集微技术信息简报

2025 年第 3 期（总第 66 期）

中国科学院文献情报中心

2025 年 5 月制

本期目录

政策计划

爱尔兰公布首个国家半导体战略“硅岛”.....1
美国进一步限制对华芯片设计软件销售.....2
美国商务部废除拜登政府的《人工智能扩散规则》并加强全球半导体出口管制.....2
欧盟投资 600 万欧元研发低成本、节能的混合光子集成电路.....3
欧盟宣布设立光子芯片和宽禁带半导体生产试点线.....4
英国政府提供 1.21 亿英镑加速量子技术发展.....5
美 DARPA 选定近 20 家量子计算企业，加速实用量子计算机研发进程.....6
英国成立集成量子网络中心，以推动量子互联网发展.....8
欧盟投资 1500 万欧元支持企业研发光子产品.....9
英国资助 600 万英镑推动石墨烯等二维半导体材料研发.....10
法国政府启动“选择法国科研”平台以增强国际科学吸引力.....10

产业洞察

韩国国际经济政策研究院发布《韩国存储和系统半导体的全球竞争力分析》报告.....12
英国 IDTechEx 公司发布《量子传感器：通过半导体晶圆厂实现从实验室到芯片》报告.....14
麦肯锡公司发布《在美国创建繁荣的半导体化学品供应链》报告..15
日经 CrossTech 发布未来最具潜力的前沿技术 Top50.....18

前沿研究

复旦大学成功研制“破晓”皮秒闪存器件.....25
美国哈佛大学首次展示芯片集成皮秒级中红外激光器.....27
美国麻省理工学院研制出超导全波桥式整流器.....28

美国 Lightmatter 公司发布首款通用型光子 AI 加速器 30
曦智科技公开光电混合计算架构 32
现有电信设施实现创纪录长距离量子通信 33

产业动态

日本 OKI Circuit Technology 公司研发出 124 层高密度 PCB 技术 ...35
欧洲意法半导体公布“重塑制造布局”计划 35
挪威卑尔根大学初创公司 Lace Lithography 正在开发新型原子光刻技术.....37
美国 NEO Semiconductor 公司推出全球首款基于 IGZO 的 3D X-DRAM 技术.....38
美国思科公司推出新型量子网络纠缠芯片原型 38

政策计划

爱尔兰公布首个国家半导体战略“硅岛”

据官网 5 月 19 日报道，爱尔兰企业、旅游与就业部部长公布了首个国家半导体战略“硅岛（Silicon Island）”[1]。这一重大新举措旨在加强爱尔兰在全球半导体行业中的作用。爱尔兰目前已拥有 130 多家半导体公司，直接雇佣员工 20,000 多人，年出口额达 135 亿欧元（约 154 亿美元）。据毕马威最近的一项研究表明，到 2040 年，爱尔兰可以支持多达 34,500 个新半导体职位。

爱尔兰政府制定的《硅岛：国家半导体战略》与《欧盟芯片法案》相一致，为爱尔兰半导体行业的发展制定了明确的路线图，将创造高价值的就业机会并吸引大量投资，以深化爱尔兰在尖端技术方面的领导地位，成为欧洲半导体未来的关键参与者。

该半导体战略制定的一系列规划行动包括：

1. 确保重大工业投资，包括设立一个先进制造工厂、两个先进晶圆代工厂和一个先进封装工厂。

2. 开发具有支持大规模制造所需基础设施的下一代工厂。

3. 通过商业化支持、融资渠道和扩展途径支持初创公司和分拆公司，确保爱尔兰创新能够在全球舞台上竞争和蓬勃发展。

4. 加强研发能力，支持自主创新和跨国合作，培育基于合作的开放生态系统。

5. 在国际上推广爱尔兰作为半导体设计、制造和研究的卓越中心。

6. 委托未来技能需求专家进行技能研究，以确保该战略的行业雄心能够得到强大的人才渠道支持。

（执笔：沈湘）

[1] https://enterprise.gov.ie/en/publications/silicon-island-a-national-semiconductor-strategy.html

美国进一步限制对华芯片设计软件销售

据英国电子周报 5 月 29 日报道，美国商务部要求美国楷登电子公司（Cadence）、美国新思科技公司（Synopsys）和德国西门子 EDA 公司（原美国 Mentor 公司）在未获得出口许可的情况下停止向中国或中国人出口、再出口或国内转让 EDA 软件和相关技术[1]。这三家公司据称占据中国 EDA 市场份额的 70-80%。其中，楷登电子公司在中国的年收入中占比 12%，而新思科技公司占比 16%。

美国楷登电子公司[2]和德国西门子 EDA 公司[3]于 5 月 23 日、新思科技公司于 5 月 29 日[4]，宣布已收到美国商务部工业和安全局关于与中国有关的出口管制新规。

2022 年，美国政府禁止 EDA 软件公司向中国出售最先进的 EDA 工具，但允许继续销售其他工具。据悉，特朗普政府曾考虑全面禁止向中国销售 EDA 工具，但因过于严厉而放弃。

（执笔：沈湘）

美国商务部废除拜登政府的《人工智能扩散规则》并加强全球半导体出口管制

据官网 5 月 13 日报道[5]，美国商务部工业和安全局（BIS）发布公告废除拜登政府发布的《人工智能扩散规则》（Intelligence Diffusion Rule），同时宣布采取额外的措施加强全球半导体出口管制。

美国拜登政府于 2025 年 1 月 15 日正式发布《人工智能扩散规则》，拟于 2025 年 5 月 15 日生效。《人工智能扩散规则》将全球各个国家和地区划分为三个不同等级，每个等级对应不同的 AI 芯片出口

[1] https://www.electronicsweekly.com/news/business/eda-vendors-banned-from-selling-to-china-2025-05/#respond
[2] https://d18rn0p25nwr6d.cloudfront.net/CIK-0000813672/f0c3e1e5-9063-44b9-bdb5-b7c0a82221b9.pdf
[3] https://www.theregister.com/2025/05/30/eda_us_china/
[4] https://www.prnewswire.com/news-releases/synopsys-issues-statement-in-connection-with-bis-letter-302468694.html
[5] https://www.bis.gov/press-release/department-commerce-rescinds-biden-era-artificial-intelligence-diffusion-rule-strengthens-chip-related

管制规则，以进一步限制 AI 芯片的扩散转移。

与此同时，为确保美国继续处于人工智能创新的前沿并保持全球主导地位，BIS 宣布加强海外人工智能芯片出口管制的三条举措：（1）发布指导方针提醒业界使用中国先进计算芯片的风险，包括华为的 Ascend 芯片；（2）发布指导意见警告公众允许美国人工智能芯片用于中国人工智能模型的训练和推理的潜在后果；（3）向美国公司发布保护供应链免受转移策略影响的指南。

（执笔：沈湘）

欧盟投资 600 万欧元研发低成本、节能的混合光子集成电路

据欧洲 photonics21 官网 4 月 24 日报道[1]，欧盟委员会启动 600 万欧元（约 684 万美元）的 SPRINTER 项目，该项目聚焦光学与无线技术融合，旨在研发基于激光驱动的超高速通信技术，以替代现有高能耗工业网络，为未来的超互联智能工厂奠定节能基础。

当前工业网络难以满足未来智能工厂对自动化机器人、传感器、机器学习和 5G 控制系统的实时性需求，存在延迟高、能耗大等瓶颈，SPRINTR 项目重点开发四类原型器件，基于高速网络技术，通过开发 200Gbit/s 光收发器（突破带宽限制）、光分插复用器（实现灵活组网）和毫米波无线系统（完成最后 1 公里高速传输），构建新一代工业通信“神经系统”，推动工业网络升级。

SPRINTR 项目研发联盟由来自欧美日 10 余个国家的 12 个合作伙伴组成，其中包括 2 个学术组织：雅典的通信与计算机系统研究所（ICCS）和西班牙的马德里卡洛斯三世大学（UC3M），3 个面向行业的研究机构：德国弗劳恩霍夫海因里希赫茨研究所（FhG HHI）、比利时微电子研究中心（IMEC）和瑞士电子和微技术中心（CSEM），2 个中小企业：荷兰光子集成电路封装公司 PHIX 和芬

[1] https://www.photonics21.org/2025/eu-invests-%E2%82%AC6-million-in-new-networks-to-power-factories-of-the-future; https://horizon-de-sprinter.eu/

兰电信服务商 CMC，以及 5 家大型公司：荷兰 LioniX International 公司、美国英伟达公司（NVIDIA）、日本无线电通讯设备生产公司 ICOM、瑞典电信设备制造商爱立信集团和奥地利 FILL 公司。

（执笔：沈湘）

欧盟宣布设立光子芯片和宽禁带半导体生产试点线

据欧洲芯片联合执行体（Chips JU）官网 4 月 25 日报道[1]，Chips JU 已正式批准先进光子集成电路（PIXEurope）和宽带隙半导体（WBG）两条试点生产线的最终实施方案。同时，Chips JU 在欧盟 28 个成员国中遴选了 30 个能力建设中心。这一系列举措不仅显著提升了欧洲半导体产业的自主创新能力，更为区域内创新基础设施的普及和技术支持服务的拓展奠定了重要基础。

Chips JU 通过五条试点生产线加速半导体技术创新，其中 PIX Europe 和 WBG 作为两条核心产线已正式建立合同关系。这些试点生产线承担着关键桥梁作用：一方面支撑半导体技术的快速开发、测试与规模化验证，另一方面有效衔接基础科研与产业化落地，推动欧洲半导体生态系统的协同发展。

PIXEurope 试点生产线项目由西班牙光子科学研究所（ICFO）牵头协调，联合了来自 11 个国家的 20 个合作伙伴共同推进光子集成电路的发展。该项目将构建全球首个开放式光子集成电路生态系统，涵盖从芯片设计、制造到封装、测试和可靠性验证等全产业链环节。WBG 试点生产线项目由意大利国家研究委员会（罗马总部）主导，汇聚了来自 7 个国家的 15 个组织，重点推动宽带隙半导体技术在电力电子领域的产业化应用。

（执笔：沈湘）

[1] https://www.chips-ju.europa.eu/News-detail/?id=8ee9dada-bb21-f011-9989-000d3ab0a56e

