

集微技术信息简报

2024 年第 **2** 期 (总第 59 期)

中国科学院文献情报中心

2024 年 3 月制

本期目录

政策计划

美国白宫发布《国家微电子研究战略》	1
美国商务部将为英特尔公司提供 85 亿美元资金	8
美国 DARPA 推出“微电子系统增材制造”计划	9
美国能源部资助阿贡国家实验室 400 万美元用于节能微芯片研究 ..	10
美国能源部向韩国 SK Siltron CSS 公司提供 5.44 亿美元贷款以扩大 SiC 晶圆产能.....	11
美国商务部将为格芯公司提供 15 亿美元资金	12
美国白宫发布最新关键技术和新兴技术清单	13
美国白宫宣布 10 个区域创新引擎将获得 5.3 亿美元投资.....	15

产业洞察

美智库视角下的中美量子技术工业基础和军事部署比较	17
--------------------------------	----

前沿研究

瑞典林雪平大学开发高通量筛选剥离制备二维材料方法	24
美国 NIST 开发出将光转化为微波的紧凑型芯片	25
哈佛大学研发出精准测量超导体特性的新型基础工具	27
美国研究团队合作开发出新型高精度模拟芯片架构	28

产业动态

三星公司成立 AGI 计算实验室并加入 AI-RAN 联盟	30
SK 海力士宣布量产业界最新的超高性能 AI 内存产品 HBM3E.....	30
芯片制造企业 Astera Labs 完成纳斯达克上市	31
加拿大初创企业与日本半导体技术中心合作开发基于 Chiplet 的边缘 2nm AI 加速器	32
英特尔公司推出全球首个面向 AI 时代的系统级代工	32
台积电将在日本建设第二座晶圆厂以扩大产能	33

政策计划

美国白宫发布《国家微电子研究战略》

2024年3月15日，美国白宫科技政策办公室（OSTP）发布《国家微电子研究战略》，战略旨在确保美国在微电子领域继续保持全球领先地位¹。该战略由国家科学技术委员会微电子领导小组委员会制定，概述了美国微电子研究领域未来五年的发展目标、关键需求和行动方案，为美国联邦部门和机构、学术界、工业界、非盈利组织以及国际盟友和合作伙伴提供指导框架。报告提出了四大战略目标：（1）促进并加速未来微电子技术的研究进展；（2）支持、建设和连接从研究到制造的微电子基础设施；（3）为微电子研发到制造生态系统培养和维持技术劳动力；（4）创建一个充满活力的微电子创新生态系统，加速研发向美国产业的过渡。本文重点分析了前两大战略目标实施的关键目标及行动，供参考。

一、促进并加速未来微电子技术研究进展的关键目标及行动

1. 新功能或功能增强材料

材料研发对于满足所有行业和应用领域的新兴需求至关重要。需要新的和改进的材料来实现能源效率、信息速度和带宽、新颖的计算架构和可持续发展方面的目标。

先进材料的关键研发要素包括：（1）新兴有机和无机材料，包括：二维（2D）材料；量子材料；用于高能效电子产品和极端环境的宽带隙和超宽带隙材料；优化高带宽互连的材料；超高频操作材料（光学、电气和机电）；实现非冯·诺依曼架构的材料；生物-非生物混合系统。（2）可以无缝集成到现有工艺流程中的材料。（3）

¹ <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/03/National-Strategy-on-Microelectronics-Research-March-2024.pdf>

改进现有块状衬底材料，并加快新衬底材料的开发和部署。（4）规范化半导体材料数据基础设施。（5）新的建模、表征和计量方法。

（6）新型和新兴材料的可制造合成工艺和生产工具研发。（7）新的材料测量方法和标准以确保纯度、物理特性和来源。（8）在全生命周期中提高加工、制造和供应链的可持续性和循环性（再利用、回收）。（9）可以兼容非常规材料或工艺的制造设施。（10）可以原型证明和规模化生产新型和非常规材料的新工艺设施。

2. 电路设计、模拟和仿真工具

适用于新材料、器件、电路和架构的电路设计、模拟和仿真工具对于持续创新和器件规模化至关重要。

提高数字工具能力的战略方法包括：（1）创建、开发和提供广泛可用的工具。（2）进一步将人工智能和机器学习以及基于物理的方法集成到 EDA 工具中。（3）开发高级综合工具以及 EDA 系统和流程。（4）改进材料和器件验证方法并推进材料、组件和电路属性的测量。（5）改进 DTCO（设计工艺协同优化）和 STCO（系统技术协同优化）方法和平台。（6）推进形式化和端到端验证方法的开发。

3. 新的架构和相关硬件设计

非冯·诺依曼计算架构，如神经形态、以内存为中心、深度学习、异步计算、混合计算和量子计算，将在广泛的商业和国家安全应用中发挥越来越重要的作用。除了基于标准 Si-CMOS 的系统外，采用低温 CMOS、模拟/混合信号技术、光子学、自旋电子学和量子器件的新方法正在迅速出现。

要充分利用多样化的处理架构和器件类型，需要对整个堆栈进行创新。主要研发需求包括：（1）加深对新架构实现最佳性能所需的算法、编程模型和编译器的理解。（2）增强器件可编程性和可编程抽象性。（3）优化新架构的制造和设计能力。（4）新的集成电

路设计以及可实现非冯·诺依曼组件与传统计算架构最佳集成的新颖架构。（5）解决异构集成逻辑存储器件的高数据速率和大数据量相关挑战的 AI/ML 方法。（6）量子信息科学研究，包括：量子计算、量子网络和量子传感。（7）量子支持技术，如可与量子系统对接的低温电子学和光子学。（8）用于大型传感器网络提取和提炼信息的高能效处理架构。（9）为极端环境中的传感、信号处理和计算应用设计流程和架构。（10）超越高性能计算的电路创新，以满足能源、医疗健康、交通和通信方面的需求。

4. 先进封装和异构集成的工艺和计量

要确保美国处于先进封装领域领导地位并从异构集成中获益，需要解决许多相互关联的研究挑战，包括材料、制造工艺、能源、成本、良率和经过验证的建模。主要研究挑战包括：（1）用于衬底、封装/模塑和晶粒到晶粒（**die to die**）互连的新材料。（2）机电一体化、机器视觉和机器人技术等领域进步。（3）可提高能效和密度的新互连技术。（4）新的高速检查及监测方法。（5）增强的工具计量和检测能力。（6）跨越多种长度尺度（2D 和 3D）和物理特性的新型计量技术。（7）改善整个系统的热、机械和电磁行为的物理建模，以及新的高分辨率方法。（8）电路、架构和封装的集成设计工具和方法。

5. 硬件完整性和安全性

鉴于从电路到软件都有可能被恶意更改，再加上需要为后量子密码学做好准备，硬件完整性和网络安全成为系统设计至关重要的基础组成部分。

提高硬件完整性和安全性的研发需求包括：（1）准确的威胁模型。（2）完整性和安全性的高级概念模型。（3）新的自动化和支持结构。（4）协同设计卓越中心。（5）保护数据和减少硬件信任的新方法，例如同态加密、加密存储系统、安全计算、隔离加密和

多方计算。（6）确保集成电路 IP 来源和完整性的方法。（7）用于评估和基准测量性能的标准测试工件、方法和分析。（8）高通量测量和检测系统，以验证电路硬件。

6. 制造工具和工艺以实现创新成果转化于生产

随着研发部门提供新材料和设备，还需要研发制造工具和工艺，以实现这些新技术的大规模生产。虽然重要的制造技术进步将在微米尺度上继续进行，但许多尖端技术已经在纳米尺度甚至在原子尺度上进行，例如超精密制造。

新工具和新工艺的主要研发需求包括：（1）超精密表征、先进的光刻和计量工具以及更好的质量控制，包括亚 10 纳米尺度的精确参考结构。（2）新的图案化方法，包括“减法式”和“加法式”，支持 3D 架构、大面积衬底以及高混合、小批量制造电路和封装等新兴需求。（3）改进区域选择性原子层沉积和蚀刻等工艺。（4）高通量实验和建模方法，结合光学、电子和扫描探针显微镜检测工具的新功能。（5）混合计量方法，将来自多个测量工具的数据与新的机器学习方法相结合以实现过程优化。（6）基于 AI/ML/物理的集成模型，能够吸纳晶圆厂的实时过程数据进行高级预测分析，以测量和提高产量并实现晶圆厂虚拟化。（7）进一步开发和使用原位计量。（8）快速、高分辨率、无损技术。（9）表面、埋藏特征、界面和器件的物理特性表征。（10）将第一性原理材料研究与高性能计算相结合。（11）数字孪生应用的进步。（12）提高能源和资源效率，并在制造过程中使用环境友好化学品。

