管技术方面做了很多努力。许多方向的研究已经深入进行，包括新的沟道材料、新的晶体管架构，以及芯片设计和技术的共同优化。

一个重要的结构改进是用FinFET取代了平面MOSFET，后者现在是主流芯片生产过程中的主流设计。在FinFET中，沟道采用非常薄的鳍的形式，位于源极和漏极之间。包围着这个三维沟道的是栅极，它从三个面提供控制以克服短沟道效应。这是在过去十年中对晶体管微缩至关重要的架构，但在5纳米或3纳米节点之后，FinFET架构也将无法提供很好的静电控制。

以FinFET方法为基础，业界构建了垂直堆叠的全包围栅极（GAA）纳米片晶体管。它提供了卓越的沟道控制，这要归功于一个完全包围在沟道周围和沟道之间的栅极。

在比利时鲁汶的imec，在我们的路线图上，这种架构之后是叉形片晶体管，是一种使用叉形栅极结构来控制纳米片的设计，它可以使n-p间距比FinFET和纳米片器件的更小。另一个未来的候选方案是多沟道的堆叠，它可以使硅或SiGe半导体继续有效地微缩。

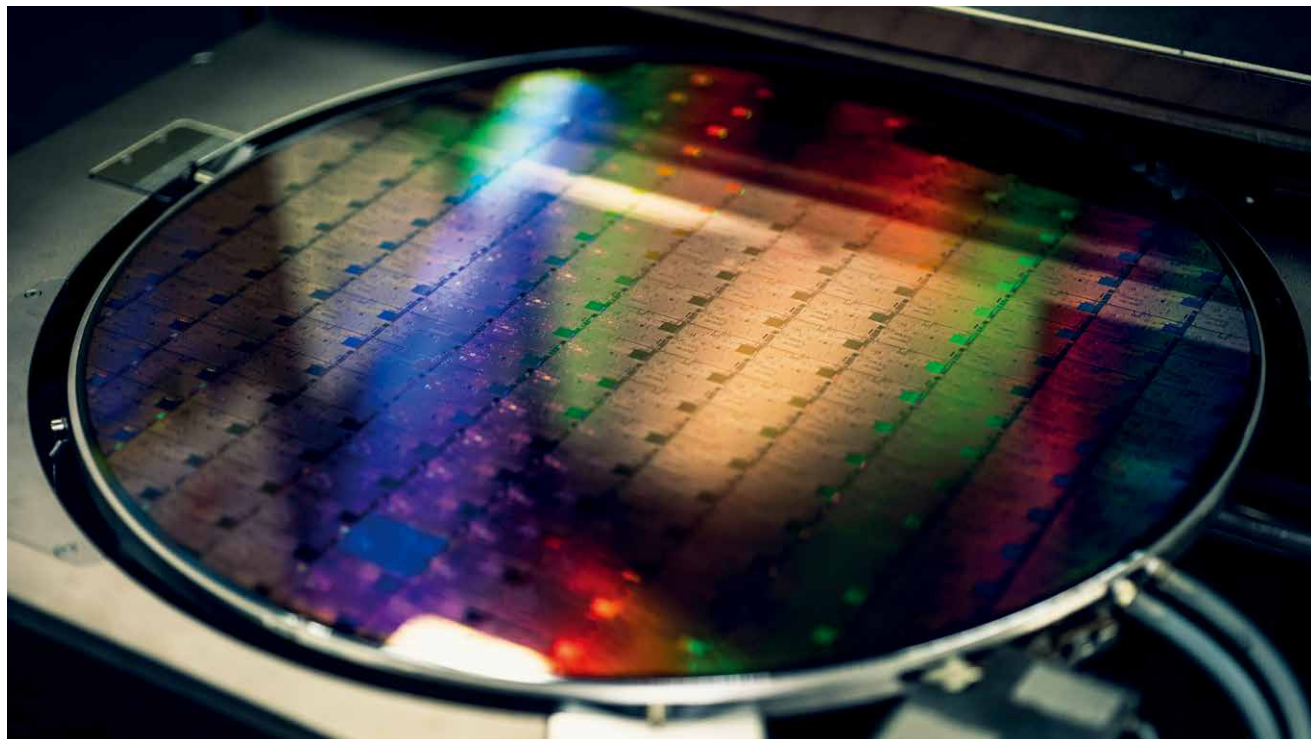
与这一技术发展路线并行的是，研究界一直在研究通过提高载流子迁移率来改善性能。沟道的选择包括应变工程材料和迁移到高电子迁移率半导体，如锗和Ⅲ-V。请注意，人们对InGaAs很感兴趣：因为它传输电荷的速度比硅快得多，它有望实现更快的速度和更低的功耗。已经开发了创新的工艺：利用传统的制造技术将异质沟道与硅CMOS结合起来。然而，就像硅一样，这些高迁移率材料也不太可能在未来非常先进的节点上实现足够的栅极长度缩小。似乎基于Ⅲ/V材料的器件将在高频应用中，比如5G及更高通信中，得到自然的采用，使其高速性能潜力全部释放。

二维半导体的前景

为了实现进一步减小栅极长度，需要更薄的半导体沟道来抑制短沟道效应。迁移到更薄的沟道限制了电流流动的途径，从而限制了器件关闭时电荷载流子泄漏的机会。

在这方面大有希望的是一类被称为二维半导体的材料。它们包括过渡金属二硫化物，如二硫化钨（WS₂）和二硫化钼（MoS₂）。在这些半导体中，原子排列成层状晶体，单层厚度通常只有7埃，小到足以使这些材料成为确保极薄沟道的最佳选择。理论研究的结果突出了它们的潜力，表明它们保持相对较高的载流子迁移率，与沟道厚度无关。这一特性应该使工程师们能够将栅极长度缩短到10纳米以下，而不必担心短沟道效应。

在设计-技术共同优化的框架下（Design-Technology



Co-Optimization, DTCO), 我们 imec 团队最近的研究突出显示了采用二维半导体沟道的晶体管进一步扩展逻辑技术路线图的潜力。我们预计, 这些二维场效应晶体管 (2D-FET), 很可能会在类似于堆叠纳米片的架构中找到它们的插入点, 通过提供至少两代技术来扩展路线图。我们在 36 纳米栅距的节点上对功率、性能和面积进行的电路级评估显示, 堆叠的二维纳米片结构中的过渡金属二硫化物的性能优于硅基的同类产品, 同时还减少了占地面积。请注意, 这个模型采用了合理的假设, 并尽可能多地借鉴实验数据。开发过渡金属二硫化物的全球努力已经引发了对各种材料的探索, 并确定了改善器件性能的一些主要挑战。迄今为止, 大多数工作都是涉及到 MoS₂ 制成的半导体沟道。基于这种材料的器件是最成熟的, 最好的迁移率实验值接近于理论值 200cm² V⁻¹ s⁻¹。

最近, 有报道称基于 WS₂ 的场效应晶体管取得了令人鼓舞的结果。根据理论工作, 这类器件有可能提供比 MoS₂ 更高的性能。实验结果也令人鼓舞。例如, 早在 2019 年, 由台积电主导的合作研究报告给出的电气特性, 如开/关比和亚阈值摆幅, 与最近公布的 MoS₂ n-FET 的最佳值相当。同样, imec 已经展示了功能性 2D-FET, 其 30 纳米长的沟道只有 1-2 个单层厚度。

对于这类 2D-FET 器件, 我们采用双栅极器件结构改

善了静电控制。与传统的只在顶部有一个栅极的场效应晶体管不同, 双栅极器件有一个顶部栅极和一个底部栅极, 当连接时, 这增加了对沟道的静电控制。对我们具有顶部栅极和背部栅极的 2D-FET 进行连接测量显示, 它们在驱动电流 (Ion)、跨导特性和亚阈值摆幅三方面优于单栅极同类产品, 这是评估短沟道效应的三个关键指标。双栅结构的另一个令人鼓舞的方面是, 它显示了利用 CMOS 制造的前景。虽然这些结果表明, 基于 WS₂ 的场效应晶体管即将迎来可喜的未来, 但仍有许多工作要做, 因为我们