英国政府提供 1.21 亿英镑加速量子技术发展

2025 年 4 月 14 日，英国科学、创新和技术部宣布投资 1.21 亿英镑（约 1.62 亿美元）用于加速量子技术发展，以增强英国在量子领域的世界领先地位[1]。目前，英国正在利用前沿技术助力政府实施“变革计划（Plan for Change）”。这项对量子技术的投资将帮助英国政府打击犯罪、识别欺诈迹象和阻止洗钱等，预计将带来数十亿英镑的经济节约。为响应世界量子日（4 月 14 日），这项投资将在未来一年内投入，以扩大量子技术的应用。该投资还将为下一代研究人员提供机会，将健康、网络安全等领域的想法变为现实。这项投资也是英国国家量子技术计划的最新组成部分，支持早期研究并促进量子技术从实验室到市场的转化。

英国科学、创新与技术内阁大臣彼得·凯尔表示：“量子技术能够为经济节省数百万英镑，创造数千个就业机会，并提升全国企业竞争力，防止欺诈，保护银行账户等。支持世界一流的量子研究人员和企业是英国政府变革计划的重要组成部分。英国拥有全球第二大量子企业社区，这项投资将推动量子工具和产品的发展，改善生活、促进增长，并帮助应对时代的重大挑战。”

这项投资的分配如下：

（1）通过“创新英国”（Innovate UK）投入 4610 万英镑（约 6188 万美元），用于加速量子技术在计算，网络，定位、导航和授时（PNT）以及传感等多个领域的部署。

（2）投入 2100 万英镑（约 2819 万美元）用于推进国家量子计算中心的工作，包括其与创新英国合作的测试平台项目，并在量子软件实验室的支持下，加速发现量子技术如何彻底改变我们的工作方式和解决问题的方法。

[1] https://www.gov.uk/government/news/121-million-boost-for-quantum-technology-set-to-tackle-fraud-prevent-money-laundering-and-drive-growth

（3）投入 1090 万英镑（约 1463 万美元）用于国家物理实验室（NPL）的量子测量计划，鼓励更多企业充分利用该技术。

（4）英国还将支持下一代量子研究领导者，以维持英国在量子技术领域的开拓者地位：英国工程与自然科学研究理事会（EPSRC）提供 2360 万英镑（约 3167 万美元）资金，用于去年宣布的五个量子技术中心，其中包括 300 万英镑（约 403 万美元）投资用于培训和技能计划。

（5）UKRI EPSRC 授予 11 个量子技术职业加速奖学金 1510 万英镑（约 2027 万美元），以寻找量子技术在更多实际应用中的用途，从药物发现到疾病诊断。

（6）英国科学与技术设施委员会（STFC）提供 430 万英镑（约 577 万美元），支持早期职业研究人员和量子赋能学徒计划。

（执笔：于杰平）

美 DARPA 选定近 20 家量子计算企业，加速实用量子计算机研发进程

2025 年 4 月 3 日，美国国防高级研究计划局（DARPA）宣布近 20 家量子计算企业入选“量子基准测试计划（Quantum Benchmarking Initiative, QBI）”初始阶段。美 DARPA QBI 于 2024 年 7 月启动，旨在确定是否能够以比传统预测快得多的速度建造一台具有工业实用价值的量子计算机[1]。具体而言，QBI 通过严格的验证和确认，判断现有量子计算技术路线能否在 2033 年前实现“实用规模运行（utility-scale operation）”，即其计算价值超过其成本。QBI 是对美 DARPA“实用规模量子计算未充分探索系统项目（US2QC）（2022 年）”的扩展，同时与“量子基准项目（Quantum

[1] https://www.darpa.mil/news/2025/companies-targeting-quantum-computers

Benchmarking, QB）（2022 年）”既相互独立又存在关联。QB 旨在探索量子计算机能实现哪些经典计算机无法完成的任务。

DARPA QBI 已宣布选定的 16 家企业，还有 2 家企业仍在谈判中[1]，这些企业正在探索不同的量子计算技术路线，包括超导量子比特、离子阱量子比特、中性原子量子比特、光子量子比特、半导体量子比特等，具体如下。

1. 法国 Alice & Bob 公司，超导量子比特路线。

2. 美国 Atlantic Quantum 公司，超导量子比特路线（fluxonium 比特）。

3. 美国 Atom Computing 公司，中性原子量子比特路线。

4. 澳大利亚 Diraq 公司，硅半导体量子比特路线（硅 CMOS 自旋比特）。

5. 美国 Hewlett Packard Enterprise 公司，超导量子比特路线。

6. 美国 IBM 公司，超导量子比特路线。

7. 美国 IonQ 公司，离子阱量子比特路线。

8. 加拿大 Nord Quantique 公司，超导量子比特路线。

9. 英国 Oxford Ionics 公司，离子阱量子比特路线。

10. 加拿大 Photonic 公司，硅半导体量子比特路线（硅自旋量子比特）。

11. 美国 Quantinuum 公司，离子阱量子计算路线。

12. 英国 Quantum Motion 公司，硅半导体量子比特路线（基于 MOS 的硅自旋比特）。

13. 美国 QuEra Computing 公司，中性原子量子比特路线。

14. 美国 Rigetti Computing 公司，超导量子比特路线（可调谐 transmon 比特）。

[1] https://www.darpa.mil/news/2025/companies-targeting-quantum-computers

15. 澳大利亚 Silicon Quantum Computing 公司，硅半导体量子比特路线（硅中精确原子量子比特）。

16. 加拿大 Xanadu 公司，光子量子比特路线。

（执笔：于杰平）

英国成立集成量子网络中心，以推动量子互联网发展

2025 年 4 月 9 日，英国启动集成量子网络中心（Integrated Quantum Networks Hub, IQN），该中心致力于通过开发安全、可扩展的量子通信基础设施所需的新技术、协议和工业标准，来解决量子互联网面临的关键挑战[1]。2024 年 7 月，英国研究与创新署（UKRI）工程和物理科学研究委员会（EPSRC）、英国生物技术和生物科学研究委员会（BBSRC）、英国医学研究委员会（MRC）以及国家卫生与护理研究所（NIHR）宣布向五个量子技术中心提供 1.06 亿英镑投资[2]。IQN 中心是这五个量子技术中心之一，由赫瑞瓦特大学牵头，获得超过 4200 万英镑（约 5701 万美元）的 EPSRC 资金和行业捐助支持，通过汇聚布里斯托大学、剑桥大学、格拉斯哥大学、爱丁堡大学、帝国理工学院、牛津大学、贝尔法斯特女王大学、谢菲尔德大学、南安普顿大学、思克莱德大学、华威大学、约克大学等 12 所顶尖院校，国家物理实验室（NPL）和 STFC RAL Space 两个国家实验室，以及 40 多家工业合作伙伴，来确保英国在量子安全通信领域的领先地位。

IQN 中心正在努力实现可扩展的实用量子网络，研发范围覆盖从量子处理器之间的本地连接到国家量子纠缠基础设施以及洲际卫星通信。这项开创性的研究为量子安全通信、分布式量子计算和高灵敏度量子传感器网络等开辟了变革性应用潜力。IQN 中心的愿景

[1] https://iqnhub.org/new-uk-quantum-hub-launches-to-pioneer-secure-networks-and-advance-the-quantum-internet/

[2] https://www.gov.uk/government/news/over-100-million-boost-to-quantum-hubs-to-develop-life-saving-blood-tests-and-resilient-security-systems

与英国政府的国家量子战略一致：到 2035 年，英国将已部署世界上最先进的量子网络基础设施。

（执笔：于杰平）

欧盟投资 1500 万欧元支持企业研发光子产品

据欧盟光子创新中心（PhotonHub Europe）官网 4 月 2 日报道[1]，欧盟委员会启动总金额 1500 万欧元（约 1709 万美元）的“PhotonHub PHACTORY”专项投资计划，以帮助企业更广泛、更快速地采用、整合和部署光子技术。该计划旨在通过构建“一站式”光子技术创新服务平台，加速企业应用光子技术的商业化进程。具体实施内容包括：为创新企业提供专业技术支持、开放欧洲顶级实验室资源，以及最高 85%的项目资金补贴，从而帮助企业快速实现光子技术集成应用，提升产品智能化水平和性能表现。

该投资计划由布鲁塞尔自由大学下属的布鲁塞尔光子学研究中心（B-PHOT）牵头实施，汇聚了 30 余家欧洲合作伙伴。项目覆盖技术成熟度（TRL）2-7 级的全产业链环节，包括早期概念验证（TRL2）、原型开发（TRL3-4）到规模化生产（TRL5-7），构建了完整的尖端技术平台体系。通过该平台，企业可获得欧洲顶级光子学设施的技术支持、设备共享和专业指导。

该投资计划基于欧盟光子创新中心的成功经验推进实施，由布鲁塞尔自由大学的布鲁塞尔光子学（B-PHOT）领导。欧盟光子创新中心过去四年间已帮助 100 多家公司创造了 7.5 亿多欧元（约 8.5 亿美元）的营收，创造了 1000 个就业机会，并筹集了 2.5 亿欧元的风险投资，充分验证了光子技术产业化模式的可行性。

（执笔：沈湘）

[1] https://www.photonhub.eu/general/eu-invests-15m-to-help-companies-supercharge-their-products-with-light/

英国资助 600 万英镑推动石墨烯等二维半导体材料研发

据官网 4 月 29 日报道[1]，由英国伦敦大学玛丽皇后学院联合诺丁汉大学和格拉斯哥大学等机构组成的研究团队获得 600 万英镑（约 814 万美元）资助，用于开展“利用超低能耗 2D 材料和设备实现净零排放和人工智能革命（NEED2D）”项目研究。该项目聚焦单原子层半导体材料以及低能耗电子设备的研发，旨在显著降低人工智能数据中心和高性能计算系统的能耗需求。英国工程与物理科学研究理事会（EPSRC）为该项目的主要资助机构，另外还获得了来自 20 余家制造商和研究机构合计 200 多万英镑的共同支持。