二、支持、扩展和连接从研究到制造的微电子基础设施的关键目标及行动

1. 支持器件级研发制造和表征用户设施的联合网络

支持电子、光子和微机械设备的概念，推动“延续摩尔”和“超越摩尔”解决方案的发展需要越来越复杂和昂贵的表征和制造工具以

及设施。

研发制造和表征设施的主要研发需求包括：（1）对现有设施进行差距分析，努力解决现有设施内的能力差距并在必要时建立新能力。（2）定期更新共享研究资源的可搜索公共注册表。（3）支持先进的制造技术，能够将新兴的低维纳米材料和纳米器件以及其他“超越摩尔”解决方案整合到设计中；以及支持采用成熟和最先进技术制造电路，用于中小型原型设计。（4）必要时与盟国和伙伴国的国际实体达成协议，为美国研究人员提供尖端制造设施以弥合当前国内差距。（5）基于侧重满足广泛和多样化用户群需求的影响指标构建融资模式，并根据需要提供持续资助。（6）激励培训和教育的成功衡量标准和资助机制。（7）减少设施准入的障碍。（8）**FAIR**（可查找、可访问、可互操作和可重用）数据管理系统。

2. 促进学术界和小企业研究界访问灵活设计工具和晶圆级制造资源

目前，PDK、ADK 和 EDA 设计工具成本以及代工厂制造成本，是小型企业和学术研究团体以及政府设施、能源部国家实验室和其他联邦政府资助的研发中心、非营利性实验室的研发工作难以承担的。

改善对设计工具和制造资源访问的主要研发需求包括：（1）灵活且经济实惠的模型，包括成熟节点的潜在开源功能。（2）与 EDA 供应商建立更广泛的合作伙伴关系以显著降低成本。（3）适用于成熟和新兴技术的可访问设计工具和工具环境，包括基于云的安全解决方案。（4）标准化的许可协议和保密协议。（5）访问建模和仿真所需的高性能计算资源，以支持在产生原型成本之前评估电路性能。（6）增加制造设施的多项目晶圆产能，并以小规模制造能力作为补充。（7）建立并提供具有标准接口的标准“即插即用”小芯片库，以及这些接口的开源参考实施方案。（8）先进封装研究设

施的创建和访问，以加速先进封装、异构集成和小芯片生态系统的发展。

3. 促进关键功能材料的研究获取

III-V 族半导体（以及由其制备的量子点和量子阱材料）、薄膜铌酸锂、绝缘体上碳化硅、金刚石、多铁性材料和压电材料等新材料引起了研发界的浓厚兴趣，并且正在器件、电路和系统层面积极开发。然而，其中许多材料只能从海外供应商处获得，或通常只能从国内单个大学实验室获得且质量不统一。

确保强大和高质量的国内功能材料供应战略，加快器件开发和集成研究的主要研究需求包括：（1）与美国的材料供应商合作并利用这些供应商确保维持和扩大国内产能。（2）支持材料开发前沿领域的美国研究机构，扩大其为国内研究人员提供新材料的能力。需要工业界参与的重点研究资助可用于建立合作。（3）投资传统和创新方法，包括材料基因组计划（MGI）方法。

4. 扩展对高级网络基础设施的访问以进行建模和仿真

在物理、制造和计量学的极限下进行创新，需要在数字仿真中展示对电路性能和制造工艺的深刻理解，然后再投资先进的原型设计或昂贵的实验。鉴于计算数据托管的挑战，通用云资源可能不足，并且需要根据微电子研发需求量身定制网络基础设施。

支持访问网络基础设施进行建模和仿真的关键行动包括：（1）提供对一流计算和其他网络基础设施的访问。（2）促进用户、系统开发人员以及计量和原型制作设施之间的密切协调。（3）与有形基础设施及其产出建立密切联系。

5. 支持先进的研究、开发和原型设计以弥合实验室与晶圆厂之间的差距

在美国生态系统中，虽然早期研究基础设施有坚实的基础，但获得更先进的基础设施尤其具有挑战性。《芯片法案》提供了一个

独特机会来支持和提供对先进原型资源的访问。

弥合实验室与晶圆厂差距的关键研发行动包括：（1）对现有设施进行差距分析，然后努力解决现有设施内的能力差距，并在必要时建立新能力，以全面解决“目标一”中确定的每个研发优先领域的进一步发展。（2）必要时与盟国和伙伴国的国际实体签订协议，为美国研究人员提供使用尖端制造设施的机会，以弥合当前的国内差距并促进合作。（3）开发“从晶圆厂到实验室”的生态系统。（4）减少设施访问的障碍。

6. 支持先进的组装、封装和测试

随着半导体制造达到通过晶体管微缩来提高性能和效率的极限，业界已转向使用 3D 系统和异构集成的新方法来实现更高性能。当前这一代高性能器件集成了多种技术，不仅包括不同的硅基工艺，还包括化合物半导体、光子学和其他专业技术。这些方法对器件和子系统互连能力提出了更高要求，而这正是先进封装的关键所在。互连技术以及 3D 和异构集成标准的改进还能促进微电子新供应链结构的发展，而国内能力将增强美国的安全和竞争力。此外，还需要先进的测试、组装和封装能力来验证研发过程中出现的先进原型。

加快发展国内先进封装生态圈的主要行动包括：（1）建立并密切协调 DARPA 的“下一代微系统制造（NGMM）”项目和 NIST 的国家先进封装制造项目（NAPMP）的研发和中试生产设施，确保相辅相成、相互支持。（2）开发整个生态系统合作并充分利用互补性工作的机会，实现 ADK、封装相关设计工具和其他数字资源的安全共享。（3）促进封装研发社区获得小芯片。（4）制定提高先进封装设备的自动化水平和性能的项目计划，实现国内封装的成本竞争力。（5）致力开发新村底材料和相关制造技术，以支持密度和信号性能的改进。（6）支持行业在适当的时候制定和引入小芯片和先进封装标准。（7）支持组件、集成方案和测试方法的开发和验

证。

三、为微电子研发到制造生态系统培养和维持技术人才队伍的关键目标

未来五年，美国政府将致力于实现以下关键目标：

1. 支持微电子学及其相关科学和技术学科的学习者和教育者；
2. 促进公众对微电子领域的参与，提高对半导体行业职业机会的认识；
3. 培养一支具有包容性的当前及未来微电子人才队伍；
4. 构建和促进微电子研究与创新能力。

四、创建一个充满活力的微电子创新生态系统的关键目标

未来五年，美国政府将致力于实现以下关键目标：

1. 支持、建立和协调各中心、公私合作伙伴关系及联盟，加深微电子生态系统内各方之间的合作；
2. 积极参与并充分利用“芯片法”下设立的产业咨询委员会；
3. 激励微电子界按照研发路线图和重大挑战积极攻克关键核心技术；
4. 促进学术、政府和行业交流，扩大对需求和机遇的了解；
5. 通过有针对性的计划和投资，支持创业、初创企业和早期企业。

（执笔：沈湘 王丽）

美国商务部将为英特尔公司提供 85 亿美元资金

据官网 3 月 20 日报道，英特尔公司宣布美国商务部将根据《芯片与科学法》（The CHIPS Act）直接拨款 85 亿美元，以推进英特尔在亚利桑那州、新墨西哥州、俄亥俄州和俄勒冈州的商业半导体项

目¹。此外，英特尔公司还将有资格获得 110 亿美元的联邦贷款。作为芯片法案的一部分，美国财政部还将提供高达 25% 的投资税收抵免（ITC）；根据英特尔此前面向美国四个州宣布的 1000 多亿美元投资计划，英特尔还有望获得 250 亿税收抵免。这一举措旨在加强英特尔在全球半导体供应链中的领导地位以及加速人工智能等重要新兴技术能力，同时响应美国政府对于增强国内制造能力和供应链安全的号召。

英特尔的投资计划预计将创造超过 1 万个稳定工作岗位和近 2 万个建筑工作岗位，并为供应商和支撑行业提供超过 5 万个间接工作岗位。

（执笔：李国强）

美国 DARPA 推出“微电子系统增材制造”计划

据官网 3 月 8 日报道，美国国防高级研究计划局（DARPA）推出“微电子系统增材制造计划（Additive Manufacturing of MicrosystemEms, AMME）”，旨在通过材料质量、速度、体积和分辨率等技术突破增强国防相关微电子产品的制造能力并扩大其生产规模，推出远超当今技术水平的微系统制造能力（如宇航员在太空中按需维修能力）²。