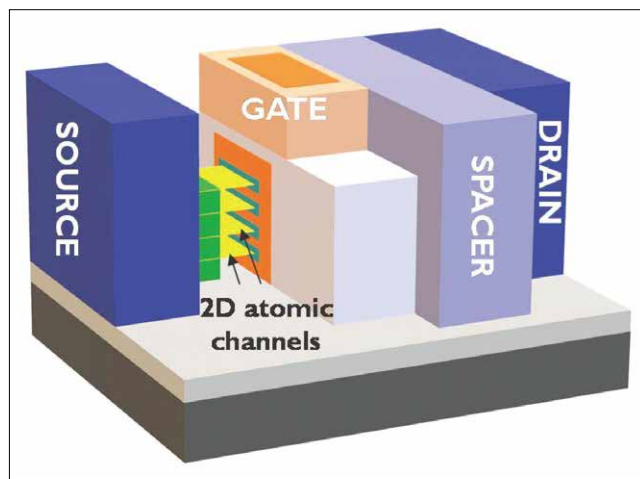


图1: 设计-技术共同优化 (DTCO) 分析表明, 需要具有侧面触点的堆叠二维材料来与硅纳米片竞争。

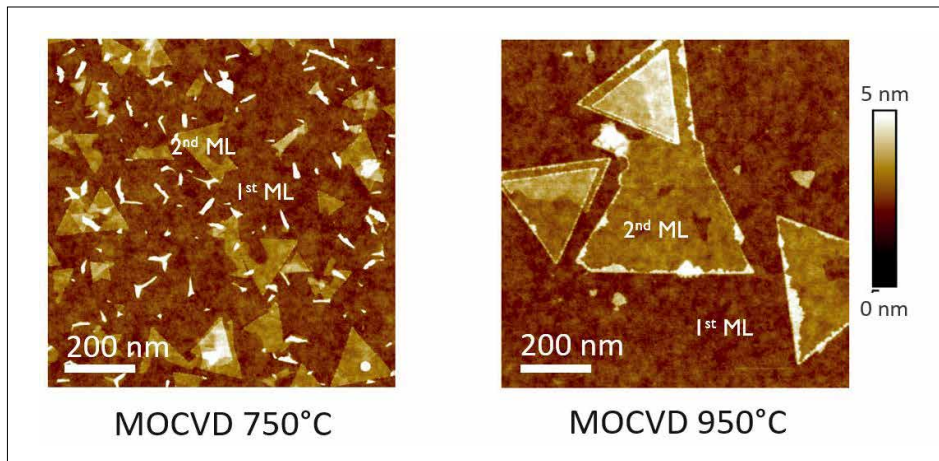


图2: 通过MOCVD分别在750°C和950°C生长的WS₂薄膜的原子力显微镜图像 (在2020年IEDM会议上报告)。

的结晶尺寸, 这是一个需要进一步研究的课题。

与生产WS₂相关的挑战之一是, 在二维表面之上沉积绝缘材料并形成栅极电介质并不容易。原因是其存在内部固有钝化。当采用传统的ALD工艺时, 依靠表面悬空键的成核, 生长只发生在缺陷部位。由于MOCVD生长的WS₂具有相当的缺陷点, 这阻碍了直接的氧化物沉积。

刚刚描述的器件是在相对较小的样片上用合成的过渡金属二硫化物的碎片制作的。为了在这些基于实验室装置的重要成果的基础上再接再厉, 并为商业上的成功做好准备, 必须找到一种方法, 使其能够在300毫米的集成流程中得到采用。

300毫米的研究平台

几年前, 我们团队开始努力实现过渡金属二硫化物二维半导体的300毫米集成。我们为2D-FET创造了一个独特的300毫米实验平台(test vehicle), 允许制造栅长低至18纳米的功能器件。我们已经利用该流程研究了各种工艺条件的影响, 如沟道沉积技术和栅极堆叠形成。基于这些研究, 我们正在开发改进的工艺步骤以提高器件性能。

在这个300毫米平台上, 我们首次尝试形成集成的晶体管, 实验显示: 高温MOCVD是沉积高质量沟道的最佳选择, 这对实现高性能器件至关重要。这种生长技术提供了对二维半导体的厚度控制, 直至单一单层。然而, 在整个300毫米晶圆上有一些很小的多层点。

我们发现, 生长温度会影响材料质量。这一结论来自于使用W(CO)₆和H₂S, 在750°C和950°C下, 分别沉积一层WS₂得到的薄膜特性比较研究。利用原子力显微镜, 我们比较了在300毫米硅/二氧化硅基片上生长的薄膜, 使用170分钟的生长时间生产, 发现较高的沉积温度增加了WS₂晶粒的尺寸。根据光致发光和拉曼测量, 较高的温度也改善了结晶度并减少了WS₂层的缺陷。使用不同的前体或其他沉积技术, 有可能在较低的温度下获得更大

正在研究氧化物沉积的新方法。它们包括利用分子束沉积的硅种子成核层。我们必须考虑的另一个问题是WS₂对大多数氧化物的低附着力, 这是由于自钝化造成的。这对使用硬掩模的典型图案化方案构成了挑战。

我们在300毫米晶圆上形成的器件的结果显示, 其性能比报告的实验室器件要低一个数量级。例如, 导通电流通常只有10 μA/μm。为了搞清楚为什么这些器件不如人意, 我们考虑了集成流程。我们对具有源/漏接触电极的双栅器件的表征表明, 沟道材料的结晶度是提高器件性能的最大挑战。成功还需要在材料生长和加工方面取得进一步的突破。我们在用于形成栅极、掺杂材料和添加触点的工艺方面也有改进的余地。

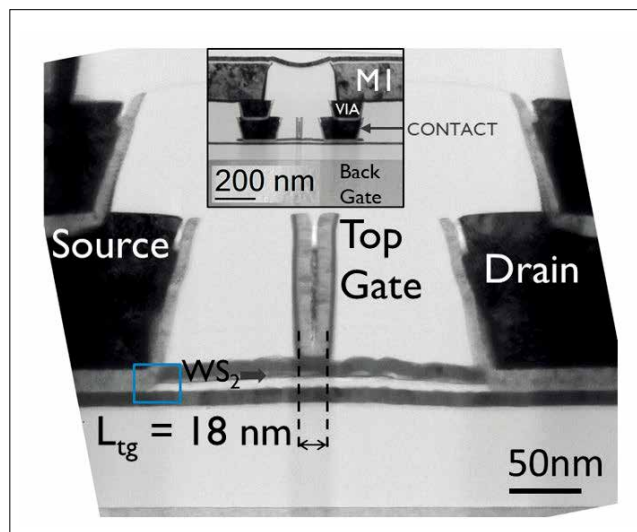


图3: 使用300毫米工艺制造的二维器件的透射电子显微镜(TEM)图像 (在2020年IEDM会议上报告)。

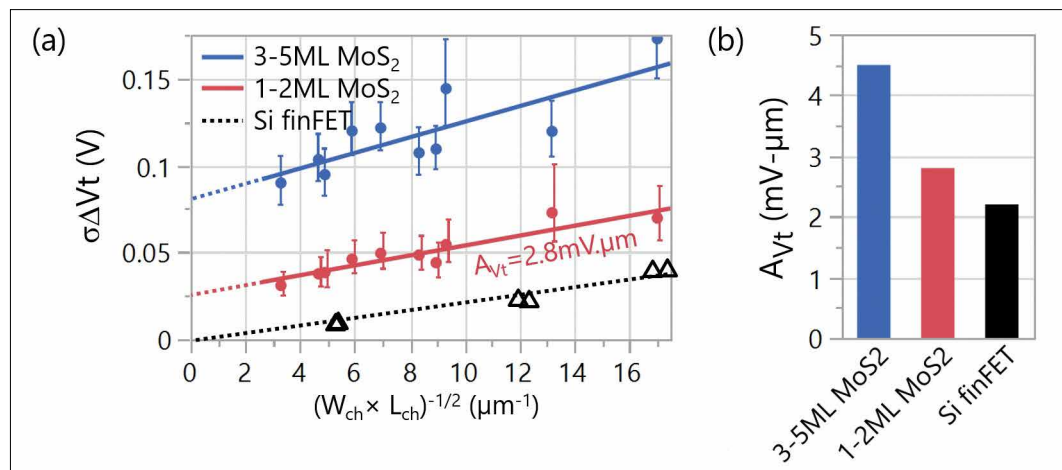


图4: 1-2个单层MoS₂ FET (等效氧化物厚度 (EOT) 为2.6纳米) 具有较高的阈值-电压变化, 但其斜率接近硅FinFET参考值 (EOT=0.8纳米) (2020年IEDM会议上的报告)。