人工智能产业正面临严峻的能源挑战。英国国家电网预测，到 2034 年，英国数据中心的电力需求将增长六倍，占全国总用电量的 30%。这不仅意味着数十亿英镑的额外能源支出，更对全球气候目标构成重大威胁。在此背景下，2D 半导体技术脱颖而出，成为构建更可持续的人工智能产业的领先技术。该技术不仅能显著降低 AI 数据中心的能耗，还将为英国经济发展注入新动能。值得注意的是，2D 材料的应用远不止于数据中心领域，其在智能手机等消费电子设备中的能源优化同样展现出巨大潜力，有望带来全产业链的能效革命。

（执笔：沈湘）

法国政府启动“选择法国科研”平台以增强国际科学吸引力

据法国国家科研署 4 月 17 日报道[2]，法国启动“选择法国科研

[1] https://www.qmul.ac.uk/media/news/2025/science-and-engineering/se/atom-thin-semiconductors-could-cut-energy-use-by-over-90-.html
[2] https://anr.fr/en/latest-news/read/news/choose-france-for-science-launch-of-the-dedicated-platform-for-applications-to-host-international-r/

（Choose France for Science）”平台，该举措旨在应对美国政府近期削减科研经费、裁撤人员的政策环境，通过优化法国科研生态系统吸引全球顶尖学者赴法或赴欧开展研究。

作为“法国 2030”国家战略投资计划的重要组成部分，该平台由法国国家科研署直接运营，主要功能包括：协调高校及科研机构设立专项研究岗位，为国际科研人才提供定居支持。在资金支持方面，除院校、地方政府和企业的常规资助外，入选项目还可获得“法国 2030”计划提供的配套资金，资助比例最高可达项目总额的50%。这一创新机制将显著提升法国在全球科研人才竞争中的吸引力。“选择法国科研”平台重点聚焦七大战略性研究领域：1）健康医学研究；2）气候变迁、生物多样性保护与可持续社会发展；3）数字技术与人工智能创新；4）空间科学与航天技术；5）农业现代化、可持续食品系统及森林资源管理；6）低碳能源技术开发；7）数字组件、智能系统与新型基础设施构建。这些领域既涵盖基础科学研究，也包含应对全球性挑战的关键技术攻关。

（执笔：沈湘）

产业洞察

韩国国际经济政策研究院发布《韩国存储和系统半导体的全球竞争力分析》报告

据官网 4 月 28 日报道，韩国国际经济政策研究院（KIEP）发布《韩国存储和系统半导体的全球竞争力分析》报告[1]。报告指出，在日益激烈的全球竞争中，韩国半导体行业正面临着技术、市场和供应链的结构性挑战。报告分析了 2024 年半导体贸易趋势，分别对存储半导体和系统半导体进行了全球竞争力分析，最后提出了政策建议。

一、2024 年半导体贸易趋势

2024 年，中国分别占韩国存储半导体、系统半导体和光电子元件总出口额的 32%、34%和 29%；在韩国的同类半导体进口中，来自中国的占比分别为 72%、9%和 26%，凸显了韩中两国供应链之间的紧密相互依存关系。

相比之下，2024 年韩国对美国的半导体出口份额明显较低。美国分别占韩国存储半导体、系统半导体和光电子元件总出口额的 9.6%（其中 DRAM 占比高达 22%）、2.8%和 17%；在韩国的同类半导体进口中，来自美国的占比分别为 0.4%、7%和 2.6%。韩国主要向美国出口存储器半导体，而从美国进口系统半导体较多。

2024 年，日本分别占韩国存储半导体、系统半导体和光电子元件总出口额的 0.6%、0.6%和 5.5%；在韩国的同类半导体进口中，来自日本的占比分别为 0.2%、14.6%和 34%。日本已经建立了独立的存储半导体供应链，而韩国仍然依赖日本，特别是在功率半导体和其他系统半导体元件方面。

---

1 https://www.kiep.go.kr/gallery.es?mid=a20301000000&bid=0007&tag=&b_list=10&act=view&list_no=11814&nPage=1&v

二、韩国存储半导体的全球竞争力情况

韩国存储半导体行业的竞争力在 2018 年达到顶峰后一直在下降。韩国对中国的存储半导体出口份额从 2018 年的 45.7%下降到 2024 年的 31.7%。对全球十大半导体公司持有的存储半导体专利的分析表明，虽然韩国公司保持着数量优势，但在技术质量方面越来越受到美光和闪迪等美国公司的挑战。

三、韩国系统半导体的全球竞争力情况

在系统半导体领域，尽管韩国公司拥有大量专利，但与苹果和高通等全球领先企业相比，其创新性和影响力仍然较弱。

全球半导体行业正在经历结构性调整，高端半导体（如 AI、HPC）越来越以美国为中心，而商品化的半导体则以中国为中心。韩国仍然深度融入以中国为中心的供应链，使其容易受到地缘政治风险加剧的影响，而其与美国和日本的产业分工仍然有限。

四、政策建议

为应对以美国为中心的高端半导体供应链的重组和全球需求的扩大，韩国应加强与美国合作，特别是通过联合设计和技术合作与美国半导体生态系统实现更紧密地同步。

韩国必须建立一个全球联合生产系统，将美国无晶圆厂的中心结构与韩国在代工和内存制造方面的优势联系起来。这需要与美国无晶圆公司共享知识产权，共同开发平台并建立协作验证系统。

韩国应该通过将其在存储半导体技术（如HBM、CXL和DRAM）方面的优势与人工智能计算应用相结合来实现差异化发展。加强与美国的技术联盟应侧重于需求激增的领域，如 HBM3/HBM4 以及人工智能和高性能计算市场的高带宽接口技术。

在美国投资应优先考虑建立小型战略中心，如 AI/HPC 专用测试线、设计支持中心和封装研发中心。这些基地将作为市场测试的平台，并根据性能和需求逐步扩大。

从中长期来看，韩国必须进行战略投资，以确保系统半导体的全球竞争力。这包括提高专利质量、加强知识产权组合以及培育一个充满活力的设计公司生态系统。此外，韩国应通过与英伟达、AMD 和英特尔等美国领先的无晶圆厂和知识产权公司的联合开发、许可协议和设计合作，寻求将技术依赖转变为战略伙伴关系。

（执笔：沈湘 王丽）

英国 IDTechEx 公司发布《量子传感器：通过半导体晶圆厂实现从实验室到芯片》报告

据官网 3 月 31 日报道，著名市场分析公司 IDTechEx 发布《量子传感器：通过半导体晶圆厂实现从实验室到芯片（From Lab to Chip）》报告[1]。报告指出，与传统传感器相比，量子传感器的灵敏度大大提高，甚至完全实现了新的传感能力。预计多个行业将受益于量子传感创新，包括原子钟、原子磁力计、原子陀螺仪等。然而，将量子传感器从实验室原型推向商业产品需要优化其尺寸、重量、功率和成本（简称 SWaP-C）。

正如 IDTechEx 此前发布的《2025-2045 年量子传感器市场：技术、趋势、参与者、预测》报告里阐述[2]，实现这一目标的最成功方法是在高度可扩展的半导体制造工艺中制造尽可能多的传感器。通过更有效地生产量子传感所必需的组件，那些集成在价值链中的半导体晶圆厂将获得最大的收益回报。其中，具有产业发展前景的量子传感器组件包括：

1. 蒸汽电池。（玻璃）蒸汽电池是许多量子传感器的核心。蒸汽电池的可扩展制造对于量子传感器的大规模生产至关重要。在晶圆级半导体制造工艺中生产蒸汽电池已经得到证实，并且有望大规模

[1] https://www.idtechex.com/en/research-article/quantum-sensors-from-lab-to-chip-through-semiconductor-fabs/32909
[2] https://www.idtechex.com/en/research-report/quantum-sensors-market-2025/1063

制造用于量子传感器的高度规则的蒸汽电池。

2. 激光器。量子传感器中最常用的组件之一是激光器。垂直腔面发射激光器（VCSEL）是一种半导体激光二极管，可以在晶圆规模上实现大规模制造。与传统的边缘发射半导体激光器不同，VCSEL 发射的光束垂直于其顶面，直接从芯片中射出。除了在制造和测试方面的优势外，这个特点还允许其他组件直接堆叠在 VCSEL 上，从而实现芯片级量子传感器。虽然用于量子传感器的 VCSEL 要求略微不同，微波芯片级原子钟已经通过使用 VCSEL 和微加工蒸汽电池在大规模生产中取得了成功。随着量子传感市场的成熟，VCSEL 等芯片级激光二极管对于实现芯片级原子陀螺仪、加速度计和下一代原子钟至关重要。德国通快（Trumpf）等老牌公司以及 III-V Epi 和 ICS（Integrated Compound Semiconductors）等代工生产公司，已经专门为量子传感市场开发了 VCSEL。将主要半导体工厂的制造能力与激光技术创新相结合，将是量子传感器商业化的关键。

量子传感器的专用组件以及更广泛的量子技术，面临着一个反复迭代的问题：高生产成本限制了最终产品的应用市场，这反过来又限制了制造规模的扩大。为了解决这个问题，业界正在发起倡议将工业界和学术界聚集在一起，以支持新兴量子技术相关半导体制造业发展。将生产设施集中到“量子代工厂”提供了一种更有效的解决方案，促进量子行业内部的对话可以减少业界在开发组件上花费的资源，从而更快地实现可扩展生产。

（执笔：沈湘 王丽）

麦肯锡公司发布《在美国创建繁荣的半导体化学品供应链》报告

据官网 3 月 25 日报道[1]，世界著名管理咨询公司麦肯锡发布《在

[1] https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/creating-a-thriving-chemical-semiconductor-supply-chain-in-america

美国创建繁荣的半导体化学品供应链》报告。报告分析了一个强大的半导体化学品供应链的重要性，对如何确保美国半导体制造商继续获得所需的化学品和材料进行了分析探讨。

一、美国需要发展的七类半导体化学品类型

1. 有吸引力的美国本土供应。在第一种也是美国本土约束最少的类型中，成本和原材料及技术的获取都不是确保供应的限制因素。例如用于晶圆抛光的化学机械抛光（CMP）衬垫，其通常由在美国广泛可用的低成本材料制成。这类材料的正确配方需要大量的技术知识，而低成本地区的公司无法广泛获得这些知识，这增加了美国国内供应的安全性。

