

集微技术信息简报

2024 年第 **4** 期 (总第 61 期)

中国科学院文献情报中心

2024 年 7 月制

本期目录

政策计划

美国宣布芯片法案资助的首批研发设施及遴选程序	1
美国政府宣布拨款 16 亿美元加速国内先进封装研发	5
欧盟宣布投资 3.25 亿欧元支持欧洲半导体创新生态系统	5
美国政府宣布向一个量子技术中心提供 4100 万美元资金支持	6
英国宣布成立半导体研究所	7
美国国务院公布全球半导体供应链网络启动一周年进展	8
美国 NIST 发布《美国政府关键和新兴技术国家标准战略》实施路线图草案 征求公众意见	9
美国 NSF 发布新一轮国家量子虚拟实验室项目征集	10
美国财政部发布对华半导体、量子 and AI 技术投资禁令规则 征求公众意见	10
美国和印度“关键和新兴技术合作倡议”举行第二次会议	11
美国商务部召开供应链竞争力咨询委员会会议	12

产业洞察

美智库评估中美量子计算竞争情况	13
英国光电子小组发布《支持光电子学发展的未来政策行动》白皮书	18
美国和日本共同探讨量子技术走向实用相关问题	20

前沿研究

比利时微电子研究中心在 300mm CMOS 平台上制造的 Si-MOS 量子点实现了创纪录的低电荷噪声	22
英国 Oxford Ionics 公司和芬兰 IQM 量子计算机公司使实用量子计算更进一步	23
美国 DARPA 展示量子基准计划最新前沿进展	24

量子磁力计随欧洲 Ariane 6 火箭执行太空任务	25
韩国基础科学研究所开发出用于二维半导体逻辑电路的一维金属相 新结构.....	26
美国和加拿大合作研制出新型薄膜半导体、电子迁移率创下新纪录	27

产业动态

美国商务部拟投资 4 亿美元资助 Global Wafers 公司开展关键半导体 晶圆生产.....	29
应用材料公司推出全新布线技术拓展铜芯片布线到 2nm 及以下节点	30
美国商务部拟投资 670 万美元资助 Rogue Valley Microdevices 公司开 展 MEMS 和传感器代工设施建设.....	31
AMD 和 Intel 公布 3.5 D 封装	32

政策计划

美国宣布芯片法案资助的首批研发设施及遴选程序

2024年7月12日，美国商务部和国家半导体技术中心（NSTC）运营商 Natcast 宣布了由“芯片法案”（CHIPS）资助的首批三个研发设施及其遴选程序，以支撑 NSTC 和国家先进封装制造计划（NAPMP）¹。首批 CHIPS 研发设施包括 NSTC 行政和设计设施、NSTC 极紫外（EUV）中心以及 NSTC 原型和 NAPMP 先进封装先导设施。三个设施都将具备研究能力，并具有各种其他用途，分别计划于 2025 年、2026 年、2028 年投入使用。

一、三大设施的建设意义

CHIPS 研发设施将通过召集整个半导体生态系统的合作伙伴，确保半导体设计和制造领域的技术进步能够大规模地转化为商业化成果，并促成充满活力的半导体生态系统。研发计划包括新材料工艺架构、器件结构、新型设计方法、芯粒、异构集成和先进封装等。这些投入致力于支持美国在设计、材料和工艺创新方面的全球实力和领导地位，同时促进其国内产业的蓬勃发展。

首批三个设施将在美国建立世界级的先进半导体研发基地，弥补当前生态系统中的关键差距，为半导体价值链上的各种利益相关者（包括大学、各种规模的企业和政府机构）提供卓越价值，推动尖端研发并创造优质就业机会。这些设施将使创新者能够协作并解决微电子领域最具挑战性的问题。

二、三大设施的建设原则

商务部“美国芯片计划”（CHIPS for America）制定了五项原则，

¹ <https://www.nist.gov/news-events/news/2024/07/biden-harris-administration-announces-first-chips-america-rd-facilities-and>

来指导设施能力对齐并纳入 CHIPS 研发设施综合战略：（1）加速创新：在微电子技术领域开展世界一流的研发活动，包括获得极紫外（EUV）光刻技术来开展尖端研究；（2）创造差异：确保为半导体生态系统带来超越现有同类设施的明显价值；（3）财务可持续：通过创造数十年的持久价值，并吸引各种类型和不同规模公司的投资；（4）保持独立和中立：使 Natcast 能够代表 NSTC 和 NAPMP 对设施的运营做出战略决策，并确保这些设施有利于所有成员实体及其员工的创新；（5）融入充满生机、活力的生态系统：可以提供和培育创新性人才、形成一个由半导体公司、教育机构和研究机构以及当地支持机构组成的强大生态系统。

