

半导体芯科技



SILICON
SEMICONDUCTOR

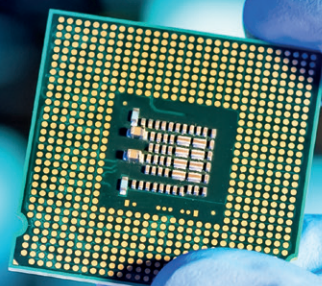
CHINA

ISSN 2523-1294

www.siscmag.com

2025年 4/5月

助力半导体制造商迎接新市场 P.11



通过工业 4.0 技术推进
subfab 设备维护工作 P.16

氮化物的近室温外延技术 P.20

面向下一代芯片制造的自
主调度技术 P.28

第 4 代碳化硅技术 P.31

ACT
INTERNATIONAL

Angel
BUSINESS COMMUNICATIONS



微信公众号

国际知名媒体授权 报道全球高新科技信息



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、电磁兼容等领域的专业读者及与会者

品牌会议

VisionCon
视觉系统设计技术会议

SSOTC

EDICON Electronic Design
Innovation Conference
电子设计创新大会

AA
工业技术及应用研讨会

LaserFocusCon
激光聚会

CS
CHINA
CON

CHIP China
晶芯研讨会

CleanRooms
China

国际代理

CQ Publishing (Japan) Chomdan (Korea) Pan Global (Europe)

Endeavor Business Media (USA) Horizon House (USA) Angel Business Communications (UK)



CHIP China
晶芯研讨会

CS 2025
CHINA
CON 化合物半导体
先进技术及应用大会

2025年5月 中国·苏州
May 2025 Suzhou, China

半导体先进技术创新发展和机遇大会

Semiconductor Advanced Technology Innovation Development And Opportunities Conference

化合物半导体先进技术及应用大会

氮化镓 (GaN) 技术的突破

GaN Technology Breakthrough

碳化硅 (SiC) 的优化与机遇

Optimization & Opportunities of SiC

Micro-LED技术的持续发展

The Sustainable Development of Micro-LED Technology

超宽禁带半导体材料

Ultra-wide Bandgap Semiconductor Materials

光电半导体与发射技术

Optoelectronic Semiconductors And Emission Technology

市场趋势与应用

Market Trends & Applications

主办单位: 雅时国际商讯

官方媒体: 《化合物半导体》《半导体芯科技》

CHIP China晶芯研讨会

2.5D/3D/3.5D封装在AI趋势下大有可为

2.5D/3D/3.5D Packaging Has Great Potential Under the AI Trend

玻璃通孔 (TGV) 技术创新发展和应用推动

TGV Technology Innovation, Development and Application Promotion

面板级封装技术的崛起

The Rise of Panel-Level Packaging Technology

先进封装对新型装备技术

Advanced Packaging for New Equipment Technology

光电合封 (CPO) 及光电互连技术发展

CPO & Optoelectronic Interconnection Technology Development

2.5D/3D封装设计仿真与可靠性

2.5D/3D Packaging Design Simulation & Reliability

2.5D/3D封装新材料进展

Progress in New Materials for 2.5D/3D Packaging

以技术为媒, 以产业为基, 诚邀全球创新力量共绘泛半导体蓝图!

赞助及媒体合作: 徐若男 Mini Xu

157 8288 4236

参会报名: 吴漫 Mandy Wu

156 2304 9536

目录 CONTENTS

封面故事 Cover Story

11 助力半导体制造商迎接新市场

Empowering Semiconductor Manufacturers to embrace new markets

全球半导体制造业正处于变革的阵痛期。过去几年中，一系列新的挑战对该行业产生了影响，并推动其不断创新。传统的半导体制造工艺存在固有的薄弱环节和局限性，不具备制造下一代芯片的能力。下一代芯片是在洁净室中生产的，洁净室中装有一系列用于制造 CPU 和其他先进半导体产品的设备。在追求先进半导体芯片可扩展性的过程中，包括超高真空（UHV）在内的工艺决定了产品质量和良率能否达标。



11

编者寄语 Editor's Note

4 未来十年 3D 封装市场复合年增长率达 15.9%

行业聚焦 Industry Focus

5 国产 EDA 新突破，英诺达推出 RTL 功耗优化工具！

6 ERS 高功率液冷卡盘系统：破解 AI 芯片晶圆测试的温控难题

6 K&S 为功率半导体应用提供革命性解决方案

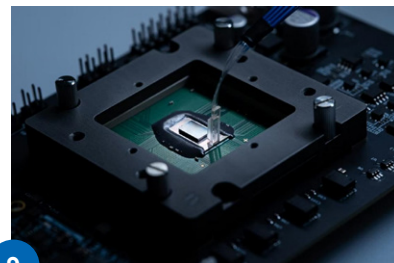
7 通快霍廷格电子展示前沿等离子体电源解决方案

7 GaN 将在多个行业达到应用临界点

8 Park Systems：纳米测量领域的全球标杆

9 曦智科技公开光电混合计算架构，加速光电混合产业落地

10 FormFactor 推出 EVOLVITY™ 300 探针系统



9

技术 Technology

16 通过工业 4.0 技术推进半导体 subfab 设备维护工作

Advancements in semiconductor subfab maintenance through Industry 4.0 technologies



16

关于雅时国际资讯 (ACT International)

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.

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）中国版 (SiSC) 是全球最重要和最权威的杂志Silicon Semiconductor的“姐妹”杂志，由香港雅时国际资讯出版，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.

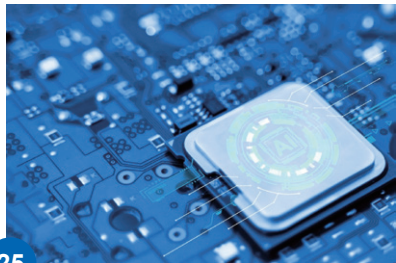
目录 CONTENTS

- 18 一种获得专利的扩散粘接新方法：不仅速度快，而且改进了工艺控制
A new patented approach to diffusion bonding offers speed and improved process control
- 20 氮化物的近室温外延技术
The near room temperature epitaxy of nitrides
- 22 可持续清洗解决方案促进微电子行业的绿色发展
Sustainable cleaning solutions for a greener microelectronics industry
- 25 让 AI 与 HBM 相得益彰
Making sure that AI and High Bandwidth Memory stack up

专栏 Column

- 28 面向下一代芯片制造的自主调度技术
Autonomous Scheduling Technology for the next generation of chipmaking
- 31 第 4 代碳化硅技术：重新定义高功率应用的性能和耐久性
Gen 4 Silicon Carbide Technology: redefining performance and durability in high-power applications
- 36 激光雷达的飞跃：凭借精确的远距离探测技术，让车辆行驶更安全
Lidar leaps forward: Enabling safer vehicles with precise, long-range detection
- 38 汽车 12V BMS 应用方案
Automotive 12V BMS application solution

40 广告索引 Ad Index



《半导体芯科技》编委会（排名不分先后）

- | | |
|-----------|----------------------------------|
| 徐冬梅 教授级高工 | 中国半导体行业协会副秘书长兼封测分会秘书长 |
| 于大全 教授 | 厦门云天半导体创始人 |
| 姚大平 博士 | 江苏中科智芯集成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 |
| 罗仕洲 教授 | 磐允科技总经理 |
| 林挺宇 博士 | 广东芯华微电子有限公司总经理 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 何 进 教授 | 北京大学教授、深圳系统芯片设计重点实验室主任 |

未来十年3D封装市场复合 年增长率达15.9%

3D 半导体封装将多个芯片堆叠并集成在一个封装中，以提高性能，同时降低延迟和功耗。当前市场对小巧、快速且高效电子产品需求不断增长的趋势，推动了 3D 半导体封装技术的发展。扇出型晶圆级封装 (FOWLP) 和硅通孔 (TSV) 技术的发展也有助于实现高性能互连和信号完整性。随着半导体行业的不断发展，3D 封装已成为推动自动驾驶、5G 连接和下一代消费电子产品创新的主要推动力之一，进一步推动了市场的增长。

市场研究和竞争情报提供商 Fact.MR 的报告表明：2024 年全球 3D 半导体封装市场约为 100 亿美元，预计 2024 - 2034 年该市场将以 15.9% 的复合年增长率 (CAGR) 增长，到 2034 年将达到 436 亿美元。

处于起步阶段的 3D 半导体封装行业中，主要参与者包括：安靠科技、日月光集团、博通公司、格芯、英飞凌科技、英特尔、长电科技、莱迪思半导体、美满电子科技、美光科技、恩智浦半导体、安森美半导体、高通公司、瑞萨电子、三星电子、矽品精密工业、索尼、意法半导体、德州仪器、台积电等。

为了巩固自身在市场中的地位，这些参与者正专注于扩张策略、技术进步、设备改进以及战略合作伙伴关系。他们致力于满足对先进 3D 半导体封装解决方案的最新需求，通过提高集成密度、功率效率和互连技术来实现这一目标。他们着眼于未来，届时芯片将更小、更快，并应用于消费电子、汽车，当然还有人工智能的多种场景。所有这一切都预示着巨大的市场增长，并为下一代电子产品做好战略准备。

北美是一个重要的地区，预计到 2034 年将占据 30.5% 的 3D 半导体封装市场份额。美国是北美 3D 半导体封装的顶级市场之一，2024 年，美国市场约 20 亿美元，将以 16% 的复合年增长率增长至 2034 年，到 2034 年，预计将达 87 亿美元。

中国对于 3D 半导体封装的需求强劲，2024 年中国市场达 25 亿美元，预计将以 16.2% 的复合年增长率增长，到 2034 年达到 114 亿美元。

中国一直在积极利用 3D 半导体封装来满足对更快数据速率和更强处理能力的需求。中国对 5G 技术的快速采用以及提供超高速互联网连接的努力，正在推动对 3D 半导体封装需求的增长。随着云计算、智慧城市和物联网的进一步融合，3D 半导体封装有助于实现低延迟和高速通信的数据密集型应用，能够处理大量数据流量，同时保持设备的小型化和高效性，是保持中国技术增长的关键。

随着自动驾驶技术的发展，对更小尺寸和更强处理能力的需求日益增长。自动驾驶汽车需要先进的电子设备，如传感器、人工智能处理器和高性能计算机，这些设备都需要小巧且高性能的芯片。3D 封装对于集成多种功能、提高能效以及加快数据传输速率至关重要，能够实现可靠且小巧的解决方案，这些解决方案对于前沿的自动驾驶技术进步是必不可少的。

Fact.MR 分析师表示：由于来自科技、汽车和人工智能驱动行业的强劲需求，北美和亚洲将推动 3D 半导体封装市场持续发展。

赵雪芹

社长 Publisher

麦协林 Adonis Mak

adonism@actintl.com.hk

荣誉顾问 Honorary advisor

刘胜院士 Academician Liu Sheng

主编 Editor in Chief

赵雪芹 Sunnie Zhao

sunniez@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 25988573 /25988567

Fax: 86 755 25988567

武汉 Wuhan

Tel: 86 27 82201291

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

国产EDA新突破，英诺达推出RTL功耗优化工具！

英诺达（成都）电子科技有限公司近日隆重推出芯片设计早期 RTL 级功耗优化工具——EnFortius® RTL Power Explorer (ERPE)，该工具可以高效、全面地在 RTL 设计阶段进行功耗优化机会的分析和探索，帮助设计师最大程度地减少芯片的功耗。

RTL阶段功耗优化：芯片能效提升的关键

在当代大规模集成电路设计中，随着芯片设计的复杂性指数级增加，使得功耗在整个 IC 设计流程中更加难以驾驭。功耗优化在芯片设计阶段考虑越早收益越高，相较于后期物理设计或制造阶段，RTL 层级的高抽象性为设计者提供了全局视角，使其能够在微架构层面系统性地消除冗余功耗，同时避免后期迭代中高昂的修正代价，显著提升了设计中功耗收敛的效率。因此，RTL 阶段的功耗优化已成为决定芯片能效与成本的核心环节。

ERPE：基于深度可达性分析的功耗优化利器

ERPE 基于英诺达的精准功耗分析技术，采用独创的深度可达性分析 (DRA, Deep Reachability Analysis) 算法，专注于在 RTL 阶段探索时钟优化的可能性，并通过内设的逻辑优化引擎完成门控使能信号 (Clock Gating Enable) 的逻辑优化，向用户提出功耗优化的机会。

ERPE 的核心优势在于其能够在设计早期阶段识别功耗优化的关键点，从而避免后期设计迭代中的高昂成本。通过内建核心算法的功耗分析和优化建议，ERPE 显著提升了设计效率，助力实现低功耗的芯片设计目标。这一工具的应用，不仅推动了 RTL 低功耗设计方法在使用 EDA 工具上的深入探索，也为各种工艺下的芯片功耗优化提供了强有力的支持。

随着 ERPE 的发布，英诺达进一步完善了其在低功耗设计领域的产品布局。EnFortius® 凝锋® 低功耗设计系列目前已推出了 4 款工具，覆盖芯片架构设计、前端设计、验证、逻辑实现及物理实现等全流程，为客户提供从设计到实现的完整低功耗解决方案。

ERPE技术亮点

在芯片设计中，时钟门控技术已经被广泛地应用以降



低整体功耗，然而传统的综合工具只是根据组合电路结构对寄存器插入时钟门控逻辑 (combinational clock gating)，无法通过分析时序结构来识别更深层潜在的时钟门控机会。而 ERPE 采用了多种技术策略可以在 RTL 阶段发现时序时钟门控逻辑 (sequential clock gating)，估算采用该时钟门控逻辑带来的功耗收益，打印出详细的报告供 RTL 设计师选择最有效的电路优化策略，该报告不仅清晰地展示了不同时钟门控策略的功耗节省潜力，还将指出电路性能、面积和时序等多维度指标，帮助设计师快速决策最优的功耗优化方案。

- **可观测性驱动时钟门控优化 (ODCG)** 技术通过分析寄存器输出在下游电路中不可观察 (即不被使用) 的条件，并利用这些条件来提取新的时钟门控使能信号或对已有的时钟门控信号进行增强，从而在不影响电路功能的前提下尽可能降低功耗。
- **稳定信号驱动时钟门控 (SDCG)** 技术通过分析寄存器输入端的上游逻辑，找出那些输入长期稳定不变的条件，并据此条件提取新的时钟门控使能信号或对已有的时钟门控信号进行增强，以减少不必要的寄存器时钟翻转，从而降低功耗。

ERPE 的 DRA 算法可以最大程度探索 ODCG 与 SDCG 的可能性，然后通过内设的逻辑优化引擎完成这两类门控使能信号的逻辑优化，并自动生成新的时钟门控逻辑代码，大大降低了设计师修改 RTL 的难度。最后，工具可利用内建 RTL 功耗分析引擎报告出每个 ODCG 和 SDCG 所带来的功耗收益。

ERS 高功率液冷卡盘系统：破解AI芯片晶圆测试的温控难题

人工智能芯片的飞速发展正深刻改变着半导体行业。如今的高性能 CPU 和 GPU 在单个基板上集成了数十亿个晶体管，并通过 2.5D 和 3D 堆叠等先进封装技术提升计算效率、降低延迟。然而，随着人工智能芯片日益复杂，业界开始呼吁将测试阶段前移至晶圆测试。这种转变不仅能在制造过程中更早地筛查出缺陷芯片，减少浪费，还能显著提升总体良率，带来可观的成本优势。



尽管晶圆测试有诸多优势，却面临着一项严峻挑战：散热问题。人工智能芯片为应对高性能计算负载而设计，这意味着测试过程中会产生大量热量。若无法有效控制温度，

热量积聚将导致测试结果失真、探针受损，甚至可能危及芯片本身。与最终测试阶段可通过封装集成冷却方案不同，晶圆级测试需要采用完全不同的散热机制来应对热负荷。

挑战的核心在于电气探测所用的微凸块密度极高。这些测试点数量可达数千个，直径仅几微米，必须确保精确接触，以保证数据传输的稳定性。然而，庞大的连接数量和高功率密度往往导致局部热量集中，因而精确的温控至关重要。若散热不佳，极易引发热失控，进而影响测试精度，导致结果失真。

为了解决这一难题，ERS 推出了高功率液冷卡盘系统。在测试复杂的嵌入式处理器和高并行性器件时，该系统可为被测器件（DUT）提供精准的温度管理。凭借先进的卡盘热交换器，液冷卡盘系统在 -40°C 时即可耗散高达 2500W 的功率（300mm 晶圆），且温度均匀性保持在业界领先的 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。此外，该系统还支持单独芯粒及全晶圆接触测试，满足多样化测试需求。

成功攻克复杂嵌入式处理器和高并行性器件的晶圆测试难题，标志着半导体行业迈出了重要一步。解决温控挑战不仅能提升测试效率，还能进一步提高良率与成本效益。随着人工智能驱动硬件需求的持续增长，投资尖端的晶圆级测试解决方案已成为企业保持竞争力的关键。

K&S 为功率半导体应用提供革命性解决方案

Kulicke and Soffa Industries Inc. 宣布推出 Asterion-PW 超声波针焊接机，通过快速精确的超声波针焊接解决方案扩大其在功率元件应用领域的领先地位。这种先进的解决方案为 Pin 互连能力设定了新的标准，重新定义了效率、精度和可靠性。

在可再生能源、汽车和铁路等应用中，越来越多的常用功率模块元件使用超声波焊接来实现 Pin 针和 DBC 的互连以满足信号传输和机械固定的要求。功率模块市场是增长最快的半导体市场之一，预计到 2029 年将达到 12% 的复合年增长率。

Asterion PW 利用市场领先的超声波技术，由于精度和生产率的提高，该技术正在关键应用中取代传统的焊接。此外，由于消除了助焊剂和焊膏，Sonotrode 超声波功能

提供了明显的环境效益。Asterion PW 平台还提供了无与伦比的速度和精度，实现了产能和质量的双提高：

- 无与伦比的速度和精度：Asterion PW 采用高分辨率直线电机定位系统和正在申请专利的 Sonotrode 超声波焊头设计，实现了 $\pm 40\mu\text{m}@3\sigma$ 高精度的重复放置。
- 提高生产率：集成的批量送针系统和可选的物料输送系统配备了先进的清洁站，确保操作流畅。清洁系统在封装前能有效地去除污染物，从而提高产品质量。
- 卓越的成本优势：耐用的超声波焊头拥有业内最长的使用寿命，提供卓越的可靠性和成本效益。

通快霍廷格电子展示前沿等离子体电源解决方案

世界领先的等离子体电源制造商通快霍廷格电子，旗下产品有多款专用于沉积和干法刻蚀工艺的优质等离子体电源，在电源领域拥有一百多年的经验积累。在半导体制造中，通快霍廷格电子的等离子体射频和直流电源在等离子体增强化学气相沉积（PECVD）、物理气相沉积（PVD）、刻蚀以及离子注入等关键工艺中发挥重要作用，能够为晶圆制造的精度、质量和生产效率提供有力保障。

通快霍廷格电子在 SEMICON China 2025 上展示了其针对半导体领域的等离子体电源 TruPlasma RF 和 TruPlasma Match 产品，以及 TGV 面板技术。

新一代等离子体射频电源 TruPlasma RF G3：高速脉冲功能显著提升等离子体产生和控制的能力；多级脉冲技术提供了灵活多样的等离子体激发模式，不仅能优化等离子体特性，还能满足多样化工艺需求；内置高速采样示波器可实时监测射频电源的电压、电流和频率等参数变化，为沉积和刻蚀工艺的监控、分析和优化提供强大支持。

TruPlasma Match 匹配器系列：智能匹配算法为沉积、刻蚀等工艺提供全方位监控，确保射频电源稳定保持



TruPlasma RF 1000 (G3) (来源：通快霍廷格电子)

50 Ω 阻抗适配；数字化管理平台实时测量射频功率及相关参数，实现快速追踪频率变化并有效管理电弧，保障工艺稳定性和一致性。

TGV（玻璃通孔）面板技术：将超短脉冲激光技术创新性地应用于玻璃中介层制造，同时利用等离子体电源达成离子注入，实现了微芯片封装领域的高精度加工与成本优化的双重突破。

GaN将在多个行业达到应用临界点

在全球持续面临气候变化和环境可持续发展挑战之际，英飞凌科技股份有限公司一直站在创新前沿，利用包括硅（Si）、碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）在内的所有相关半导体材料大幅推动低碳化和数字化领域的发展。