2. 必要的美国本土供应。第二种类型包括美国本土国内供应充足但从投资回报率的角度来看在经济上存在挑战的材料。例如大宗气体（Bulk gas），如二氧化碳、氮气、氢气、氦气或氩气，它们在半导体制造过程中至关重要（如惰性载气）。从历史上看，半导体晶圆厂与供应商合作，在现场或附近建造大宗气体的生产设施，以便将这些气体直接输送到晶圆厂工艺中。在晶圆厂附近建造生产设施需要大量的资本支出，但即使不直接通过管道输送这些材料，它们的运输成本可能仍然很高。领先的半导体制造商已宣布在亚利桑那州建设电子大宗气体产能，以支持该地区已宣布建立的晶圆厂。

3. 明显的成本差距。第三种类型是知识产权和原材料容易获得但经济性最差的化学品。例如，高纯度氢氟酸和三氟化氮。高纯氢氟酸的原材料萤石和硫酸在全球范围内都有供应，包括北美，但中国的一体化程度和规模更大，生产了全球 70%以上的无水氢氟酸和萤石，从而占据最低成本地位。韩国、日本和中国台湾地区的主要供应商利用低成本无水氢氟酸的供应，在高纯氢氟酸供应方面占据领先地位，美国一直依赖进口高纯度氢氟酸来支持自己的半导体晶圆厂。由于无水氢氟酸成本不利，以及创建和运营氢氟酸净化厂的

高昂资本和实验室成本，建设美国本土高纯度氢氟酸的生产能力面临挑战。同样，三氟化氮的原料在其他地区广泛可用，但成本较低。

4. 生产受限的材料。在第四种类型中，一些化学物质的生产受到直接限制。例如，许多氯氟烃和氢氟烃，如六氟丁二烯、四氟甲烷和氟甲烷，都受到管制，以保护地球的臭氧层。因此，随着美国逐步淘汰氟碳化合物生产以保护人类健康和环境，其气体设施和技术的整体可及性预计将受到限制。此外，仍然需要投资来克服资本和持续的生产成本挑战。

5. 原材料获取困难。第五种类型的特点是知识产权和原材料的获取受到挑战，包括获取时间和成本的增加，或者根本无法获得。例如，高纯钽靶材面临着采购困难和生产时间长的问题。刚果民主共和国和卢旺达生产了全球 60%以上的钽矿石，这些钽矿石通常运往中国、欧洲和日本进行精炼和提纯。另一个例子是六氟化钨，其原材料通常难以获得。中国和俄罗斯生产了全球 90%以上的钨，目前半导体制造业对钨的需求远远超过了目前其他地区的钨产量。因此，钨的任何出口中断或限制都将严重挑战美国半导体制造业的供应。

6. 缺乏技术获取。第六种类型中，关键的知识产权或原材料供应可用性（或两者兼有）限制了美国本土供应。例如，铈基 CMP 浆料，其中一种关键原料是高纯度二氧化铈颗粒。美国生产了全球约 15%的铈矿，下游的造粒和混合能力也已广泛普及。然而，分离和提纯这些矿石的技术主要位于中国，这使得运输成为价值链中的关键瓶颈。为了在美国实现规模化生产，技术所有者可以与晶圆厂合作，建立更具韧性的本地供应链，进一步降低运输成本和与运输化学品相关的安全问题。

7. 美国以外的利润率更高。第七种类型包括拥有充足美国本土知识产权或原材料供应（或两者兼有），但在美国以外也具有更具经

济效益的材料，例如用于光刻底部和顶部的抗反射涂层。对于这些材料，美国公司拥有生产技术和知识产权，但由于运营成本较低，在其他地区建设产能更具吸引力。

二、发展建议

缩小化学品供应缺口对于在美国建立可靠的半导体来源至关重要。类似的努力对世界各国和地区也很重要，因为他们希望建立这些战略资产的、具有韧性的本地供应链。

为了确保这些重要材料的供应，美国半导体制造商可以考虑采取几个步骤，包括签订贸易协定、开发和确保关键原材料的获取来源，以及努力缩小在美生产的投资和运营成本差距。化学品供应商可以考虑加入全球合作伙伴关系和合资企业，以获取关键技术，评估上游供应链环节中存在高中断风险的替代方案，并在未来供应的投资决策中更突出地强调供应链的韧性和风险。晶圆厂可以基于事实来看待其韧性和风险，并积极开发更广泛、更具韧性的供应选择。整个产业链的参与者可以与技术所有者合作，在建立和扩大产能的同时保护重要的知识产权。

随着美国和其他地区寻求提高自给自足能力，半导体材料投资的价值可能会对美国和全球产生深远影响。建立有韧性的半导体材料供应是建立大规模美国本土半导体产业和确保获得 21 世纪最关键技术之一的重要组成部分。

（执笔：沈湘 王丽）

日经 CrossTech 发布未来最具潜力的前沿技术 Top50

据官网 5 月 28 日报道[1]，日经 CrossTech 与数据运营公司 Zuva 联合发布“未来科技投资指数”，评选未来最具潜力的前沿技术 Top50，包括自旋电子学、Chiplet（芯粒）、碳化硅等技术。该指数基于 Zuva

[1] https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/03191/051200001/?ST=nxt_thmdm_electronic

数据库中超 155 万家初创企业的融资动态，分析各技术赛道的成长预期，并由相关专家担任学术顾问。

表 1 前沿技术 Top50

序号	技术	分类	简要说明
1	AI 代理	AI	AI 代理是指为实现特定目标，自主选择最优手段并完成多种任务的系统。与生成式 AI 根据用户指令、利用大规模语言模型（LLM）生成内容不同，AI 代理能够在理解指令的基础上，还能调用外部工具或数据等执行任务。
2	岩石风化促进	CO_2减排	岩石风化促进是通过向农地等撒布粉碎的岩石，实现吸收和固定大气中二氧化碳（CO_2）的负排放技术之一。除可实现温室气体的削减外，还预期有助于农作物增产和土壤改良。也称“增强岩石风化”。
3	自旋电子学	电子技术	自旋电子学是指不仅利用电子的电学性质，还利用自旋磁性性质进行运算和存储的技术。利用自旋取向一致的强磁性材料等。应用于半导体器件有望加快信息处理速度、降低功耗。
4	人工光合成	CO_2 减排	人工光合成是指利用太阳光能量，使水和二氧化碳（CO_2）合成有机物，模仿自然界光合成的方法。自然界合成淀粉，人工光合成可合成塑料原料的烯烃和作为氢的输运载体的甲酸等化合物。
5	3D 流媒体	内容分发	3D 流媒体是指将三维（3D）影像等内容通过网络进行实时分发的技术总称。其目的是通过头戴显示器（HMD）、智能手机、个人电脑等终端，实现高精细内容的无延迟观看。预计应用领域包括游戏等娱乐等。
6	四足步行机器人	机器人技术	四足步行机器人是指用四条腿仿生移动的机器人。在障碍物多、地面不平难以轮式移动的场所使用，如建筑工地。日本 2024 年大阪世博工地已用四足机器人巡检。
7	检索增强生成（RAG）	AI	检索增强生成（RAG）是指将大规模语言模型与外部数据检索相结合，从而实现更准确回答的生成 AI 技术。作为业务自动化的核心技术备受关注。LLM 仅凭学到的知识回答问题，RAG 可利用外部信息。
8	太空资源采掘	资源开发	太空资源采掘是指在包括月球在内的天体中开采水或矿物等天然资源的活动与技术。资源包括可分解为氢和氧的水、冰，

			以及风化层等。既用于太空资源开发，也有望将资源带回地球。
9	木质素基材料	新材料	木质素基材料是以木材中成分“木质素”为原料的环保型生物质材料。木质素为植物细胞壁成分，提升强度，含量约 20～35%。过去多为造纸副产废弃，现为塑料替代材料等用途受关注。
10	数字嗅觉分析	传感	数字嗅觉分析是指利用数字技术对各种气味进行定量分析的技术。检测和判别可利用吸附特定气味分子的官能团或培养昆虫等嗅觉受体的细胞。
11	对抗生成网络	AI	对抗生成网络（GAN，Generative Adversarial Networks）是深度学习架构之一。由两个神经网络互相竞争学习，能生成高精度图像，主要用于图像生成领域。
12	室温超导体	新材料	室温超导体是指在 0 度以上室温条件下电阻为零（超导）的材料。可实现无能量损耗的输电。已有应用于列车供电电缆，但目前仍需极低温。
13	钠离子电池	储能	钠（Na）离子电池是通过钠离子在正负极间移动实现充放电的二次电池。被视为可替代部分锂离子电池应用，主要在电动车、智能手机等领域研发活跃。
14	自修复材料	新材料	自修复材料是指材料在产生裂痕等损伤时可自发或通过简单方式修复的材料，也称为自愈材料。混凝土、玻璃、金属、塑料等各类材料领域均有研发，广泛应用于建筑、汽车、航空航天等行业。
15	人类增强	可穿戴	人类增强是指通过技术扩展人类身体或智能能力的技术。眼镜、显微镜、望远镜等也是人类增强。近年来 AI、机器人、脑机接口等最前沿技术不断融合现实与数字空间。
16	金刚石半导体	半导体	金刚石半导体是指利用金刚石的半导体器件。因其卓越的材料特性，被称为“终极半导体材料”。被关注作为功率器件、高频器件、传感器等半导体元件的材料。
17	现实世界资产	区块链	现实世界资产（RWA）是指将不动产、债券、股票、商品、专利等现实资产在区块链上进行代币化。因区块链技术，交易可实时完成，记录全公开且无中介。
18	数字克隆	AI	数字克隆是指利用 AI 在数字空间复制人或物的技术。让 AI 学习特定人物的声音、行为、思维、价值观等信息的复制体也称为