三、三大设施的建设目标和遴选程序

1. NSTC 行政和设计设施

NSTC 行政和设计设施是一个多功能设施，作为 NSTC 的关键运营地点，关注半导体设计生态系统，计划于 2025 年投入使用。设施功能包括：Natcast 行政职能；召集联盟成员；开展 NSTC 计划活动，如劳动力卓越中心和 NSTC 设计实现门户。

NSTC 行政和设计设施将成为芯片设计、电子设计自动化（EDA）、芯片和系统架构以及硬件安全方面的先进半导体研究中心，预计将能够增加芯片和封装的测试和表征实验室。设计研究的初始能力将侧重于人工智能应用以及芯片、封装和系统级协同优化。在此设施中进行的设计、EDA 和架构相关的研发可以连接到 NSTC 原型和 NAPMP 先进封装先导设施的原型制作。

NSTC 行政和设计设施的选址工作将由 Natcast 负责，并委托一家选址公司提供支持，该公司在选择设施（包括半导体行业）方面拥有丰富的商业经验。第一阶段为识别半导体设计生态系统，以确定最符合要求的备选地址；第二阶段为确定地点、尽职调查和谈判，以选出最有利于“美国芯片计划”目标的物理地点。该设施必须位

于一个半导体生态系统蓬勃发展、充满活力的地区，尤其关注半导体设计生态系统及相关功能。该设施需要获得半导体设计和制造、EDA、封装、劳动力和管理方面的专业知识，并靠近拥有先进微电子研究的大学。预计这将是一个租赁设施，在早期可容纳多达 150 名工作人员、研究人员、合作伙伴、学者和供应商。

2. NSTC EUV 中心

NSTC EUV 中心将为 NSTC 成员提供 EUV 技术，以促进更广泛的研究和商业化途径，包括最具特征尺寸挑战性的技术，计划于 2026 年投入运行。下一代技术发展需要获得 EUV 光刻技术。用于最先进的逻辑或存储技术节点的前景技术必须在现有（或超过现有）技术尺寸水平上进行评估和开发，而这些目前只能使用 EUV 光刻工具来实现。

鉴于购买和维护 EUV 工具的高昂成本以及尽快实现设施功能的目标，Natcast 将与符合 NSTC 计划要求的现有设施签订协议，以迅速且可持续方式使 NSTC 获得 EUV 光刻技术。该中心预计将采用全流程 EUV 或高数值孔径 EUV 技术，此外，中心还将提供适当研究和协作空间。

Natcast 将与商务部合作管理 NSTC EUV 中心的选址过程。鉴于能够提供上述 EUV 能力的现有美国实体数量有限，商务部和 Natcast 预计只邀请具备必要技术能力的实体参与遴选和谈判过程，并选择一个最有利于“美国芯片计划”目标的设施。

3. NSTC 原型和 NAPMP 先进封装先导设施

NSTC 原型和 NAPMP 先进封装先导设施将提供 12 寸晶圆的研究、原型制作和先进封装能力，并最终实现财务可持续性，计划于 2028 年投入使用。该设施将开展半导体和先进封装协作研究，从而实现半导体整个技术堆栈（从材料到设计、制造、硅到封装）的世界一流研究，为国内半导体生态系统提供独特的价值。

NSTC 原型和 NAPMP 先进封装先导设施将研发原型制作能力和先进封装能力结合在同一物理地点。(1) 原型制作能力将有助于对半导体新材料、工具、器件结构和集成方法进行研究。设施的原型制作能力至少包含一种全流程互补金属氧化物半导体 (CMOS) 技术, 作为实验的稳定基线。该设施还将包括可处理 12 寸晶圆的设备, 来实现 CMOS 基线工艺流程。设施的原型制作能力初期将侧重于先进计算, 以解决人工智能和其他工作负载问题。此外, 原型制作能力还将支持下一代技术研究, 如互连、嵌入式内存以及其他材料和器件创新。(2) 设施的先进封装能力需要包括稳定的先进封装基线流程, 专注于大量互连的多元件组件的异构集成, 从而模糊芯片和封装之间的界限。先进封装能力还将包括面向高性能计算的初始基线流程, 并将通过减芯粒连接间距来优化异构集成。该设施还将利用 12 寸晶圆制造工具和设备来提供封装处理能力, 例如芯片切割、晶圆键合以及芯片和组件的取放等。最后, 该设施将整合 NAPMP 计划下的创新成果包括: 材料和基材、芯粒、热和电源管理; 设备、工具和工艺; 光子学和连接器; 以及 EDA 等, 以便成果在美国制造业中验证和推广。