英飞凌近日发布了《2025 年 GaN 功率半导体预测报告》，报告称：GaN 将在多个行业达到应用临界点，进一步提高能源效率。

英飞凌在该报告中强调，GaN 将成为影响游戏规则半导体材料，它将极大改变大众在消费、交通出行、住宅太阳能、电信和 AI 数据中心等领域提高能效和推进低碳化的方式。GaN 可为终端客户的应用带来显著优势，包括提高性能效率、缩小尺寸、减轻重量和降低总体成本。如今 USB-C 充电器和适配器在 GaN 的应用方面已经处于领先，有更多行业即将达到 GaN 应用的临界点，从而极大地推动了基于 GaN 的功率半导体市场的发展。

氮化镓技术对于人工智能的供能需求至关重要。随

着 AI 数据中心算力和能源需求的快速增长，市场愈发需要能够处理 AI 服务器相关巨大负载的先进解决方案。曾经管理 3.3 kW 功率的电源现在正向着 5.5 kW 发展，预计未来每台将达到 12 kW 或更高。使用 GaN 可以提高 AI 数据中心的功率密度，这直接影响到在给定机架空间内可提供的算力。虽然 GaN 具有明显的优势，但将其与 Si 和 SiC 结合使用才是满足 AI 数据中心要求，并在效率、功率密度和系统成本之间实现综合权衡的理想选择。

在家电市场，由于洗衣机、烘干机、冰箱和水泵/热泵等应用需要达到更高的能效等级，因此英飞凌预计 GaN 将实现快速发展。例如：在 800 W 应用中，GaN 可使能效提高 2%，从而帮助制造商实现 A 级能效。根据英飞凌的研究，基于 GaN 的电动汽车车载充电器和 DC-DC 转换器将具有更高的充电效率、功率密度和材料可持续性，而且正向 20 kW 以上的系统转型。GaN 还将与高端 SiC 解决方案一同实现更加高效的 400 V 和 800 V 电动汽车系统

牵引逆变器，增加电动汽车的行驶里程。

由于 GaN 材料能够提高紧凑性，机器人行业将在 2025 年及以后广泛使用 GaN，这将推动送货无人机、护理机器人和人形机器人的发展。而随着机器人技术与自然语言处理、计算机视觉等先进 AI 技术的融合，GaN 将提供实现紧凑、高性能设计所需的效率。例如：将逆变器集成在电机机箱内，既可以避免使用逆变器散热片，同时又能减少每个关节 / 轴的线缆，并简化 EMC 设计。

为了解决在成本和可扩展性方面的挑战，英飞凌正进一步增加对 GaN 研发的投资。凭借丰富的产品和 IP 组合、

严格的质量标准，以及 300 mm GaN 晶圆制造和双向开关 (BDS) 晶体管等前沿创新技术，英飞凌正以包括 GaN 在内的所有相关半导体材料为基础，巩固自身在推动低碳化和数字化方面的领先地位。

英飞凌 GaN 业务线负责人 Johannes Schoiswohl 表示：“英飞凌致力于通过基于包括 Si、SiC 和 GaN 在内的全部半导体材料的创新来推动低碳化和数字化转型。凭借在效率、密度和尺寸方面的优势，GaN 将在综合功率系统中发挥日益重要的作用。而且鉴于 GaN 与 Si 的成本差距正在缩小，我们预计 GaN 的利用率将在今年及未来持续增长。”

Park Systems：纳米测量领域的全球标杆

当半导体工艺不断逼近物理极限，测量技术如何突破边界？当芯片良率与研发效率成为制胜关键，精准检测如何驱动产业创新？

作为原子力显微镜 (AFM) 与纳米测量技术的行业领导者，Park Systems 深耕半导体领域 20 余年，以“非接触模式成像”、“全自动检测”、“工业级稳定性”三大核心技术，为全球顶尖芯片企业提供：

- 晶圆表面缺陷分析
- 光刻胶 3D 形貌表征
- 薄膜厚度精准测量
- 材料成分红外光谱解析

从研发实验室到量产产线，让纳米级精度触手可及！

Park Systems 近日推出两款新品：NX-TSH 400TF 和 FX300 IR，扩展其原子力显微镜阵容，助力新一代半导体创新。凭借最新的创新技术，Park Systems 继续巩固其在原子力显微镜领域的全球领先地位，为半导体和纳米科学

研究不断发展的需求提供行业领先的解决方案。

NX-TSH 400TF 作为半导体 Tape Frame 封装纳米计量解决方案，主要特性包括：

- Tape Frame 无缝兼容：NX-TSH400TF 支持薄膜 Tape Frame 样品的直接测量，实现高效无损的操作流程。
- 纳米级测量精度：实现晶圆图案临界尺寸 (CD)、深度及表面粗糙度的纳米级精确测量。
- 精准量化的 3D 形貌：完整量化 Cu Pad Recess、Ox 层粗糙度等纳米级测量细节，满足 Hybrid Bonding 等先进封装的量测需求。
- 全流程自动化：集成晶圆自动传输系统，涵盖自动定位、测量与分析等，确保工业级测量吞吐量。
- 超稳定测量环境：采用多级隔离技术，有效抑制颗粒污染、噪声、环境振动及静电干扰，保障测量重复性与稳定性。

FX300 IR 是纳米级红外光谱与原子力显微镜联用技术，支持高精度化学表征。主要特性包括：

- AFM 与红外光谱联用系统升级分析
- PiFM 纳米级分子分析能力，能够提供 ~5 nm 空间分辨率的红外光谱分析
- 自动化 IR 激光校准系统

FX300 IR 是用于工业和研究领域最高水平晶片分析的 AFM 系列。Park FX300 和纳米红外系统正在重新定义工业和研究原子力显微镜应用之间的界限，为客户提供最先进的原子力显微镜，共同塑造纳米科学的未来。



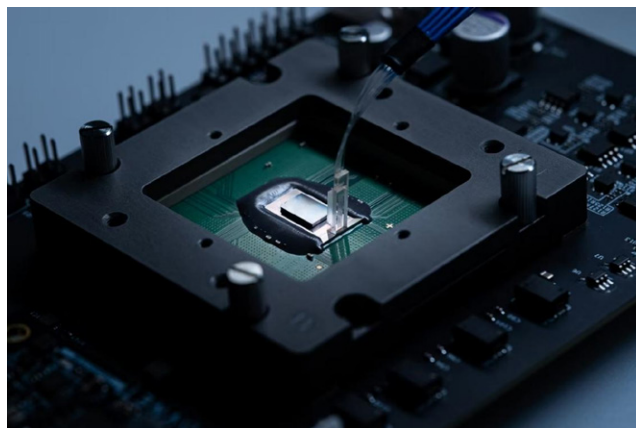
曦智科技公开光电混合计算架构，加速光电混合产业落地

全球顶级学术期刊《自然》(Nature)近日刊载了曦智科技的光电混合计算成果：《超低延迟大规模集成光子加速器》(An integrated large-scale photonic accelerator with ultralow latency)。这是自八年前曦智科技创始人沈亦晨博士于《自然·光子学》杂志发表封面文章《由纳米光学回路实现的深度学习》(Deep learning with coherent nanophotonic circuits)以来，曦智科技再次登上全球顶级学术期刊。同时，这也是继3月25日其最新光电混合计算卡曦智天枢发布后，曦智科技在光电混合计算领域的又一重要成果。

此次登上《Nature》是业界对于曦智科技成功研发出高度集成的光子计算处理器 PACE (Photonic Arithmetic Computing Engine)的再一次肯定。沈亦晨博士表示：“PACE 是我们在 2021 年发布的产品。我们选择在《Nature》这样的顶级期刊上公开发布它的产品细节，是为了开放我们的技术路线，让更多人参与到这个行业中来，加速光电混合生态的产业落地。”

近年来随着硅光子、纳米光学、材料科学等学科的发展，光子计算的热度在全球范围内不断提升，但大多数科研成果仍处于实验室阶段。此次曦智科技的产品化成果被《Nature》收录，首要原因在于其展示了一款由商业产线生产的大规模光电集成计算卡，并提供了全部实测数据，证实了其在计算延迟方面的显著优势。

审稿人对曦智科技团队在光子计算工程化方面作出的努力给予了高度肯定：“在光子计算领域，通常会通过

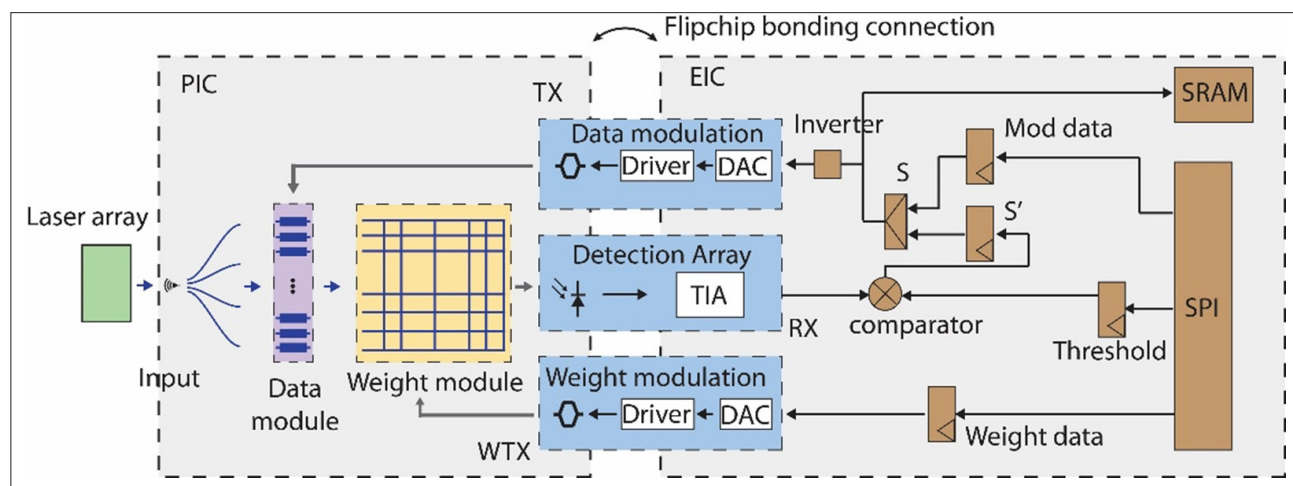


PACE光电混合系统

小规模演示对大规模系统性能进行乐观推断，但本文中的数据均来自整个 PACE 计算系统的实测性能，作者们工程化地实现了一个超大规模光子矩阵计算系统，可谓‘壮举’”。

PACE 基于光执行矩阵向量乘法时延迟极低的基本原理，通过重复矩阵乘法和巧妙利用受控噪声组成的紧密循环来实现低延迟，从而生成伊辛问题 (Ising) 和最大割/最小割问题 (Max-cut/Min-cut) 这类组合优化问题的高质量解决方案。

此外，在论文中，曦智科技还首次对外公开了其光电混合计算的具体架构。在多年来产品化推进的过程中，曦智科技的研发团队发现，基于非相干架构的光子矩阵因其在精度控制、矩阵调节灵活度和抗噪声能力方面的优



PACE系统架构图

势，更有利于商业化落地。曦智科技首席运营官王洸表示：“PACE 是曦智科技三大核心技术之一，光子矩阵计算（oMAC）的代表性成果。PACE 问世之后，曦智团队在提升光电混合系统灵活性和光电芯片的高效协同等方面持续发力，不断开拓更广泛的应用场景。”

2017 年，沈亦晨博士在《自然·光子学》发表封面论文《由纳米光学回路实现的深度学习》，首次提出了基于相干纳米光子电路进行深度学习计算的方法，被业界认为是集成光子领域的开创性进展。同年，沈亦晨博士创立曦智科技，致力于将光子计算产品化、商业化。

2019 年，曦智科技发布首款光子计算原型板卡，成功运行了 Google TensorFlow 自带的卷积神经网络模型来处理 MNIST 数据集，验证了光子计算的可行性。此后，曦智科技团队持续在扩大矩阵规模、提高光子芯片集成度等方面不断探索，并逐步增强电子芯片设计、封装、软件、系统等工程能力。

2021 年 PACE 的问世，代表着光电混合计算从概念

验证到产品化落地的巨大跨越。2025 年 3 月，曦智天枢计算卡发布，不仅在光子矩阵规模方面达到此前的 4 倍，扩大至了 128x128，同时也在工程落地方面解决了多项关键性问题，如 3D TSV 先进封装在光电混合芯片上的首次成功实现；将光源小型化内置集成到板卡上，从而使得天枢成为一款标准的全高全长 PCIe 卡，可直接插入现有服务器硬件。更为重要的是，天枢首次实现了在复杂商业模型中的应用，并在特定算法中体现出了优于商用 GPU 的延迟优势，让人们看到光电混合计算的商业化已将到来。

曦智科技联合创始人、首席技术官孟怀宇博士表示：“我们一直坚信光电混合很快将成为新的主流算力范式，并始终将产品化和商业化作为企业发展的目标。希望有更多的应用方、研究者、开发者和合作伙伴加入到光电混合算力生态中来，共同探索更多光电混合算力的应用场景，加速光电混合产品的市场化进程。曦智科技也会持续将公司的最新研发成果与业界和学界分享。”

更多信息请访问 <https://www.xztech.ai>。

FormFactor 推出 EVOLVITY™ 300 探针系统

电气测试和测量技术供应商 FormFactor 公司推出了 EVOLVITY™ 300 系统，这是一款半自动工程晶圆探针系统，是对该公司久经考验的 CM300 产品线的补充。EVOLVITY 300 以其紧凑、易用的设计简化了晶圆上的探针操作，专为射频 / 直流 (RF/DC) 建模和器件表征而开发。

虽然 CM300 是一个模块化平台，可适应广泛的使用场景和客户特定应用，支持手动和自动晶圆装载，但 EVOLVITY 300 将最常用的特性作为标准配置，确保易于使用和快速部署。EVOLVITY 300 建立在 Cascade S300 和 Elite 系统的可靠传统之上，提供了一个灵活、节省空间的平台，可集成到现有设置中。其紧凑的设计优化了实验室空间，并让用户能够在诸如高级射频测量、直流表征和探针卡等应用之间轻松切换。此外，该系统



还提供自动化选项，简化操作并为用户提供更大的灵活性。

EVOLVITY 300 直观的界面和简化的流程减少了设置时间和复杂性，即便是经验较少的用户也能专注于测试和开发，而非繁琐的设置工作。

EVOLVITY 300 的主要特性：

- 机械压盘升降装置：在复杂的射频设置过程中提升安全性，增强操作人员的信心，降低出错风险。
- 易用性和先进自动化：与 FormFactor 的自主射频和直流测量助手以及 Velox Dash 配套应用程序控制完全兼容。
- 可重新配置的压盘插件：可在数分钟内快速在 TopHat、PCH 和 IceShield 插件之间切换，以支持多种测试配置。
- 宽敞的压盘设计：为射频和直流设置提供灵活性，不受空间限制，确保不同配置的轻松集成。
- 紧凑设计：占地面积小，组件可现场升级，便于集成到现有的测试单元中。



助力半导体制造商 迎接新市场

对于横跨诸多新市场的半导体行业来说，减少废气排放和消除污染物是迫切需要。

全球半导体制造业正处于变革的阵痛期。过去几年中，一系列新的挑战对该行业产生了影响，并推动其不断创新。主要的趋势和要求正逐步凸显，包括确保供应链的弹性；生成式人工智能的崛起；快速可扩展性；满足原始设备制造商在众多市场中不断增长的需求；应对地缘政治紧张局势；培养多元化的员工队伍；它们将决定半导体制造业的未来。传统的半导体制造工艺存在固有的薄弱环节和局限性，不具备制造下一代芯片的能力。下一代芯片是在洁净室中生产的，洁净室中装有一系列用于制造 CPU 和其他先进半导体产品的设备。

所使用的制造设备包括 50 多种不同的装置，从外延反应器、化学气相沉积系统到光刻设备等，不一而足。在追求先进半导体芯片可扩展性的过程中，往往是包括超高真空（UHV）在内的工艺

决定了产品质量和良率能否达标。

半导体行业持续高速发展，其成长步调遵循的是摩尔定律：性能加倍，成本减半，两者“如影随形”。然而，在当今的技术进步中，一些全球性趋势，包括人工智能（AI）、电动汽车和自动驾驶的兴起，正在产生日益重要的影响。过去，半导体的增长主要归功于个人电脑和移动技术的创新，但如今，半导体的影响几乎遍及现代全球经济的每一个行业，而且随着 5G 无线技术在未来十年扩大需求，预计还会有更多的突破。

例如，一辆普通的电动汽车包含 1000 ~ 3500 个半导体，用于 MCU 等部件和电动助力转向模拟组件，以提高燃油效率¹。考虑到汽车智能化的发展、快速变化的通信趋势和电气化的总体走势，众多市场对半导体的需求将继续保持稳定和长期的增长。



作者：Jason Davis, JUNKOSHA 美国有限公司新业务开发部

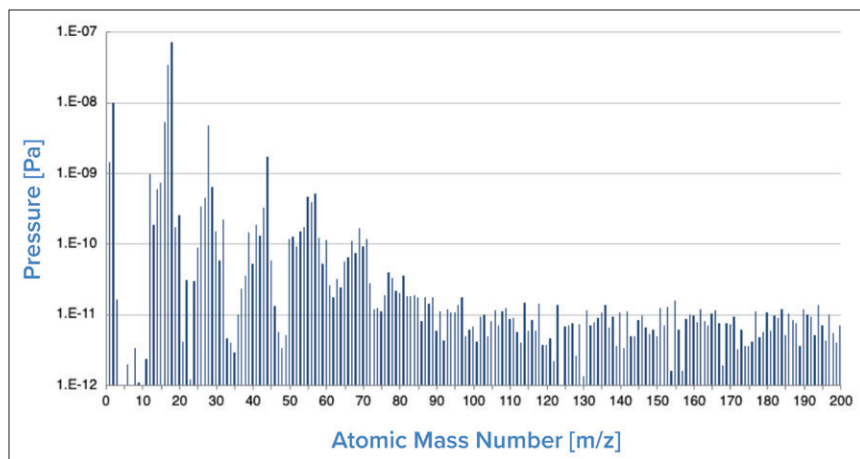


图1: SLO 电缆的RGA测试结果*

尽管市场对半导体的传统用途仍然存在很高的需求,但是,超大规模云计算、物联网(IOT)和人工智能等关键趋势的扩散也加剧了这一增长趋势。由于数据中心对更高计算能力、数据处理能力、复杂语言模型和大数据分析的需求与日俱增,这项技术很快就走出了原型设计阶段,并扩展到数据中心之外,进入了个人设备领域,从而推动了对人工智能芯片的需求。麦肯锡公司估计,到这个十年末,全球半导体市场预计将达到1万亿美元²。这一切意味着,常常被视为数字化大脑的半导体生产,仍将是世界上最有价值和交易量最大的商品之一。

此外,汽车和国防等更广泛领域日益增长的需求,也在推动半导体制造商大规模生产尺寸更小、速度更快和智能化水平更高的芯片。根据摩尔定律,晶体管的密度每两年大约增加一倍³,这就要求制造业不断改进所有的工艺。如今,台积电(TSMC)的晶体管已微缩到刚刚超过两个纳米,是世界上最小的晶体管,英特尔的晶体管密度即将达到与之相当的水平⁴。对这些更先进、功能更强大芯片的追求导致工艺复杂性不断增加,因为晶圆制造是一个利用光刻技术定义特

征,并通过沉积、蚀刻和其他工艺步骤建立特征以满足关键要求的循环过程。随着芯片特征尺寸的不断缩小,对结果的要求越来越严格,这就需要有高度可控环境的新设备,以最大限度地减少对敏感机器部件的污染。

制造微型芯片并非易事。所有芯片的制造都需要经历许多道工序,而且精度是关键所在⁵。随着芯片制造商向更小的节点推进,严格控制分子污染变得至关重要。晶圆厂相信,他们的计量设备要能够准确读取正在加工的晶圆片上出现的状况面临着许多障碍。对于半导体加工和制造设备的设计者和制造商来说,通过引入真空环境来控制空气中的颗粒物浓度变得同样至关重要。

极紫外(EUV)光刻技术作为大批量半导体制造的核心工艺,被视为先进半导体制造的最大突破之一。在此过程中出现的粒子干扰、折射和其他物理或化学缺陷会大大增加制造成本,并使良率降幅显著增大。因此,EUV光刻技术(尤其是在半导体制造洁净室中)面临的主要挑战来自于需要控制分子污染。

半导体行业如何应对日益严峻的挑战?