			“AI克隆”或“个人AI”。克隆生成可利用大规模语言模型（LLM）或检索增强生成（RAG）等。
19	稳定币	区块链	稳定币是指与美元等法定货币或金银等商品的价格挂钩的代币。与高波动性的加密资产（虚拟货币）相比，价格波动较小。可在公有区块链上运营，实现低成本跨境汇款和支付。
20	深度伪造检测	安全	深度伪造检测是指检测利用生成 AI 制作的高度逼真的虚假图像、视频、音频、文本等深度伪造内容的技术。可防止恶意利用深度伪造进行诈骗等犯罪。
21	电动自行车/摩托	移动出行	电动摩托指以电力为动力源的自行车及两轮摩托车。CO_2 排放少，是实现脱碳社会的出行方式之一。全球初创企业多聚焦“e-Bike”。除销售外，也提供租赁、共享服务。
22	准同态加密	安全	准同态加密（Homomorphic Encryption、HE）是指在数据计算过程中对数据进行保密处理的“秘密计算”技术之一。将原始数据加密后发送到服务器，在加密状态下进行处理，仅对结果进行解密。在强化隐私保护方面被寄予期待。
23	碳市场	CO_2 减排	碳市场是指将企业的二氧化碳（CO_2）排放量或减排量货币化进行交易的市场。东京证券交易所 2023 年设立了“碳信用市场”即为此例。国家认可CO_2减排成效时发行的“J-信用”可在参与企业间交易。
24	AI伴侣	AI	AI 伴侣是指通过自然语言进行双向“对话”，承担日常交流对象或儿童教育支持等角色的 AI 服务或工具。不仅限于软件形式，也有将 AI 集成到机器人等硬件中加以应用的企业。
25	混合型电容器	储能	混合型电容器是将电双层电容器（EDLC）与锂离子电池（LIB）技术融合的储能装置。一极为物理性电双层结构，另一极为锂含有材料。比LIB充放电快、比EDLC能量密度高。
26	超大规模数据中心	云	超大规模数据中心是指具备高度可扩展性的大型数据中心。2006 年由美国 Google 首次开设。要求至少可容纳 5000 台服务器、具备足够受电容量和网络带宽。常为数万平方米以上。

27	生物浸出	资源开发	生物浸出是指利用微生物代谢作用将金属成分从矿石中溶出的技术，用于金属冶炼。铜等硫化矿石以微生物催化氧化剂溶出金属，提高效率。
28	收益耕作	区块链	收益耕作（Yield Farming）是指将加密资产（虚拟货币）存入分散型交易所以获取收益，是利用“分散型金融（DeFi）”的资产运用方式之一。用户可通过流动性池或借贷平台等 DeFi 协议获得收益。
29	消费者数据变现	数据分析	消费者数据变现是指消费者将自身管理的隐私数据提供给企业，由此获得收益的方法。企业购买数据后，可用于商品、服务的开发与市场营销优化，从而提升竞争力。
30	人形机器人	机器人技术	人形机器人是模仿人类外观和动作的双足步行机器人。用于工厂、仓库替代单纯作业。AI、马达等技术进步降低准入门槛，中美等科技企业竞相开发。
31	量子密钥分发	量子计算机	量子密钥分发（QKD）是指利用量子力学原理实现加密密钥安全共享的技术。利用测量改变量子态的特性可检测窃听，安全性极高。通过光子传递密钥，日本 NTT、东芝等正推动 QKD 网络。欧、美、中也有多项实证。
32	API 安全	安全	API 安全是指防止利用用于软件间协作的 API 进行 Web 攻击的各类对策的总称。如果 Web 系统存在对象级授权或用户认证等漏洞，便可能因漏洞被攻击，导致系统入侵或信息泄露。
33	Chiplet（芯粒）	半导体	Chiplet 是指在一个封装内组合多个半导体芯片以实现高性能器件的技术。严格来说，Chiplet 指单个芯片，将多个芯片组合的方法称为“Chiplet 集成”。是不同于微细化与大面积化的集成创新路径。
34	4D 打印	仿真	4D 打印是指为 3D 打印所制造的立体物体赋予运动性的技术。出现在 2010 年代前期。据称由美国麻省理工学院（MIT）的 Skylar Tibbits 提出和倡导。
35	有机半导体	半导体	有机半导体是指具有半导体性质的有机材料。与原子共价键结晶的无机半导体不同，有机半导体以分子间弱作用力形成固体。用于有机 EL 显示、有机薄膜太阳能等，实现轻量、柔性、透明等器件。

36	SiC 半导体	半导体	SiC 半导体是指由碳（C）和硅（Si）组成的化合物。SiC 被称为碳化硅或硅碳化物，既有多晶也有单晶，作为功率半导体应用的是单晶。与硅相比，作为功率半导体材料的特性更优，因此被视为下一代功率半导体之一。
37	卫星光通信	数据通信	卫星光通信是指通过激光等光束在卫星与地面、或卫星间进行通信的技术。与无线电相比，可实现更高速、大容量的信号传输，且有利于设备小型化、轻量化，通信系统间的干扰也较少。保密性高、无需许可。
38	合成燃料	CO_2减排	合成燃料是指以氢（H_2）和二氧化碳（CO_2）为原料制造的燃料。利用可再生能源制得的氢气和电厂、工厂等排放的 CO_2，因此有助于实现碳中和。
39	干法电极	储能	干法电极技术是指无需干燥工序的锂离子电池电极制造技术。与传统采用有机溶剂和烘干工艺不同，干法电极不用有机溶剂，简化工艺、降低能耗。
40	工业机器人	机器人技术	工业机器人是指在工厂代替人类作业的机器人。一般拥有三轴以上，可通过程序实现自动控制的机械。受人力短缺影响，工厂引入不断增加，预期可提升生产效率、安全性和降低人工成本。
41	Play to Earn	区块链	Play to Earn（P2E）是指通过玩游戏获得加密资产（虚拟货币）或 NFT（非同质化代币）等奖励的机制。主要应用于区块链游戏，玩家可以自由转让或出售在游戏内获得的道具。
42	企业浏览器	安全	企业浏览器是指强化了信息安全功能的业务用 Web 浏览器。在使用 SaaS 等时，浏览器端可提供访问控制、恶意软件检测、防止数据泄漏等功能。
43	运动员追踪	体育科技	运动员追踪是指利用摄像机、传感器、AI 等技术解析比赛中选手的位置与动作的技术。结合图像识别、动作捕捉、神经网络机器学习等。适用于专业、业余、学校运动等多场景，便于训练和分析。
44	水下机器人	机器人技术	水下机器人是在海洋、河流、水坝等水下替代人类进行危险作业和调查的机器人。用于南极船无法进入的区域调查、海底矿产调查、水下结构物维护等。主要分为自主型（AUV）和遥控型（ROV）两类。

45	元宇宙	元宇宙	元宇宙是指构建于互联网的虚拟空间，“Meta（超越）”与“Universe（宇宙）”组合而成。消费者端包括网络游戏、SNS等，通过角色（虚拟形象）在数字空间互动。平台上支持加密资产等交易。
46	HAPS（平流层通信平台）	数据通信	HAPS 是指搭载通信设备，在约 20 公里高空飞行的无人航空器（UAV）。一架 UAV 可为地表直径 100～200 公里范围提供通信服务。在日本，NTT 和 SoftBank 等企业均有相关布局。
47	再生金融	区块链	再生金融是指利用 NFT 或加密资产等区块链相关技术，筹集与可持续社会相关资金。通过投资、贷款等金融服务，推动环境或社会问题的解决。简称为“ReFi”。
48	量子传感器	量子计算机	量子传感器是指应用量子纠缠、量子叠加等量子力学原理测量物理量的技术。相较传统传感器，可更高精度、高灵敏度地测量磁场、温度、重力等。应用于医学 MRI、导航、半导体检测等领域。
49	量子云计算	量子计算机	量子云计算是指通过互联网使用量子计算机算力的服务。类似现有云计算，用户无需自备硬件即可使用量子计算。美国 AWS、IBM、Google、Microsoft 等已开展此类服务。
50	零知识证明	安全	零知识证明（Zero Knowledge Proof、ZKP）是在不提供证明信息本身的前提下证明事实的技术。可用于加密数据状态下的计算结果确认等。比如不出示驾照即可证明已满 20 岁。

前沿研究

复旦大学成功研制“破晓”皮秒闪存器件

人工智能技术的快速发展对存储系统提出了更高要求，亟需突破的非易失性数据存储技术来解决计算能效的瓶颈。当前技术格局呈现以下特点：1）静态随机存取存储器（SRAM）可以实现亚 1 纳秒速度，但其存在存储数据易失、能效低和存储密度不足等固有缺陷；2）主流非易失性闪存具备存储数据非易失、存储容量大和制造成本低等优势，但其编程速度远逊于易失性存储器。

为突破这一技术瓶颈，科研界正重点开发四类新型非易失性存储器：相变存储器（PCM）、电阻式随机存取存储器（ReRAM）、铁电存储器（FeRAM）和磁性随机存取存储器（MRAM）。最新研究表明，先进材料中的创新机制已实现突破性速度提升。但《国际设备和系统路线图》明确指出各技术路线仍面临重大挑战：PCM 存在热串扰问题、ReRAM 受制于统计波动性、FeRAM 受 CMOS 工艺退化影响、MRAM 面临小型化困难。值得注意的是，现有研究共识表明，传统闪存技术难以实现亚 1 纳秒级编程速度。

复旦大学集成芯片与系统国家重点实验室取得重大突破，成功研发出名为“破晓”的皮秒级闪存器件。该器件具有以下显著特征：擦写速度快至亚 1 纳秒、达到 400 皮秒，相当于每秒可执行 25 亿次操作，其性能超越同技术节点下世界最快的易失性存储 SRAM 技术[1]。这是迄今为止世界上最快的半导体电荷存储技

[1] Yutong Xiang, Chong Wang, Chunsen Liu, et al. Subnanosecond flash memory enabled by 2D-enhanced hot-carrier injection [J]. Nature, 2025, 641:90–97. https://www.nature.com/articles/s41586-025-08839-w