NSTC 原型和 NAPMP 先进封装先导设施必须位于一个半导体生态系统蓬勃发展、充满活力的地区。半导体制造和封装既复杂又昂贵, 需要大量投资、高度专业化的空间、精细的工具和设备以及复杂的材料供应链来维持设施运营。这些能力需要一支技术熟练、经验丰富的员工队伍来操作设施、管理基线技术流和维护设备。下一代技术开发还需要一个由研究人员、科学家、工程师和技术人员组成的群体, 这些人能够想象并实施超越现有水平的技术。因此, 该设施选址必须确保 NSTC 和 NAPMP 计划能够吸引所需的人员和公司参与, 使其成为全球半导体研究合作的世界中心。商务部和 Natcast 将分阶段进行选址, 首先评估半导体生态系统, 然后是具体选址。

Natcast 将直接与各州和地区的经济发展组织合作，以促进遴选过程，并委托一家选址公司提供支持。

（执笔：沈湘 王丽）

美国政府宣布拨款 16 亿美元加速国内先进封装研发

据官网 2024 年 7 月 9 日报道，美国商务部宣布将为五个研发领域提供 16 亿美元的创新资金，用于建立和加速国内半导体先进封装能力¹。此举是美国政府 2023 年公布的“国家先进封装制造计划（NAPMP）”的一部分。通过潜在的合作协议，“美国芯片计划（CHIPS for America）”将在每个研究领域资助数个项目，每个创新项目可获得约 1.5 亿美元的联邦资金。这些资助项目将利用来自工业界和学术界的私营部门投资。

资助的项目将与以下五个研发领域中的一个或多个相关：（1）设备、工具、工艺和流程集成；（2）电源供给和热管理；（3）连接器技术，包括光子学和射频；（4）芯粒（Chiplets）生态系统；（5）协同设计/电子设计自动化（EDA）。

美国政府计划在十年内，通过“美国芯片计划”资助先进封装研发，创建一个国内封装产业，美国 and 国外制造的先进节点芯片可以在美国境内封装，并通过领先的封装能力实现创新设计和架构

（执笔：沈湘 王丽）

欧盟宣布投资 3.25 亿欧元支持欧洲半导体创新生态系统

据欧盟委员会官网 2024 年 7 月 4 日报道，芯片联合执行体（Chips Joint Undertaking，简称 Chips JU）宣布，作为《芯片法案》下的欧洲芯片计划一部分，将投资 3.25 亿欧元（约 3.53 亿美元）支持半导体研究和创新计划²，重点聚焦光子学、能力中心和基于云的

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/07/biden-harris-administration-invest-16-billion-establish-and-accelerate>

² <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-invests-eu325-million-support-europes-semiconductor->

半导体设计平台。

投资重点内容具体涵盖：（1）通过建立光子集成电路（PIC）的试验生产线来进一步支持欧洲的半导体行业。光子集成电路利用光以更高的速度处理和传输信息，同时使用更少的能量。这对下一代高性能计算机、高速通信和数据中心尤为重要。（2）支持欧盟成员国“芯片能力中心”的创建、推广和网络化。这些能力中心将提供获得半导体技术专业知识和实验的机会，帮助公司、特别是中小企业提高设计能力和发展技能。（3）创建一个基于云的在线设计平台，允许用户、特别是学术界、初创企业和中小企业设计和开发新型芯片，并帮助其将设计推向市场。

（执笔：沈湘 王丽）

美国政府宣布向一个量子技术中心提供 4100 万美元资金支持

2024 年 7 月 2 日，美国政府通过商务部经济发展管理局（EDA）宣布向 12 个技术中心拨款 5.04 亿美元¹，用于扩大关键技术的生产规模、在创新行业创造就业机会、增强美国的经济竞争力和国家安全、加速美国未来产业的增长。其中，Elevate Quantum 技术中心预计将获得 4100 万美元拨款，用于实施三个项目：（1）建设开放访问的量子实验室和制造厂，以加速量子原型设计和关键量子技术小规模生产制造；（2）在学院、大学和企业之间提供包容性的劳动力发展项目，以确保区域内拥有技能娴熟且多元化的人才库；（3）协调该中心的整体战略、利益相关者和投资者的互动、以及高级管理层，以实现中心愿景。