AMME 将突破传统微系统制造的基本限制，开发新的增材制造方法实现亚微米分辨率、极快速度的多材料微系统制造，创建具有新的、复杂几何形状的微系统，使得微系统可以集成更多种类的组件，从而创造出更复杂、更先进的微型设备，增强商业设备性能，快速响应任务需求，从而彻底改变微电子系统的制造方式。如果项目研发成功，将在约三分钟内打印出一个分辨率为 500 纳米、一便

¹ <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/us-chips-act-intel-direct-funding.html>

² <https://www.darpa.mil/news-events/2024-3-8>

士大小的微系统。

（执笔：李国强）

美国能源部资助阿贡国家实验室 400 万美元用于节能微芯片研究

据官网 2 月 22 日报道，美国阿贡国家实验室宣布获得美国能源部（DOE）先进材料和制造技术办公室的“二十年能源效率规模化（EES2）”计划拨款 400 万美元。该项拨款将用于使用原子层沉积（ALD）技术研发超低能耗微芯片的新材料和器件。这项研究将持续两年半时间，旨在为微电子寻找节能解决方案，项目利用阿贡国家实验室在 ALD 技术方面的开创性工作，并结合斯坦福大学、西北大学和博伊西州立大学的专业优势，以期合作开发能耗仅为目前芯片五十分之一的微芯片。

ALD 技术可以在复杂的 3D 基板上制备各种薄膜，是制造超低功率电子设备的理想技术。这项项目研究的关键创新是阿贡国家实验室的科学家使用 ALD 技术开发出一种基于二维半导体材料二硫化钼（ MoS_2 ）的 2D 半导体场效应晶体管（2D FET）和存算一体晶体管（又称记忆元件晶体管），并使用它们重新设计微芯片，以缩小微处理器之间的差距。由于该项目不使用 3D 硅薄膜将存储器和逻辑器堆叠在一起，为微芯片的有效堆叠留下了更多空间，有可能将能源使用量减少 90%。阿贡国家实验室的科学家正在研究 ALD MoS_2 在存算一体晶体管中的应用，用于构建神经形态电路的电子元件，以制造出能耗显著减少的微芯片。神经形态电路模仿大脑中神经元之间的连接，与传统的硅器件相比，基于 ALD MoS_2 的神经形态电路有可能仅使用目前芯片一百万分之一的能量。

通过在高温下生长 MoS_2 ，2D FET 和存算一体晶体管已经在实

验室成功实现。阿贡国家实验室的科学家希望将这项技术提升到中试规模演示的新水平，通过在低温下将 MoS_2 沉积在披萨大小的大尺寸晶圆上满足商业制造需求。在这个 DOE 研发项目中，研究团队将确保 ALD MoS_2 与当前的半导体制造工艺兼容。

合作机构的科学家将利用其独特的专业知识推进项目的特定领域。斯坦福大学将开发 2D-FET 器件，西北大学将使用 ALD MoS_2 开发存算一体晶体管，博伊西州立大学将对 ALD MoS_2 涂层进行先进表征以评估材料质量。

在实验工作的同时，阿贡国家实验室正在使用建模和仿真来设计包含 ALD MoS_2 的节能设备，通过使用高性能计算机对集成 2D 材料的电路进行建模和模拟来测量其能量消耗情况，并与当前硅技术性能比较。该项目推动了创造下一代微电子的科学和技术，随着节能微电子和架构的创新，科学家们正在开发节能和环保的微电子制造新方法。

（执笔：沈湘 王丽）

美国能源部向韩国 SK Siltron CSS 公司提供 5.44 亿美元贷款以扩大 SiC 晶圆产能

据官网 2 月 22 日报道，美国能源部贷款项目办公室（LPO）宣布有条件向韩国半导体晶圆制造商 SK Siltron 的美国子公司 SK Siltron CSS 提供 5.44 亿美元贷款，用于扩大美国电动汽车电子设备用高品质碳化硅（SiC）晶片的生产¹。该贷款将通过 LPO 的先进技术汽车制造（ATVM）贷款计划提供，该计划支持先进技术汽车、合格部件和提高燃油经济性的材料的国内制造。

该 SK Siltron CSS 公司投资项目在建设阶段预计将创造 200 个建

¹ <https://www.energy.gov/lpo/articles/lpo-announces-conditional-commitment-sk-siltron-css-expand-american-manufacturing-high>

筑工作岗位，在位于密歇根州的 SK Siltron CSS 工厂全面投产后，预计将创造 200 个运营工作岗位。SK Siltron CSS 公司还将通过密歇根州新就业培训计划与工厂附近的德尔塔学院合作，培训 SiC 晶圆制造方面的当地工人。

投产后预计 SK Siltron CSS 公司将跻身全球前五大 SiC 晶圆制造商之列，从而提升美国制造业的竞争力，并扩大美国在未来清洁能源技术方面的全球领先地位。

（执笔：沈湘）

美国商务部将为格芯公司提供 15 亿美元资金

据官网 2 月 19 日报道，根据美国《芯片和科学法》（The CHIPS Act），美国商务部将为芯片制造商格芯公司（Global Foundries）提供 15 亿美元资金拨款，以强化对汽车、通信和国防等领域的本土芯片供应¹。

这份投资分为三方面：（1）在纽约州马耳他地区新建最先进的 300 mm 晶圆厂；（2）扩建纽约州马耳他地区现有制造工厂，并与通用汽车达成战略协议；（3）振兴佛蒙特州伯灵顿的现有制造工厂，将新的 200 mm 技术商业化，创建美国首家能大批量生产下一代硅基氮化镓的半导体工厂。

此外，美国商务部 CHIPS 项目办公室还将根据合作备忘录向格芯公司提供约 16 亿美元的贷款。该项目预计将牵引潜在的公共和私人投资，总额约为 125 亿美元。

（执笔：沈湘）

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/02/biden-harris-administration-announces-preliminary-terms-globalfoundries>

美国白宫发布最新关键技术和新兴技术清单

2024 年 2 月 12 日，美国白宫科学技术政策办公室（OSTP）发布由国家科学技术委员会（NSTC）“关键和新兴技术快速行动”小组委员会完成的最新版关键和新兴技术清单（CETs）¹。首份 CETs 清单发布于 2020 年，2022 年对清单内容进行了第一次更新，此次是第二次更新。与 2022 年清单相比，2024 年清单最显著的修订是增加了**定位、导航和授时（PNT）技术**以及**数据隐私、数据安全和网络安全技术**，这两项技术以前是作为 CET 子领域。此外，2024 年清单整合并确定了每个 CET 的新子领域，尽可能关注不断涌现和革新的核心技术。

2024 年 CETs 清单确定的 18 项关键和新兴技术及子领域如表 1 所示（加粗表示新增或变更技术）。

表 1 《2024 年关键和新兴技术清单》确定的 CETs 及其细分技术

关键与新兴技术	相应细分技术
先进计算	（1）先进超级计算，包括 AI 应用程序；（2）边缘计算与设备；（3）先进云服务；（4）高性能数据存储和数据中心；（5）先进计算架构； （6）先进建模与仿真 ；（7）数据处理与分析技术； （8）空间计算
先进工程材料	（1）材料设计与材料基因组学；（2）对现有性能进行重大改进的新特性材料；（3）用于材料特性表征和生命周期评估的新型和新兴技术
先进燃气轮机技术	（1）航空航天、海事和工业开发与生产技术；（2）全权限数字发动机控制、热段制造和相关技术
先进与网络感知和签名管理	（1）有效载荷、传感器和仪器；（2）传感器处理和数据融合；（3）自适应光学；（4）地球遥感；（5）签名管理；（6）病原体以及化学、生物、 放射性 和核能的武器及材料的检测和表征；（7）交通领域感知；（8）安全领域感知；（9）卫生领域感知；（10）能源领域感知；（11）制造领域感知；（12）建筑领域感知；（13）环境领域感知
先进制造	（1）先进增材制造；（2）先进制造技术和工艺，包括支持清洁、可持续和智能制造、纳米制造、 轻质金属制造 以及 产品和材料回收的技术和工艺