术，实现了存储、计算速度相匹配，规模化集成后有望彻底颠覆现有的存储器架构[1]。

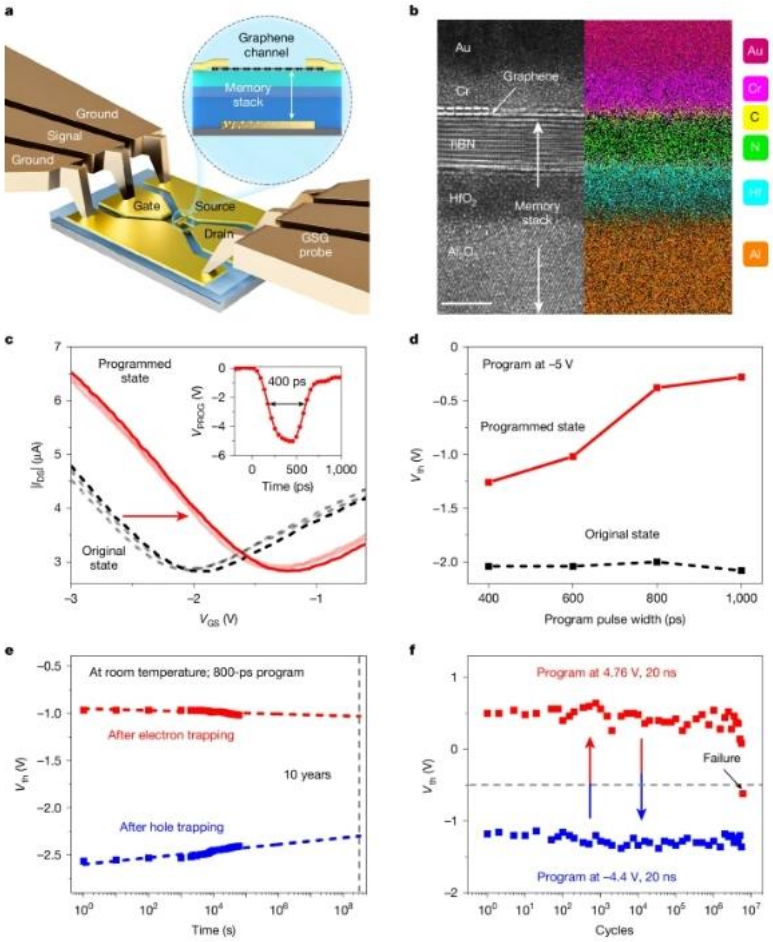

图 1 亚 1 纳秒闪存的内存性能

研究团队从存储器件的底层理论机制出发，通过结合二维狄拉克能带结构与弹道输运特性，调制二维沟道的高斯长度，提出并实现了沟道电荷向浮栅存储层的“超注入”机制。在“超注入”机制下，电子无需“助跑”就可以直接提至高速，而且可以无限注入，不再受注入极值点的限制。这项研究从物理机制层面解决了传统存储器件电荷注入效率低下的根本问题，为下一代超高速存储器件的发展提供了全新理论框架和技术路径。

（执笔：沈湘）

[1] https://news.fudan.edu.cn/2025/0417/c4a145010/page.htm

美国哈佛大学首次展示芯片集成皮秒级中红外激光器

当前集成光学频率梳技术在中红外波段仍面临重要技术挑战，在 3-12μm 中红外波段，尚无法实现短脉冲、高亮度的紧凑型光源。目前中红外超快脉冲发射器存在系统复杂、体积庞大、能效低下等固有缺陷。这一现状凸显了开发直接中红外超快光源的迫切需求，也是当前光子学领域的重要研究方向。

美国哈佛大学研究团队首次展示了一款单片集成的皮秒级中红外激光脉冲发生器，该创新器件采用独特的芯片级集成方案，实现了无需外部组件的自主运行，能够持续稳定地输出明亮的孤子脉冲达数小时之久[1]。与传统的基于量子级联激光器的中红外脉冲产生技术相比，该团队开创性地借鉴了克尔微谐振器的光调制原理，巧妙地将非线性光子学概念应用于芯片设计。通过将环形谐振器、激光源和滤波器等核心组件无缝集成于单一芯片，并利用孤子脉冲自激发机制，最终实现了完全集成的皮秒级光脉冲输出系统[2]。

[1] Dmitry Kazakov, Theodore P. Letsou, Marco Piccardo, et al. Driven bright solitons on a mid-infrared laser chip [J]. Nature, 2025, 641:83–89. https://www.nature.com/articles/s41586-025-08853-y
[2] http://edu.people.com.cn/n1/2025/0417/c1006-40461848.html

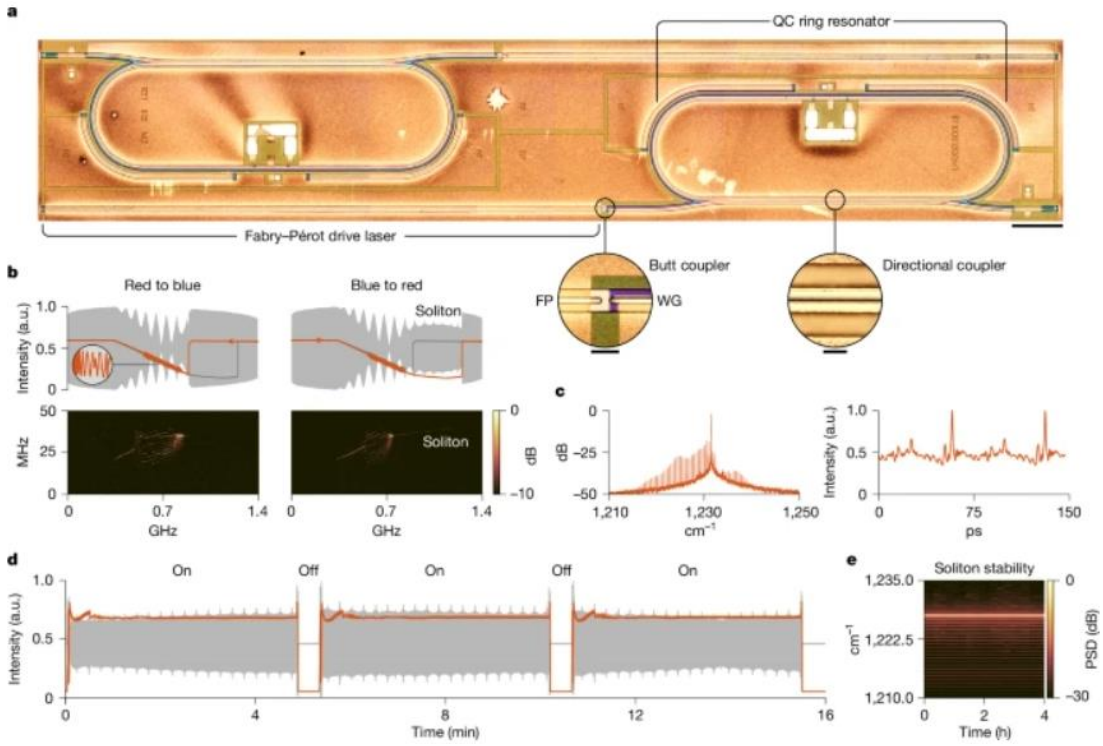

图 1 集成 turnkey 孤子发生器

该技术采用标准半导体制造工艺，可在工业激光代工厂实现规模化量产。这种新型激光器的产业化应用将显著推动高灵敏度、宽光谱气体传感器的发展进程。

（执笔：沈湘）

美国麻省理工学院研制出超导全波桥式整流器

超导纳米线单光子探测器（Superconducting nanowire single-photon detector，SNSPD）阵列在光量子计算机、量子通信、光脉冲神经网络和高能物理的发展中具有广阔的前景。然而，这些系统的规模化应用需要集成用于读出和信号处理的低温设备以及用于连接多个模块的互连。因此，创建能够在低温阶段传输和处理高功率、动态调整偏置水平、最小化串扰和电噪声以及保持热隔离的架构至关重要。这些架构还必须与用于超导探测器和电子设备的标准材料兼容，并与传统电路实现连接。其中，超导薄膜电子器件可以提供

低功耗、快速运行速度以及与单光子探测器阵列和量子计算设备等低温系统的接口能力。

然而，缺乏一种类似于半导体二极管的可靠超导双端不对称器件，限制了功率处理电路的发展，而功率处理电路是此类技术规模化应用的基础。

美国麻省理工学院研究团队利用氮化铌微桥中的非对称涡旋表面势垒，开发出一种具有可调极性的新型超导二极管，峰值整流效率达 43%，半波整流高达 120 MHz[1]。研究团队还成功将多个二极管集成在单个微芯片上，制备出桥式整流电路，在高达 3MHz 频率下实现连续全波整流，并以周期性脉冲的形式对 50MHz 信号进行交直流转换，峰值功率效率达 50%。该研究成果为超导电子系统规模化应用提供了关键器件支持。

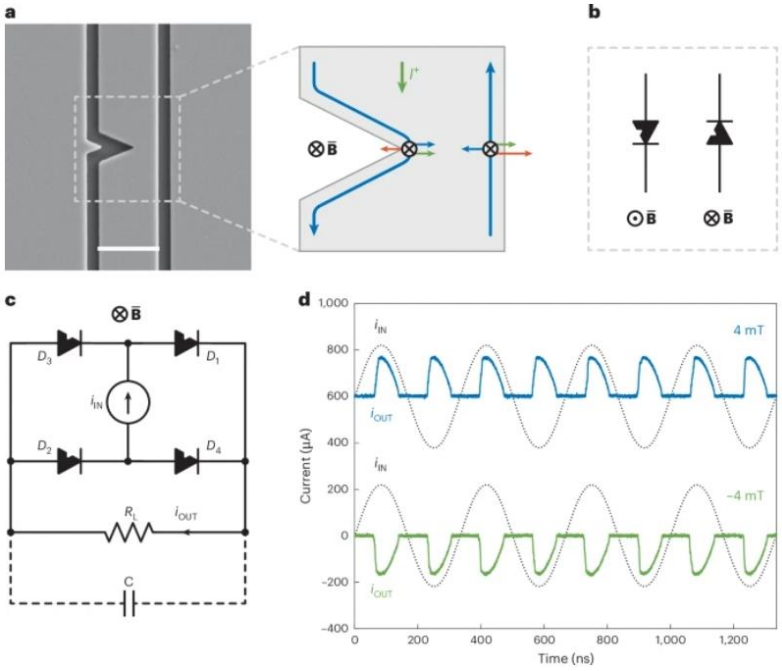

图 1 超导二极管和桥式整流器

（执笔：沈湘）

[1] Matteo Castellani, Owen Medeiros, Alessandro Buzzi, et al. A superconducting full-wave bridge rectifier [J]. Nature Electronics, 2025. https://www.nature.com/articles/s41928-025-01376-4