“技术中心计划”（Tech Hubs Program）是美国政府的一项旗

innovation-ecosystem

¹ <https://www.eda.gov/news/press-release/2024/07/02/biden-harris-administration-announces-next-funding-round-504-million>

舰计划，根据拜登总统于 2022 年 8 月签署的《芯片和科学法案》授权推出，即拨款 100 亿美元在全国建立区域技术和创新中心，以提升美国的科技竞争力。2023 年 10 月¹，美国政府通过 EDA 宣布 31 个技术中心，重点关注自主系统、量子计算、生物技术、精准医疗、清洁能源、半导体制造等领域。其中，量子领域包括两个技术中心，分别为 Elevate Quantum 技术中心和 Bloch 技术中心。Elevate Quantum 技术中心重点关注量子传感、量子计算、量子网络的商业化就绪应用。Bloch 技术中心重点关注量子计算和量子通信²，例如为金融、能源、生物技术、制造等行业提供量子计算解决方案等。

（执笔：于杰平）

英国宣布成立半导体研究所

2024 年 5 月 20 日，英国政府宣布成立一个全新、独立的半导体研究所。该举措首次将政府、大学和私营部门三方聚集在一起，支持英国政府计划投资 10 亿英镑（约 12.7 亿美元）的半导体战略，以重点发展英国在芯片化合物材料、设计和研发方面的优势³。

该半导体研究所将独立于政府，确保芯片研究人员拥有所需的工具和基础设施，支持顶尖人才开展前沿研究，促进科技创新成果转化为商业产品，提高工业界的发言权，并推动相关专业技能的发展。随着更多国际半导体协议的达成，该研究所还将成为希望与英国合作的技术企业和国际合作伙伴的桥梁纽带。

自发布半导体战略以来，英国政府推出了 ChipStart 计划，为初创企业提供技术和商业帮助，以帮助其将新产品推向市场，并在布里斯托尔和南安普顿的两个创新和知识中心投资 2200 万英镑（约

¹ <https://www.eda.gov/news/press-release/2023/10/23/biden-harris-administration-designates-31-tech-hubs-across-america>

² <https://www.eda.gov/funding/programs/regional-technology-and-innovation-hubs/2023/The-Bloch-Tech-Hub>

³ <https://www.gov.uk/government/news/new-independent-institute-to-steer-uk-semiconductor-innovation-and-support-semiconductor-strategy>

2793 万美元），将新的英国芯片技术推向全球市场。

英国还将获得“地平线欧洲（Horizon Europe）”芯片联合执行体的 13 亿欧元（约 13.9 亿美元）投资，并确保英国基础设施银行能向半导体制造商投资 220 亿英镑（约 279 亿美元）。

（执笔：沈湘 王丽）

美国国务院公布全球半导体供应链网络启动一周年进展

据官网 2024 年 7 月 1 日报道，美国国务院公布经济合作与发展组织（OECD）构建的全球半导体非正式交流网络（SIEN）启动一周年进展¹。具体显著成就包括：（1）与 50 多个全球经济体和非政府利益相关者合作，强化了全球半导体供应链；（2）加强了半导体政策制定者和专家之间的合作，提高了影响半导体生态系统的政策制定的透明度，并促进了供应链中断的应急响应计划；（3）制定互通的分类规则或共享术语，简化成员间数据交换和预警通信；（4）利用贸易数据查明半导体供应链中比较优势与依赖关系；（5）形成框架文件，提高政策透明度，加强盟友间协调；（6）启动桌面演练，加强参与者对半导体生态和供应链理解。

该半导体供应链合作网络得到了美国国务院国际技术安全和创新（ITSI）基金的资助，该基金根据美国《芯片与科学法案》制定。

在 6 月 18 日意大利举行的第六次 SIEN 会议上，美国国务院负责贸易政策和谈判的副助理国务卿罗伯特·加弗里克（Robert Garverick）宣布，美国打算视资金的可获得程度在 2025 年 12 月为 SIEN 提供财政支持。下一次 SIEN 会议将在英国伦敦主办。