半导体行业正从多个角度着手解决这一问题。其中一个主要方法是,制造商采用先进的材料和技术来限制出气(outgassing)和维持原始真空环境,从而确保光刻系统能够以生产下一代芯片所需的高精度运行。当电缆或其他系统组件等材料向真空环境释放挥发性化合物时,就会发生出气现象,从而导致污染。此外,EUV光刻技术涉及的复杂性还超出了污染控制的范围。设备本身的复杂性、高昂的成本以及对训练有素员工队伍的要求,使其在半导体生产线上的应用更为复杂。因此,洁净室环境现在一定是更加精细复杂,且必须进行严格的维护,从而为上述操作提供支持。

为了应对这一挑战,Junkosha 开发出了迄今为止半导体制造业中最清

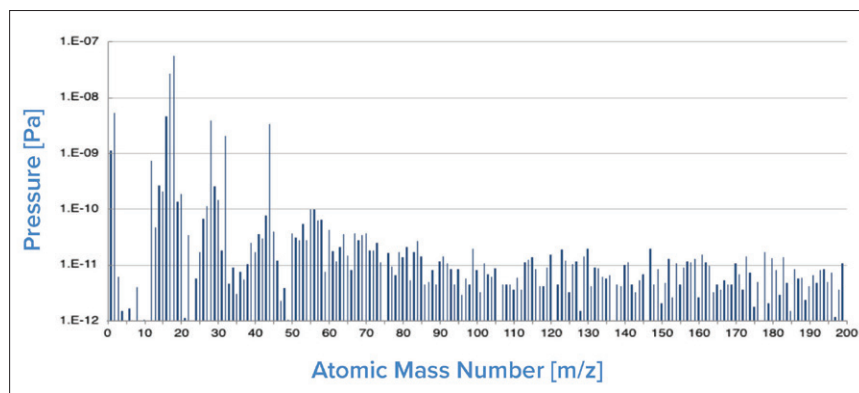


图2: 背景空腔室(Background Empty Chamber)的RGA测试结果*

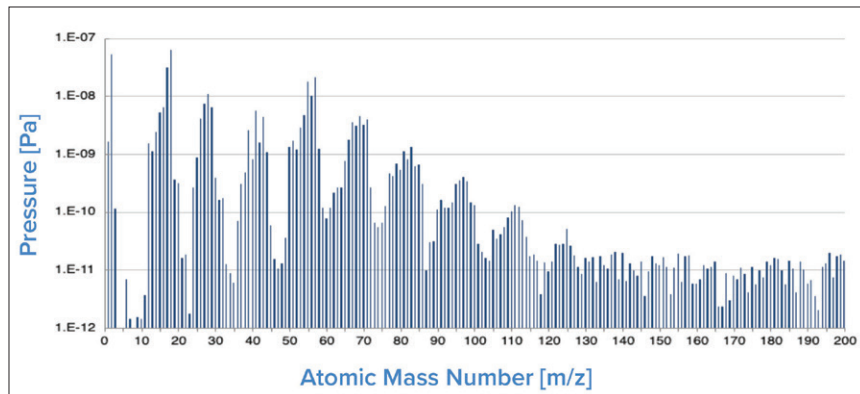


图3: 传统的ePTFE电缆的RGA测试结果*

洁的电缆组件。通过采用专有的制造步骤，Junkosha 超低出气 (Super Low Outgassing, SLO) 电缆的出气和微粒含量是目前市场上同类产品中最低的，从而使半导体制造商能够在其系统内保持极度洁净的环境。此外，Junkosha 的电缆兼具高度的机械灵活性和集成多根电缆的能力，非常适合带有移动部件的真空室环境，例如集成了电机和编码器的线性平台 (linear stages)。

半导体制造离不开真空技术，因为它在提高工艺效率和良率方面发挥着不可或缺的作用，尤其是在生产先进芯片时。工艺腔室中的超高真空一般是通过位于机台 (processing tool) 处的涡轮分子泵实现的，随后在下游安装一个干式真空泵。这些敏感的工艺腔室需要高性能的材料，这也与用于数据和电力传输的电缆有关。在所有的真空 (和非真空) 加工设备中，残留气体可能来自工艺腔室，甚至来自受污染的硅衬底。图 1 和图 3 的曲线图，分别给出了对 SLO 电缆和传统 ePTFE (膨体聚四氟乙烯) 电缆进行 240 分钟 RGA 测试 (RGA 测试设备仅用于规划和设计目的) 的结果。

半导体制造需要在快速运行的情况下实现高精度。因为速度和精度通常是相悖的 - 操作速度快了，就会造

成损伤，或者，至少会制造出无法使用的产品，所以，提高产量和每小时的晶圆产出量，对包括电缆在内的所有机械零组件都提出了最高的要求。通过部署 SLO 电缆，制造商能够大幅减少附着在镜面等敏感元件上且有损图像质量的出气分子，这直接关系到芯片电路的质量。

此外，SLO 电缆还能大幅提高制造商实现所需真空度的速度。这提供了一种利用真空泵制造先进芯片的超低压环境。不排气的电缆和其他聚合物产品对成功提供整体系统输出是必不可少的。

图 4 的曲线图通过三个关键因素分解了真空度是如何随着时间的推移而变化的。蓝线表示背景，红线表示我们的传统电缆，此类电缆即使在 480 分钟后也未能达到 10^{-5} Pa 的真空压力等级。相比之下，黄线代表的 SLO 电缆达到相同真空压力所需的时间仅为传统电缆的一半，即 240 分钟。因此，客户的耗时大幅缩短，运作效率得以提升。

提高产量面临的挑战

制造设备设计师和制造商对优化工艺流程的关注度和晶圆厂是一样的。随着晶圆厂硅芯片产量的提高，它们同时在设备周围产生了更多的液体、浆料和气体，因而给工艺设备和材料处理设备带来了更大的压力。随着线径 (line diameters) 和晶圆厚度的减小，这一挑战变得更加严峻，迫使设备满足越来越严格的要求。芯片制造过程中的蚀刻、清洗和其他阶段所使用的湿法化学工艺依赖于谨慎控制的化学品运输。

这些液体必须采用适当密封的容

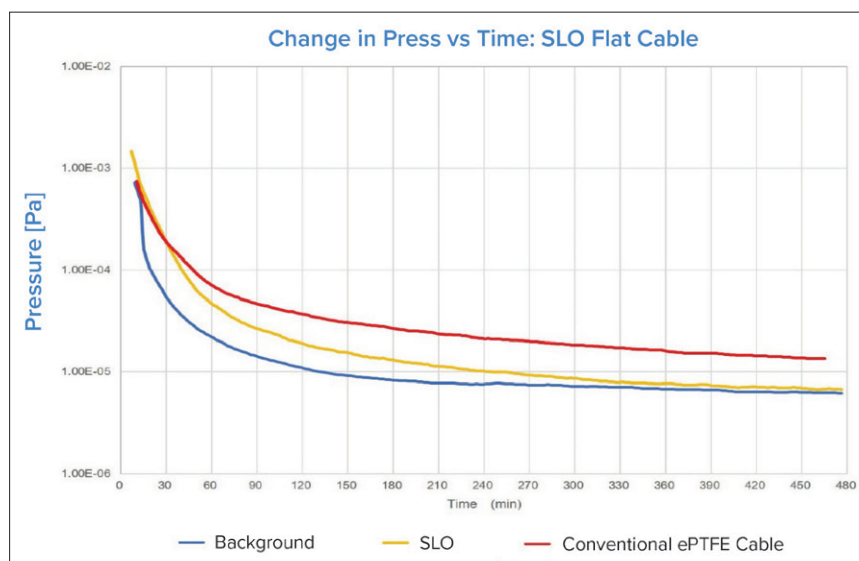


图4: 压力随时间的变化曲线 (在 SLO 扁平电缆上)*



器进行搬运，以防止气体或液体泄漏，进而影响产品的安全性或纯度。除了能够耐受侵蚀性化学品外，所用材料还不得含有有机物或微量金属污染物，否则会降低清洗液或剥离液的效用。

为了应对这一挑战，制造商必须使用合适的设备来防止劣化和气体渗透。PFA 是为数不多的惰性、稳定和不渗透材料之一，足以运输晶圆厂里使用的腐蚀性化学品，并使超纯化学品（包括水）不受颗粒和浸出物的影响。目前，在半导体制造领域中，Junkosha 的高阻隔 PFA 管材是湿法工艺管道中最耐用的管材解决方案。它由两层热熔粘合层组成，对强酸、强碱和有机溶剂具有出色的阻隔性，从而减少了所需的更换次数。

内层由高纯度 PFA 制成，具有耐化学性、耐热性和抗粘连性。外层由含氟聚合物制成，具有极佳的阻隔特性，能从内部阻隔酸（如盐酸和硝酸），从外部阻隔水蒸气。

此外，管道长期保持透明，这表明管道没有老化变质。对于希望减少故障停机时间的晶圆厂来说，高阻隔

PFA 管道是理想的解决方案，因为它具有应对剧毒和腐蚀性材料流动的独特能力，有助于减少维护工作量和对周围金属部件的腐蚀。

保障产量

世界上所有的制造业都是通过堆叠多个具有不同公差和参数变化范围的流程和系统来获得一致的产品。这一点在半导体制造领域表现得最为明显，因为半导体制造是世界上最复杂的制造工艺，容错率最低。全球半导体供应链是一个由相互依存的关键环节组成的网络，需要数万亿美元和至少十年的时间才能完全重建。虽然中国台湾的台积电（TSMC）和荷兰的阿斯麦（ASML）是依赖关系的典型例子，但是，在从设备到芯片设计的半导体供应链中，类似的代表还有很多。供应链的这种相互依赖性要求企业必需了解半导体行业供应链的脆弱性，以保障生产能力。

这就把供应链专家推到了最前沿，他们拥有芯片生产流程方面的专业知识，这些知识决定了订单能否顺

利完成。他们的工作重点是制定合适的战略，以帮助业界在供不应求的情况下对阻碍先进半导体制造发展的瓶颈问题加以遏制。例如，提供优质产品是整个供应链的共同要求。

鉴于研发投入成本高昂，资本支出巨大，因此不合格的产品将造成严重后果。即使避免了对晶圆厂造成物理性损坏（physical damage），但材料的不一致性意味着设备会更快地损坏，且光刻胶等关键化学品会引发线路的重大变化，从而有可能导致晶圆厂停工。同样，当电缆在真空环境中弯曲或移动时，来自机器电缆布线的出气所造成的任何微粒或分子污染都会凝结在电子元件、透镜和反射镜等敏感元件（甚至是晶圆片本身）上，因而将导致严重的后果。

始终如一的制造工艺和每道工序都很严格的质量控制措施，确保了 Junkosha 产品的精度和性能值得信赖。Junkosha 超低出气电缆产品组合采用高度受控的端到端制造工艺，从我们内部开发的聚四氟乙烯（PTFE）复合薄膜材料开始。在精心选择材料

之后, Junkosha 在复杂生产流程的各个环节(包括规划和设计、电缆制造、组装、包装和 RGA 评估)中执行一系列严格的清洁、出气和微粒减除步骤。凭借这些高度受控的生产步骤, Junkosha 优化了高品质电缆产品的交付,使其具有极低的出气和低颗粒特性。通过将这些优势与长效耐用的电缆相结合,半导体制造商能够缩减设备故障停机时间,并显著减少维护干预次数。

结论

伴随着半导体制造商竞相满足新兴市场的需求,他们面临着一系列

错综复杂的挑战,从保持洁净室的完整性到跨各种工艺技术的供应链复杂性。随着半导体行业向自动驾驶、人工智能、物联网、下一代移动电子产品等领域扩展,减少出气和消除污染物的需求比以往任何时候都更加重要。这些变化的核心是对真空环境的依赖,真空环境决定了现代芯片生产的质量和可扩展性。在这种不断演进发展的情势下,成功不仅取决于技术的进步,还取决于能否以高质量的设备确保供应链的长期弹性。半导体的未来格局正在实时形成,而那些为应对当前生产流程中的薄弱环节做好准备的企业,将成为领跑者。◆

* 所有表格均为 Junkosha 的内部测试结果。

参考文献

1. chromeextension://efaidnbmnnpbpcjpcglclefindmkaj/https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/industry/communications-and-media/document/Accenture-Semiconductor-Value-Chain-Report.pdf
2. https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/ourinsights/exploring-new-regions-the-greenfield-opportunity-insemiconductors
3. https://www.semianalysis.com/p/advanced-packaging-part-1-pad-limited
4. https://bits-chips.nl/article/intels-transistor-density-could-be-on-par-with-tsmcs-soon/
5. https://www.asml.com/en/news/stories/2021/semiconductormanufacturing-process-steps

是德科技在宽禁带半导体裸片上实现动态测试

是德科技增强了其双脉冲测试产品组合,使客户能够从宽禁带(WBG)功率半导体裸芯片的动态特性的精确和轻松测量中受益。在测量夹具中实施新技术最大限度地减少了寄生效应,并且不需要焊接到裸芯片上。这些夹具与是德科技的两个版本的双脉冲测试仪兼容。

- 无需焊接或探针,即可轻松准确地测量宽禁带功率半导体裸片的动态特性
- 是德科技夹具可在不损坏裸片的情况下实现快速、重复测试
- 寄生功率回路电感小于 10nH,实现干净的动态测试波形

WBG 功率半导体器件对于构建电动汽车、可再生能源和数据中心等应用的高效、稳定的电力电子设备至关重要。它们以各种形式使用,例如分立封装器件或包含功率半导体裸芯片的功率模块。在封装之前对裸芯片

进行表征可以加速开发。然而,通过传统方法测量功率半导体裸片的动态特性需要在进行测试之前直接焊接到裸片上。这不仅操作困难,而且会引入寄生效应,从而在测量中引入误差。

全新是德科技裸片动态测量解决方案可帮助功率半导体器件工程师和功率电子工程师在芯片从晶圆上切割下来后立即进行动态表征。夹具的创新设计允许快速容纳裸芯片,并提供足够的电接触,同时防止小而易碎的裸芯片产生电弧或被损坏。独特的夹具结构不使用探测、引线键合或焊接,

最大限度地减少了测试电路中的寄生效应,并为快速工作的 WBG 功率半导体器件产生干净的测量波形。

是德科技汽车与能源解决方案副总裁兼总经理 Thomas Goetzl 表示:“随着新的 WBG 功率半导体裸芯片评估方法的推出,我们可以帮助业界加快开发高效耐用的功率半导体分立器件和功率模块。裸芯片动态特性测试曾经被认为几乎是不可能完成的,但现在通过扩展到我们的功率半导体测试产品组合,裸芯片动态特性测试成为可能。”◆



通过工业 4.0 技术推进半导体 subfab 设备维护工作

半导体行业以不懈的创新为动力，每一次进步都推动着技术和效率的发展。工业 4.0 引入了一整套智能技术，可改变半导体制造业的维护和运营安全。它将先进的数字技术整合到制造流程中，利用传感器、数据分析、自动化和实时监控等技术，所有这些对于管理半导体器件生产中所涉及的复杂而敏感的流程都至关重要。

智能技术的实施有助于显著改善 subfab 的泄漏检测和运行优化，而这正是保持行业所要求的高标准性能和安全性的关键因素。

通过对加热器技术和 subfab 流程的深入了解，Watlow 公司设计出了热模式分析和功耗监控解决方案，使工厂能够对潜在的系统效率低下提前收到预警，确保半导体设施在不影响安全性的情况下保持最佳状态运行。

通过热模式分析实现先进的泄露检测

subfab 的泄漏检测不仅仅是为了防止因设备故障而导致停机，它也是维护半导体工厂整体运营的安全性和完整性不可或缺的一部分。传统的泄漏检测方法往往是被动的，只有在问题造成严重破坏后才会被发现。然而，最近的创新已将重点转移到一种更积极主动的方法上——热模式分析（thermal pattern analysis）方法。

在 subfab 环境中，绵延数英里的管道对于各种气体和化学品的运输至关重要，因此泄漏的可能性，尤其是法兰连接等易损点的泄漏，始终是一个令人担忧的问题。利用热模式分析，半导体工厂可以实时监控这些管道的温度变化。即使是与正常温度模式的微小偏差，沿管道战略性放置的传感器也能检测到，这可能表明存在泄漏。例如，温度和功率数据的信号变化可能表明发生了泄漏，导致管道内的材料与外部元素发生反应，

从而可能导致发火自燃等危险结果。

这种方法特别有效，因为它可以在泄漏成为严重问题之前，提前很长时间就对其进行检测。早期检测不仅能防止设备损坏，还能降低安全隐患的风险，例如泄漏引发的自燃气体反应所造成的火灾。及时发现并处理这些泄漏问题，是推进 subfab 安全和效率的重要一步。

当功耗数据和热模式一起分析时，可以全面了解 subfab 的运行状况。这种双重方法可以实现更准确的诊断和及时干预。通过了解耗电的位置和方式，操作员可以确定能够提高能效的区域或可能出现潜在问题的区域。例如，如果 subfab 内某些



图1：隔热材料松动可能导致多种代价高昂的问题：过热、电力成本增加、停机。监控用电情况可以发现问题，从而采取措施。

作者：Chelsea Hogard，WATLOW公司工业 4.0 发展项目工程组组长

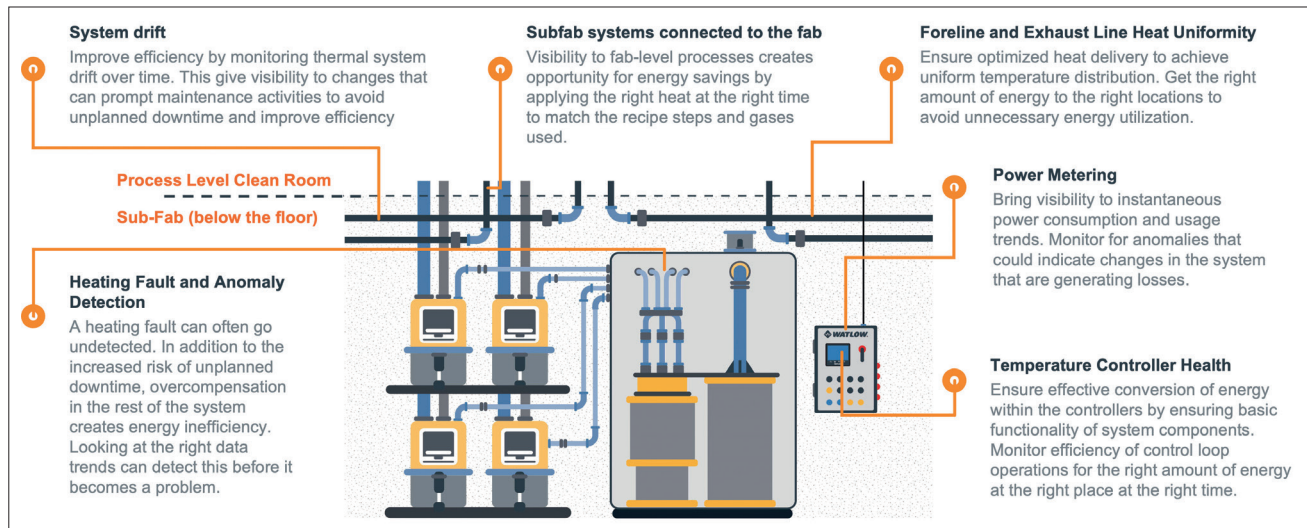


图2：监控系统，防患于未然。

区域的耗电量高于预期，则可能表明这些区域正在补偿其他地方的低效，例如加热器对位不正确或管道中存在障碍，需要额外的能量来维持所需的温度。

实时监控和预测性维护

虽然目前的系统通常依靠月度报告来分析热能和电能数据，但是未来 subfab 管理在于实时监控和预测分析。我们的目标是建立一个系统，它不仅能在情况发生时进行监控，还能在潜在问题发生之前就进行预测。

为实现这一目标，半导体设施正越来越多地采用先进的数据采集边缘解决方案，将其与现有控制系统集成。当这些面板从各种传感器收集到详细数据后，就可以在边缘开发和部署机器学习算法，对这些信息进行近乎实时的分析。这样，系统就能在泄漏或堵塞等潜在问题造成重大损失或停机之前向操作员发出警报。