美国 Lightmatter 公司发布首款通用型光子 AI 加速器

2025 年 4 月 9 日，美国 Lightmatter 公司联合 OpenAI 在《自然》杂志发表重大研究成果，成功研制出全球首款能够执行复杂人工智能模型且计算精度接近于电子计算的光子处理器[1]。

一、应对后摩尔时代挑战

随着大型语言模型、强化学习和卷积神经网络等 AI 技术的迅猛发展，传统电子计算机正面临着摩尔定律的根本限制。过去十年，光子学研究领域一直致力于探索用于人工智能的张量运算技术路径，以提供更高能效和更强性能的创新解决方案。然而，迄今为止，尚未有光子芯片能达到实用 AI 应用所需的计算精度，相关演示也仅限于简化的基准任务。

此次研发的光子 AI 处理器成功执行了多种先进 AI 模型，包括 ResNet、BERT 以及 Atari 深度强化学习算法，其在多种工作平台上的计算精度达到接近电子计算精度水平。

二、创新集成架构

该光子处理器集成了四颗采用 GlobalFoundries 公司 90 纳米工艺制造的 128×128 光子张量核心（PTC），以及两颗采用 12 纳米工艺制造的数字控制接口（DCI）芯片。处理器采用创新的封装方式，在单一封装内集成了六颗芯片。处理器在 78 瓦电功率、1.6 瓦光功率的能耗水平下，可以实现每秒 65.5 万亿次 16 位自适应块浮点（ABFP）运算，这代表了光子处理领域迄今最高水平的集成度。

[1] https://www.nature.com/articles/s41586-025-08854-x

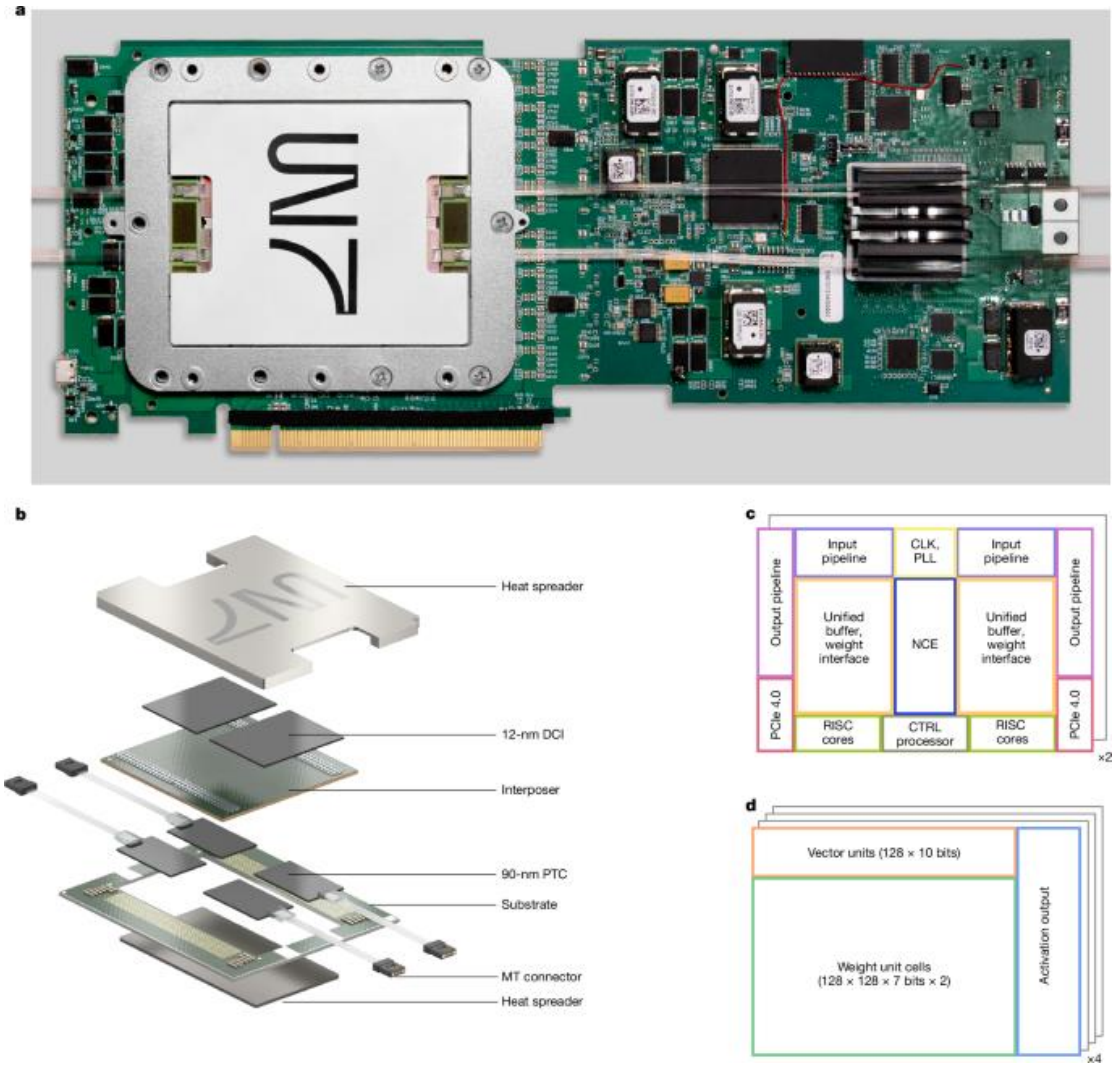

图 1 四核光子处理器

三、多模型测试表现出色

研究团队在多个 AI 工作负载上进行了测试，结果显示：

1．线性和卷积模型（如 ResNet18）准确率接近 32 位浮点平台水平。

2．BERT-Tiny 模型在 IMDb 情感分类任务中表现稳健。

3．成功运行了包括 Beamrider 和 Pacman 在内的 Atari 游戏模型。

四、前景与挑战

研究人员表示，未来光子张量核（PTC）的面积可以通过采用先进封装技术进一步缩小，有望在单个全掩模芯片上扩展到 512×512 个计算单元。材料科学的进步，如使用铌酸锂、钛酸钡和新兴二维材料，也将为光子处理器带来变革性潜力。随着 AI 和机器学习应

用不断增长的算力需求，这一突破性光子 AI 技术有望在后晶体管计算时代发挥重要作用。

（执笔：李国强）

曦智科技公开光电混合计算架构

2025 年 4 月 9 日，曦智科技[1]（新加坡）在《自然》杂志公开“PACE”（Photonic Arithmetic Computing Engine，光子计算引擎）的具体架构[2]。“PACE”是一款完全由商业生产线制造的大规模光电集成计算卡，曦智科技提供了详尽的实测数据，验证了光子计算的优越性。本次公开“PACE”光电混合计算（硬件和软件）架构，是该产品开发思路的一次“开源”，以促进光电计算行业的发展和进步。

近年来，随着硅光子、纳米光学、材料科学等学科的发展，全球范围内光计算的热度不断攀升。与传统电子计算技术相比，光计算采用了一种全新的运算方式，利用光子作为信息载体，通过光学硬件而非电子硬件来执行计算任务。这种新型的计算尤其擅长处理需要高度并行运算的复杂任务，然而光计算也面临着一些挑战：首先，缺乏合适的商业化应用场景；其次，传统的光子器件采用分离式设计，对光场的调控手段比较单一，并且整个光子系统的体积较为庞大，导致光计算技术长期停留在实验室理论研究阶段。

早在 2021 年，曦智科技就发布了光子计算处理器“PACE”，其包含 64×64 光学矩阵，集成 16,000 个光子器件，由一块集成硅光芯片和一块 CMOS 微电子芯片以 3D 封装形式堆叠而成，能够实现 1GHz 频率的高速计算和每周期 3 纳秒的延迟。在本篇论文中，针对伊辛图形优化算法，用光电混合芯片比用电芯片要快几个数量级，证明了光电混合技术（对比现有技术）的优越性。

[1] 注释：中国团队，总部新加坡，MIT 背景，论文注新加坡

[2] https://www.nature.com/articles/s41586-025-08786-6

针对这项研究成果，审稿人认为，“在光子计算领域，通常会通过小规模的演示对大规模系统性能进行乐观推断，而本论文中的数据均来自整个“PACE”计算系统的实测性能，研究团队工程化地实现了一个超大规模光子矩阵计算系统，可谓是一次壮举。”《自然》杂志此次发表来自产业界的产品化成果，一方面标志着光计算技术已经从理论研究阶段跨入实际应用阶段；另一方面也反映出学术界对光计算商业前景的认可。

现有电信设施实现创纪录长距离量子通信

2025 年 4 月 23 日，英国东芝欧洲公司等在学术期刊《自然》上发表成果[1-2]，首次在德国现有 254 公里商用电信网络中实现了基于相干性的双场量子密钥分发（Twin-Field Quantum Key Distribution，TF-QKD），密钥生成率为 110bit/s。这项工作创造了现实世界和实用量子密钥分发距离的新纪录，标志着量子通信由实验室原型向实际应用迈出了关键一步。

在真实世界的现有电信基础设施中实现长距离量子通信始终面临着根本性挑战：量子态的脆弱性使得光子在光纤中传输时极易与环境发生退相干作用，导致量子信息丢失。在众多 QKD 协议中，相干量子通信是一类依赖光学相位保持的协议，能显著提升通信距离并突破传统无中继量子通信在传输容量上的限制。其中，双场量子密钥分发协议（TF-QKD）是近年来的研究重点。此前，TF-QKD 虽在实验室条件下实现了超长距离传输，但其实现依赖于超稳激光器和超导单光子探测器（SNSPD），这些高成本、低兼容性的设备限制了 TF-QKD 的实际部署。因此，如何在现有电信网络中实现相干量子通信，同时使用非低温探测技术以降低系统复杂度与成本，成为

[1] https://www.nature.com/articles/s41586-025-08801-w#author-information
[2] https://baqis.ac.cn/news/detail/?cid=2260