由于基于二维半导体的场效应晶体管最有可能在类似堆叠纳米片状结构中被引入, 我们使用了与 300 毫米兼容的流程来确定和克服与构建这些先进器件结构有关的挑战。堆叠纳米片的创建需要形成一个超晶格结构, 包含沟道材料与硅或硅锗的交替层。一旦形成, 纳米片就可以通过选择性地蚀刻硅或硅锗层而被去除。展望未来, 可能会有一天, 二维半导体将被集成在类似于互补型场效应晶体管 (CFET) 的架构中, 在 p 型 2D-FET 之上使用 n 型 2D-FET。

虽然 MOCVD 是沉积高质量二维半导体沟道的首选技术, 但所使用的高温有可能超过热预算。为了防止这种情况发生, 可以选择引入不同的前体和切换到其他沉积技术。还有一种更激进、更复杂的方法, 即使用转移工艺将二维沟道转移到预制的 300 毫米硅片上。

评估变异性

imec 的努力并不仅仅局限于开发和集成基于 2D 的晶体管。我们还首次对基于实验室的纳米级 2D-FET 器件进行了大规模的变异性研究, 使用的晶体管的沟道宽度为 115 纳米, 长度为 100 纳米及以下。这项研究考虑了各种变异性的来源, 包括二维沟道的厚度; 双层岛的存在, 如晶粒; 以及二维生长样板; 研究这些因素各自对电性能的影响, 重点是亚阈值机制。

在这项研究中, 我们进行了模拟, 同时还构建了具有 80mV/dec 的中位亚阈值斜率和超过 $100 \mu\text{A}/\mu\text{m}$ 的最大导通电流的器件。这项研究发现, 当把二维材料从三个单层减薄到一个单层时, 亚阈值斜率和阈值电压的变化

性大大降低。这是一个令人鼓舞的结果, 表明为了进一步缩小晶体管尺寸, 需要非常薄的沟道。对于原子厚的沟道, 这项工作表明, 内在的变异性很低, 可以与硅 FinFET 相媲美。为了在降低器件变异性方面取得进一步进展, 使其适用于未来的节点,

需要更好地控制关键工艺步骤, 比如清洗和触点电极。

全世界在 2D-FET 方面的进展使这一类晶体管成为扩展逻辑器件微缩路线图的主要候选者。在 imec, 我们团队和我们的同事的工作已经开始为将二维半导体引入 300 毫米的集成流程奠定基础, 这是工业采用的关键要求。我们已经采取了重大步骤, 以进一步提高器件性能, 并推动对这种形式的场效应晶体管的基本理解。

这项工作是由 imec 很多团队在合作探索逻辑芯片技术方面共同努力的结果。◆

参考文献

1. Z. Ahmed et al. 'Introducing 2D-FETs in device scaling roadmap using DTMO' IEDM 2020.
2. K.K.H. Smithe et al. 'Intrinsic electrical transport and performance projections of synthetic monolayer MoS₂ devices' 2D Materials 4 011009 (2017)
3. C-C Cheng et al. 'First demonstration of 40nm channel length top-gate WS₂ pFET using channel area-selective CVD growth directly on SiO₂/Si substrate' 2019 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers.
4. D. Lin et al. 'Dual gate synthetic WS₂ MOSFETs with $120 \mu\text{S}/\mu\text{m}$ Gm $2.7 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ capacitance and ambipolar channel', IEDM 2020.
5. I. Asselberghs et al. 'Wafer-scale integration of double gated WS₂-transistors in 300mm Si CMOS fab', IEDM 2020.
6. Q. Smets et al. 'Sources of variability in scaled MoS₂ FETs', IEDM 2020.

探索光子集成电路的新兴应用

下一代数据通信/电信系统需要更小、更高效的收发器和开关，因此，光子集成电路（PIC）已经成为这些系统的关键组件级赋能器。同样，也是这些品质，正在为光子集成电路打开从汽车自动驾驶到量子计算，以及更多领域的广泛应用大门。

微型化，更高的性能，抗振动性，更小的尺寸面积和更低的发热，这是采用光子集成电路（photonic integrated circuit, PIC）技术开发新的光子产品带来的几个明显的好处。PIC 技术满足开发新的令人兴奋应用的需求，例如现场护理设备，小型化的 LiDAR，量子计算，结构监测和医疗保健用可穿戴设备。在本文中，我们将与 PIC 供应链中不同的公司一起探讨其中的一些新兴应用，这些公司可以提供基于 PIC 的模块的设计、制造、封装和大规模生产所需的技术。

LiDAR系统

尽管 PIC 被广泛用于数据通信和电信中，但实际上，在其他应用领域中，该技术也引起了越来越多的关注。一个例子是汽车市场，由于对安全和高级驾驶员辅助以及自动驾驶系统的需求不断增长，诸如 Omnitron Sensors, Fastree 3D, Mouro Labs, Beamagine 和 LuxC 等一些公司正在推动开发新的 LiDAR 系统。基于 PIC 技术的 LiDAR 具有更便宜，更轻便，更紧凑，更可靠的潜力，因为基于 PIC 的 LiDAR 系统没有活动的部件。

为了满足对汽车 LiDAR 系统不断增长的需求，越来越多的公司开始开发基于 PIC 的 LiDAR 系统和组件。Lumentum 就是这样的一家公司。对于短距离 LiDAR（10-50m）和机舱监控，Lumentum 提供了大功率 940nm VCSEL 阵列照明器。对于远距离（200m），他们提供 1550nm 窄线宽 DBR 二极管激光器，用于远距离频率调制连续波（FMCW）相干 LiDAR。这两种器件都设计作为闪光灯系统的飞行时间（ToF）光源，实际上旨在提供更高的功率。为了达到更高的功率水平，更长的距离，更高的分辨率和

汽车 LiDAR 所需的性能，Lumentum 开发了两种创新解决方案：多结可寻址 VCSEL 阵列和底部发射器件。

多结 VCSEL 阵列：通过增加结的数量，在相同类型的整体墙插效率下，也可以增加发射的光子数量。这使得通常用于两个或三个结的低电流能够产生更高的功率水平和更快的应用。

底部发射器件：这种器件可以设计制作成无外部光学器件的结构，并且还能够改变光束轮廓。基本上，将外置镜头放在器件的背面，将芯片上下颠倒，然后顶部向下安装到底座上。这允许集成多结可调阵列和光学器件，从而来实现全新的和新颖的砷化镓图案，这将是下一代探测器所必需的（参见图 1）。

还有其他公司为 LiDAR 提供 VCSEL 阵列，例如 Array photonics, Bandwidth10 和 Astrum。LiDAR 还可以使用不同类型的激光器，例如 Lumibird, Bright solutions, Eblana photonics, BKtel 和 RIO 等公司提供的激光器。

SCANTINEL PHOTONICS 是另一家致力于提供具有成本效益的解决方案来改善车辆感知的公司。它是卡尔·蔡司公司（Carl Zeiss AG）的拆分公司，通过使用具有窄带宽和高线性度的 1550nm 集成扫描光源（参见图 2），进行相干的调频连续波（Frequency-Modulated Continuous Wave, FMCW）测距。这使系统能够生成自主导航所需的高可靠性、大范围的三维环境图像。

相干测距允许激光器，探测器和大部分光学组件在晶圆平台上进行光子集成，从而消除了易于出错的组装和校准步骤。该系统的核心概念是通过有效的多路复用实现高像素率的可扩展性，而多路复用则是通过使用不同 FMCW 通道的高度并行化来实现的。