（执笔：沈湘 王丽）

¹ <https://www.state.gov/global-semiconductor-network-drives-strong-collaboration-among-partners/>

美国 NIST 发布《美国政府关键和新兴技术国家标准战略》实施路线图草案 征求公众意见

据官网 2024 年 6 月 26 日报道，美国国家标准与技术研究院（NIST）发布《美国政府关键与新兴技术国家标准战略》（USG NSSCET）实施路线图草案，并就此征求公众意见以进一步支持路线图的制定和应用¹。最终意见提交日期为 2024 年 7 月 12 日。

该实施路线图草案规划了美国政府实施 USG NSSCET 的近期行动和长期行动。短期行动建议包括：（1）寻找机会增加美国政府标准化研发和标准参与力度；（2）跟踪和评估当前美国政府关键与新兴技术标准教育的资助和项目，促进、支持美国利益相关者参与国际标准活动并消除障碍；（3）跟踪和评估美国政府与其他政府当前签订的技术合作协议及与标准相关的国际交流合作机制。长期行动建议包括：（1）加强整个联邦政府的标准协调；（2）加强与私营部门的标准协调；（3）加强美国政府和外国政府之间的标准政策协调；（4）认可并激励联邦机构参与标准化；（5）为关键和新兴技术研发和预标准化协调提供强有力的持续资金；（6）让学术界作为标准制定工作的关键合作伙伴参与进来；（7）加强标准教育；（8）发展和维持关于标准的沟通；（9）消除参与标准化的障碍。

2023 年 5 月，拜登-哈里斯政府发布了《美国政府关键与新兴技术国家标准战略》，旨在加强保护美国消费者技术的基础，以及美国在国际标准制定中的领导地位和竞争力。为了支持该战略，NIST 通过征求公众意见以及举办一系列听证会和利益相关者活动，从这两个来源汇编了反馈意见并用于 USG NSSCT 实施路线图制定。

（执笔：沈湘 王丽）

¹ <https://www.nist.gov/news-events/news/2024/06/nist-seeks-public-input-draft-roadmap-usg-national-standards-strategy-cet>

美国 NSF 发布新一轮国家量子虚拟实验室项目征集

2024 年 6 月 27 日，美国国家自然科学基金委（NSF）发布最新国家量子虚拟实验室（NQVL）项目征集指南¹，资助金额达 3200 万美元。NQVL 由量子科技示范、量子系统的变革性进展、统筹协调枢纽（central coordination hub）三个部分组成。本次征集仅涉及量子科技示范组成部分的设计和实施阶段。

美国 NSF 将 NQVL 作为一个综合性共享基础设施，来推动基础科学研究向实际应用的转化，并发挥其科学和技术价值。NQVL 旨在以实际需求为导向开发和利用量子技术，包括：探索量子前沿技术、推动量子信息科学与工程（QISE）的教育和人才培养、开展各级外展活动、促进多样化人才的广泛参与。

（执笔：于杰平）

美国财政部发布对华半导体、量子 and AI 技术投资禁令规则 征求公众意见

据官网 2024 年 6 月 21 日报道²，美国财政部发布了一份拟议规则制定通知（NPRM），以实施 2023 年 8 月 9 日签署的第 14105 号行政命令“关于解决美国在受关注国家对涉及国家安全的特定技术和产品投资”³。NPRM 以财政部去年 8 月发布的《拟议规则制定预先通知》（ANPRM）为基础，提供了完整的法规草案和关于提案意图的解释性讨论，并征求公众意见。关于 NPRM 的书面意见可于 2024 年 8 月 4 日前提交，之后将制定最终实施条例，并为该计划设定生效日期。

¹ <https://new.nsf.gov/funding/opportunities/nsf-national-quantum-virtual-laboratory-quantum/nsf24-586/solicitation>

² <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/06/readout-secretary-raimondos-meeting-advisory-committee-supply-chain>

³ <https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy2421>

2023 年 8 月 9 日，美国总统拜登签署“关于解决美国在受关注国家对涉及国家安全的特定技术和产品投资”的行政命令，授权美国财政部禁止或限制美国对“受关注国家”在半导体和微电子、量子信息技术以及人工智能三个领域的投资。因为这些技术对发展军事、情报、监视和网络能力至关重要，从而危及美国国家安全。该行政命令附件明确将中国大陆及香港、澳门地区确定为“受关注国家”。该行政命令将严格限制美国对华敏感技术领域的投资，并要求美企就其他科技领域的在华投资情况向美政府进行通报。