向预测性维护的转变改变了半导体行业的游戏规则。通过持续监控 subfab 的健康状况并预测何时何地可能出现问题，半导体设施可以更有效地安排维护时间，减少停机时间并提高整体运营效率。此外，这种方法还能提高安全性，确保在潜在危险升级之前就将其识别出来并加以缓解。

先进泄漏检测的实际应用

真实案例研究最能说明这些创新技术的实际优势。在一个案例中，一家半导体工厂通过对热模式和功耗数据的综合分析，确定了其 subfab 管道中的重大泄漏。泄漏最初是通过功耗变化发现的，后来发现泄漏正在冷却周围的

空气，导致管道堵塞。通过及早发现这一问题，该工厂能够在堵塞成为重大问题之前安排维护，避免了代价高昂的停机时间和潜在安全隐患。

在另一个案例中，功耗数据显示 subfab 某些区域的能源使用量意外增加。经进一步调查，发现在一次维护活动后，一个加热器拔下的电源插头未插回，导致系统消耗更多电能来维持所需的温度。通过 Watlow 公司产品对数据的分析，该工厂得以迅速发现并纠正问题，优化了系统性能，避免了进一步的低效情况。

结论：提高半导体Subfab的效率和安全性

半导体 subfab 在泄漏检测和运行优化方面的创新代表着该行业在保持高效率和高安全性方面的重大进步。

通过利用热模式分析和功耗监控，在潜在问题导致代价高昂和危险的问题之前，工厂可以发现并解决它们。随着行业不断向实时监控和预测性维护方向发展，这些创新技术将在确保半导体工厂以最佳状态运行、提供行业所需的性能和安全性方面发挥越来越关键的作用。

这些技术不仅能提高效率，还能创造更安全、更可靠的半导体制造环境。随着半导体行业的不断发展，集成先进的监控和预测分析技术，对于保持推动技术进步的尖端性能至关重要。

这些技术不仅关乎提高能效，也关乎打造更安全、更可靠的半导体制造环境。随着半导体行业的不断发展，这些先进的监测和预测分析技术的集成融合，对于保持推动技术进步的前沿性能将至关重要。◆

一种获得专利的扩散粘接新方法： 不仅速度快，而且改进了工艺控制

一种创新工艺将铝和铝合金的扩散粘接时间缩短了50%之多，能耗降低了30%，并改善了质量。

航空航天、半导体、大功率电子和能源行业的合同制造商和设计师纷纷转向使用扩散键合金属来生产新的尖端创新产品。

当两种相似或不相似的金属需要出色的结构完整性，而传统的钎焊方法又无法获得高质量的结果时，扩散粘接（diffusion bonding）是实现高纯度界面的重要连接方法。这种工艺是在热压机中对拼合在一起的金属施加高温和高压，从而使固体金属表面上的原子相互穿插和结合。

如今，无论是在高需求还是高质量的工业领域，许多创新都将铝作为粘合金属中的一层或多层。铝及其广泛的合金系列是一种轻质金属，具有很强的结构完整性、高导电性和导热性、耐腐蚀性以及易于成型的延展性，因而备受推崇。

铝独特的轻质、强度和纯度使其成为各行各业不可或缺的材料。在航空航天领域，它所拥有的高“强度 - 重量比”（strength-to-weight ratio）对结构部件至关重要。对于半导体设备而言，铝能够制造出气体和流体流动必不可少的复杂、无污染管道，避免了钎焊或焊接等传统连接方法中固有的杂质。此外，铝与扩散粘接工艺的兼容性使其能在大功率电子设备、注塑模具和专用热交换器中创建复杂的冷却管道，而这些设计常常是无法采用传统的机械加工来实现的。

遗憾的是，铝的特性给传统的扩散粘接工艺带来了挑战，这种工艺需要在真空炉中向金属层施加辐射热。铝往往会反射辐射热，而且，相对于完成正确扩散粘接所必须达到的温度，铝的熔点较低。

工程师们巧妙地解决了这一问题，他们开发了一种导电加热方法，可以更快地达到粘合温度。这种新方法避免了在真空环境中对结构组件进行辐射加热的缓慢过程，为

传统的扩散粘接提供了一种替代方案。

c.BOND 机器利用精确控制的热传导（而不是辐射）来高速生产“铝对铝”或“铝对异种材料”的零部件扩散粘接。经过数年的开发研究，c.BOND 工具现在可以将扩散粘接工艺的总时间基本减半，从而将加工过程中所需消耗的能量减少多达 30%。在某些情况下，这还能提高粘接的质量。

加速铝扩散粘接

在传统的扩散粘接工艺中，真空炉向零部件表面提供辐射热。随后，热量通过组件传导，并在需要时传递到焊接表面。然而，当辐射成为主要的传热形式时，尤其是在真空温度相对较低的情况下（低于 600°C），铝的导热性会造成耗时漫长。

铝具有出色的导热性能（尤其是在较低的温度下），因此非常适合电子和汽车组件等需要高效散热的应用。

PVA TePla Industrial Vacuum Systems GmbH 是工业炉和 PulsPlasma 氮化系统全球制造商 PVA TePla AG 的子公司，该公司的产品经理 Horst-Gunter Leng 说：“铝的高反射率给传统的扩散粘接工艺带来了挑战。这就好比试图用聚光灯加热一面镜子，能量会被反射出去，而不是被材料吸收（使用传统的扩散粘接工艺时）。”

Horst-Gunter Leng 补充说，铝的扩散粘接需要在整个过程中进行出色的温度控制。为防止负载过热，传统的做法是采用缓慢的加热速度，因而导致加工时间很长。

此外，实现铝合金的成功粘接还存在加工温度范围很窄的问题。当温度超出该临界温度范围时，粘接效果就会变差。

为了克服现有的铝粘接难题，PVA TePla 及其合作伙

伴启动了一项大规模的开发计划，并提出了一个创新的解决方案：将加热元件直接集成到压板（press platens）中。Horst-Gunter Leng 解释说：“这种方法加快了粘接过程，并通过直接将热量传递给铝质组件显著地提高了效率。”

c.BOND 机器是广泛研发的结晶，其独特之处在于通过与组件相接触的顶部和底部压板实现直接传导加热。这种创新设计能够确保双向均匀加热，并在需要时于粘接界面上提供更精确的温度。

c.BOND 机器利用配备先进软件及反馈传感器的热压工具，在整个组件表面上实现了微米级精度的压力控制。这可以确保大面积的均匀粘接。此外，该系统还可对特定区域进行选择性地加热，从而防止组件的其他部分遭受不必要的热量影响。

腔体内的高真空环境能够消除污染，并防止在粘合接头处出现空洞。

Horst-Gunter Leng 表示：“与传统的辐射加热相比，[c.BOND] 将部件加热到理想粘接温度的时间缩短了一半。由于所需的加工时间减少，能源需求也下降了 30%。”他指出，还可以进行多层堆叠，从而进一步提高生产率。

c.BOND 技术的运用显著提高了粘接铝质组件的质量。该技术将负载中的温度均匀性提高了 70%，从而改善了整个表面上的粘接。此项技术还能将部件的平行度提高 50%，从而提升几何尺寸、公差和产品规格的准确度。

据 Horst-Gunter Leng 介绍，PVA TePla 开发的 c.BOND 炉技术目前已投入商用，可用于大批量生产。此项创新的炉技术采用了 PVA TePla 专有的自动粘接软件（ABP），这在业内是独一无二的。

Horst-Gunter Leng 说：“借助自动粘接软件，您只需将部件放入熔炉，输入粘接区域大小等几个参数，软件就会自动计算出最佳加工参数。操作人员无需具备专门的扩散粘接工艺知识。”

他指出，配方可以根据粘合材料的类型、材料的厚度、表面和其他因素进行修改。在加工过程中，软件会持续对其实施实时监控，并相应地调整参数。

c.BOND 设备安装在德国的一个国家研究机构，即 Günter Köhler 接合技术和材料测试研究所（ifw Jena），这是一个独立的非大学工业研究机构，从事扩散粘接、增材制造（additive manufacturing）、钎焊、焊接、激光加工、材料科学和其他粘接形式的研究。

c.BOND 系统结构紧凑，维护要求极低，可大批量生



已经开发出一种新的扩散粘接专利方法，能够显著改善速度和工艺控制，尤其适用于铝质组件。该技术通过使用先进的软件和反馈传感器，确保了粘接的精确性和一致性。

产各种工业用铝质组件。它的优势正在航空航天领域得到体现，可以用来制造出量轻而坚固的飞机零部件。在半导体行业，它提供了一种比钎焊更清洁的替代方法，消除了焊料污染的风险。另外，扩散粘接铝质散热器的需求也在不断增长，这种散热器对大功率碳化硅（SiC）电子产品的冷却至关重要。

扩散粘接也可应用于保形冷却。其概念是粘合含有机加工通道/微通道结构的金属板层。当这些通道组合在一起时，就形成了一条散热通道。目前的应用包括用于注塑和吹塑工艺中的有效热管理和模具快速冷却的电力电子设备。随着半导体和电子产品等领域的组件尺寸不断缩小，控制热量进入部件的时间并对其进行扩散变得愈发至关重要。

Horst-Gunter Leng 指出：“随着[内部通道]的特征日趋微型化，在扩散粘接过程中控制发热以避免部件出现任何变形，就变得更加重要了。如果能缩短操作的周期时间，就可以减少进入部件的热量。这将有助于制造出特征越来越精细且具有保形冷却通道的部件。”

扩散粘接在异种金属（比如铝与钢或钛）的连接方面越来越有价值。这样，工程师就能设计出具有每种金属最佳特性的部件和组件。比如，一种金属可能具有卓越的耐腐蚀性，而另一种金属则具有更高的强度。异种金属的这种“封装”（packaging）为设计带来了新的可能性，特别是在减轻设计的整体重量和在严苛环境中提高性能方面。

在连接不同的表面时，采用液相扩散粘接工艺，当粘接界面超出研发样品尺寸时尤其如此。这常常涉及到一个合金夹层，该夹层通常在接触面上熔化。当夹层包括铝时，c.BOND 可以通过控制热量来提高粘接速度。

下转第24页

氮化物的近室温外延技术

本文描述了一种新的降低氮化物外延温度的技术——动能调控分子束外延。该技术通过动能可调的中性粒子束可实现氮化物在200℃-720℃的外延。

氮化物的低温外延能力对于制备某些具有重要应用价值的材料比如高 In 组分 InGaN 和用于改善器件欧姆接触的二次外延高掺 GaN 有着无法替代的作用。此外，高温生长要求衬底能够承受高温条件，而这不可避免地限制了衬底材料的种类，无法满足基于氮化物的柔性化器件的需求。常见的几种外延生长技术中，金属有机物化学气相沉积（MOCVD）和分子束外延（MBE）通常需要在较高的温度下进行；而磁控溅射通过高能离子辅助虽然减少了对高温的依赖，但对薄膜表面有一定程度的损伤，难以获得高质量的单晶外延薄膜。

最近，日本 ULVAC 利用自由基辅助反应溅射法实现了 GaN 在 600-700℃ 衬底温度下的低温外延生长。^{*} 该法构成要素如图 1 (a) 所示，包括氮自由基源、布置在溅射阴极上的 Ga 靶和掺杂元素靶，以及衬底加热器。相比在磁控溅射等离子体源中产生的离子种类，由自由基辅助反应溅射法等离子体源产生、供应的氮自由基更具反应活性，可以将附着在衬底上的 Ga 进行充分氮化。图 1 (b) 和 (c) 分别是在 600℃ 和 500℃ 下沉积的掺 Ge 的 GaN 薄膜的透射电镜横截面图。结果显示，相较 600℃ 下沉积的薄膜，在 500℃ 下沉积的薄膜包含了大量缺

陷，说明 500℃ 不能实现高质量单晶 GaN 的外延生长。

为满足氮化物的低温外延需求，我们开发了一种动能调控分子束外延技术。该技术在等离子体辅助分子束外延（PAMBE）的基础上，通过将等离子体源和中和器相结合开发了中性束源，能够对等离子体中的带电粒子进行有效中和，使得源出口处只有

携带一定动能的中性粒子束。此外，该中性束源的特殊结构设计使得中性粒子在源出口处具有一定的动能调节范围（0.5-30eV）。动能调控分子束外延技术通过动能可调的中性粒子束可实现 GaN 在 200℃-720℃ 的外延。

动能调控分子束外延系统的构成要素如图 2 (a) 所示，包括产生带动能中性粒子束的中性束源、用于获

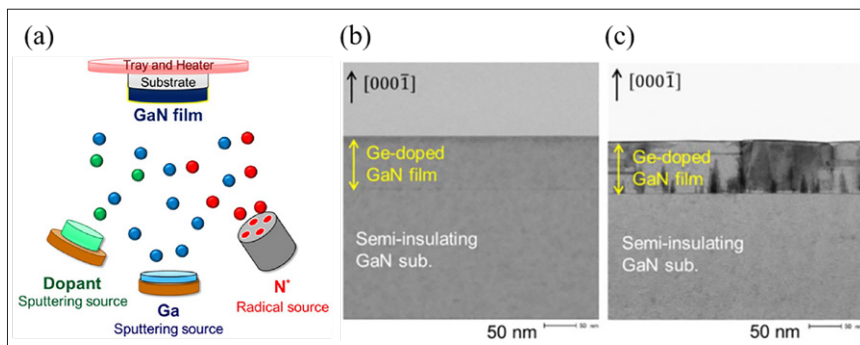


图 1: (a) 日本 ULVAC 自由基辅助反应溅射法示意图; 利用自由基辅助反应溅射法在 (b) 600℃ 和在 (c) 500℃ 沉积的掺 Ge 的 GaN 薄膜的透射电镜横截面图^{*}。

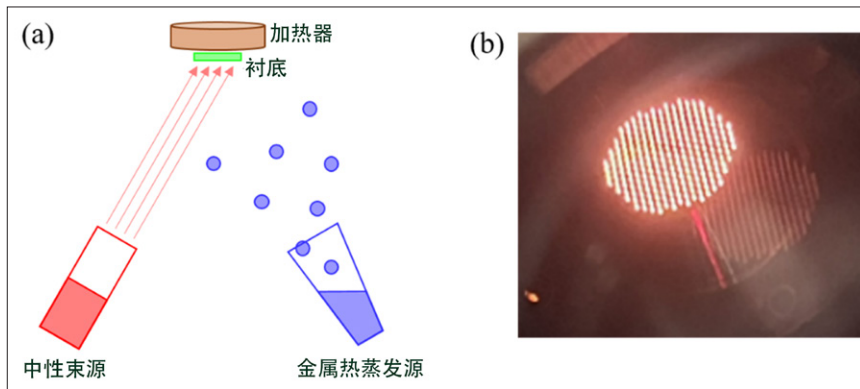


图 2: (a) 动能调控分子束外延系统的构成要素示意图; (b) 动能调控分子束外延所使用中性束源的启辉照片，启辉气体为氮气。

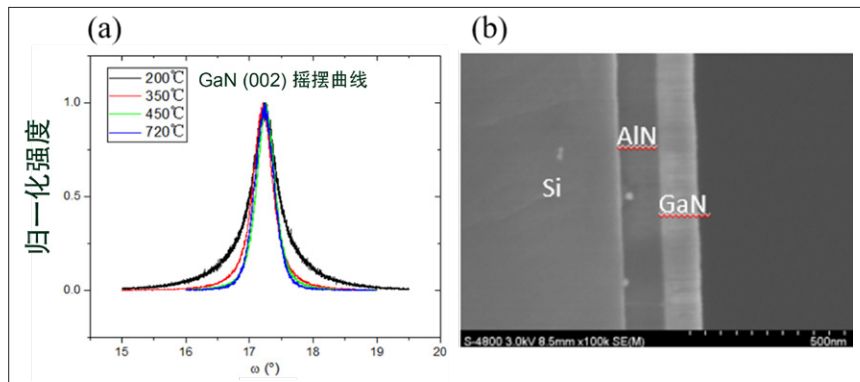


图3：(a) 在不同温度下外延的 GaN 薄膜的 (002) 面摇摆曲线；(b) 在 350°C 外延的 GaN 薄膜的扫描电镜横截面图。

得金属束流的热蒸发源以及衬底加热器。图 2 (b) 展示了中性束源的启辉照片。

这里展示的动能调控分子束外延的氮化物近室温外延能力是在配备有中性束源的费勉仪器自产的 MBE 系统上进行的，并通过 GaN 在 Si (111) 衬底上的外延实验来验证。我们首先在 Si (111) 衬底上外延了 ~100nm 的 AlN 缓冲层，然后在 AlN/Si (111) 上制备了一系列生长温度低于常规（对于 PAMBE 来说是 680-750°C）的 GaN 外延样品，同时将 720°C 下制备的 GaN 样品作为参考。对于所有的 AlN 和 GaN 外延，中性束源均在相同的射频功率 300W 和相同的氮气流量 3sccm 下工作。图 3(a) 显示了在 450°C 和在 720°C 外延的 GaN 拥有几乎完全重合的 (002) 面摇摆曲线（在 450°C 和 720°C 外延的 GaN 的 (002) 摇摆曲线半高宽均为 0.34°），说明 GaN 外延膜的晶体质量在 450°C-720°C 区间内几乎不受衬底温度的影响。这表明动能调控分子束外延能够在 450°C 实现类似高温下的单晶 GaN 外延生长，相较日本 ULVAC 自由基辅助反应溅射法在 600°C 实现的单晶 GaN 外延生长低了 150°C。在 450°C 以下，GaN (002) 的摇摆曲线有展宽

趋势，说明晶体质量随着衬底温度的降低而下降，这与低温下原子在衬底表面的不充分迁移有关。但即使在 200°C 下得到的 GaN 薄膜仍然具有较窄的摇摆曲线（半高宽为 0.5°），说明该温度下外延的 GaN 仍然拥有较高的晶体质量，动能调控分子束外延实现了 GaN 的近室温外延。图 3 (b) 展示了在 350°C 下外延的 GaN 样品的扫描电镜横截面图，可以看出在 Si 衬底上制备的 AlN/GaN 界面清晰。

在材料的外延生长中，原材料原子（即反应物）需要获得一定的能

量以克服化学反应势垒并完成其在衬底表面的充分迁移（如图 4 所示）。在传统 MOCVD 或 MBE 中，由于原材料原子本身几乎不带动能（通常小于 0.1eV），原子迁移的能量主要来自高温衬底，即通过热活化的方式来确保化学反应的进行和促进原子在衬底表面的迁移和有序排列。但这要求衬底材料能够承受高温条件，不可避免地限制了衬底材料的种类。而在磁控溅射中，这部分能量来自高能带电粒子，即通过离子辅助活化的方式促进薄膜材料的生长和重排结晶。但高能带电粒子过高的动能（通常高达几十 eV）和带电特性极易造成薄膜表面的原子移位以及刻蚀，导致晶格损伤。而我们所开发的动能调控分子束外延技术通过中和带电粒子并将粒子动能控制在适宜范围内，既能克服化学反应势垒，促进薄膜生长，又能避免带电粒子带来的晶格损伤问题，因而可以在低得多的温度下（如 450°C）实现类似高温下的外延生长。在 450°C 以下，晶体质量随温度的

下转第24页

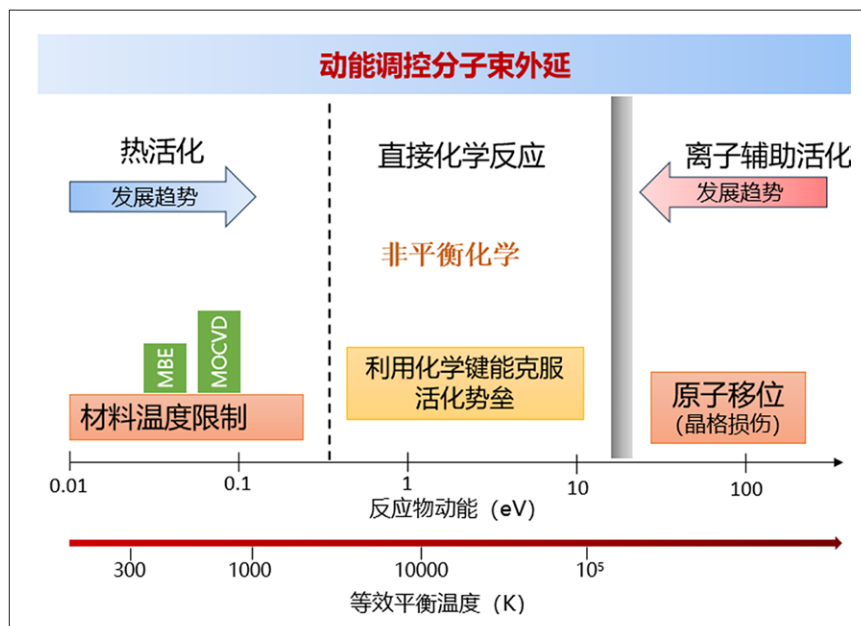


图4：动能调控分子束外延降低外延温度的原理示意图。



在半导体制造等敏感行业，整个生产过程中需要部署大量的清洗步骤。

可持续清洗解决方案促进微电子行业的绿色发展

从智能手机和电脑到汽车和医疗电子设备，微电子行业为定义现代生活的各种设备提供动力。然而，这一飞速发展的领域也面临着巨大的环境挑战，尤其是在清洗工艺方面。该行业每年使用约5亿升化学清洗剂，其中许多是 N-甲基-2-吡咯烷酮（NMP）等以石油为基础的溶剂。这些化学品虽然颇具清洗效果，但是对环境和人类健康构成了重大的风险。