¹ <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/02/Critical-and-Emerging-Technologies-List-2024-Update.pdf>

人工智能	(1) 机器学习；(2) 深度学习；(3) 强化学习；(4) 感官知觉和识别；(5) AI 性能保证和评估技术；(6) 基础模型 ；(7) 生成式人工智能系统、多模态和大语言模型；(8) 用于训练、调试和测试的合成数据方法；(9) 规划、推理和决策；(10) 改善 AI 安全、信任、安保和负责任使用的技术
生物技术	(1) 新型合成生物学，包括核酸、基因组、 表观基因组 和蛋白质合成与工程，以及设计工具；(2) 多组学和其他生物计量学、生物信息学、 计算生物学 、预测建模和功能表型分析工具；(3) 亚细胞 、多细胞和 多尺度 系统工程；(4) 无细胞合成生物学 ；(5) 病毒工程和病毒传递系统；(6) 生物/非生物界面技术 ；(7) 生物制造与生物加工技术
清洁能源发电和储存技术	(1) 可再生能源发电；(2) 可再生和可持续的化学品、燃料和原料；(3) 核能系统 ；(4) 聚变能 ；(5) 储能装置；(6) 电动和混合动力发动机；(7) 电池；(8) 电网集成技术；(9) 节能技术 ；(10) 碳管理技术
数据隐私、数据安全和网络安全技术	(1) 分布式账本技术；(2) 数字资产；(3) 数字支付技术；(4) 数字身份识别技术、 生物特征识别技术 和相关基础设施；(5) 通信和网络安全；(6) 隐私增强技术 ；(7) 数据融合技术 和改进 数据互操作性 、 隐私 和 安全性 ；(8) 分布式保密计算；(9) 计算供应链安全；(10) 增强现实/虚拟现实中的安全保密技术
定向能	(1) 激光；(2) 高功率微波；(3) 粒子束
高度自动化、无人系统 (UxS) 和机器人技术	(1) 地面无人系统；(2) 航空无人系统；(3) 海洋无人系统；(4) 空间无人系统；(5) 数字基础支持设施，包括 高清 (HD) 地图 ；(6) 自主指挥与控制技术
人机界面技术	(1) 增强现实；(2) 虚拟现实；(3) 人机协同；(4) 神经技术
高超音速技术	(1) 推进技术；(2) 空气动力学与控制技术；(3) 材料、结构和制造技术；(4) 检测、跟踪、表征和防御技术；(5) 测试技术
集成通信和网络技术	(1) 射频和混合信号电路、天线、滤波器和组件；(2) 频谱管理技术；(3) 下一代无线网络，包括 5G 和 6G ；(4) 光链路和光纤技术；(5) 陆地/海底电缆；(6) 卫星通信和 平流层通信 ；(7) 延迟容忍网络 ；(8) 网状网络/独立于基础设施的通信技术；(9) 软件定义的网络和无线电技术；(10) 现代数据交换技术；(11) 自适应网络控制；(12) 弹性和自适应波形技术
定位、导航和授时 (PNT) 技术	(1) 为机载、天基、地面、地下和水下环境中的用户和系统提供多样化的 PNT 支持技术 ；(2) 干扰、压制式干扰和欺骗式干扰检测技术、算法、分析和网络监控系统；(3) 抗干扰/拒绝和强化技术

量子信息和使能技术	(1) 量子计算；(2) 量子器件的材料、同位素和制造技术；(3) 量子传感；(4) 量子通信与网络；(5) 支持系统
半导体与微电子技术	(1) 设计和电子设计自动化工具；(2) 制造工艺技术和制造设备；(3) 超互补金属氧化物半导体技术；(4) 异构集成和先进封装；(5) 专用/定制硬件组件（用于人工智能、自然和恶劣辐射环境、射频和光学元件、高功率器件和其他关键应用）；(6) 先进微电子的新型材料；(7) 微机电系统（MEMS）和纳米机电系统（NEMS）；(8) 非冯诺依曼计算的新型体系结构
空间技术和系统	(1) 空间服务、装配和制造以及使能技术；(2) 具有成本效益的按需和可重复使用空间发射系统的技术促成因素；(3) 能够进入和使用地月轨道空间和/或新轨道的技术；(4) 用于天基观测的传感器和数据分析工具；(5) 空间推进；(6) 先进空间飞行器发电技术；(7) 新型航天器热管理技术；(8) 多功能载人航天器；(9) 弹性和路径多样性空间通信系统、网络 and 地面站；(10) 航天发射、航程和安全技术

（执笔：王丽 沈湘）

美国白宫宣布 10 个区域创新引擎将获得 5.3 亿美元投资

据官网 2024 年 1 月 29 日报道，美国白宫宣布在美国国家科学基金会（NSF）的“区域创新引擎计划”推动下选定 10 个区域成立创新引擎¹。具体包括佛罗里达州中部半导体创新引擎、五大湖水资源创新引擎、路易斯安那州能源转型引擎、北卡罗来纳州可持续纺织品创新引擎、北达科他州先进农业技术引擎、北帕索国防和航空航天创新引擎、皮埃蒙特三合会再生医学引擎、科罗拉多-怀俄明州气候恢复力引擎、西南可持续发展创新引擎和纽约上州储能引擎。

美国将为这 10 个区域创新引擎拨款超 5.3 亿美元，其中：拜登政府将向 10 个 NSF 区域创新引擎授予 1.5 亿美元（每个 1500 万美

¹ <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/01/29/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-innovation-engines-awards-catalyzing-more-than-530-million-to-boost-economic-growth-and-innovation-in-communities-across-america>

元) 的联邦投资、非联邦合作伙伴将提供超过 3.65 亿美元的相应投资。这 10 个 NSF 区域创新引擎在未来十年将有望获得超过 20 亿美元的资金，目标是刺激半导体制造、清洁能源、可持续纺织品、气候适应性农业、再生医学等一系列行业的经济增长。NSF “区域创新引擎计划” 由拜登总统 2022 年 8 月签署成为法律的《芯片和科学法》授权，也是“拜登经济学”议程的一部分，旨在“从中间向外、自下而上”发展经济。

(执笔：沈湘 王丽)

产业洞察

美智库视角下的中美量子技术工业基础和军事部署比较

2024 年 2 月 1 日，美国智库兰德公司向美国中美经济与安全审查委员会（U.S.-China Economic and Security Review Commission）提交了一份有关“中国量子技术工业基础和军事部署”的证词¹。证词强调了美国和中国均视量子科学和技术为确保各自经济和军事领导地位的战略要素，指出美国和中国在量子科学和技术的发展上是领先的两个国家，分析了美中在量子传感、量子计算和量子通信三个子领域的竞争与合作，强调了量子技术的双重用途性质并指出了量子技术发展中存在的挑战。

一、中美量子科技综合比较

美国和中国都认为量子科学与技术对于确保国家的经济和军事领导地位具有战略重要性。在美国，量子科学是前任和现任政府研发优先领域，且 2018 年通过的两党支持的《国家量子倡议法案》（公法 115-368）显著增加了美国政府在这一领域的资金和协调力度。国家安全顾问杰克·沙利文认为量子技术是未来十年“特别重要的几项技术之一”。在中国，习近平总书记主持的一次中央政治局集体学习会议²专门讨论量子科学发展，他表示“量子科技发展具有重大科学意义和战略价值”。中国也在量子科学研究上投入了巨额资源。

根据大多数相关指标，美国和中国显然是量子科学与技术领域

¹ https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/testimonies/CTA3100/CTA3189-1/RAND_CTA3189-1.pdf

² 2020 年 10 月 16 日，中共中央政治局就量子科技研究和应用前景举行第二十四次集体学习。中共中央总书记习近平在主持学习时强调，深刻认识推进量子科技发展重大意义、加强量子科技发展战略谋划和系统布局。

的两个领先国家。两国在这一领域的公开科学研究和专利产出远远超过其他任何国家。两国可能也投入了远超其他国家的政府资金进行量子研发，尽管中国公开的投资额数字很难全面准确获得。美国和中国皆公开展示了全球瞩目的具体技术成就。在量子科学研究中存在非常高的国际合作，孤立讨论各国的量子工业基础并不能完整地呈现全貌。例如，美国科学家发表的大多数量子科学研究出版物都是与外国合作者共同撰写的。实际上，美国和中国是彼此最大的科学合作伙伴。