Challenges for the ToF LiDAR Illuminator

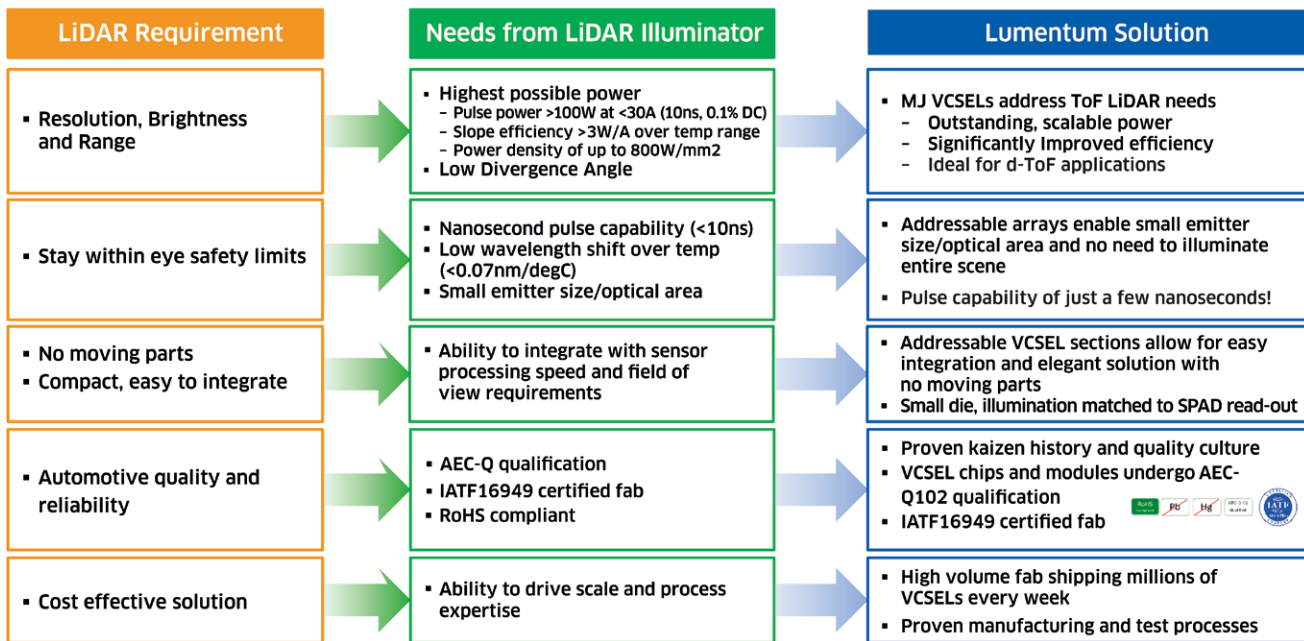


图1: 底部发射集成光学配置 (由Lumentum提供)

使用 PIC 创建光学增强阵列 (optical enhanced array, OEA), 可以实现系统的高度集成, 低功耗和范围可达 300 米的固态扫描, 并可以以极具竞争力的价格扩展到大批量生产。

SCANTINEL 与合作伙伴进行了合作, 例如在硅光子学领域处于欧洲领先地位的欧洲研究中心 imec, 他们正在与之合作进行固态光束控制, 以及用于大规模光子器件制造的封装公司 PHIX。

概念芯片的制造验证, 或将经过验证的设计进入到初始原型阶段是一个极其昂贵的过程, 因此许多欧洲代工厂提供多项目晶圆 (mupliproject wafer, MPW) 服务, 其中包括:

- ◎ 氮化硅 (SiN): CNM, imec, LioniX 和 LIGENTEC
- ◎ 磷化铟 (InP): Smart Photonics, Fraunhofer HHI, 3-5 labs
- ◎ 硅光子 (SiP): VTT, imec, IHP 和 Cornerstone

多项目晶圆代工厂在同一晶圆中制造不同的芯片, 从而降低原型设计阶段的成本。另一个选择是于 2019 年启动的 JePPIX 试生产线。JePPIX 旨在直接为公司提供最先进 InP 芯片工艺线, 实现从概念证明到工业原型设计到预生产的途径。其应用包括光纤通信, 生物医学器件, 下一代移动和便携式器件, 天体生物学和量子计

算。代工厂还提供用于电路仿真和掩模设计的工艺设计包 (PDK), 以帮助将概念转化为芯片的过程。PDK 可通过 Synopsys, VPI Photonics, Lucedra, Lumerical, Nazca 和 PhotonDesign 提供的不同软件包来实现。

IPKISS设计平台和量子计算

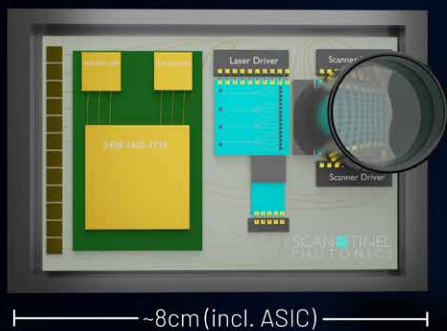
总部位于比利时的 Lucedra Photonics 提供集成方法的软件和服务, 使光子 IC 工程师能够享受与电子 IC 设计师相同的首次设计成功体验。为此目的, 他们建立了基于 Python 语言的 IPKISS 集成光子学设计平台。该平台是一个脚本环境, 涵盖了完整的光子 IC 设计流程直至测量反馈, 以便实现真正的组件表征和验证。这些组件依靠一个集中定义的模型在不同设计阶段 (例如布局, 物理和电路仿真) 之间实现平稳过渡。这使得设计流程更加稳健, 减少了设计错误, 并节省了大量的设计时间。

IPKISS 平台是模块化的, 可以通过其 IPKISS.eda 模块进行扩展, 以实现与 EDA 设计流程集成。该模块可以插入到 IPKISS 平台, 以允许将参数单元导出到 EDA 工具中, 从而使 PIC 设计人员可以享受专业 EDA 环境的好处, 并且有能力对复杂组件的细节进行良好的控制。它提供了从组件到电路的所有层级的自动化和控制——这一功

Scantinel's approach is a 1550nm Solid-state FMCW LiDAR

CONFIDENTIAL

Our Product:



Our Approach:

- Coherent FMCW ranging
- 1550nm integrated swept source with narrow bandwidth and high linearity
- Combination of photonic integrated chip and optical collimator for scanning (Optical Enhanced Array - OEATM)
- Silicon photonics to enable a full solid-state solution for high volume scalability
- Parallelization of multiple FMCW channels to achieve high MP/s data rate

EPIC Online Technology Meeting on Exploring Emerging Applications for Photonic Integrated Circuits.
Scantinel Photonics GmbH, Davide Canavesi

www.scantinel.com

图2: Scantinel的1550nm FMCW LiDAR方法 (由SCANTINEL PHOTONICS提供)

能对于 LiDAR 和量子计算应用都特别有吸引力。

另一家仿真软件领域的公司是 VPI Photonics。他们参与了许多行业领先的研究项目，其中最近的一项是 PlasmoniAC，这是一项由欧盟资助的项目，旨在为基于等离激元的神经形态计算开发一种全新的电路技术。这个项目的目的是要制造出低成本，高效且紧凑的高速神经形态芯片，以增强欧洲光子芯片产业的竞争力，从而在全球神经形态和深度学习市场中发挥更大的作用。从根本上讲，该项目是利用了等离激元电路的能量和尺寸效率，并将其应用于神经形态计算架构。VPI 的贡献是为等离激元器件开发了一个附加模型库，与它们的光子集成电路模型结合使用，从而使客户能够构建和模拟神经形态电路，并评估它们的性能。

人们设想 PIC 将作为近期部署的基于城域量子密钥分配的安全系统的关键技术，该系统利用了纠缠光子可以在 PIC 上单独生成、调制和路由的事实。QuSide Technologies 和 Quix 等公司开发了基于 PIC 的用于随机数光子生成的器件。

另一个应用是 XANADU 等公司追求的量子计算开发，XANADU 是一家量子光子计算机公司，其使命是制造对所有人都有用并可用的量子计算机。他们目前有三台

可用的云计算，这些云计算基于氮化硅 PIC 系统，可为近期应用生成高斯过程采样。氮化硅的优点首先是机器可以在室温下运行，并且系统可以轻松集成到现有的电信基础架构中。