幸运的是，能够很好地替代传统化学清洗解决方案的可持续替代品开始出现。水基清洗制剂既有效又环保，是传统溶剂的可行替代品。然而，尽管这些替代品有其优点，但是在微电

子领域仍未得到充分利用。现在是该行业重新考虑摆脱对侵蚀性化学品的依赖，并积极采用符合技术和环境标准的更环保解决方案的时候了。

在本文中，我们将探讨微电子行

作者：Christian Römlein，INTELLIGENT FLUIDS 公司 CEO

业所面临的独特清洗工艺挑战，研究传统溶剂的有害影响，并重点介绍水基替代品的的前景。

微电子行业独特的清洗工艺挑战

微电子行业的作业对象尺寸极其微小，制造商生产的组件是微米和纳米级的。

这种极度微型化（最明显的体现就是在单颗微芯片中纳入了数十亿个晶体管）需要同样精确的清洗工艺。这些组件上残留的任何污染物都可能降低性能或导致产品完全失效，因此清洁度是重中之重。微芯片要经过数百个单独的加工步骤，每个步骤都可能留下残留物，必须在下一个步骤之前予以清除。

例如，一颗计算机芯片可能需要多达 500 个加工步骤，几乎每个步骤之后都需要进行清洗。随着芯片变得越来越小、越来越先进，这些清洗任务的复杂性也随之增加，因此，导致业界传统上依赖于化学溶剂，认为化学溶剂能提供最有效的清洗效果。

然而，伴随着对侵蚀性溶剂的这种依赖，我们付出了巨大的代价，不仅在地球环境方面，在人类健康方面也是如此。

使用石油溶剂付出的环境和健康代价

由于甲基吡咯烷酮（NMP）、二甲基亚砷（DMSO）和丙酮等石油溶剂能够有效溶解污染物，因此长期以来一直受到微电子行业的青睐。可是，它们的广泛使用也带来了严重的后果。

NMP 等化学品一旦进入地球环境，就会造成长期危害，尤其是对水生生态系统。丙酮属于挥发性有机化合物（VOC），会造成空气污染，如

果处理不当，还会渗入土壤和水源。

除了环境问题外，石油溶剂还对处理这些溶剂的工人构成了重大风险。研究表明，长期接触 NMP 等溶剂会导致一系列健康问题，包括神经紊乱、呼吸系统问题和皮肤过敏。有些化学物质还会导致生殖健康问题，接触这些化学物质的妇女会面临更高的婴儿先天性缺陷风险。

尽管存在风险，但是舆论仍普遍认为，只有强效的传统化学品才能达到清洗微电子产品所需要的精度。然而，这种想法正在日益受到绿色环保型替代品的挑战，后者兼具有效性和安全性。

绿色替代品：水基清洗制剂

水基清洗剂正逐步成为石油溶剂的一种前景广阔的环保型替代品。德国深科技公司 Intelligent Fluids 等厂商在开发这些解决方案方面处于领先地位，他们提供的产品可以替代传统溶剂，且不影响清洗性能。

这些水基制剂使用微乳剂，后者是水、油和表面活性剂的稳定混合物。

微乳剂通过物理机制（而非化学反应）发挥作用，形成胶束（一种微小的网状结构）以清除表面的污垢和残留物。这种物理去除过程使清洗作用既有效又温和。

Intelligent Fluids 等公司的一项重要创新在于，他们有能力稳定这些微乳液，以适合工业用途。其专有配方能够在各种温度和储存条件下保持这些水基溶液的有效性，从而解决了一直以来阻碍水基清洗剂推广使用的一些局限性。

Intelligent Fluids 的代表性配方由水、油、表面活性剂和少量添加剂（如活化剂或香料）组成。通过精心平衡各种成分，水基清洗剂可以达到与侵蚀性溶剂相似的效果，但是对环境和人类健康的不利影响却大大降低。

在微电子学中的应用：光刻胶剥离和金属剥离

水基清洗剂正在半导体制造的各个阶段进行测试和应用，其中有两个关键应用尤为突出，就是光刻胶剥离和金属剥离。



水基清洗制剂可用于光刻胶剥离和金属剥离。

Intelligent Fluids等公司的一项重要创新在于，他们有能力稳定这些微乳液，以适合工业用途。其专有配方能够在各种温度和储存条件下保持这些水基溶液的有效性，从而解决了一直以来阻碍水基清洗剂推广使用的一些局限性。

在半导体生产过程中，光刻胶材料被涂抹在衬底上，然后暴露在光线之下，以形成精确的图案。在形成所需的图案后，必须彻底清除剩余的光刻胶，以确保后续加工步骤有一个洁净的表面。任何残留物都会损害芯片的功能。

传统溶剂通过化学方法分解光刻胶材料，从而将其去除。与此相反，Intelligent Fluids 开发的水基制剂则运用了其相流体技术，以物理方式去除光刻胶。这样就能实现有效清洁，而不会产生因使用传统溶剂而引发的健

康和环境风险。

同样，在金属剥离工艺中，必须去除图案光刻胶上的金属层。水基制剂能够分解底层抗蚀剂，从而将金属层去除干净，且不会产生有害的化学物质。这种方法降低了对精密零组件和环境造成化学损害的风险。

微电子行业的绿色未来之路

微电子行业正处于一个转折点。虽然石油基溶剂长期以来一直是清洗制剂的默认选择，但是，它们的使用对环境 and 人类健康造成的不良后果已

经不容忽视。水基清洗剂是一种可行、可持续的替代品，符合微电子行业要求的严格精度标准。

实际应用表明，这些绿色环保替代品可以提供与传统溶剂同等的效果，同时大大降低了使用后者带来的风险。随着各家公司和监管机构对这些创新的认识不断加深，采用可持续清洗解决方案已呈必然之势。对于微电子行业来说，使用水基清洗剂不仅是一种负责任的选择，而且也是一种切实可行的选择。这项技术已经准备就绪，并已投入使用。微电子作为世界上最重要的工业之一，它对环境的不利影响因此有机会大幅减少。

微电子行业向使用可持续清洗解决方案的转变不仅仅是为了遵守相关法规，更是为了引领行业迈向更环保、更健康的未来。通过采用水基清洗溶液，微电子行业能够不断创新，同时保护人类健康和人类赖以生存的地球。◆

上接第19页

尽管 c.BOND 技术旨在改进铝的扩散粘接，但是，PVA TePla 仍可根据客户定制合金（包括铜）的具体需求设计机器，铜在专用热交换器或微电子行业产品中有着广泛的应用。Horst-Gunter Leng 表示，公司正在探索对

c.BOND 稍作修改的可选方案，以达到比目前最高 800°C 更高的温度。

随着铝扩散粘接工艺在各行各业的重要性日益凸显，合同制造商和设计工程师必须掌握有关的最新进展，以保持竞争力。通过采用适合铝和其

他材料的快速、节能型扩散粘接技术，他们可以提高产量、降低成本、改善或实现全球可持续发展目标，并提高盈利能力。◆

上接第21页

下降是因为动能调控分子束外延所提供的中性粒子的动能无法满足原子在衬底表面充分迁移所需的能量。通过调整中性束粒子的动能，有望在更低温度下实现 GaN 的高质量外延。

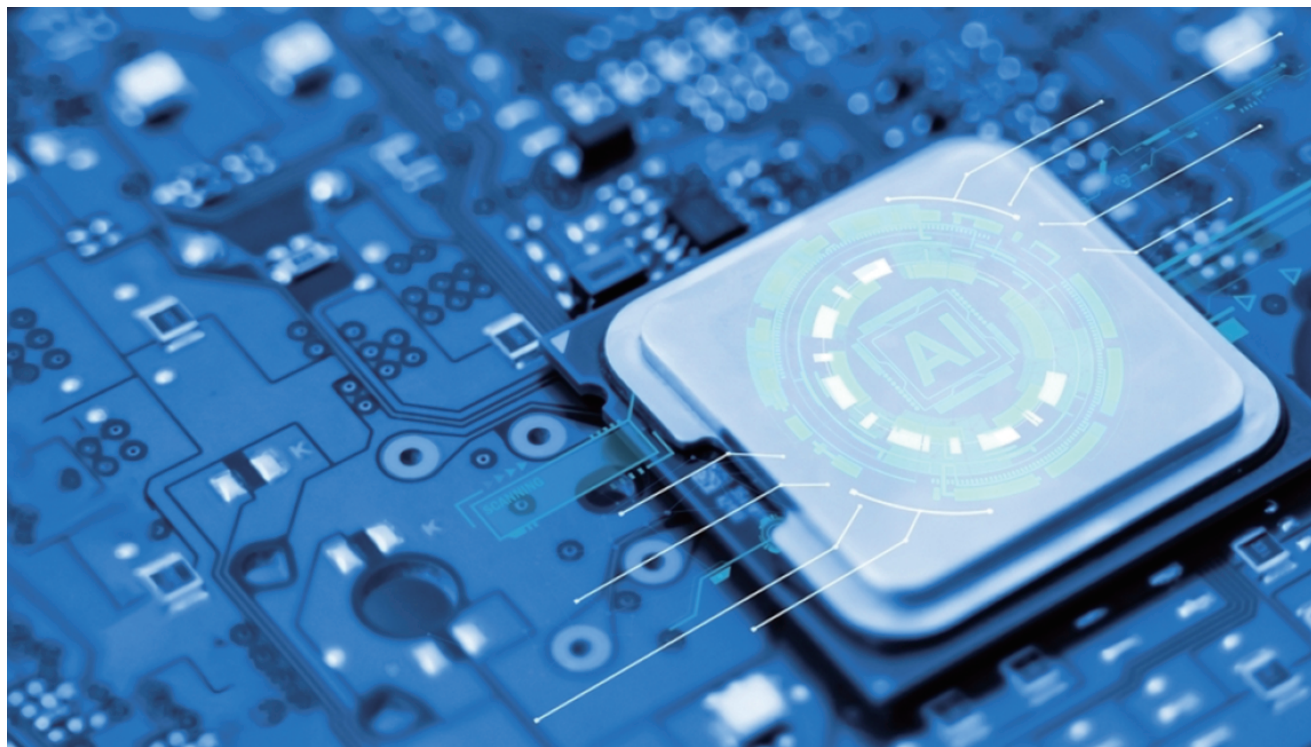
文中以 GaN 材料的低温外延生长为例展示了动能调控分子束外延的作用，然而其实际适用材料和应用范围不限于此。考虑到不同材料具有不

同的化学反应势垒，通过更换工艺气体和灵活调控中性粒子束的动能大小可以满足不同材料体系的外延生长（如其他氮化物和氧化物），大幅扩展外延生长的材料范围。除了实现更低的外延温度、扩大掺杂范围和降低对衬底材料的需求，动能调控分子束外延技术在表面界面的高效低损伤处理方面也将发挥广泛的作用。◆

致谢：本工作受到国家重点研发计划资助（项目号：2022YFF0707600）、上海市经信委项目（编号：240132）的研发基金支持

参考文献

* S. Yamada 等, Appl. Phys. Express 17 036501(2024)



让AI与HBM相得益彰

为了满足人工智能的发展需要, Lam Research推出了先进的沉积、蚀刻、清洗及抛光等技术解决方案,旨在应对人工智能对于高带宽内存的需求挑战。本文是《Silicon Semiconductor》编辑 Philip Alsop (PA)对 Lam Research 公司副总裁兼湿法设备技术系统总经理 Aaron Fellis (AF)的特别采访。

PA : 在人工智能 (AI) 时代我们需要高带宽内存 (HBM)。为什么 HBM 对图形处理器 (GPU) 的性能以及 AI 的发展至关重要?

AF : GPU 对生成式 AI 至关重要,但支持 GPU 的半导体创新也同样重要,尤其是 HBM。

GPU 已成为 AI 训练的标准。然而,从云到边缘的推理正在传统 CPU 架构和加速器之间制造紧张关系,因为各公司正试图平衡基础设施的性能和效率。这些解决方案都面临着将庞大的数据集输入到极其快速的处理单元中的挑战。

随着 AI 工作负载的增加,传统内存可能会出现瓶颈,而 HBM (一种较新的高速内存) 可提供更大的带宽和更高的能效,以近乎闪电般的速度传输这些数据集。在

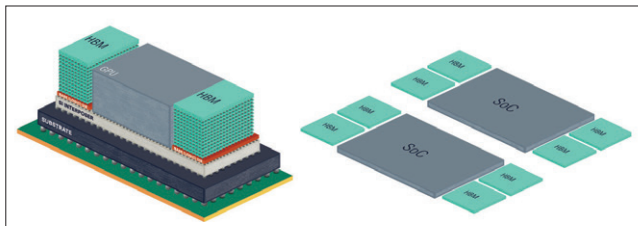
HBM 芯片堆栈中,多层 DRAM 芯片垂直集成,实现了执行复杂 AI 任务所需的快速数据交换。

与传统内存相比, HBM 利用 2.5D 和 3D 堆叠以及尖端封装技术提高了内存带宽,同时实现了更高的能效和更小的芯片面积。

PA : 请问 2.5D 和 3D 堆叠以及“尖端”封装是如何改善内存带宽并提高效率的?

AF : 半导体技术的突破,尤其是先进封装技术,使得新型 HBM 存储器的诞生成为可能,以满足生成式 AI 应用的性能和独特需求。

先进封装技术,如 2.5D 和 3D 集成,可以实现内存和逻辑芯片的堆叠。堆叠依赖于硅通孔 (TSV) 和微凸点。



在HBM芯片堆栈中，多层DRAM芯片垂直集成，以实现复杂AI任务所需的快速数据交换。

芯片堆叠中的 TSV 越多，互连密度就越高。这也意味着数据传输速度可以更快，效率更高。

但是，随着 TSV 越来越多，其开口会变得越来越细小。这时，开口的相对高度（即纵横比）会增加，这就使得 TSV 电镀填充工艺变得更具挑战性。TSV 结构的正确填充和微凸点的形成对于堆叠 HBM 芯片至关重要。

同时，目前的 2.5D 技术是在硅中介层上使用多层亚微米金属线，以水平方式连接多个芯片，并尽可能地缩小间距，以减少布线。这些金属线是通过基于晶圆厂的金属镶嵌工艺形成的，该工艺包括介电层沉积、蚀刻、清洗、金属沉积以及最后的抛光。

PA：新型 HBM 需要一系列复杂的制造步骤，请介绍一下？

AF：HBM 有许多优点，但也面临技术挑战。在 HBM 的制造过程中，必须以极高的精度和可重复性来制造极其狭窄且高耸的特征。

例如，TSV 需要许多复杂困难的步骤处理。采用基

于等离子体的深硅蚀刻工艺工具，选择性地去除硅，以精确形成均匀的高纵横比通孔。

在清洁并沉积氧化物材料和阻挡层种子之后，通过先进的铜电镀工艺填充微型通孔，同时要确保填充无空洞。在每一个步骤中，精密的工具和设备都发挥着重要作用，帮助实现稳定且可预测的良率。

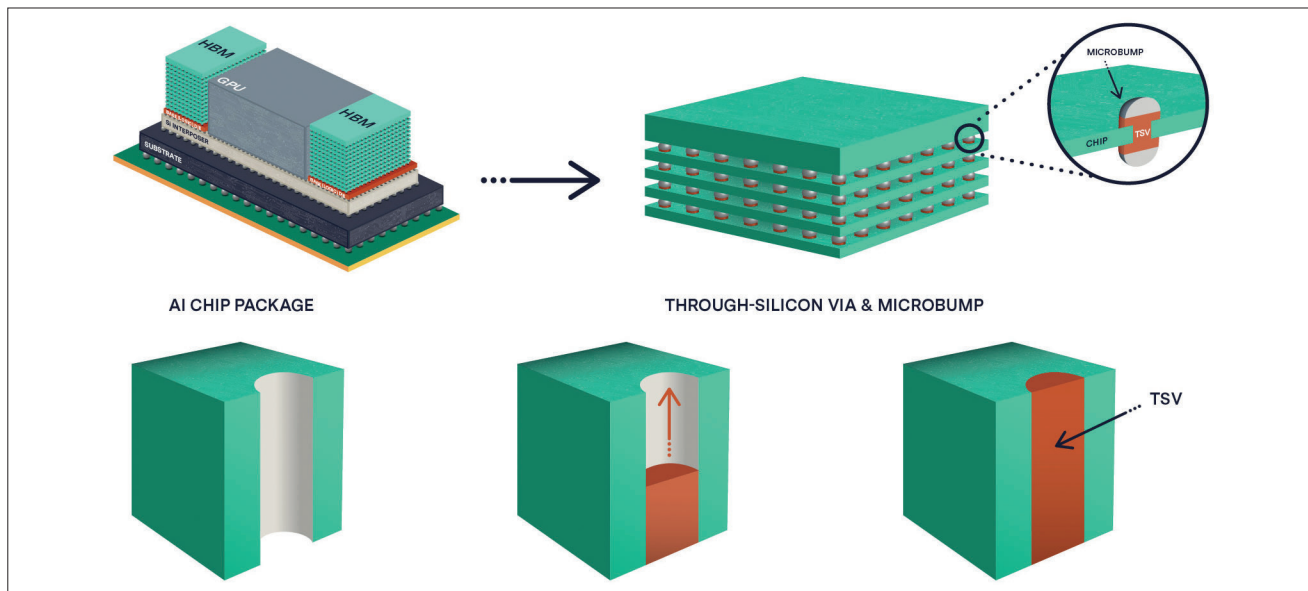
Lam Research 在先进沉积、蚀刻和清洁封装技术方面拥有丰富的专业知识，可帮助芯片制造商应对制造挑战，确保 HBM 器件满足 AI 应用所需的严格性能和可靠性标准。

TSV 和微凸点对于实现内存芯片的高密度三维堆叠至关重要。TSV 形成的主要步骤包括：(i) 均匀的深硅通孔蚀刻 (ii) 快速、无空洞、自下而上的铜电镀填充。

PA：在 2.5D 和 3D 堆叠中，使用了哪些 Lam 工具和技术？

AF：Lam 公司为先进封装以及 2.5D 和 3D 堆叠提供了业界领先的解决方案组合。其中包括 SABRE® 3D, Striker® 和 Syndion®, 可以实现原子级的精度和均匀性。这些工具是实现 HBM 制造的关键推动因素，所有主要内存制造商都在使用。

- SABRE® 3D 电镀填充工具用于对 TSV 进行金属化处理。它用铜填充蚀刻后的通孔，确保堆叠层之间有可靠的电气连接。该工艺对于保持 HBM 器件的性能和可靠性至关重要。



TSV 和微凸点对于实现内存芯片的高密度三维堆叠至关重要。TSV 形成的主要步骤包括：(i) 均匀的深硅通孔蚀刻 (ii) 快速、无空洞、自下而上的铜电镀填充。

HBM等先进封装解决方案是芯片制造商优化器件性能、功耗、外形尺寸和成本的关键方法。但要推动AI时代发展，HBM在芯片设计和制造工艺方面的不断创新是必不可少的。

- Striker® 原子层沉积 (ALD) 技术可提供氧化物衬里，这对于 TSV 来说是必不可少的，因为它有助于隔离 SABRE 3D 沉积的铜。Striker® 还通过使用快速循环和 ALD 等级的组件、软件和控制来缩短工艺时间。
- Syndion® 蚀刻技术采用深反应离子蚀刻，能以较高的蚀刻速率产生平滑、可重复的轮廓。在制造过程中快速交替工艺 (RAP) - 快速切换蚀刻和沉积步骤 - 能够在保护侧壁的同时，创建深且均匀的 TSV。