当前量子通信研究的核心课题。

这项工作在德国部署的现有商用光纤网络中构建了一个星型量子通信网络。通信链路总长度为 254 公里，全程光信号损失为 56 dB，实验采用的 TF-QKD 协议为“发送/不发送”变体，该协议支持在 Alice 节点和 Bob 节点之间连续生成共享密钥位串，从而通过对称密钥加密实现量子安全通信。探测器方面，采用商业化的 InGaAs 雪崩光电二极管（Avalanche Photodiode，APD），工作温度-30℃，无需极低温冷却。相比 SNSPD 成本降低 1-2 个数量级，且兼容标准电信机架，更具实际规模化部署潜力。这项研究标志着量子通信技术从“实验室产品”向“工业级产品”的关键转型。其价值不仅在于创造了新的量子密钥分发距离纪录（将无低温冷却的实用量子密钥分发距离提升至此前研究的两倍），更在于验证了基于现有电信基础设施构建量子网络的可行性，为未来规模化部署量子网络奠定了基础。

（执笔：于杰平）

产业动态

日本 OKI Circuit Technology 公司研发出 124 层高密度 PCB 技术

据官网 4 月 25 日报道[1]，日本 OKI Circuit Technology 公司成功开发出用于下一代高带宽存储器（HBM））晶圆检测设备的 124 层印制电路板（PCB）技术，为 AI 半导体产业发展注入新动力。这比传统的 108 层设计增加了大约 15%的层数。OKI Circuit Technology 公司计划在 2025 年 10 月前在其上游工厂实现该技术的大规模生产。

最新的半导体需要处理大量信号，并且由于工艺小型化，晶片安装芯片的数量也在增加，因此有必要提高检测设备中使用的 PCB 的密度和层数。然而，由于各种限制，PCB 厚度被限制在 7.6 毫米，传统技术的层数极限是 108 层。OKI Circuit Technology 公司通过开发超薄材料和工具、适用于超薄材料的处理技术，以及开发和引入专有的超薄材料自动传输系统到生产线上，成功开发出层厚为 7.6 毫米的 124 层 PCB 技术。这项新技术可应用于人工智能半导体、航空航天、国防、机器人和下一代通信等领域。

（执笔：沈湘 ）

欧洲意法半导体公布“重塑制造布局”计划

据官网 4 月 10 日报道[2]，欧洲意法半导体（STMicroelectronics）公布了一系列旨在重塑制造布局和调整全球成本基础的全公司计划。这是进一步更新公司在 2024 年 10 月发布的全球计划的一部分，该计划旨在进一步加强意法半导体的竞争力，巩固其作为全

[1] https://www.oki.com/global/press/2025/04/z25006e.html
[2] https://newsroom.st.com/media-center/press-item.html/c3330.html

球半导体领导者的地位，并确保公司垂直整合制造（IDM）的长期可持续发展。

该计划包括成本调整和制造布局重塑两大方面。具体包括：

（1）**创新和扩大规模，提高整个制造业务的效率**。随着创新周期的缩短，意法半导体的制造战略正在不断发展，以加快向全球客户大规模交付创新且专有的技术和产品，涵盖汽车、工业、个人电子和通信基础设施应用。意法半导体制造业务的重塑和现代化旨在实现两个主要目标：其一，将计划投资重点投向面向未来的基础设施，如优先对12英寸硅和8英寸碳化硅晶圆厂进行战略投资，使其达到盈亏临界规模；同时，最大限度地提高传统6英寸晶圆厂的产能和成熟8英寸晶圆厂的产能。第二，意法半导体计划继续投资升级运营技术，部署更多的人工智能和自动化技术，以进一步提高技术研发、制造、可靠性和资格认证过程的效率，并始终关注可持续发展。

（2）**加强意法半导体的制造业生态系统**。未来三年内通过制造布局重塑计划，意法半导体将设计并强化互补的生态系统：在法国围绕数字技术，在意大利围绕模拟和功率技术，在新加坡围绕成熟技术，以实现满负荷产能利用，，并推动技术差异化，以在全球竞争中立足。

（3）优化其他制造厂。法国 Rousset 工厂将继续专注于 8 英寸晶圆制造，通过从其他基地重新分配更多产能，实现现有制造能力的满负荷运转，以优化效率。法国 Tours 工厂将继续专注在其特定技术的 8 英寸硅生产线上，而包括传统 6 英寸制造在内的其他业务将转移到意法半导体的其他工厂。此外，Tours 工厂仍将是氮化镓（GaN）的技术创新中心，主要聚焦于晶圆外延工艺。该基地还将开展面板级封装新业务，这是芯粒技术的关键技术之一，而芯粒作为复杂半导体应用的关键技术，未来将对意法半导

体发展至关重要。新加坡宏茂桥工厂是意法半导体成熟技术的量产晶圆厂，将继续专注于 8 英寸硅晶圆制造，同时也将承接意法半导体全球传统的 6 英寸硅晶圆产能。马耳他 Kirkop 工厂是意法半导体在欧洲的大规模封测厂。该工厂将进行升级，引入先进的自动化技术，更好地支持下一代产品。

（3）**劳动力和技能发展**。随着意法半导体在未来三年重塑其制造业版图，劳动力规模和所需技能将不断发展。先进制造业将从涉及重复人工任务的传统流程转变为更加注侧重于工艺控制、自动化和设计的方向。意法半导体将通过自愿措施管理这一转型，并承诺根据适用的国家法规，持续与员工代表进行建设性对话和谈判。根据当前预测，预计在正常减员的基础上，未来三年内将有多达 2800 人自愿离职。这些调整主要集中在 2026 年和 2027 年。公司将随着计划的推进向利益相关方提供定期更新。

（执笔：沈湘）

挪威卑尔根大学初创公司 Lace Lithography 正在开发新型原子光刻技术

据欧洲电子新闻网 4 月 22 日报道[1]，挪威初创公司 Lace Lithography 正在开发一种突破性的原子光刻技术 BEUV（Beyond-EUV）。该技术通过向表面发射的原子来定义特征，分辨率预计将超越现有极紫外光刻（EUV）技术的极限。BEUV 技术理论上可以实现更精细的特征，支持晶体管进一步小型化并延续摩尔定律。

Lace Lithography 公司于 2023 年 7 月筹集了约 45 万欧元的种子轮融资，得到国际风险投资公司 Runa Capital、证券投资公司 Vsquared Ventures 和 Future Ventures、欧洲创新委员会、挪威创新局（Innovation Norway）以及挪威研究委员会支持。

[1] https://www.eenewseurope.com/en/lace-lithography-uses-atoms-to-go-beyond-euvl/

迄今，该公司已经组建了一个由 20 多名物理学家、工程师和操作员组成的团队。

（执笔：沈湘）

美国 NEO Semiconductor 公司推出全球首款基于 IGZO 的 3D X-DRAM 技术

据官网 5 月 7 日报道[1]，作为 3D NAND 和 3D DRAM 技术的领先开发商，美国 NEO Semiconductor 公司宣布其革命性的 3D X-DRAM 技术家族的最新进展——推出业界首款基于氧化铟镓锌（IGZO）材料的全新 3D X-DRAM 单元（cell）设计——1T1C 和 3T0C。

1T1C 型 3D X-DRAM 单元，提供高达 512 Gb 的密度（比传统 DRAM 提高了 10 倍）、10 ns 的快速读写速度和超过 450 秒的数据保留时间，可用于高性能 HBM 和 AI 应用。

新的 1T1C 和 3T0C 型 3D X-DRAM 单元设计基于类似 3D NAND 的架构，并采用预计于 2026 年推出的概念验证测试芯片，1T1C 和 3T0C 型 3D X-DRAM 单元将 DRAM 的性能与 NAND 的可制造性相结合，可实现高成本效益、高产量生产。

（执笔：沈湘 ）

美国思科公司推出新型量子网络纠缠芯片原型

据官网 5 月 6 日报道[2]，美国思科公司（Cisco）与加州大学圣塔芭芭拉分校合作开发出新型量子网络纠缠芯片原型，这是思科公司量子网络愿景的关键组成部分。

该芯片原型能产生成对的纠缠光子，通过量子隐形传态实现无论距离远近的瞬时连接，且拥有与现有基础设施兼容、实用部署能

[1] https://www.prnewswire.com/il/news-releases/neo-semiconductor-unveils-breakthrough-1t1c-and-3t0c-igzo-based-3d-x-dram-technology-302448575.html
[2] https://blogs.cisco.com/news/quantum-networking-how-cisco-is-accelerating-practical-quantum-computing

力、能源效率和高性能等优势特点，功耗不到 1mW，每秒可生成高达 2 亿对纠缠对。该芯片有望彻底改变量子处理器的扩展和连接方式，使其适用于实际应用，有望将量子计算和量子网络的应用时间从几十年后加速到 5-10 年后。

（执笔：沈湘 ）

《集微技术信息简报》是由中国科学院文献情报中心情报研究部承担编辑的半导体、集成电路、微电子相关领域科技信息综合报道及专题分析简报（双月报），于2014年3月正式启动，2014年为季度发行的《光刻技术信息简报》，2015年更名《集微技术信息简报》双月发行，2017-2018年根据服务内容聚焦点更名《第三代半导体技术信息简报》。2019 年起卷名恢复《集微技术信息简报》。按照“统筹规划、系统布局、分工负责、整体集成、长期积累、深度分析、协同服务、支撑科研”的发展思路，规划和部署《集微技术信息简报》。《集微技术信息简报》服务对象是集成电路、微电子领域的相关领导、科技战略研究专家和科研一线工作者。《集微技术信息简报》内容力图兼顾科技决策和管理者、科技战略专家和领域科学家的信息需求，报道集成电路、微电子领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、科技进展与动态、科技前沿与热点、重大科技研发与应用、重要科技政策与管理等方面的最新进展与发展动态，不定期提供半导体、集成电路、微电子领域热点方向的专题分析。

《集微技术信息简报》是内部资料，不公开出版发行；除了其所报道的专题分析报告代表相应作者的观点外，其所刊载报道的中文翻译信息、汇编信息等并不代表编译者及其所在单位的观点。

中国科学院文献情报中心
情报研究部 战略前沿科技团队
联系人：王丽
电话：010-82626611-6649
电子邮件：wangli@mail.las.ac.cn