健康和农业食品应用

OnePlanet 研究中心正在开发个人健康和农业食品应用，该中心于 2019 年成立，旨在将基础和应用研究转入实用，以改善人们的健康状况并获取健康和可持续食品。该中心的研究集中在三个主要领域：① 传感，包括非侵入性，电化学，成像技术；② 数字化和数据分析；③ 各种应用，例如可穿戴设备，氮气传感器盒和 AI 模型。如图 3 所示，其光子传感器技术基于氮化硅，是由 imec 开发的。

健康应用包括检测尿液样本中可能指示潜在健康问题的早期标记物，并提供对特定时间范围内所发生变化的观测的设备；用于测量心理健康和压力的可穿戴设备；以及用来衡量个人如何吸收食物并发现胃肠系统问题的数字技术。

农业食品的应用旨在使用传感器和数字技术来使食品生产和加工更具可持续性。具体来说，是为了使农民能够分别监视每棵树木，每种植物和每个动物，以便他们能

能够在正确的时间和地点快速而准确地做出响应。这样做的目的是节省时间并更有效地使用资源，同时尽可能地保护环境。这样，就有可能在土壤不够肥沃的地方种植农作物，正是这种土地导致了粮食短缺。

MIRPHAB 试点生产线的推出与医疗保健和环境应用相关，用于扩大基于微型中红外光谱传感器的产品的规模，其中包括通过使用阵列波导光栅 (arrayed waveguide gratings, AWG) 充当光谱仪的 PIC。波长范围为 $3\ \mu\text{m}$ 至 $12\ \mu\text{m}$ 的中红外光与分子振动发生强烈相互作用，会呈现出独特的吸收光谱，从而提供了卓越的检测能力，以及对气体和液体中化学物质的明确检测，进而实现高灵敏度和实时检测，这是令人相当感兴趣的特性，可以用于可穿戴设备，呼吸分析仪，即时护理应用和工业化学物质检测等应用。

Optics11 提供适用于工业和生命科学应用的高端光学传感系统。他们的主要关注点是开发基于高端可调谐激光器的光纤布拉格光栅 (FBG) 积分器，用于光学传感系统，该系统结合了一种称为 Optima 的高端光学声波发射系统，可以采样的频率高达兆赫兹。FBG 积分器具有高精度和高准确度。Optics11 FAZ 14 系列积分器可以采样的频率高达千赫兹。该技术还具有基于传感器的 FP 和 FBG 广泛

的产品组合，用于测量应变，加速度，温度和压力。该公司在广泛的应用领域拥有丰富的经验，并且目前正在从事下一代基于 PIC 的解调器的研究，该解调器适用于低成本，大批量的应用，同时又能够保持高性能。

Optics11 的技术用于实时结构健康监测应用，例如桥梁，洞穴和风力涡轮机，用于探测位移和维修需求。其他工业应用包括在高压应用中检测局部放电的声波发射，以及道路交通监控，这涉及在路面下安装光纤 FBG 阵列以监控交通流量，速度和载重。

对于生命科学，Optics11 技术用于片上器官和细胞 / 组织压痕应用，能够同时测量多达 92 个器官和组织细胞样品的机械性能。这就需要有一个可以同时整合所有样品的平台和高速测量系统。

MedPhab 试生产线的创建是为了扩大用于特定应用领域的器件的生产，这个领域就是医学诊断，包括光纤，微流体，表面功能化，仪器仪表，光电集成，微型模块的微型化和可穿戴设备。MedPhab 试生产线利用了 PIC 技术和其他非 PIC 的高级资源。

PIC模块封装和测试

在设计和制造了 PIC 之后，接下来的挑战包括测试，



图3: OnePlanet研究中心专注于氮化硅传感器技术 (由OnePlanet提供)

组装和封装。PIXAPP 试生产线提供了一系列标准化的光子封装技术，可以放大到大规模生产。PIXAPP 还提供光学、电气和机械封装技术方面的培训。PIXAPP 以构建模块的形式提供封装工艺菜单，从而允许在整个供应链中使用标准化的制造工艺，以便用于在主要的光子平台（InP, SOI, SIN）中生产 PIC，对电光 I/O 端口和封装组装工艺采用标准的设计。

包括 Bay Photonics, PHIX, AEMtec, AMETEK, Chip Integration Technology Center (CITC), Catapult, Cordon Electronics, Focuz, Fraunhofer IZM, 海信宽带, Icon Photonics, INPHOTEC Foundation, PakPIC, Photonics42, Technobis Group 和 VTT 等公司或组织提供封装 PIC 模块的服务。谈到 PIC 封装时，微光学也是一个基本方面，PHABULOUS 即是为此创建的试生产线，旨在帮助制造工艺成熟，并提高自由形式微光学结构和功能的制造完备性。

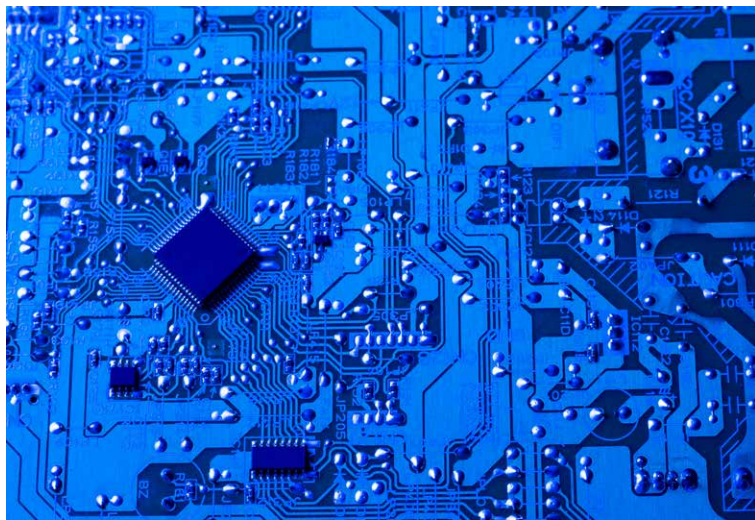
PIC 测试现在已成为光子领域的热门话题。PIC 测试存在许多挑战，特别是在速度、动态范围和精度方面，而从仪器角度来看，还有集成、灵活性和自动化程度等要求。EXFO 是一家位于魁北克的公司，自 1985 年以来一直从事测试测量，在过去的五年中，他们已经开发出了一系列专门针对 PIC 的产品。

由于一些组件如阵列波导光栅 (AWG) 的端口数量很多，或者要在单个管芯上进行测试的组件数量众多，因此基于 PIC 的无源组件（即引导光的组件）的测试非常具有挑战性。对于无源组件，EXFO 提供了 CTP10 组件测试平台，该平台是一个多端口检测系统，可与 T100S-HP 扫频可调谐激光器配合使用，以测量整个电信频谱范围内的光插入损耗、回波损耗和偏振相关损耗，作为自动 PIC 测试设置的一部分进行集成，从而可以提高 PIC 测试的吞吐量，同时减少测试时间。

结论

接下来的几年，我们预期超越数据通信 / 电信，对基于 PIC 的 LiDAR, 个人健康, 农业食品, 生命科学, 结构监测和工业应用等系统的需求增长，将为基于 PIC 的技术提供明确的机会。在本文中，我们调研了针对这些应用领域开发的一些突破性的 PIC 技术，以及为 PIC 设计和测试提供支持服务的相应供应链。

除了这些重要的贡献外，欧盟的试验生产线正在通过



提供芯片制造和标准化的光子封装技术服务，帮助欧洲中小型企业开发工具和工艺，从而规模化创新的基于 PIC 组件的制造，由此取得了长足的进步。

EPIC 是欧洲光子产业联盟 (European Photonics Industry Consortium) 的简写，它促进了光子领域内相关组织的可持续发展。EPIC 成员涵盖了 LED 照明, 光伏太阳能, 硅光子, 光学组件, 激光器, 传感器, 显示器, 投影仪, 光纤和其他光子相关技术的整个价值链。EPIC 通过保持强大的网络并充当技术和商业发展的催化剂和促进者，培育了一个充满活力的光子学生态系统。EPIC 与相关行业, 大学和公共机构密切合作，以建立更具竞争力的光子产业部门，从而能够在竞争激烈的全球市场中实现经济和技术同步增长。www.epic-assoc.com ◆