二、科学成就和优先事项的比较

美国政府已经制定了一个关于量子科学的国家战略，并发布了更详细的关于特定子领域的报告。中国政府尚未制定这样的战略，其将量子技术整合进军事系统中的总体优先事项、计划和时间表比美国政府要模糊。然而，从中国的公开科学活动中可以得出一些初步结论。

量子科学是一项双重用途技术，它既有军事应用，也有民用商业应用。它通常被划分为三个子领域，每个领域都有潜在的军事应用：

(1) **量子传感**可以改善定位、导航和授时（PNT）能力，以及在极具挑战性环境中（例如，GPS 拒止环境）稳健通信，和长距离传感能力。

(2) **量子计算**可以改善军事后勤、建模和仿真、科学研究和密码破解能力。

(3) **量子通信**可以提高通信安全，防止敌方截获。

兰德公司总结评估中国量子创新生态系统认为，中国研究人员在许多量子技术领域都是快速追随者，但很少真正处于创新的最前沿。唯一例外的是量子通信，中国研究人员在这一子领域是世界领导者。但在该子领域，中国与美国的研发优先事项存在显著差异，

因此两国并不一定在相同的应用上进行直接技术竞争。

1. 量子传感

中国科学家在量子传感方面的高影响力研究成果略少于美国科学家，而且中国顶尖的量子科学家承认，在这一领域中美之间存在“差距”。中国公开的量子传感研究主要集中在远程成像技术，如量子雷达。然而，美国军方公开认为量子雷达是不切实际的，这表明两国在优先级上可能存在差异。

2. 量子计算

在量子计算的众多不同技术路径中，美国几乎在所有这些路径上都处于领先地位，但在超导量子比特方法中，中国紧随其后。因此，美国的领先地位是有争议的。

3. 量子通信

在量子通信领域，中国是世界领导者，无论是从高被引科学出版物还是部署系统的角度来衡量。中国的量子通信研发关注于量子密钥分发（QKD）的应用，这可能提高通信安全，防止敌方截获。中国科学家已建成世界上最大的 QKD 网络，即京沪干线，从北京延伸到上海，长达 2000 公里。中国还发射了唯一已知能够从太空进行 QKD 的两颗卫星，最近已用它们与俄罗斯建立了安全通信链路。然而，美国国家安全局公开评估，QKD 不适合保护美国的国家安全系统，这表明两国在优先事项上又一次存在差异。

三、技术转移和军事部署的比较

总体而言，量子技术领域仍然处于早期研发阶段。目前已知的被国家军队公开部署的唯一量子技术是原子钟，这是全球定位系统（以及许多其他应用）的基础。专家普遍的共识是，量子传感是离实用部署最近的技术；2019 年，国防科学委员会估计，其操作实用性可能在 2024-2029 年左右到来。相比之下，量子计算的最高影响应用，如解密，不太可能在 2030 年之前到来。因此，讨论哪个国家目

前“领先”本身就具有挑战性，因为可以合理地辩称所有参与者目前都处于“零比零平手”。

关于中国计划将量子技术运用于军事的公开信息非常少。没有公开信息显示中国人民解放军（PLA）是否正在使用国家 QKD 网络。中国公开追求的量子技术军事应用之一是量子雷达，但美国国防部认为该应用在根本上是不科学的。

美国军方最近开始在作战环境中公开测试量子传感器。美国及其盟国海军在 2022 年环太平洋（RIMPAC）海军演习期间测试了量子重力仪和惯性导航系统。目前尚不知中国是否进行了任何类似的公开作战测试，也不知道有任何公开的中国研究展示了用于 PNT 的尖端量子传感器。

美国和中国研究人员正在研究量子技术的不同应用。这使得评估哪个国家更接近军事部署变得具有挑战性，因为两国似乎在量子传感和通信领域追求不同的研发策略。如果从美国国防部的立场来看，即 QKD 和量子雷达不太可能提供重大的军事操作优势，那么美国在所有可能提供作战优势的量子技术方面领先于中国——尽管领先的幅度并不总是很大。但是，如果从中国立场来看，可能有不同的评估。

四、量子工业基础结构的比较

与美国一样，中国有 100 多所大学和国家实验室在量子科学的所有领域发表了大量公开研究。中国的军事附属大学并不处于中国公开研究的量子科学前沿。国防科技大学是中国在这一领域研究论文发表量排名前 20 的机构之一。但无论是军事科学院、国防大学，还是战略支援部队的航天工程大学或信息工程大学，或者是“国防七子”大学都不是领先机构。尽管许多中国大学在量子科学领域活跃，但最重要的研究机构是中国科学技术大学附属的合肥微尺度物质科

学国家实验室。该研究机构的预算据报道达到数十亿美元，并已成为中国在该领域大多数主要公开突破性进展的来源。

在美国，私营行业是大多数量子技术部署的前沿，但私营行业在中国工业基础中的重要性似乎很小。兰德公司的研究识别出小部分中国私营公司在量子技术方面进行重要的公开研发，而它们宣布的总资本融资仅是美国总额的一小部分。不过，有一些中国公司值得注意，如 QuantumCTek 和 Origin Quantum Computing。这些公司大多位于合肥，这表明它们与那里的国家实验室有着强烈的研究合作。总的来说，中国在量子技术研究方面的努力比美国更集中，包括机构和地理位置。

大型中国科技公司，如阿里巴巴、百度、华为、腾讯和中兴通讯，也投资于量子技术研发，但它们似乎最近已经从该领域退出。例如，阿里巴巴和百度自 2023 年 11 月以来都已关闭了它们的量子计算研究实验室。

五、国际合作联系比较

全球量子科学研发生态系统高度互联。像其他领先国家的科学家一样，中国科学家也广泛与外国研究人员合作。尚不清楚中国与外国研究机构之间存在任何正式的、机构级别的量子科学研究合作伙伴关系。大多数科学合作是在个别研究人员之间自然发生的。应用量子科学是一项相对早期的技术，因此大部分技术进展都是公开发布的，所有国家都研究彼此的进展。例如，迄今为止中国最大的突破之一是 2021 年发布了一款超导量子计算机，这款计算机与谷歌在 2019 年公开展示的量子计算机采用了非常相似的设计。

量子技术的供应链特别重要，但关于中国供应链的公开信息非常少。一些关键硬件组件，如稀释制冷机和相关频率的高质量激光器，主要或完全由欧洲或日本公司制造，其中一些公司规模相当小。美国没有一个自给自足的供应链，中国可能也没有。由于量子系统

与标准电子产品有非常不同的性能要求，尖端的“传统”半导体微处理器，对量子供应链似乎不是关键。

金融投资也是重要国际联系来源。在美国及其盟国之间的量子技术公司之间存在显著的国际金融投资，但尚不清楚美国和中国之间在量子技术上有任何金融投资。最靠近的一次美中联系是，红杉资本中国基金曾经投资于一家澳大利亚量子技术公司。然而，红杉资本随后对投资量子技术公司实施了筛选政策，之后又将其中国分支完全剥离。因此，这次联系似乎已经被切断。

2023 年，拜登政府发布了一项行政令，限制美国对中国量子技术公司的出境金融投资。鉴于目前美国金融系统与中国量子生态系统之间几乎没有联系，以及私营公司在中国量子工业基础中通常扮演相对较小的角色，这项行政令对中国的研发努力在短期或中期内的影响将非常有限。从长远来看，如果中国量子商业领域发展壮大，且成为中国量子工业基础的重要组成部分，这项命令可能会阻止美国投资者进入中国量子商业领域。

六、对美国的建议

兰德公司系列研究认为美国在几乎所有最重要的量子技术子领域都处于前沿。此外，美国拥有中国所没有的巨大优势，即与该领域许多其他领先国家的紧密联盟网络。例如，美国已与九个不同的盟国签署了量子科学研究合作的双边联合声明。此外，量子技术的最重要应用可能至少还需要五到十年的时间，因此从长远来看保持美国的优势至关重要。

在量子技术的全部潜力得以释放之前，仍需取得重大科学进展。如果美国国会确定这项技术应该是一个战略优先事项，那么实现该目标的最重要步骤将是继续投资于该领域的科学研究。另一个重要步骤是加强美国在这一领域的技能劳动力，包括国内和外国人才管道，同时确保适当的知识产权保护措施到位。