PA：像 Lam Research 这样的工具供应商是如何进行封装创新技术开发，并与客户合作交付这些技术的？

AF：利用我们在蚀刻、沉积和清洁工艺方面的专业

知识，Lam 不断与芯片制造商合作，了解他们的需求，并提供创新的产品、技术和解决方案，以应对他们的微缩挑战。我们确定最高效、成本最优化的方法，以最快的速度满足客户的技术要求。这使他们能够最有效地利用工厂的资本设备，并加快实现其 HBM 产品路线图的能力。

PA：我们已经谈了很多。如果可以的话，请总结一下，您如何看待半导体行业，尤其是 Lam Research 在 AI 时代的发展机遇？

AF：HBM 等先进封装解决方案是芯片制造商优化器件性能、功耗、外形尺寸和成本的关键方法。但要推动 AI 时代发展，HBM 在芯片设计和制造工艺方面的不断创新是必不可少的。Lam 在蚀刻、沉积和先进封装方面的专业知识和创新使其能够很好地满足 HBM 的制造要求。◆

3D堆叠技术推动嵌入式AI在图像传感器中的应用

SI Sensors 公司报告称，在设计下一代图像传感器方面取得了进展，新型设计的传感器除了能够进行图像处理外，还能在传感器单元内实现高速人工智能 (AI) 处理。

传统图像传感器的设计主要侧重于捕捉高质量的图像，并将原始数据传输到中央处理单元进行分析。然而，图像传感器中嵌入式 AI 的出现，为捕捉和处理视觉数据提供了一种全新的变革性的方式。

通过将 AI 直接集成到传感器中，这些传感器现在能够在芯片上执行复杂的数据处理任务，既降低了延迟和功耗，又提高了性能。在高速成像应用中，嵌入式 AI 可用于处理数据，显著减少了图像传感器的输出量。事实证明，这可以缓解传输瓶颈问题，并实现更高的帧率和动态范围。通过在本地处理大部分数据，可最大限度减少向外部传输敏感信息的必要性。这在健康和医疗等领域尤其有价值，因为在这些领域中，数据保护至关重要。

SI Sensors 公司总经理 Philip Brown 评论道：“图像传感器中嵌入式 AI 发展的重大进步之一是三维堆叠技术

的应用。这种技术允许在图像传感器像素阵列下集成各种组件，如模数转换器、存储元件和信号处理电路。通过缩短线路长度并提高集成密度，这种方法可显著提升性能。”

他补充道：“在我们目前的发展阶段，我们正在智能手机、自动驾驶汽车、工业自动化、医疗保健以及高速成像等应用领域寻找合作伙伴，这些领域能够从我们图像传感器技术中嵌入式 AI 所带来的众多优势中获益。”

SI Sensors 公司是 Specialised Imaging 公司的一个分公司，专注于创新型 CMOS 图像传感器的设计与开发。该公司的目标是利用其内部广泛的知识产权和设计经验，结合最新的软件工具，在全球范围内采用最合适的晶圆代工技术来设计新型图像传感器。该公司提供的全方位 CMOS 图像传感器设计服务包括电路设计、像素优化、模拟、布局、验证及流片。此外，为确保性能、质量的一致性和可靠性，SI Sensors 公司还按照 EMVA 1288 等行业标准执行从特性分析到量产测试的详细电子光学测试。◆



面向下一代芯片制造的自主调度技术

在当今日益电子化的世界中，微芯片几乎是我們使用的所有东西背后的大脑。随着它们对我们的生活变得越来越重要，我们依靠芯片制造商来应对需求的波动，并跟上芯片设计的进步。

然而，进步的一个主要障碍是芯片生产的复杂性。一个典型的工艺可能需要数百个步骤，产生的制造选项比宇宙中的原子还要多。这不仅会阻碍灵活性，也阻碍进步，使晶圆厂无法发挥其潜力。

那么，如果有一种更智能的方式来运营晶圆厂呢？一种全新的解决方案，让创新型芯片制造商能够战胜复杂性，推动进步。

Flexciton 公司的自主调度技术 (Autonomous Scheduling Technology, AST) 可以为您完成繁重的工作，从而增强决策能力。它会分析并自动从数万亿种可能性中选择最佳制造选项，从而更轻松、更快速地充分发挥晶圆厂的潜力。

Flexciton 致力于助力芯片制造商为未来赋能，其技术简化了今天的芯片制造，开启了明天的大门，为高效、盈

利和可持续地推动进步创造了机会。

未来 6 年，半导体行业将获得约 1 万亿美元的投资。在人工智能、自动驾驶汽车、电动汽车和高性能计算迅速崛起的推动下，半导体行业将迎来巨大的发展机遇。为支持这一预期增长，SEMI 预计未来几年全球将新建 100 多座晶圆厂。

然而，一个巨大的挑战迫在眉睫：劳动力问题。现在在美国，三分之一的半导体工人年龄在 55 岁或更高年龄。年轻一代越来越多地被谷歌、苹果和 Meta 等巨头吸引，因为它们拥有令人兴奋的技术创新和品牌声誉，这使得半导体雇主难以与之竞争。根据麦肯锡公司 2024 年报告，近年来，半导体行业员工离职的可能性上升了 13%。

为了有效运行这些新的晶圆厂，业界必须找到一种解决方案。自主晶圆厂 (Autonomous Wafer Fab) 这种几乎无需人工干预且生产流程无缝衔接的自优化设施，越来越有可能成为芯片制造商所需要的解决方案。这一愿景长期以来一直是行业所期待的，如今由于当前的劳动力压力，

需要加快实现。

值得庆幸的是，人工智能（AI）和物联网（IoT）的快速发展，意味着自主晶圆厂不再是一个遥不可及的梦想，而是一个可以实现的目标。在本文中，我们将探讨自主晶圆厂将会是什么样子、我们如何实现这一里程碑、预期成果以及达到这一变革状态的时间表。

自主晶圆厂是什么样子？

想象一下这样一座晶圆厂，其整个生产流程无缝连接且自我调节，能够自主做出决策。在这个自动化的环境中，先进的算法、物联网、人工智能和优化技术协同工作，优化制造过程的每一个环节。从日常生产决策到产品质量控制和故障预测，每一步都经过精心协调，无需人工干预。

自主晶圆厂的主要特点：

智能调度和规划：自主晶圆厂的核心在于其调度和规划能力。通过利用诸如自主调度技术（AST）等先进手段，工厂能够详尽评估数十亿种潜在场景，并确保生产过程的最优路径。这能确保所有约束条件和变量都被考虑在内，从而在产量、周期时间和准时交付方面取得更出色的成果。

实时适应性：自主晶圆厂配备了传感器和物联网设备，可持续监控生产环境。这些设备可以将实时数据馈送到调度系统中，使其能够根据任何变化或中断来动态调整日程安排和生产计划。

数字孪生：数字孪生技术通过存储来自传感器和 IoT 设备的大量数据来镜像实时操作。这种标准化的数据模式能快速引入新技术，并提高可扩展性。此外，通过仿真生产流程，它有助于在晶圆厂的特定限制条件下对可能的场景（如 KPI 调整）进行建模。

预测性维护：预测性维护系统将在设备故障发生之前预测到设备故障，从而减少停机时间并延长关键机器的使用寿命。这种积极主动的方法确保了晶圆厂在效率达到峰值的同时，中断情况降至最低。机器人将执行这些系统确定的物理维护任务，而当需要人工干预时，远程维护功能将使技术人员能够远程诊断并解决问题，无需亲临现场。

控制室：在自主晶圆厂中，决策是由数据和算法驱动的。互联系统能够以无与伦比的精度对竞争目标之间进行权衡，例如最大化产量同时最小化周期时间。也就是说，诸如晶圆厂总体目标之类的关键决策可能仍然留给“控制室”里的人，他们可能在晶圆厂现场，也可能在 9000 公里外……

如何实现自主晶圆厂？

要实现自主晶圆厂的愿景，需要采取多方面的方法，整合技术创新、战略投资和文化转变，以拥抱自动化。以下是铺平道路的关键步骤：

稳健的路线图：组织内的所有晶圆厂都需要有一个共同的愿景。需要制定关键的里程碑，通过在每个阶段采取明确的行动，以帮助每个晶圆厂完成过渡。SEMI 的智能制造路线图提供了这方面的启示。

投资新技术：走向自主性的关键一步是投资最新技术，包括 AI、机器学习、自主调度技术（AST）和 IoT。这些技术构成了自主晶圆厂的支柱，可实现智能规划和调度、实时监控和自适应控制。

数据集成和分析：自主性的一个关键方面是将晶圆厂内各种来源的数据的无缝集成。通过利用大数据分析，晶圆厂不仅可以深入了解其运营情况，而且还将获得正确的数据来支持未来的自主系统。

培养熟练的劳动力：虽然目标是最大限度地减少人为干预，但半导体行业仍需要能够管理和维护先进系统的熟练专业人员。投资于员工培训和发展以填补当前的空白，对于确保平稳过渡至关重要。

协作生态系统：即使是最大的芯片制造商也不太可能完全依靠自己的力量实现自主晶圆厂。与技术供应商、研究机构和行业合作伙伴的合作将是关键。共享知识和最佳实践可以加速自主解决方案的开发和部署。

试点项目和逐步实施：向自主晶圆厂的过渡应该循序渐进。从试点项目开始，在受控环境中测试和完善技术，将有助于发现挑战和展示优势。逐步实施可实现持续改进和调整。

晶圆厂将如何受益？

向自主晶圆厂过渡将带来众多好处，彻底改变半导体制造业。

提高效率：通过优化生产计划和流程，自主晶圆厂将实现更高的产量和更好的资源利用率。这意味着提高了生产能力并降低了运营成本。

更好的质量：先进的工艺控制和实时适应性可确保产品质量的一致性，最大限度地减少缺陷和返工。这将提高良率和客户满意度。

减少停机时间：预测性维护和自动决策可减少设备故障和生产中断。因此，正常运行时间更长，运营更可靠。

提高灵活性：自主晶圆厂可以快速适应不断变化的市场需求和生产要求。这种灵活性使制造商能够快速响应客户需求，并在充满活力的行业中保持竞争力。

节约成本：自主运营带来的高效率可显著节约成本。降低劳动强度、减少材料浪费和优化能源消耗有助于提高生产过程的成本效益。

自主晶圆厂何时才能成为现实？

实现自主晶圆厂的进程正在顺利进行，但完全实现的时间表取决于多个因素，包括技术进步、行业采用和投资水平。不过，预计在未来十年内会取得重大进展。

● 短期（1-3 年）：

实施试点项目，不断采用 AI、IoT、AST 等先进技术。逐步改进调度、流程控制和维护实践。

● 中期（3-7 年）：

在全行业更广泛地采用自主解决方案。

增强数据集成和分析能力。

培养支持自主运营的熟练劳动力。

● 长期（7-10 年及更久）：

完全实现自主晶圆厂，尽量减少人工干预。

建立自主制造的全行业标准和最佳实践。

持续创新和完善自主技术。

总结

通向自主晶圆厂的道路是一条变革之路，它为半导体行业带来了巨大的潜力。通过采用先进技术、促进合作并投资于未来的劳动力，晶圆厂可以实现前所未有的效率、质量和灵活性。自主调度技术作为一个关键支柱，将在这一演进过程中发挥至关重要的作用，推动整个行业迈向无缝生产、自我优化和真正自主的未来。自主晶圆厂的愿景并非遥不可及，而是即将成为现实，它将重新定义半导体制造业的格局。

Flexciton 发布了自主调度技术 (Autonomous Scheduling Technology) 白皮书，感兴趣的读者可访问：<https://www.flexciton.com/resources/white-paper-autonomous-scheduling-technology> ◆

面向硅光子生产的双面晶圆探针测试系统

泰瑞达 (Teradyne) 已与全球光子学组装和测试生产解决方案领域的领先企业菲康泰克 (ficonTEC) 达成合作，宣布推出首款用于硅光子学应用的大批量双面晶圆探针测试单元。

这一创新解决方案旨在满足因共封装光学 (CPO) 应用而不断增长的对硅光子晶圆高通量电光测试的需求。

这款新型测试单元将泰瑞达的 UltraFLEXplus 自动测试设备和编程环境 IG-XL，与菲康泰克先进的光学对准、探针测试以及晶圆处理技术相结合。这一合作使得在生产环境中对混合键合的光子集成电路 (PIC) / 电子集成电路 (EIC) 晶圆进行测试成为可能。

泰瑞达致力于为硅光子学和共封装光学测试打造一个开放的生态系统，与菲康泰克的合作让泰瑞达能够在当下将一款可投入生产的系统推向市场。通过确保 UltraFLEXplus 与行业领先的光学仪器、探针台、对准系统和探针卡兼容，泰瑞达为客户提供一个无缝且灵活的测试环境。

泰瑞达产品测试部门总裁 Regan Mills 表示：“在泰瑞

达，我们相信合作与创新的力量。我们与菲康泰克的合作使我们能够推出首款用于硅光子晶圆测试的大批量双面测试单元，以满足行业快速变化的需求。我们对开放生态系统的承诺确保了客户能够选择适合他们的解决方案。”

双面晶圆探针测试单元的推出预计将对硅光子学和共封装光学市场产生重大影响。通过实现对硅光子晶圆的高通量电光测试，该解决方案满足了在晶圆被切割并封装成共封装光学器件或可插拔收发器之前，对已知合格芯片进行测试的关键需求。

泰瑞达的 UltraFLEXplus 与菲康泰克的光学对准和探针测试技术的整合，确保了该测试单元能够在现有的晶圆厂和外包半导体组装测试 (OSAT) 的测试车间基础设施内高效运行，提供了一个全面且经济高效的解决方案。

菲康泰克公司副总裁 Stefano Concezzi 表示：“菲康泰克很荣幸能与泰瑞达合作，为快速发展的市场开创这一创新解决方案。我们的共同努力独特地结合了两家公司的一流能力，为硅光子学和共封装光学制造工作流程提供了一个高通量、经济高效的测试解决方案。” ◆

第 4 代碳化硅技术： 重新定义高功率应用的性能和耐久性

简介

Wolfspeed 专为高功率电子应用设计推出第 4 代碳化硅 (SiC) MOSFET 技术。基于在碳化硅创新领域的传承, Wolfspeed 定期推出尖端技术解决方案, 重新定义行业基准。在第 4 代发布之前, 第 3 代碳化硅 MOSFET 凭借多项重要设计要素的平衡, 已在广泛用例中得到验证, 为硬开关应用的全面性能设定了基准。

市场上的某些厂商只关注特定品质因数 (FOM), 如导通损耗、室温下的 $R_{DS(on)}$ 或 $R_{DS(on)} \times Q_g$, 而 Wolfspeed 则采用了一种更为广泛且综合的方法。通过同时优化导通损耗、开关性能、稳定性和可靠性, Wolfspeed 的设计理念可确保全方位的性能。第 4 代 MOSFET 延续了这一设计理念, 全面提升了各项指标, 在保持 Wolfspeed 引以为傲的坚固耐用的同时, 简化了系统设计, 提高了易用性。

第 4 代 MOSFET 主要面向高功率

汽车、工业和可再生能源系统, 为碳化硅技术带来了新的范式。此类器件为产品开发的长期路线图提供了灵活的基础, 包括应用优化的裸芯片、模块和分立式产品等。基于第 4 代技术的每项设计都关注三个性能向量: 整体系统效率、卓越的耐久性、较低系统成本。所有这些特性都旨在助力设计人员实现前所未有的性能和价值。

性能效率提升

导通损耗的重要性

尽可能减少导通损耗, 对于电动汽车 (EV) 中的牵引逆变器、工业电机驱动器以及人工智能 (AI) 服务器电源等关键应用至关重要。这些系统在宽负载范围内运行, 通常会在低功率水平下运行较长时间。减少导通损耗可提高整个负载范围内的效率, 从而延长电动汽车的续航里程, 提高 HVAC 系统的能效评级, 节约服务器集群的冷却成本 (因为减少了散热需求)。

此外, 较低的导通损耗还可优化

半导体材料的使用, 提高给定应用的功率水平或降低其材料成本, 同时实现效率和成本的双重效益。

硬开关应用

在硬开关应用 (如工业电机驱动器、AI 数据中心电源以及并网系统的有源前端 (AFE) 转换器) 中, 减少开关损耗至关重要。

此类应用在不同负载下运行。它们有时会在短时间内以非常高的功率运行, 但在使用寿命的大部分时间里都处于较低的功率水平。从效率视角来看, 最大限度减少导通损耗有助于提高整个负载范围内的效率。例如, 在电动汽车中, 这意味着同样的电池可实现更长的行驶里程或续航时间。

减少开关损耗有两大优势。首先, 客户可以提高开关频率, 从而实现更小、更轻、更具成本效益的磁性元件和电容器。其次, 客户还可通过减少散热来优先提升效率, 并通过使用更小的散热器或更低的冷却需求来

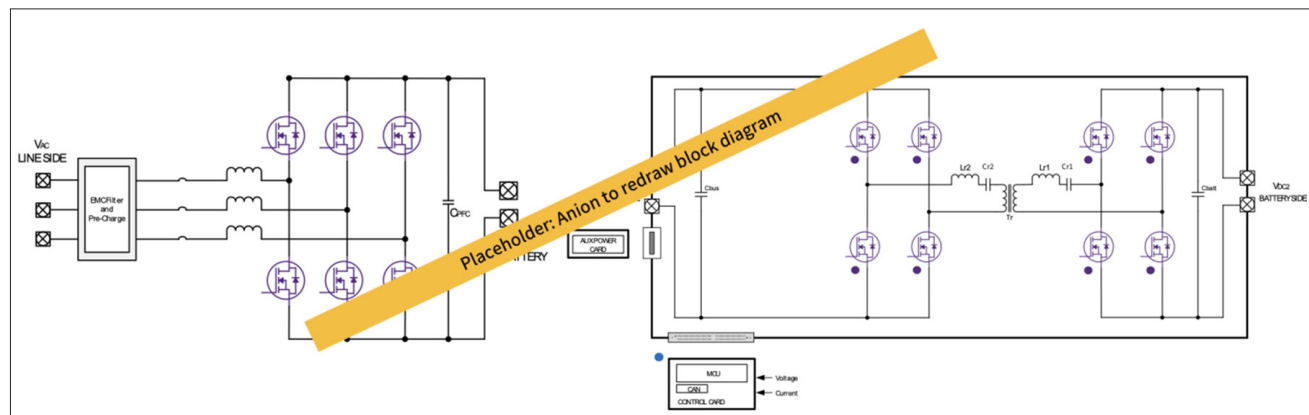


图1: 3 级直流快速充电机的简图

降低系统级成本。以上优势并不相互排斥，客户可以根据其特定需求灵活地优化设计。

在图 1 所示的 3 级直流快速充电机中，AFE 将转换器连接到电网。它将电网电压转换为稳定的直流链路电压，用于给电池充电。与体积更大、效率较低的 IGBT 相比，碳化硅分立器件和功率模块可减少损耗并提高效率，因为它们能够在更高的频率和温度下工作，同时减少了散热需求。

第 3 代 MOSFET 与第 4 代 MOSFET 性能对比

在所有电力电子应用中，无论

是硬开关还是软开关，最大限度减少导通损耗都很重要。导通损耗主要取决于功率 MOSFET 的导通电阻 ($R_{DS(on)}$)，而该导通电阻则与应用所需的电流水平和由此产生的结温有关。在满额定负载电流下，MOSFET 的工作温度通常接近其最高额定工作温度（或因设计裕度而略低）。MOSFET 的型号选择和最终的系统半导体 BOM 成本由该高温 $R_{DS(on)}$ 决定。Wolfspeed 第 4 代 MOSFET 在高温下的导通电阻可降低高达 21%，而在较低温度下，该电阻降低幅度更大。在电流水平和结温较低的轻负载下， $R_{DS(on)}$ 随温度的降低直接提

高了系统效率，并延长了工作寿命。

为了说明第 4 代 MOSFET 在开关损耗和易用性方面的改进，应考虑半桥开关事件的波形。在第 3 代器件所具有的出色性能和可靠性基础上，Wolfspeed 第 4 代 MOSFET 通过改进提高了开关速度并减少了电压过冲，这得益于体二极管性能的提升和设计的优化。第 4 代器件的这些改进建立在第 3 代的强大基础之上，确保了在产品组合过渡期间，即便是在要求严苛的应用中，也能保持一贯的卓越表现。