◎ 本文仅反映作者的观点，对于其中所含信息的任何使用，欧盟委员会和 Photonics 21 概不负责。



关于作者

Ana González 博士目前是 EPIC (欧洲光子产业联盟) 的研发经理。她的职责是了解 EPIC 成员开发的技术并确定他们之间的潜在合作。她还参与了各种 EC 计划，例如光子器件试验生产线，参与其业务发展和营销策略。她的专长是光学系统开发及其在传感和数据通信等应用方面的研究。她拥有巴塞罗那自治大学 (UAB) 的化学学士学位和加泰罗尼亚的纳米科学与技术研究所 (ICN2) 的博士学位。

使用头戴式脑电图设备进行神经营销学研究

传统的脑电图（EEG）技术正在被新一代的头戴式设备所取代，后者能够在传统的临床环境以外测量和评估人类的脑电波。这种易用性催生了数量越来越多的研究项目，这些项目的设计宗旨是，评估对特定刺激的情绪反应是否会与神经活动相关。这一新兴科学导致诸多神经营销学初始计划应运而生，比如那些被韩国化妆品和保健行业巨头Amorepacific（爱茉莉太平洋）公司追逐的行动倡议，该公司采用imec的实验研究用EEG头戴式设备来探究人们对香味的情绪反应。如果成功，那么这种方法有可能重新定义公司评估新产品的方式，并以一种前所未有的方式完善市场营销工作。

脑电图（electroencephalogram, EEG）是一种测试，通过附着在头皮上的小电极来检测大脑里的电活动。传统上，这些测试是在专门的医院实验室里进行的，由受过训练的专业人员逐个贴附电极，并将电极连接至一台大型计算机。虽然用这种方法做的脑电图是准确的，但也是昂贵和费时的，而且限于依靠临床设施完成。

多亏了芯片和干电极技术，传统 EEG 的日子可能很快将成为历史。凭借 EEG 领域多年的技术发展，脑电图采集系统如今已经是可穿戴式的，即使是未经培训的用户也只需短短几秒钟就能完成其安装。这使得无线 EEG 头戴式设备可用于更加广泛的治疗环境，除了癫痫或睡眠障碍研究等更为传统的应用之外，还增添了基于虚拟现实（VR）的认知治疗、认知能力提高和康复。现在，EEG 测试还在医疗应用以外的领域中使用。随着“神经营销学”（neuromarketing）的发展，越来越多的公司开始采用独特的 EEG 工具，以更好地了解他们的客户。

神经营销学：不提问就能了解客户的想法

随着将大脑活动与人类情感和反应联系起来的技术不断涌现，神经营销学在许多公司呈现出逐渐普及的趋势。根据行业调查，大约 53% 的营销行业已经在他们的日常工作中运用了某种形式的神经营销学，以开展广告活动和优化网站；另外，神经营销学还可用于建立概念、创新新的产品和包装设计，以及评估店内商品的“货架影响”。

神经营销学这个术语是大约 20 年前由荷兰教授 Ale Smidts 创造的。这位教授将 Marketing 1.0 定义为“以产品为中心”，将 Marketing 2.0 定义为“以消费者为中心”，而 Marketing 3.0 则关注的是人类价值观。Smidts 说，揭开这些人类价值观和情感的最佳方法，是运用神经科学并研究大脑和生物群系反应，以更好地了解消费者的感受、想法和行为。

神经营销学之所以那么有价值，是因为在大多数情况下人们无法准确地表述自己的偏好和情绪反应；人类很少能够时刻做出合理的选择。

就像著名的市场商人 David Ogilvy 所说：“消费者想的不是自己感觉的，说的不是自己想的，做的不是自己说的。”

你还记得昨天观看一则商业广告时是什么感觉吗？你对这则广告的问卷调查的反应与你在现场观看时的实际反应有什么不同？神经营销学和神经



imec 的两款 EEG 头戴式设备：一款取自 2018 年发布的新闻稿，一款是为 Amorepacific 开发的一种用于香味研究的调研性设备。

技术工具（比如功能性磁共振成像（fMRI）和 EEG）并不依赖于事后牵强附会和记忆。以这种方式，它们解决了诸如调查和访谈等传统研究方法的一些最大的缺陷。

Amorepacific 迈向更美丽世界的创新之旅

韩国化妆品公司 Amorepacific 对神经营销学和脑电记录非常感兴趣。该公司成立于 1945 年，它有一个明确的使命，即向世界展现其独特的美之感知，就是它所称的“亚洲之美”。Amorepacific 拥有 20 多个世界级的化妆品、个人护理和医疗保健品牌，因其以创新的方式改变全球美容趋势而广受赞誉。

该公司的成功和市场吸引力在很大程度上仰仗的是基于创新技术和天然成分的高质量产品。成立约 10 年之后，Amorepacific 设立了自己的研发中心，是世界上所有化妆品公司中规模最大的研发中心之一。Amorepacific 十分重视研究、创新和技术进步，目前雇用了大约 550 名研究人员，他们开发用于化妆品和健康的新材料，研究皮肤健康和老化的生物学特性，并为其产品找到最佳配方。

测量脑电波和情绪

Gusang Kwon 是 Amorepacific 消费者洞察与创新实验室（Amorepacific Consumer Insight & Innovation Lab）的一名研究人员。他于 2016 年开始在该公司工作，拥有生物学、心理学、神经科学和神经营销学的专业背景。他的目标是开发用于研究消费者行为的新型工具。在攻读博士学位期间，Gusang 在 EEG 的使用和解读方面获得了大量的专门知识。现在，他想利用该大脑研究工具更多地深入了解 Amorepacific 客户的无意识情感（直觉）和感受。Kwon 表示，该公司之所以选择 imec 头戴式设备原型，是因为其具有使用方便、重量轻和 EEG 通道数量多的特点，而且 imec 可以在开发实时情绪监测的专用算法方面给予帮助。他解释说，公司的最终目标是购买完美香水的人们打造一种独特的客户体验。

Kwon 说：“作为一名研究人员，我花了大量的时间查阅论文和出版物，以了解神经科学方面的最新技术发展。早在 2019 年，我偶尔看到了 imec 有关情绪侦测用 EEG 头戴式设备的新闻稿。我当时已经用商用头戴式设备做了一段时间的实验，以深入了解测试者在使用我们产品样本时的无意识反应和情绪。所有这些商用头戴式设备均不满足我的需要，特别是在电极的数量方面。”

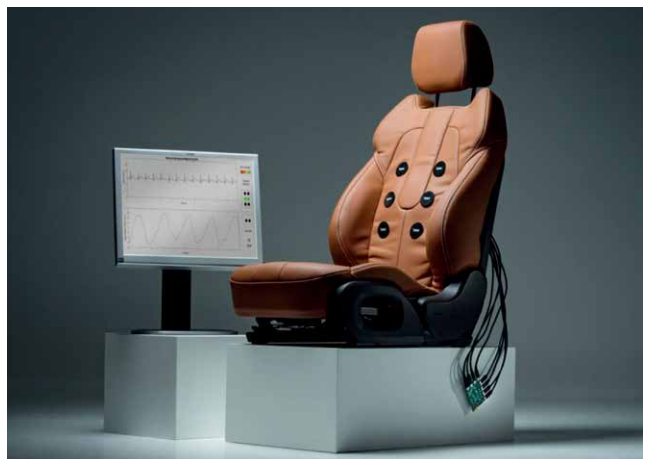
一种用于客户调查的补充和辅助工具

imec 在荷兰的项目经理 Navid Shahriari 简要地介绍了合作是怎样开始的。“是我们的业务发展经理 Jiaqi Shen 把我介绍给了 Gusang。首先，我们与 Amorepacific 做了简短的可行性研究，在该过程中，我们用自己的调查性头戴式设备研究了 EEG 测量。”