美国商业量子产业的财务稳定性并不是有保障的，尚未有美国量子技术公司报告任何显著的收入或清晰的商业应用。对量子技术实施广泛的出口管制可能会减缓科学进展并扼杀一个新兴的商业行业。针对特定中国（或其他国家和地区）“受关注”组织的针对性出口管制则风险较低。国会应该仔细考虑任何提议的对量子技术的广泛出口管制对美国商业行业的影响，除非这些出口管制直接与具体的军事能力相关。美国政府应该考虑了解和监测新兴量子技术生态系统的其他三个重要方面是：（1）小型、专业化量子技术公司的财务健康状况；（2）美国与竞争国家之间（包括通过中间盟国）的技能人才和知识产权流动；（3）关键组件和材料的供应链。目前尚未看到对这些主题采取立即行动的明确需求，但这三个方面都代表了影响新兴量子生态系统长期稳定性的潜在风险。

（执笔：王丽）

前沿研究

瑞典林雪平大学开发高通量筛选层状固体化学剥离制备二维材料方法

MXenes 是一类由过渡金属碳化物、氮化物或碳氮化物制成的层状无机化合物。MXenes 的制备策略是“自上而下”的，通过在酸性条件下对三维（3D）母体材料进行选择性的蚀刻而获得。目前一个悬而未决的问题是，是否有可以使用现有化学工艺制备的其他层状无机化合物材料。由于涉及复杂的化学过程，计算筛选适合化学剥离的其他三维前驱体具有挑战性。

2024 年 3 月 14 日《科学》期刊报道，瑞典林雪平大学的研究人员提出了一种理论方法，通过高通量筛选适合选择性蚀刻的 3D 材料，预测哪些 3D 材料在酸性条件下通过化学剥离可以成功制备出二维材料¹。该研究专注于氢氟酸蚀刻，因为它是选择性蚀刻形成二维材料的主要蚀刻剂，并具有可扩展生产的最大潜力。

研究人员从材料项目数据库中的 66643 种三元化合物开始，缩小到 20084 种热力学稳定的 3D 材料。然后排除掉含有放射性元素、镧系元素和稀有气体的材料，剩下 11057 种材料。基于拓扑筛选进一步识别出 665 种层状化合物，其中 304 种表现出热力学上适合化学剥离的特性。通过评估初始蚀刻步骤中的竞争工艺，进一步细化为 136 种候选 3D 材料。最后，研究人员在评估所得二维材料的动力学稳定性后，计算筛选预测了来自 119 种不同 3D 前驱体的 42 种不同二维材料的合成方案（一些二维材料可以由多种 3D 前驱体形成）。

¹ Jonas Björk, Jie Zhou, Per O.Å. Persson, et al. Two-dimensional materials by large-scale computations and chemical exfoliation of layered solids [J]. Science, 2024, 383(6688):1210-1215.
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.adj6556>

可剥离 3D 材料中包括了先前已有实验报道的选择性蚀刻的 MAX 相。为了证实该方法的有效性，研究人员选择了一种在结构和化学组成上与 MAX 相明显不同的材料进行实验验证，从 YRu_2Si_2 中选择性蚀刻掉 Y 元素，成功制备出二维 $\text{Ru}_2\text{Si}_x\text{O}_y$ 材料。

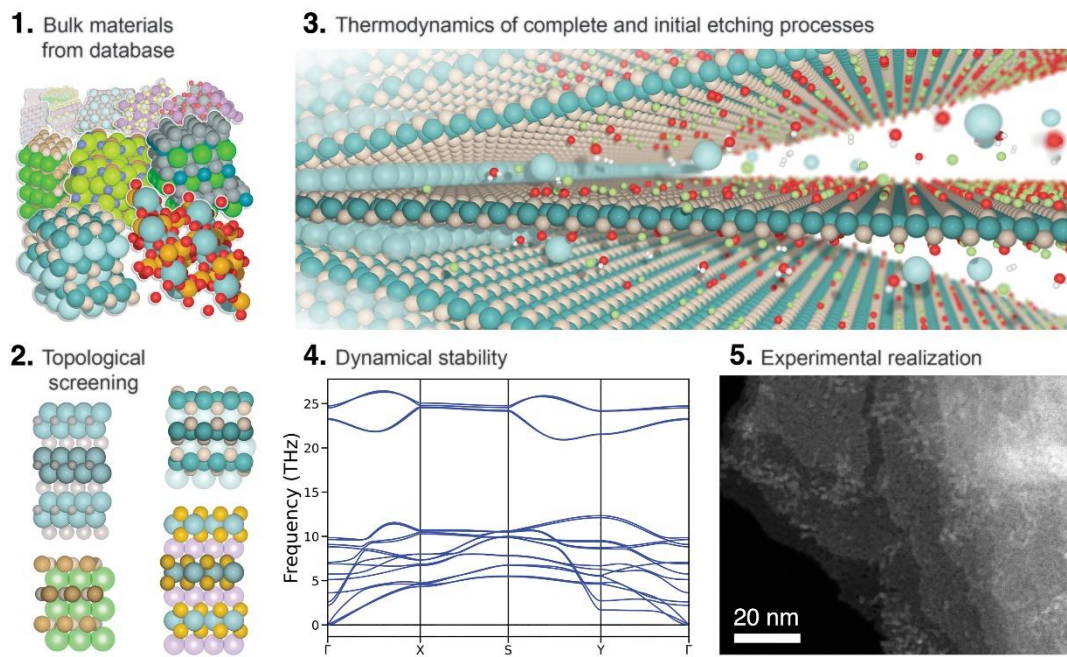


图 1 计算筛选方法示意图

该高通量方法表明，二维材料的化学剥离具有广阔的化学空间。

（执笔：沈湘）

美国 NIST 开发出将光转化为微波的紧凑型芯片

具有高时序稳定性的低噪声微波信号是现代科学和多种具有广泛社会影响技术（如定位和导航、先进通信、高保真雷达和传感以及高性能原子钟等）的关键推动者。这些快速发展的技术加剧了对当前微波源的更高水平需求，同时对系统尺寸、重量和功耗施加了更严格的限制。与传统电子方法相比，光子光波系统为低噪声微波信号的产生提供了独特的优势。频率梳在过去几十年中的引入和快速发展，实现了整个电磁频谱的无缝相干合成。然而，这些方法的

一个重大挑战是相对较大的尺寸和功耗限制了其在实验室环境中的使用。

2024 年 3 月 6 日《自然》期刊报道，美国国家标准与技术研究院（NIST）、国家航空航天局喷气推进实验室、加州理工学院等合作开发出一种紧凑型芯片技术¹。该技术通过集成光子组件的两点光学分频（two-point optical frequency division, 2P-OFD）的最佳实现，能够将光转换为低噪声微波信号。

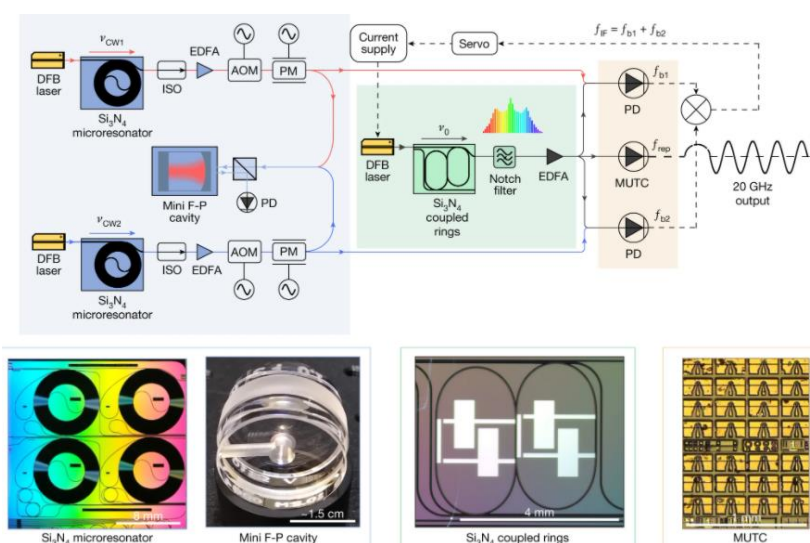


图 1 将光转化为微波的实验装置示意图

研究人员成功将定时波动减少到 15 飞秒，从而增强了雷达和传感系统的准确性，同时也改善了依赖高精度计时和通信的其他技术的性能。该技术的独特之处在于其紧凑设计以及能将所有组件集成到单个芯片上，这有助于减小系统尺寸和功耗，提高其在日常设备中的可用性。

该研究成果未来将有助于高精度计时和通信功能应用到更广泛的领域，包括导航系统、通信网络、雷达以及天文观测等多个领域。

（执笔：沈湘 王丽）

¹ Igor Kudelin, William Groman, Qing Xin Ji, et al. Photonic chip-based low-noise microwave oscillator [J]. Nature, 2024, 627:534–539.