图 2 和图 3 显示了 1200 V 第 4 代器件与第 3 代等效器件在动态开关性

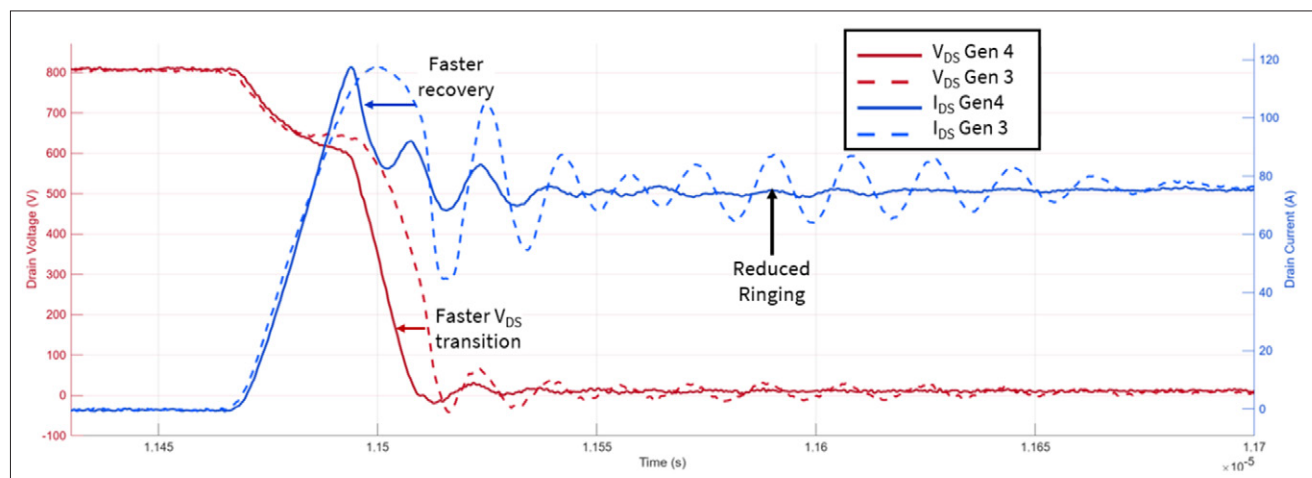


图2：第 3 代和第 4 代 MOSFET 的导通波形对比

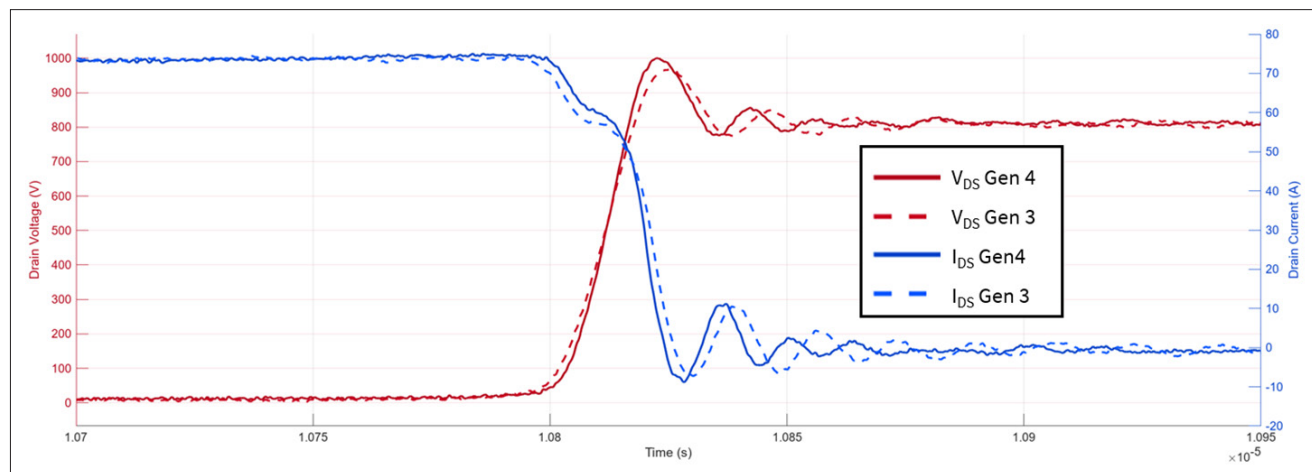


图3：第 3 代和第 4 代 MOSFET 的关断波形对比

能方面的对比。调整栅极电阻值，以便在导通期间提供匹配的 di/dt ，在关断期间提供匹配的 dv/dt 。第 4 代器件能够实现更快的开关速度，这里仅展示了一种比较器件性能的保守方法。

在导通过程中，另一个 MOSFET 的体二极管会换向关断，导致反向恢复电流通过体二极管流入正在导通的 MOSFET。改进的第 4 代体二极管行为在导通电流波形中表现得非常明显，其电流恢复速度更快，从而显著降低了开通损耗。此外，第 4 代器件的软体二极管性能导致开关动作时的振铃减少，可降低系统噪声并提高 EMI 性能。两代器件的关断表现相似，可实现低损耗和低 EMI。

改进的体二极管性能以及由此提升的开通性能可大幅降低第 4 代器件的开关损耗。在许多情况下，开关损耗的降低幅度甚至更大，因为第 4 代器件可在更高的 di/dt 水平下工作，同时在反向恢复过程中不会超出 VDS 安全工作区。

在相同条件下工作时，第 4 代器件的反向恢复过程更为平缓，从而降低了 di/dt 并显著减少了电压过冲（约

900 V，降幅达 75%）。

这种改进使得器件在 1,200 V 的额定电压下拥有 300 V 的裕量，从而提高了安全系数和稳健性。客户可通过现有封装实现更快的开关速度，或者通过高级封装解决方案（如 Wolfspeed 的定制功率模块）来获得更高性能。

图 4 显示了 Wolfspeed 第 3 代 21 mΩ MOSFET 与第 4 代 25 mΩ 器件之间的损耗。当匹配开通 di/dt 和关断 dV/dt 时，在额定电流下可实现 27% 的 ESW 降低。某些第 4 代 MOSFET 可通过采用更低的 Rg 值来进一步改善开关损耗。

第 4 代技术提高了硬开关应用的性能，使得 EON 和 EOFF 的降幅高达 15%，同时也减少了软开关和硬开关应用中的导通损耗，使工作温度下的 RSP 降低高达 21%（在 175°C 下的 RDS(on) 表现优异）。

减少 EMI 设计挑战

从图 2 的对比中可以看出，第 4 代 MOSFET 的另一个优势在于减少了反向恢复后的振荡和振铃。与第 3

代相比，第 4 代 MOSFET 的波形更为平滑，最大限度地减少了共模电压和辐射发射，简化了电磁干扰 (EMI) 滤波器设计。

降低波形噪声可简化需要高速开关的系统的开发，同时应对 EMI 挑战。对于从第 3 代向上升级的客户，第 4 代提供了一条便捷的升级路径，在波形行为和系统设计灵活性方面都有显著提升。

专为应对严苛的环境而设计

宇宙射线可靠性

高海拔应用（如在山区行驶的汽车或飞机）会面临由宇宙射线引发的单粒子烧毁风险。这些事件由中子通量（每单位时间撞击半导体的中子数）引起，可产生漏源电流 (IDS)，进而可能引发不良后果。

第 4 代 MOSFET 采用增强的抗扰度设计，与前几代相比，宇宙射线失效率 (FIT) 可降低 100 倍。这种可靠性提升减少了对过度电压降额的需求，使得系统设计更加高效。此外，它们还能够承受过载和过应力事件。Wolfspeed 芯片产品组合经过认证，可在 185°C 下持续运行，并能在 200°C 下进行有限寿命的运行。

短路耐受时间

短路耐受时间是电机驱动器和牵引系统的关键参数，可确保在发生故障时安全关闭。第 4 代技术支持高达 2.3 微秒的耐受时间，可与现有的栅极驱动器技术兼容，且不会影响 RDS(on) 性能。第 4 代 MOSFET 兼具稳健性和效率，是要求严苛应用之理想选择。

这些特性扩展了安全工作区

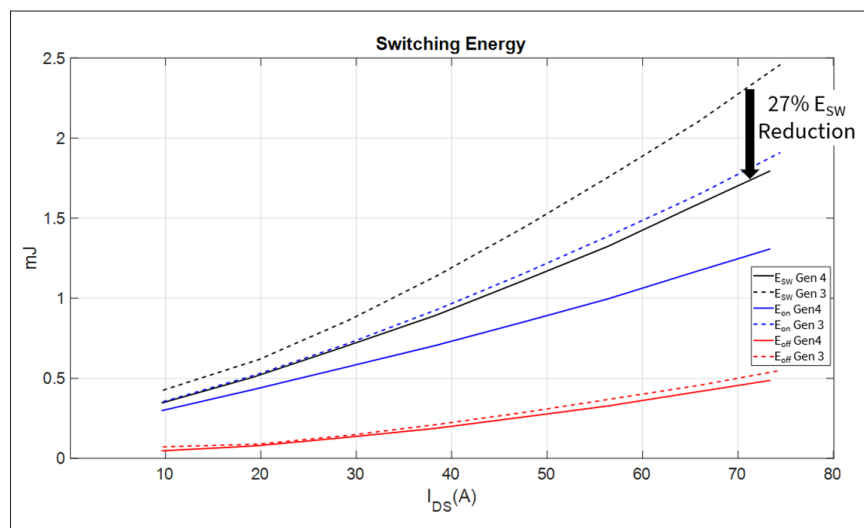


图 4：第 3 代和第 4 代的开关损耗对比

(SOA)，可确保稳健的性能。设计人员在设计时能减少半导体使用，从而降低成本，同时不影响安全性。

高频率软开关应用

软开关应用（如用于车载充电机和工业电源第二阶段的超高频 DC-DC 转换器）的设计与硬开关前端有所不同。开关损耗在此类应用中被最大限度地减少甚至消除，因此导通损耗成为主要的剩余损耗。通常，前端有一个硬开关的有源功率因数校正（PFC）阶段，之后是一个软开关的 DC-DC 转换器阶段。

该转换器阶段通常采用 LLC、CLLC、移相全桥或双有源桥等拓扑结构。在此类设计中，开关损耗不太重要，尽管组件仍需承受高 di/dt 和 dv/dt 应力，并处理高谐振电路电流。

软开关应用的主要优势在于减少因 RSP 改进而降低的导通损耗。这种导通损耗的降低适用于整个负载曲

线，对于有能效要求（如能源之星 Energy Star 标准）的应用尤其有益。其中许多电源必须符合要求在不同负载水平下实现高效率的法规，例如，满足服务器电源的 80 Plus 钛金级能效水平。

系统成本和开发时间优势

Wolfspeed 的第 4 代碳化硅 MOSFET 在降低系统成本和加快开发时间方面具有显著优势。通过提升导通和开关频率，这些器件使工程师能够设计出具有更小、更轻、更便宜组件的系统，如散热器、EMI 滤波器和磁性元件。

得益于出色的 RSP 性能，在相同面积内可实现高达 30% 的功率输出，从而在不增加额外空间的情况下提升功率密度。

增强的稳健性和可靠性，包括降低对宇宙射线等环境因素的敏感性，使设计人员能够使用更小的安全裕

度，从而进一步最大程度减少所需的半导体材料。此外，第 4 代 MOSFET 的即插即用兼容性让现有用户能够轻松升级，减少了重新设计的工作量。

如图 5 所示，第 4 代器件的体二极管软度因子提高了 3.5 倍：MOSFET 在反向恢复场景中可有效将 EMI 降至最低，实现了更平稳的运行，而无需对 QRR 权衡取舍。即使在高 dv/dt 下，开关操作也能既安全又简洁，这得益于高达 600:1 的电容比，它消除了寄生过冲的风险，并确保了在苛刻条件下的可靠系统性能。所有这些改进相结合，使开发人员能够在更短的设计时间内实现优化的系统性能，同时满足严格的效率和可靠性要求。

优化功率封装以充分发挥第 4 代技术的优势

Wolfspeed 始终关注客户需求，致力于通过封装策略实现系统耐久性、效率和功率密度。先进的封装进一步提升了第 4 代技术的优势，增强了热管理，并确保了器件在功率和温度循环等严苛条件下的耐久性。

可显著提升效率和功率密度的先进封装

碳化硅器件以其高开关速度和热性能突破了传统硅基功率封装的极限。传统设计通常受到寄生电感的影响，从而导致电压过冲、振荡和栅极氧化层损坏。这些问题不仅会影响效率，还需要高成本的设计权衡。

专为碳化硅量身定制的先进封装技术可最大限度地减少功率、栅极和共源回路中的寄生电感，从而提高效率，降低开关损耗，并支持

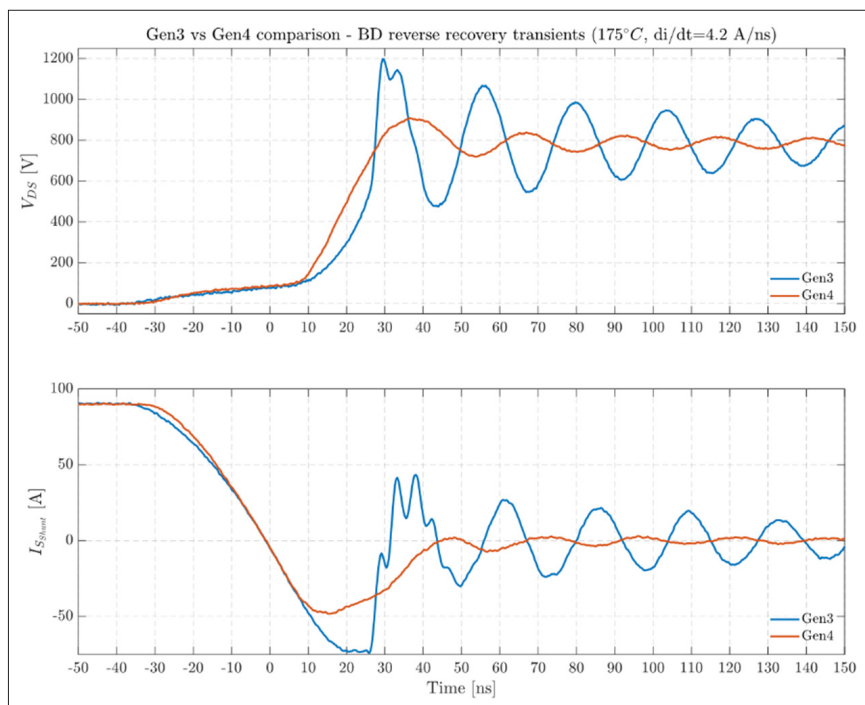


图5：体二极管反向恢复瞬态的技术对比

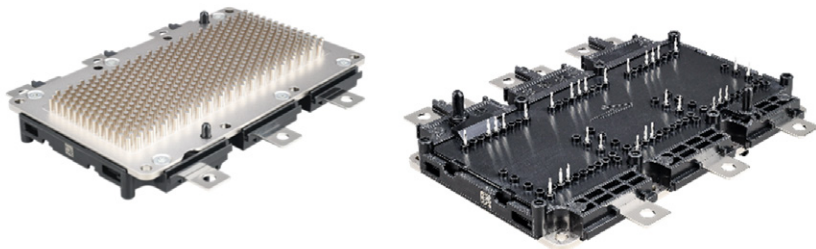


图 6: WolfSpeed 的 YM 和 XM 模块平台采用 pin-fin 封装技术

使用额定值更低的碳化硅器件。双面冷却和紧凑布局等功能支持高功率应用、热控制和更高的开关频率，从而充分发挥碳化硅在可靠且节能系统中的潜力。

最大限度地减少功率模块中的电感可以减少电压振荡，实现简洁的开关操作和更高的效率。内部母线和夹子附件等创新技术将电感降低至 5 纳亨的水平，进一步降低了开关损耗并提升了系统稳定性。

可提高系统可靠性和耐久性的先进封装

创新的互连方法对于提升功率模块性能至关重要。传统的引线键合封装技术被顶部夹式互连等先进技术所取代，新技术可降低电阻、改进热管理并增强机械可靠性。铜夹直接焊接或烧结到芯片上，可改善功率流和连接强度。

银烧结是一种最先进的芯片粘接技术，可在芯片和氮化硅等基板之间形成牢固的连接，确保出色的导热性和机械耐久性。这种方法越来越多地用于需要高功率和热循环性能的应用中。

随着功率密度的增加，有效的热管理至关重要。直接冷却解决方案，如翅片浸没在冷却剂中的 pin-fin 设计（见图 4），可有效帮助芯片散热。这些方法使碳化硅器件能够在高温下保

持高性能，尤其是在汽车系统中。

可靠性对汽车功率模块至关重要，这些模块必须满足 AEC-Q101 和 AQG324 等严格标准。先进的材料和工艺可解决水分渗透和引线键合退化等故障机制。例如，环氧树脂模塑化合物正在取代凝胶基封装材料，提供优异的防潮性和结构完整性。增强型压接式引脚技术支持更高的 PCB 连接电流容量，适用于紧凑型和高功率设计。

关键要点和结论

新推出的第 4 代碳化硅技术在导通损耗、开关性能和耐久性取得了平衡，标志着电力电子领域向前迈出了重要一步。与其他专注于室温下的 RDS(on) 等有限指标的厂商不同，WolfSpeed 优先考虑在实际工作条件下实现最大的电路内价值。新平台将为系统优化功率模块、分立器件和裸芯片产品的长期发展奠定基础，并将惠及电动汽车、工业电机驱动器、AI 服务器电源、可再生能源系统和航空电子设备等行业。

在电动汽车中，较低的导通损耗可延长电池续航里程，而在工业电机驱动器中，更高的效率可降低能源消耗和冷却成本。

在电机驱动器和电网电源转换器等硬开关应用中，改进的开关特性提升了开关频率或效率，从而减小了系

统尺寸和成本。较低的开关损耗也简化了热管理，且支持紧凑设计。增强的反向恢复降低了 EMI，简化了滤波器设计和一致性测试，同时还可应对宇宙射线引起的单粒子烧毁等可靠性挑战。

第 4 代 MOSFET 具有 2 微秒的短路耐受时间，可确保故障期间的安全运行，并与现有栅极驱动器技术兼容。在高频率 DC-DC 转换器等软开关应用中，减少导通损耗可提高符合 80 Plus 钛金级标准的系统（如 AI 服务器电源）的效率。可再生能源系统受益于更高的效率和灵活的热管理，可减少维护工作并增强可靠性。

航空电子设备和 eVTOL 飞机等新兴应用十分依赖 MOSFET 的紧凑性、效率和强大的可靠性。第 4 代器件专为灵活集成而设计，设计人员能够根据不同的市场需求优化性能或可靠性，同时确保出色的结果。

从设计之初，第 4 代就定位于先进的 200 mm 技术。WolfSpeed 建立了全球首个也是规模最大的 200 mm 碳化硅制造工厂。凭借技术先进的晶圆制造工厂，WolfSpeed 站在全行业从硅基向碳化硅基半导体转型的前沿，有望显著提升下一代技术的能效和性能。◆

本文为 WolfSpeed 第 4 代碳化硅技术白皮书，如需查看英文原稿内容，敬请访问：

<https://www.wolfspeed.com/knowledge-center/article/gen-4-silicon-carbide-technology-redefining-performance-and-durability-in-high-power-applications/>

激光雷达的飞跃：凭借精确的远距离探测技术，让车辆行驶更安全

人类驾驶汽车已有一百多年历史，但安全记录却不尽如人意。尽管如今的车辆比以往任何时候都更安全，但在世界许多地区，汽车事故和伤亡人数仍在不断上升。这一趋势在一定程度上可归咎于驾驶员面临的干扰因素日益增多。

为持续提升汽车安全性，汽车工程师们引入了高级驾驶辅助系统（ADAS），该系统能够在碰撞发生前自动检测并降低碰撞风险。这些系统能够持续且同步监测车辆周围 360 度范围内的所有物体，一旦其中某个物体构成紧迫威胁，系统便会采取避让措施。图 1 以图形方式展示了车辆周围检测到的物体。