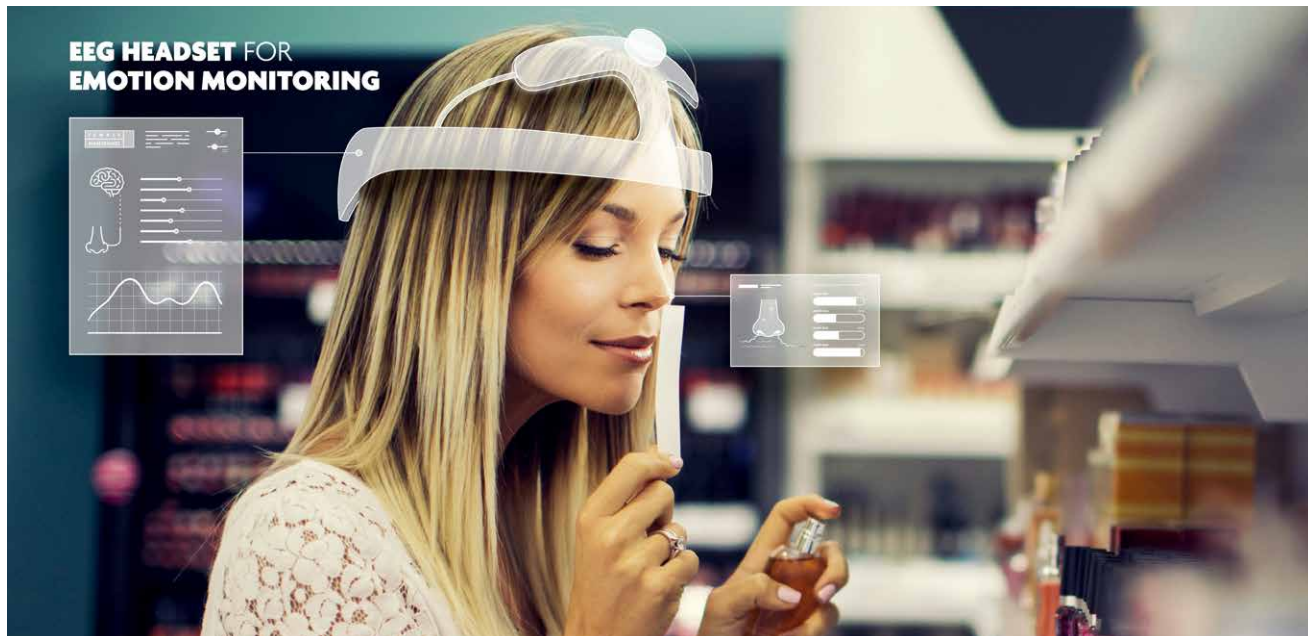
Shahriari 解释说：“在 2020 年，我们设立了第二个为期 10 个月项目，以使我们的 EEG 头戴式设备适应他们的需要，并将这些记录与采用我们的 Chill+ 腕带式原型获得的皮肤电反应测量结果相结合。我们使其具有更好的可调性，以适合不同的头部形状和大小。现在，我们将一起训练和调整我们的算法，以估计测试者对香味的反应。”

“我们目前的设计使用数字有源电极（DAE），这些电极运用了 imec 最新的芯片设计，从而在电极上实现了低噪声电平、高输入阻抗（这使得我们能够采用干电极）、较高的动态范围以及放大和数字化。在 DAE 芯片中，连续的电极 - 组织阻抗监测提供了有关电极接头质量的信息，这可以让人更多地洞察运动伪像。此外，在我们的头戴式设备中使用了德特威勒（Datwyler）公司提供的 Softpulse 干电极，这种电极能为使用者提供期望的舒适度和信号质量，而不需要凝胶。”

Gusang Kwon：“在我们采用试验盘进行的研究中，嗅觉和触觉都是很重要的感觉。举个例子，想想人们试用不同香水或护肤产品时的情形。气味会触发非常强烈的情绪，因此对我们的 EEG 研究来说是一个良好的起点。传统上，我们采用调查的方法来做市场研究。我们的希望是利用 EEG 记录对此提供补充，以更好地了解人类对于气味的无意识情绪反应。”



imec 的非接触式传感器解决方案在这个汽车座椅原型中进行了演示



大脑监测头戴式设备的一种未来版本，或许有一天，它可以通过显露顾客的无意识情感来帮助他们选择最喜欢的香水。

化妆品工业的未来：更多的技术和个性化

Gusang Kwon：“利用 imec 的 EEG 头戴式设备，我们希望为自己的研究、我们的公司和我们的客户开发一种很有价值的工具。它可以有助于为我们的客户提供精心量身定制的解决方案，适合他们的有意识和潜意识需求。有朝一日，我们甚至能够采用神经科学技术来帮助他们选择最合适自己的香水，并让他们洞察香水在他们体内所引发的情绪。”

Amorepacific 的研究突显了化妆品行业中个性化日益增长的势头。再举一个例子，Amorepacific 在 2020 年消费电子展上推出了称为“定制型面膜 3D 打印系统”的创新技术。有了这项技术，用户就能够打印个性化的水凝胶面膜，以更好地与个人的面部特征和皮肤条件相吻合。

Gusang Kwon：“可以肯定的是，化妆品行业将在未来的产品中融入更多的技术。在我看来，另一个重要的（能力）是非接触式传感。想象一下，我们的一位顾客坐在一家商店的智能椅子上，这把椅子能够测量顾客的情绪和生物特征反应，以帮助这位顾客选择合适的香水。”

Navid Shahriari：“的确，imec 也相信非接触式传感的能力。可以安放在汽车中、马桶座圈上，那为什么不可以用在香水店的椅子上呢？我们正在开发坚固型传感器和智能算法，以使这些类型的测量具有可靠性。当然，这些传感器用于测量心率、呼吸等。目前还不知道我们能不能

对脑电波做这样的测量。”

Gusang Kwon：“我肯定会密切注意 imec 的所有新进展。而且，我也强烈建议其他公司与 imec 进行合作。对我来说，与 imec 的合作在原型的质量、对算法开发和试验设置的帮助，以及其团队中拥有的广泛专门知识方面，都超出了我的预期。作为一名在化妆品行业工作的神经系统科学家，得到 imec 出色团队的支持真的很棒，在技术和数据解释方面，他们都能够为我提供帮助。这肯定将助力我在不久的将来，扩大神经营销活动在公司的开展规模。”

关于Gusang Kwon



Gusang Kwon 于 2016 年入职 AMOREPACIFIC 公司的研发中心。Gusang 主修认知神经科学，获韩国成均馆大学三星健康科学与技术高级研究所博士学位。他拥有 15 年以上的消费者测试从业经验，目前正在扩充自身在神经营销学和消费者神经科学领域的专业知识。

关于Navid Shahriari



Navid Shahriari 于 2017 年加入 imec；他是解决方案部的一名项目经理。Navid 拥有意大利罗马萨皮恩扎大学人工智能与机器人专业硕士学位，以及荷兰格罗宁根大学外科手术机器人专业博士学位。

2021“晶芯”研讨会全年主题

线上

▶ 01.21 第二届

先进封装发展趋势与应用挑战

▶ 05.20 第四届

半导体制程配套供应链的生态与生机

▶ 08.25 第六届

SiP微组装产业突围与创新高峰论坛

▶ 10.20 第八届

半导体测试专题研讨会

▶ 12.23 第十届

芯片设计/软件工具技术研讨会

▶ 02.24 第三届

IC制造高端光刻机发展趋势和技术挑战

▶ 07.29 第五届

MEMS制造技术发展论坛

▶ 09.23 第七届

LED技术发展及应用研讨会

▶ 11.18 第九届

功率器件技术与应用研讨会

线下

📍 04.15 深圳(线下)

集成电路应用技术创新发展论坛

📍 06.10 苏州(线下)

超越摩尔定律的三维先进封装

📍 10.20 深圳(线下)

SiP微组装产业突围与创新高峰论坛

* 以上议题暂定, 请以会议举办实际议题为准



公众号



客服号

Advertiser	广告商名称	网址	页码
ITW EAE		www.itweae.com	11
LB Semicon		www.lbsemicon.com/chn	9
锐德热力		www.rehm-group.com	1
苏州艾斯达克		www.intelligent-stock.com	17
中国（上海）国际传感器技术与应用展览会		www.sensorchina-expo.com	IBC