哈佛大学研发出精准测量超导体特性的新型基础工具

长期以来对室温超导性的探索导致对超导氢化物材料（含有稀土或铜系元素的富氢化合物）的研究激增。在极端压力下研究氢化物的标准方法是使用金刚石压砧仪器，它可在两个明亮式切割金刚石界面之间挤压少量材料，检测样品何时被挤压到呈现出超导性能的两个特征：电阻降至零以及对附近所有磁场的排斥作用（又名迈斯纳效应）。想要施加必要的压力，研究人员必须用一个垫圈将样品固定住，使挤压均匀分布，然后将样品封闭在一个腔室中。但是，这种方法很难真正观察到超导电性的双重特征¹。

2024年2月28日《自然》期刊报道，美国哈佛大学研究团队开发出一种精准测量超导体特性的新型基础工具²。该研究团队创造性地将称为氮空位中心的有效量子传感器集成到标准的金刚石压砧感应设备中，从而可以直接精确地读出加压材料的电和磁性质。该新工具不仅可帮助科学家发现新的超导氢化物，还能实现对其成像，从而更有利于研究现有超导材料。

为了证明此概念，研究人员使用了能稳定至较低压力、超导性能优异的氢化铯（ CeH_9 ）作为研究对象。通过同时进行磁强计和电输运测量，研究人员观察到超导的双重特征：迈斯纳效应和电阻急剧下降到接近零。这项研究成功实现了百万大气压条件下高灵敏度和空间分辨的磁探测，为极端条件下微量样品的磁学测量开辟了广阔的研究空间。

¹ https://www.ncsti.gov.cn/kjdt/ztbd/hljslzds/202403/t20240301_150078.html

² P. Bhattacharyya, W. Chen, X. Huang, et al. Imaging the Meissner effect in hydride superconductors using quantum sensors [J]. Nature, 2024, 627:73–79.

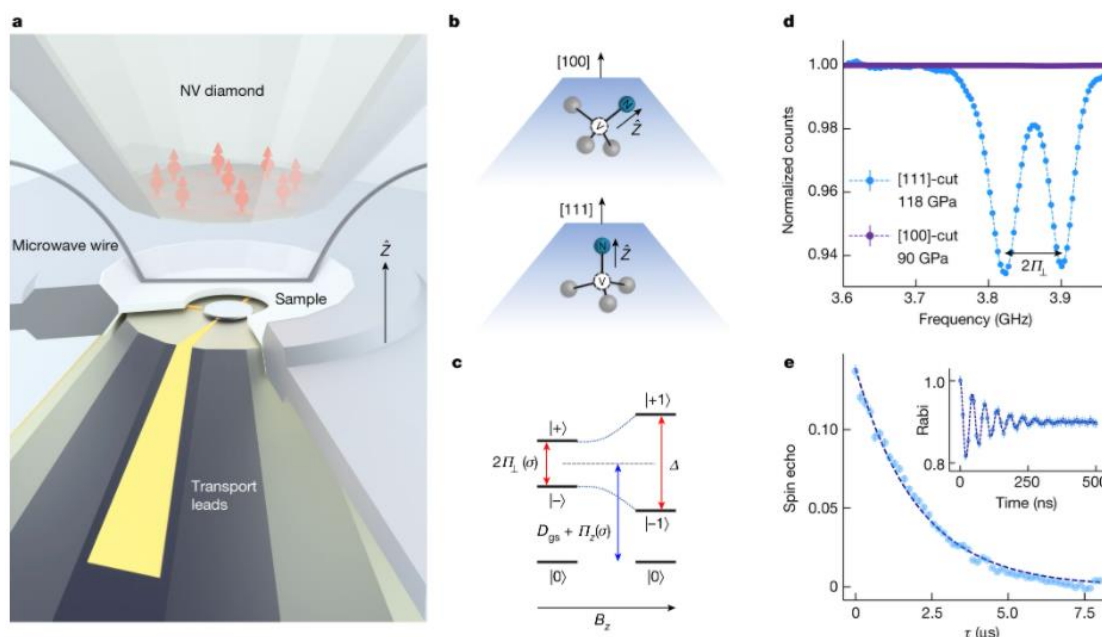


图 1 在兆巴压力下检测氮空位中心

(执笔：沈湘 王丽)

美国研究团队合作开发出新型高精度模拟芯片架构

许多复杂的物理系统可以用耦合的非线性方程来描述，这些方程必须在多个时空尺度上同时分析。然而，复杂系统的直接数值计算往往受到“维度诅咒”现象的影响，随着数据维度的增加，计算资源也需要成倍增加。尽管对高精度、高性能计算解决方案的需求正在增长，但传统冯·诺依曼计算架构在速度、能耗和基础设施方面正达到极限。作为复杂物理系统建模的一种有效方法，存内计算绕过了冯·诺依曼体系结构固有的内存处理器瓶颈，具有诱人的发展前景。但是，存内计算读取噪声和写入可变性等问题，限制了高性能计算的可扩展性、准确性和精确度。

2024 年 2 月 22 日《科学》期刊报道，美国 TetraMem 公司、南加州大学和马萨诸塞大学阿默斯特分校研究团队开发出一种新型高精度模拟芯片架构，通过调整忆阻器实现了前所未有的精度，并设

计出一种新的电路架构和编程协议，编程协议在最后一步将模拟计算结果转换为数字，从而实现使用多个精度相对较低的模拟设备（如忆阻器）有效表示高精度的数字，使得模拟设备的编程更加快速和精确，并使低精度模拟设备能够执行高精度计算。在集成忆阻器的片上系统上，研究团队通过实验证明了多个科学计算任务的高精度解决方案，实现了高达 10^{-15} 的精度，同时与传统数字方法相比，具有巨大功率效率优势。

该新型高精度模拟芯片架构不仅适用于神经网络等传统低精度领域，还可扩展至其他存储技术领域，如磁性存储器和相变存储器¹。

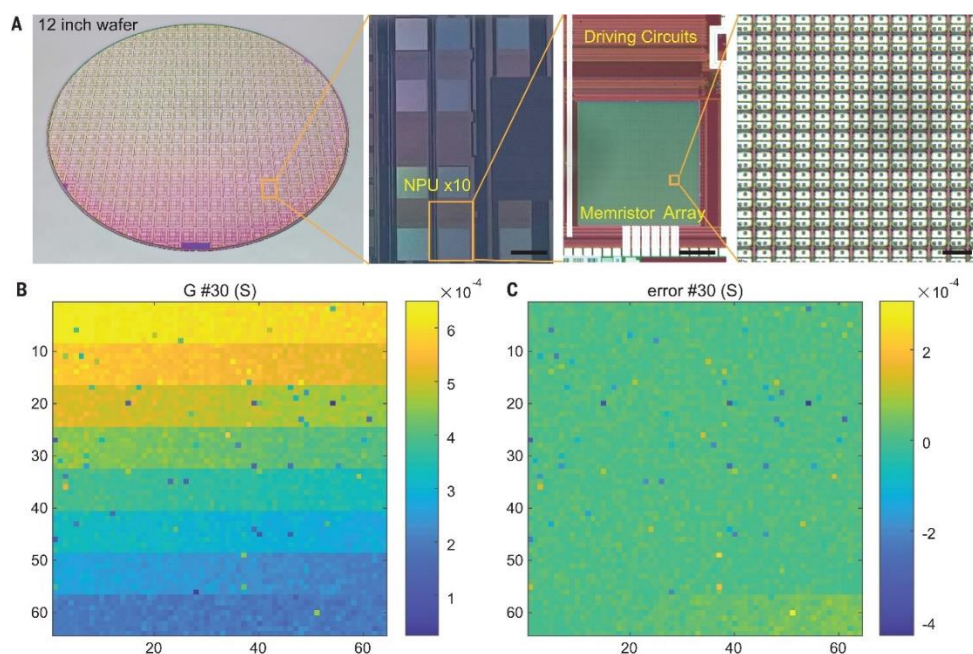


图 1 片上系统忆阻器交叉阵列图

这种技术创新结合了数字计算的精度优势和模拟计算的节能和高速优势，不仅提高了模拟计算的效率和速度，还能为人工智能和机器学习等领域带来更多的应用可能性。

（执笔：沈湘）

¹ Wenhao Song, Mingyi Rao, Yunning Li, et al. Programming memristor arrays with arbitrarily high precision for analog computing [J]. Science, 2024, 383(6685):903-910. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adi9405>