人类驾驶员一次最多只能留意一个方向的障碍物，期间还得不时瞥一眼后视镜和侧后视镜，才能了解车辆周边的情况。而且，人类驾驶员也只能大致估算出附近物体与车辆的距离和速度。基于激光雷达的高级驾驶辅助系统（ADAS）则能利用不可见激光，不仅可以同时监测车辆周围的所有物体，还能在不受干扰的情况下准确地测定这些物体的距离和速度。有关激光雷达技术的更多信息，请参阅德州仪器（TI）白皮书《汽车激光雷达简介》（An Introduction to Automotive Lidar）。

激光雷达系统早在十多年前就已问世，但由于其体积大、结构复杂且成本高昂，一直未能在主流汽车领域

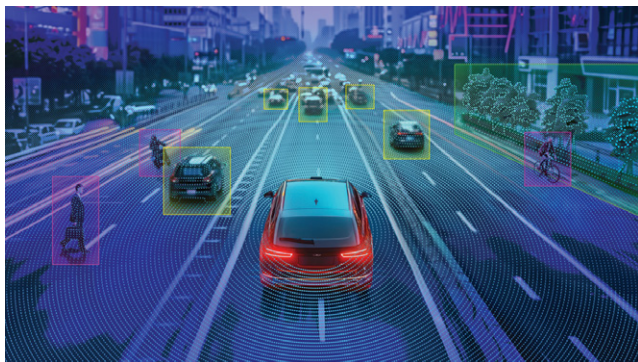


图 1：基于激光雷达的点云的图形表示



图 2：安装在车辆顶部的激光雷达模块

得到广泛应用。就在不久前，激光雷达系统的价格还超过 5 万美元，而且体积庞大，占据了车顶的大部分空间。然而，随着近期元件集成技术的进步，如今激光雷达模块的价格已降至 200 美元以下，与摄像头和雷达等其他传感器技术的价格相当。如今的激光雷达模块体积小巧（如图 2 所示），能够灵活且巧妙地安装在多个位置，例如挡风玻璃后方、前照灯和尾灯内，让车辆外观设计更加简洁流畅。当把激光雷达与摄像头、雷达传感器集成于高级驾驶辅助系统（ADAS）中时，该系统便能充分汲取并发挥这三种传感器技术的优势。

摄像头传感器技术能够“识别颜色”，这在车辆需要区分交通路口信号灯颜色的场景中至关重要。然而，摄像头在环境光线不佳的情况下表现欠佳，并且在恶劣天气条件下也会出现问题。另一方面，激光雷达模块可自行提供照明，在环境光线不足时也能良好运行。近期，激光雷达处理技术取得了一些进展，使得部分系统能够分辨物体颜色的差异。

调频连续波（FMCW）激光雷达架构对雾、雨、雪等恶劣天气条件具有很强的抗干扰能力。雷达传感器在恶劣天气条件下同样表现良好，但其固有波长（工作频率 77GHz，对应波长为 4mm）限制了其在远距离下解析微小特征的能力，难以满足所需的分辨率要求。激光雷

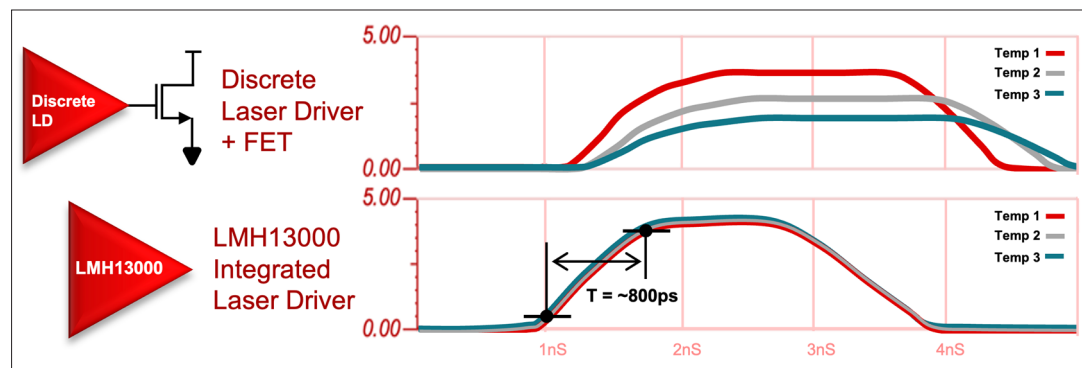


图 3：分立式激光驱动器和 GaN FET 与 LMH13000 集成激光驱动器的激光脉冲时间对比

达系统使用波长较短的光波（905nm 至 1550nm），能够在超过 300m 的距离上以高分辨率感知微小物体。此外，调频连续波（FMCW）激光雷达还能利用多普勒原理同时测定物体的距离和速度。

实现更快、更精确的远距离物体探测

对于激光雷达开发者而言，最大的挑战之一在于如何实现激光发射，使其既能在远距离下精准探测物体，同时又能保证对人眼的安全性。即便是采用 1550nm 的激光波长，其传输的光功率也可能足以对人眼造成损伤。

脉冲飞行时间激光雷达系统必须发射出功率强大但持续时间较短的激光脉冲，才能实现远距离测量。大多数激光驱动器被用于驱动氮化镓（GaN）场效应晶体管（FET），并产生脉冲宽度为几纳秒的电流脉冲。德州仪器的 LMH13000 集成激光驱动器无需外部 GaN FET 或大容量电容器。它能够驱动激光，其上升和下降时间小于 800ps，并且不同温度下的变化幅度小于 2%，如图 3 所示。更短的激光脉冲能够使测量距离增加多达 30%。

LMH13000 能够精确地为激光器提供 50mA 至 5A 的电流，并且多个并联使用的 LMH13000 器件能够驱动电流超过 5A 的激光器。由于这款激光驱动器无需外部场效应晶体管和电容器，与分立式解决方案相比，它能够使激光驱动器电路的尺寸缩小至原来的四分之一。LMH13000 能够生成短脉冲宽度并实现电流控制，这使得该系统能够满足

美国食品药品监督管理局（FDA）的 1 类人眼安全标准。

分立式激光驱动器解决方案在不同温度下的脉冲持续时间变化幅度可能高达 30%，这使得

随着系统温度的变化，确保人眼安全变得颇具挑战性。LMH13000 的输出电流在其工作温度范围内的变化幅度仅为 2%，这提高了在不同温度下测量的可重复性。

一个典型的激光雷达模块设计包含多个模拟和数字子系统。图 4 突出展示了该模块中的激光信号生成、光传感器元件、模拟前端和数字处理子系统。从激光驱动器电路中去除了 GaN FET 和大容量电容器等外部元件，不仅能够缩减系统体积、优化系统性能，还能实现更高的成本效益。

结语

在高级驾驶辅助系统（ADAS）中，激光雷达有助于车辆在碰撞发生前自动检测并降低碰撞风险。随着 ADAS 性能的提升、成本的降低和体积的减小，未来有望制造出无需人类干预与监控，即可自行行驶的主流汽车产品。凭借 LMH13000 这类器件，设计人员能够更轻松地打造下一代激光雷达系统，使车辆在任何环境下都能进行感知。◆

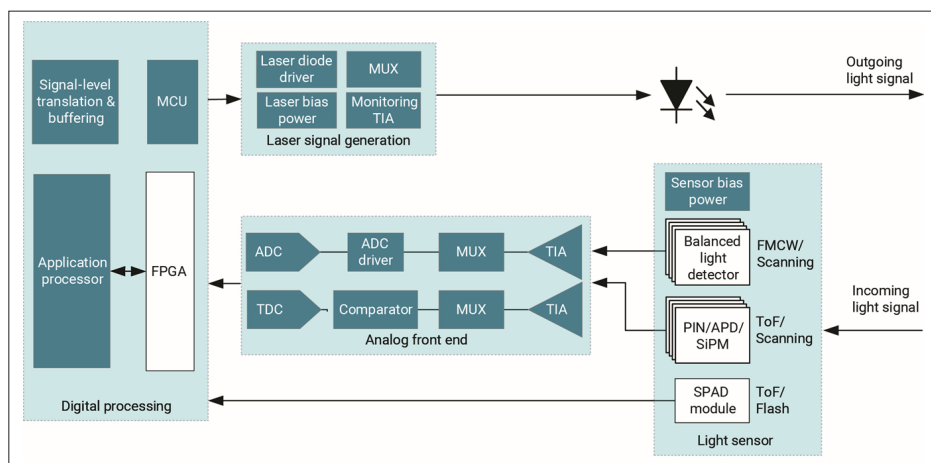


图 4：激光雷达模块设计中的子系统，包括激光信号生成、光传感器元件、模拟前端和数字处理子系统

汽车12V BMS应用方案

大联大控股旗下世平集团推出以恩智浦 (NXP) 多款高性能芯片为核心, 辅以莫仕 (Molex)、安森美 (onsemi)、威世 (Vishay) 以及安世半导体和圣邦微电子旗下产品为周边器件的汽车 12V BMS 应用方案。

BMS 作为现代汽车电池技术的核心, 能够实时监控电池的电压和电流, 准确评估电量状态, 帮助用户合理安排电池使用情况。同时 BMS 系统还能优化充放电过程, 提高电池效率、减少能量损耗。并且通过均衡管理电池组中各单体电池的充电状态, BMS 可以有效防止过充或欠充, 从而延长电池的整体寿命。为推动 BMS 系统的应用, 大联大世平推出以 NXP S32K312 MCU、MC33772C 电池控制 IC、FS2303B SBC 芯片、TJA1443AT CAN 芯片、PCA85073A 时钟芯片为核心, 集成 Molex 5600201020 连接器、onsemi NV24C64LV EEPROM、Vishay WSLP5931 大功率电阻器以及安世半导体 BUK7S0R5-40H MOSFET 和圣邦微电子 SGM8752-1Q 比较器的汽车 12V BMS 应用方案。

S32K312 是 NXP 旗下汽车通用微控制器 S32K3 系列中的一款产品。该产品基于 ARM® Cortex® -M7 内核, 支持单核、双核和锁步内核配置。S32K3 系列具有内核、内存和外设数量方面的可扩展性, 符合 ISO26262 标准, 具有高级功能安全、信息安全和低功耗的特性, 能够适用于工作环境严苛的车身、区域控制和电气化应用。

在 AFE 模块中采用的 MC33772C 是 NXP 专为汽车和工业

应用设计的电池控制 IC, 其最高支持六串电池的监控管理。同时, 该 IC 能够将差分电池电压进行模数转换, 并通过多达 256 个平均等级, 确保高精度的测量。此外, MC33772C 还集成了电流采集、库仑计数以及温度测量等多种功能, 可以实现对电池状态的全面监控和管理。

在电源方面, 方案采用 FS2303B 系统基础芯片 (SBC)。该芯片具备独特设计与性能优势, 能够满足最新一代汽车电子控制单元 (ECU) 对系统稳定性和安全性的严苛要求, 并充分适配其系统和安全特性。在提供稳定供电的基础上, FS2303B 还集成了 CAN 收发器、LIN 收发器、高边驱动以及功能安全模块等多种功能。通过一次性可编程存储器 (OTP), 用户可以开启特定功能, 进而满足多样化的汽车应用需求。此外, 该芯片具有高度灵活性, 在输出电压设置、工作频率、上电顺序以及输入/输出配置等方面提供了多种器件版本选择, 能够灵活适配多种应用场景。

PCA85073A 是一款针对低功耗优化的 CMOS1 实时时钟, 可以通过偏移寄存器对时钟进行微调, 实现更



图2：大联大世平以NXP产品为核心的汽车12V BMS应用方案的场景应用图



图1：大联大世平以NXP产品为核心的汽车12V BMS应用方案的展示板图

加精确的定时和校准。

此外, 方案还采用 TJA1443AT CAN 收发器, 有助于实现高效、可靠的车载网络通信, 确保电池管理系统的数据实时传输与处理。

此汽车 12V BMS 方案专为 12V 电池模块设计, 可内部检测由 4 串电池组成、总电压为 12V 的模块 (具体以实际电池参数为准)。并且方案配备 4 路电压采集通道和 5 路温度采集通道 (2 路板载, 3 路对外采集电池包内温度)。此外, 该 BMS 方案支持硬件充放过流保护、诊断信息上报、SOC 估算以及被动均衡等功能, 能够有效保障电池的安全可靠性。

核心技术优势：

- 支持 4 路电池, 单体电池电压采样, 可设置过压、欠压阈值报警;
- 支持充放电电路控制、电流采集、硬件过流保护;
- 支持 5 路温度采集通道 (2 路板载, 3 路对外采集电池包内温度);
- 支持 SOC 估算、诊断信息上报、断线检测功能;
- 符合 ASIL-B 安全等级;
- 板载 RTC IC、EEPROM 等设备。

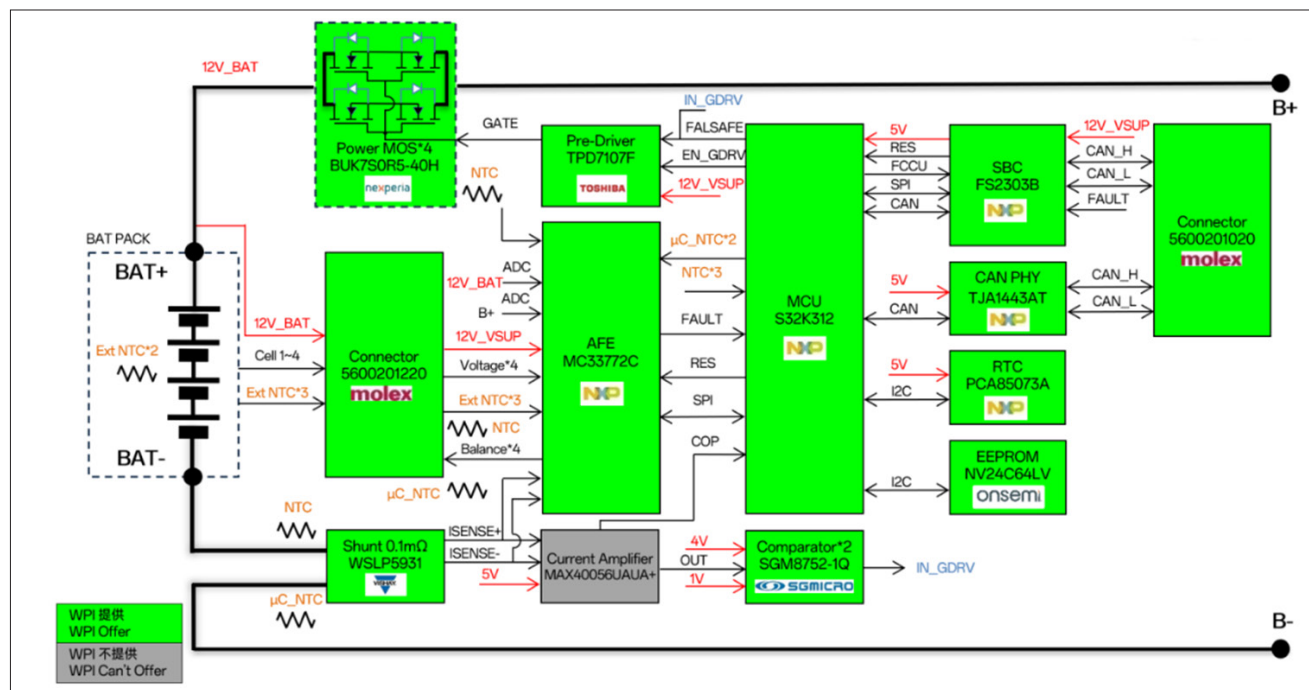


图3：大联大世平以NXP产品为核心的汽车12V BMS应用方案的方块图

方案规格：

- 单体电池电压采样周期 100ms 以内、电池簇电流采样周期 50ms、电池单体温度采样周期 1s；
- 支持 4 路电池过压、欠压报警，阈值可设（默认：过压 3.65V、欠压 2.5V）；
- 硬件过流、短路电流 1500A 保护；
- 支持持续工作电流 60A（3C）、259A（全温度范围额定电流）、580A（全温度范围瞬态电流 5s 内）；
- 电流采集精度达到 2%（< 200A，国标），1%（≥ 200A，国标）；
- 电压采集精度达到 ±2mV；
- 支持被动均衡，最大支持 300mA 的均衡电流；
- SOC 估算的累积误差小于 5%，符合国标；
- 支持电池高、低温报警，阈值可设（默认：高温 70℃、低温 -20℃）。◆

飞凌微推出 AIoT 应用系列高性能端侧视觉 AI SoC 芯片 A1

技术先进的智能视觉处理芯片厂商飞凌微电子（Flyingchip®，思特威子公司）近日推出 AIoT 应用系列首款高性能端侧视觉 AI SoC 芯片——A1。新品 A1 搭载了高性能 AI ISP、0.8TOPS@INT8 轻算力自研 NPU、1Gb DDR3L 内存等模块，集优异的图像处理性能和端侧处理运算效率、低功耗、小封装尺寸等性能优势于一身。此外，A1 可适配多分辨率规格的 CMOS 图像传感器，共同形成端侧 AI SoC + Sensor 系统级组合方案，

能为消费和工业级智能视觉模组带来高精度、低延时的实时智能影像并提供轻量级 AI 视觉应用运行结果，加速智能硬件（如 AI 玩具）、智能家居、工业扫码、夜视模组等多元智能终端应用的进一步升级。

人工智能（AI）和物联网（IoT）等技术的不断成熟和普及应用，推动了物联网设备智能化水平持续提升。随着搭载 AI 算力的智能终端设备快速渗透至市场端，作为核心硬件的 SoC 芯片将迎来新的市场发展机遇。



Advertiser	广告商名称	网址	页码
SEMICON China 2026		www.semiconchina.org	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商讯(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、关键零部件,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
viviz@actintl.com.hk



www.siscmag.com

行政及销售人员 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), adonism@actintl.com.hk

General Manager-China (中国区总经理)

Floyd Chun (秦泽峰), floyd@actintl.com.hk

Editor in China (中国版编辑)

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

Vivi Zhang (张雨薇), viviz@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)

Wuhan (武汉)

Mini Xu (徐若男), minix@actintl.com.hk

Tel: 86 187 7196 7314

Phoebe Yin (尹菲菲), phoebey@actintl.com.hk

Tel: 86 155 2754 0817

Mandy Wu (吴漫), mandyw@actintl.com.hk

Tel: 86 156 2304 9536

Ron Wang (汪毓神), ronw@actintl.com.hk

Tel: 86 186 9404 8156

Shenzhen (深圳)

Samuel Zhou (周伟林), samuelz@actintl.com.hk

Tel: 86 186 8201 0368

Shanghai (上海)

Hatter Yao (姚丽莹), hattery@actintl.com.hk

Tel: 86 139 1771 3422

Shohan Shen 沈璟晓, Shohans@actintl.com.hk

Tel: 86 176 2122 8315

Beijing (北京)

Cecily Bian (边国芳), cecilyB@actintl.com.hk

Tel: 86 135 5262 1310

Hong Kong (香港特别行政区)

Floyd Chun (秦泽峰), floyd@actintl.com.hk

Tel: 852 2838 6298

Asia (亚洲)

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

Floyd Chun (秦泽峰), floyd@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



化合物半导体

CS COMPOUND SEMICONDUCTOR CHINA

2022年4/5月



www.compoundsemiconductorchina.net

化合物半导体

CS COMPOUND SEMICONDUCTOR CHINA

2022年6/9月



www.compoundsemiconductorchina.net

化合物半导体

CS COMPOUND SEMICONDUCTOR CHINA

2023年12月/2024年1月



www.compoundsemiconductorchina.net

全球知名权威杂志 Compound Semiconductor的中国版

化合物半导体

CS COMPOUND SEMICONDUCTOR CHINA

中文版, 双月刊, 全方位报道化合物半导体行业的发展, 是化合物半导体材料和器件业专业人士重要的信息源。2025年, 将主要报道开发超宽禁带材料, 基于SiC、GaN和Ga₂O₃的功率电子; 5G和6G的射频器件; 光子学领域的突破, 包括新的VCSEL设计; 以及在射频领域的功率、效率和频谱范围的进步。

2025
化合物半导体
先进技术及应用大会

由雅时国际商讯主办, 会议专注搭建全球化合物半导体行业范围内产、学、研、政信息交流和商务合作的精准交流平台, 着眼行业前沿议题, 洞悉行业最新需求, 汇集国内外领先跨国科技, 与专家学者共探行业发展方向, 共同探讨化合物半导体产业开拓创新的解决之道。



www.compoundsemiconductorchina.net

ACT
INTERNATIONAL