欢迎投稿

《半导体芯科技》(Silicon Semiconductor China, SiSC) 是面向中国半导体行业的专业媒体, 已获得全球知名权威杂志《Silicon Semiconductor》的独家授权。本刊针对中国半导体市场特点遴选相关优秀文章翻译, 并汇集编辑征稿、采编国内外半导体行业新闻、深度分析和权威评论等多方面内容。本刊由香港雅时国际通讯 (ACT International) 以简体中文出版发行。

本刊内容覆盖半导体制造工艺技术、封装、设备、材料、测试、MEMS、mini/Micro-LED 等。文章重点关注以下内容:

FAB (Foundry, IDM, OSAT, R&D)

四个环节: 晶圆制造 (wafer 后道)、芯片制造、先进封装、洁净室; 深入报道与之相关的制造工艺、材料分析、工艺材料、工艺设备、测试设备、辅助设备、系统工程、关键零备件, 以及与 particle (颗粒度) 及 contamination (沾污) 控制等厂务知识。

FABLESS

芯片设计方案、设计工具, 以及与掩膜版内容和导入相关的资讯。

半导体基础材料及其应用

III-V 族、II-VI 族等先进半导体材料的科学研究成果, 以及未来热门应用。

《半导体芯科技》欢迎读者、供应商以及相关科研单位投稿, 已甄选中文稿件将在印刷版杂志以及网上杂志刊登; IC 设计及应用等半导体相关内容将酌情予以网络发表 (微信推送、杂志网站)。本刊优先刊登中文来稿 (翻译稿请附上英文原稿)。

技术文章要求

1. 论点突出、论据充分: 围绕主题展开话题, 如工艺提升、技术改造、系统导入、新品应用, 等等。
2. 结构严谨、短小精悍: 从发现问题到解决问题、经验总结, 一目了然, 字数以 3000 字左右为宜。
3. 文章最好配有 2-4 幅与内容有关的插图或图表。插图、图表按图 1、图 2、表 1、表 2 等依次排序, 编号与文中的图表编号一致。
4. 请注明作者姓名、职务及所在公司或机构名称。作者人数以四人为限。
5. 文章版权归著作者, 请勿一稿多投。稿件一经发表如需转载需经本刊同意。
6. 请随稿件注明联系方式 (电话、电子邮件)。

新产品要求

1. 新产品必须是在中国市场新上市、可在中国销售的。
2. 新产品稿件的内容应包含产品的名称、型号、功能、主要性能和特点、用途等。
3. 新产品投稿要求短小精悍, 中文字数 300~400 字左右。
4. 来稿请附产品照片, 照片分辨率不低于 300dpi, 最好是以单色作为背景。
5. 来稿请注明能提供进一步信息的人员姓名、电话、电子邮件。

电子邮箱: sunnieZ@actintl.com.hk
mizyH@actintl.com.hk

行政人员 Administration

HK Head Office (香港总部)

ACT International (雅时国际通讯)

Unit B, 13/F, Por Yen Buiding,
No. 478 Castle Peak Road,
Cheung Sha Wan, Kowloon, Hong Kong
Tel: 852 28386298

Publishing Director (出版总监)

Adonis Mak (麦协林), adonism@actintl.com.hk

Editor-in-Chief (编辑)

Sunnie Zhao (赵雪芹), sunnieZ@actintl.com.hk
Mizy He (贺贵鸿), mizyH@actintl.com.hk

Sales Director (销售总监)

Eva Liu (刘婷), eval@actintl.com.hk

General Manager-China (中国区总经理)

Michael Tsui (徐旭升), michaelT@actintl.com.hk

London Office

Hannay House, 39 Clarendon Road
Watford, Herts, WD17 1JA, UK.
T: +44 (0)1923 690200

Coventry Office

Unit 6, Bow Court, Fletchworth Gate
Burnsall Road, Coventry, CV5 6SP, UK.
T: +44 (0)2476 718 970

Publisher & Editor-SiS English

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

销售人员 Sales Offices

China (中国)

Shenzhen (深圳)

Jenny Li (李文娟), jennyl@actintl.com.hk
Gavin Hua (华北平), gavinH@actintl.com.hk
Tel: 86 755 25988573 / 25988567

Shanghai (上海)

Hatter Yao (姚丽莹), hattery@actintl.com.hk
Helena Xu (许海燕), helenax@actintl.com.hk
Amber Li (李歆), amberL@actintl.com.hk
Tel: 86 21 6251 1200

Beijing (北京)

Cecily Bian (边团芳), cecilyB@actintl.com.hk
Tel: 86 135 5262 1310

Wuhan (武汉)

Eva Liu (刘婷), eval@actintl.com.hk
Tel: 86 138 8603 3073
Sky Chen (陈燕), skyc@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2373 9991
Grace Zhu (朱婉婷), graceZ@actintl.com.hk
Tel: 86 159 1532 6267

Hong Kong (香港特别行政区)

Mark Mak (麦协和), markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

Asia

Japan (日本)

Masaki Mori, masaki.mori@ex-press.jp
Tel: 81 3 6721 9890

Korea (韩国)

Lucky Kim, semieri@semieri.co.kr
Tel: 82 2 574 2466

Taiwan, Singapore, Malaysia

(台湾, 新加坡, 马来西亚)
Regional Sales Director
Mark Mak (麦协和), markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

US (美国)

Janice Jenkins, jjenkins@brunmedia.com
Tel: 724 929 3550
Tom Brun, tbrun@brunmedia.com
Tel: 724 539 2404

Europe (欧洲)

Shehzad Munshi, Shehzad.Munshi@angelbc.com
Tel: +44 (0)1923 690215
Jackie Cannon, Jackie.cannon@angelbc.com
Tel: +44 (0) 1923 690205

CONNECT

我们制造联接

2021.9.15 - 17 展览

2021.9.14 - 17 会议

上海跨国采购会展中心 (上海普陀区光复西路2739号)



展示范围

感知系统——决定智能化高度的核心部分!

传感器的生产与制造设备、配件

- 材料企业
特种材料、陶瓷部件、特种玻璃、保护膜、超声发生器、光学元件等
- 制造部件
传感器 ASIC、传感器 IC 接口、LCD、PCB 电路板、特种胶等
- 制造设备企业与工艺平台、封装与测试企业等

智能传感器、传感器融合、嵌入式系统

- 系统及解决方案提供商和集成商
- 嵌入式软件企业、嵌入式硬件企业
- 算法、通讯模组
- 云计算服务商

感知元件和执行器

- 感知元件
MEMS 芯片、磁敏、视觉、超声波、霍尔、力、光纤、RFID、化学、医疗等
- 执行器
微型、压电式 / 电磁式 / 热力气动式等执行器、微传动、微阀门等
- 传感器
智能传感器、运动传感器、传感器网络、无线传感器网等

面向垂直领域的智能解决方案

智慧城市、汽车制造、工业控制等

感知技术周

融合 开放 共享 创造

技术论坛

- 智能环境感知
- 压力和力传感器创新
- MEMS先进智能传感
- 压电MEMS和传感器
- 军地协同
- 汽车电子
- 商用车自动驾驶
- 传感器创新材料

应用论坛

- 智能楼宇产业需求交流会
- 智能家居对接专场
- 能源 (电力) 产业交流会
- 智慧水利、水务对接交流会
- 军地协同创新对接交流会
- 运营商物联网发展对接交流会

参展参会联系

朱 圆

021-54365739

zh@stcec.com



更多行业资讯, 请关注SENSOR CHINA 官方公众号



SiP微组装

产业突围与创新高峰论坛

NEPCON ASIA亚洲电子展同期

精心谋划 · 携手向前

— 新技术 · 新工艺 · 新材料 · 新设备 —

2021.10.20 深圳国际会展中心（宝安新馆）

- 大板级扇外型封装技术及产业化发展趋势
- 先进封装互连技术发展现状及挑战
- 面向集成电路先进封装的临时键合解决方案
- SiP微组装常见失效模式及失效机理
- 后摩尔时代半导体产业投资策略
- SiP系统级封装的典型应用问题
- 从节点，GMT到LMC的芯片技术进步和创新未来

预报名享福利