产业动态

三星公司成立 AGI 计算实验室并加入 AI-RAN 联盟

据韩国多家媒体 3 月 19 日报道，三星公司半导体业务负责人宣布在美国和韩国成立通用人工智能（AGI）计算实验室，专注研发满足未来 AGI 处理需求的芯片，并已经开展招聘工作¹。

2 月 26 日，三星电子公司官网宣布作为创始成员加入 AI-RAN 联盟，共同参与 6G 研发²。AI-RAN 联盟当天在巴塞罗那举行的 2024 年世界移动通信大会（MWC）上成立，创始成员包括三星电子、ARM、爱立信、微软、诺基亚、英伟达、软银集团等企业和美国东北大学。该新合作项目旨在将 AI 融入蜂窝技术，以进一步推进无线接入网络（RAN）技术和移动通信网络的发展。

(执笔：沈湘)

SK 海力士宣布量产业界最新的超高性能 AI 内存产品 HBM3E

据官网 3 月 19 日报道，SK 海力士宣布已开始量产最新的超高性能 AI 内存产品 HBM3E，并将从本月下旬起向客户供货³。

在存储半导体三大巨头三星电子、SK 海力士、美光科技中，SK 海力士是首家实现 HBM3E 量产的供应商。HBM3E 是目前业界最高规格的 HBM 内存产品，延续了早期 HBM3 的成功。HBM3E 每秒可处理 1.18 TB 数据，相当于在 1 秒内处理 230 部全高清（FHD）级电

¹ <https://koreajoongangdaily.joins.com/news/2024-03-19/business/tech/Samsung-to-create-new-type-of-semiconductor-for-humanlike-AI/2005919>

² <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-joins-ai-ran-alliance-as-a-founding-member-to-lead-ai-and-6g-innovation>

³ <https://news.skhynix.com/sk-hynix-begins-volume-production-of-industry-first-hbm3e/>

影（每部 5 GB）。在散热方面，SK 海力士采用了 MR-MUF 技术，HBM3E 散热性能较上一代产品提高了 10%。

SK 海力士高管表示，公司通过全球首次量产 HBM3E，进一步强化了领先业界的 AI 存储器产品线，并巩固了全方位人工智能存储器供应商的地位。

(执笔：沈湘)

芯片制造企业 Astera Labs 完成纳斯达克上市

据官网 3 月 19 日报道，芯片制造企业 Astera Labs 成功登录纳斯达克市场¹。据公告显示，Astera Labs 的交易代码定为 ALAB，拟融资最高额度为 7.13 亿美元，发行价为每股 36 美元，发售股票数量为 1980 万股。

Astera Labs 自成立以来，一直致力于研发和创新人工智能基础设施，为行业提供高性能、低延迟的解决方案。其产品和服务在业界享有广泛声誉，特别是在加速数据中心和边缘计算应用方面取得了显著突破。随着人工智能技术的快速发展，Astera Labs 凭借其卓越的技术实力和敏锐的市场洞察，成功吸引了大量投资者的目光。

此次上市不仅为 Astera Labs 提供了更加充沛的资金支持，进一步加速其技术创新和市场扩张，同时也为投资者提供了一个参与人工智能基础设施领域发展的良好机会。业内专家普遍认为，Astera Labs 的上市将进一步推动人工智能行业的发展，促进全球科技产业的进步。

(执笔：李国强)

¹ <https://asteralabs.gcs-web.com/news-releases/news-release-details/astera-labs-announces-pricing-initial-public-offering>

加拿大初创企业与日本半导体技术中心合作开发基于 Chiplet 的边缘 2nm AI 加速器

据官网 2 月 27 日报道，加拿大 AI 芯片初创公司 Tenstorrent 宣布与日本前沿半导体技术中心（LSTC）达成多层次合作协议。LSTC 选择 Tenstorrent 的世界级 RISC-V 架构和 Chiplet IP 用于其新型边缘 2nm 人工智能（AI）加速器。双方还将合作，共同设计 AI 芯片，该芯片将重新定义日本 AI 芯片性能¹。根据该项目合作协议，Tenstorrent 将在日本开设一个高性能计算设计中心，并将与新成立的日本半导体公司 Rapidus 公司合作。

长期以来，Tenstorrent 以提供市场上性能最高的 RISC-V CPU 技术而闻名，它将利用其 Ascalon RISC-V CPU 内核技术，为 LSTC 的新型边缘 AI 加速器协助开发 RISC-V 架构 CPU 芯片。Tenstorrent 和 LSTC 有着共同愿景，即硅的未来将由异构计算驱动——RISC-V CPU 和 AI 核的结合，将处理任何工作负载。

(执笔：沈湘)

英特尔公司推出全球首个面向 AI 时代的系统级代工

据官网 2 月 21 日报道，美国英特尔（Intel）公司宣布为可持续性 AI 时代推出系统级代工——英特尔代工（Intel Foundry），并拓展以 Intel 14A 工艺技术、专用节点演进和先进系统封装与测试（ASAT）功能为特色的路线图，旨在未来几年内确立并巩固制程技术领先性²。

英特尔表示，其“四年五个制程节点（5N4Y）”路线图仍在稳步推进，并将率先提供业界首个背面供电解决方案。英特尔预计将于 2025 年通过 Intel 18A 制程节点重获工艺领先地位。英特尔全新的制

¹ <https://tenstorrent.com/research/tenstorrent-risc-v-and-chiplet-technology-selected-to-build-the-future-of-ai-in-japan/>

² <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/foundry-news-roadmaps-updates.html>

程路线图包括了 Intel 3、Intel 18A 和 Intel 14A 技术的演进版本，如 Intel 3-T 通过硅通孔技术针对 3D 先进封装设计进行了优化，很快将生产准备就绪。英特尔还重点介绍了其在成熟制程节点上的进展，如今年 1 月份宣布与中国台湾地区联华电子公司（UMC）联合开发的全新 12 纳米节点。英特尔代工计划每两年推出一个新节点，并在这一过程中进行节点演进。英特尔代工还宣布将 FCBGA 2D+ 纳入 ASAT 的技术组合之中；这一组合此前已包括 FCBGA 2D、EMIB、Foveros 和 Foveros Direct 技术。

此外，英特尔强调了其代工客户的增长势头及生态系统合作伙伴的有力支持。其中，微软成为 Intel 18A 里程碑式新客户；Synopsys、Cadence、Siemens 和 Ansys 等生态系统合作伙伴，均确认其工具、设计流程和 IP 组合已完成针对英特尔先进封装和 Intel 18A 制程技术的验证，将加速英特尔代工客户的芯片设计。同时，针对英特尔 EMIB 2.5D 封装技术，几家供应商还宣布计划合作开发组装技术和设计流程。这些 EDA 解决方案将确保英特尔能够更快地为客户开发、交付先进封装解决方案。英特尔还公布了“新兴企业支持计划”（Emerging Business Initiative），将与 ARM 合作为基于 ARM 架构的系统级芯片（SoCs）提供先进代工服务，以支持初创企业开发基于 ARM 架构的芯片并提供必要的 IP、制造支持和资金援助。

（执笔：沈湘 王丽）

台积电将在日本建设第二座晶圆厂以扩大产能

据官网 2 月 6 日报道，台积电宣布将进一步投资其位于日本西部熊本县的晶圆制造子公司 JASM，在第一座晶圆厂基础上继续建设第二座晶圆厂¹。新晶圆厂将于 2024 年底开始建设，预计 2027 年底

¹ <https://pr.tsmc.com/english/news/3105>

投入运营。

JASM是台积电为建造其首座日本工厂而成立的合资公司，预计每月产能将超10万片12英寸晶圆，为汽车、工业、消费类和高性能计算等相关应用提供40、22/28、12/16和6/7纳米制程技术。在日本政府的大力支持下，JASM两座工厂的总投资额将超过200亿美元，直接创造3400多个高科技工作岗位。

在日本熊本县菊阳町建设的第一座晶圆厂于2月24日举行揭幕仪式，计划今年第4季度开始量产12纳米及以上制程芯片¹。日本媒体披露，台积电日本二厂仍选址在菊阳町，与一厂临近，预计将生产7纳米制程芯片。

(执笔：沈湘)

¹ <https://pr.tsmc.com/english/news/3113>

《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