（执笔：沈湘 王丽）

美国和印度“关键和新兴技术合作倡议”举行第二次会议

据美国白宫 2024 年 6 月 17 日报道，美国国家安全顾问杰克·沙利文（Jake Sullivan）和印度国家安全顾问阿吉特·多瓦尔（Ajit Doval）在印度首都新德里主持了美印关键和新兴技术倡议（iCET）第二次会议¹。自 2023 年 1 月推出 iCET 以来，美国 and 印度在深化和扩大太空、半导体、先进电信、人工智能、量子、生物技术和清洁能源等关键技术领域的战略合作方面取得了重大进展。

本次会议上，美印双方确定了下一阶段的合作愿景，将围绕优先关键和新兴技术领域的突破性成就开展合作，重点关注联合生产、联合开发和研发机会。双方重点关注领域包括：构建创新生态系统；民用和国防航天技术合作达到新高度；深化国防创新与工业合作；寻求 Open RAN、5G、6G 等先进电信领域机会；结合生物技术与生物制造的能力；确保半导体供应链安全；建立 21 世纪清洁能源和关键矿产伙伴关系；寻求量子、人工智能、高性能计算领域合作。

¹ <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/06/17/joint-fact-sheet-the-united-states-and-india-continue-to-chart-an-ambitious-course-for-the-initiative-on-critical-and-emerging-technology/>

(执笔：沈湘 王丽)

美国商务部召开供应链竞争力咨询委员会会议

据官网 2024 年 6 月 13 日报道，美国商务部部长吉娜·雷蒙多与供应链竞争力咨询委员会（ACSCC）举行线上会谈¹。

会议期间，雷蒙多部长强调了商务部在评估和应对与供应链弹性和经济安全相关的挑战方面发挥的关键作用，强调了利用商务部供应链中心与私营部门合作应对供应链挑战的价值，并介绍了美国政府围绕供应链韧性的最新投资情况；印度-太平洋经济繁荣框架（IPEF）首席谈判代表袁莎伦（Sharon Yuan）介绍了美国 13 个 IPEF 伙伴工作进展；三位商务部助理部长分别介绍了供应链中心围绕供应链韧性、风险防范和维护美国经济和国家安全利益所做工作进展，供应链中心在创建跨部门风险评估框架识别美国系统性供应链风险方面的前沿工作，以及主持召开了商务部与越南、印度优先事项会议以加强供应链多元化和弹性合作。

ACSCC 还向商务部部长提供了有关综合、全面的国家货运基础设施要素的建议，并提出了相关国家货运政策，旨在支持美国出口增长、促进国家经济竞争力、提高美国在国内和全球经济中的供应链竞争力。

(执笔：沈湘 王丽)

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/06/readout-secretary-raimondos-meeting-advisory-committee-supply-chain>

产业洞察

美智库评估中美量子计算竞争情况

2024 年 5 月 28 日，美国知名智库新美国安全中心（CNAS）发布报告¹，重点比较了美国和中国在量子计算领域的优先事项、优势以及持续创新的能力，同时强调了政策制定者需要立即关注供应链管理和劳动力发展。

一、中美对比：美国在量子计算领域处于全球领先地位，中国紧随其后，双方竞争激烈

战略方面，中美两国的战略文件表明，双方均将量子视为具有重要战略意义的技术，认为量子技术具有能够显著增强国家经济和军事实力的潜力。尽管中美双方的量子技术优先事项不同，最终目标都是达到量子技术研发的最前沿。中美两国的量子技术研发方法截然不同，美国采取的是行业主导、政府支持的方法，而中国的量子技术研发一般由政府主导、行业支持。美国的量子产业包括成熟的科技公司和成立不久的初创公司，往往会推动创新和关键的发展里程碑。中国的量子产业规模明显小于美国，而且中国的大多数量子突破都来自政府资助的实验室和研究机构。中美两国在量子计算的主流物理实现路径方面均有布局，包括超导量子计算、离子阱量子计算、光量子计算、中性原子量子计算等。根据多项技术指标包括物理量子比特数量、相干时间、错误率等，美国除在超导 transmon 结构的量子比特路径与中国大致持平外，在其他物理实现路径均处于领先地位。美国已经开发出不同路径的高性能量子计算机原型，并在积极探索广泛的应用，从科学发现和材料研究到物流

¹ <https://www.cnas.org/publications/reports/the-quest-for-qubits>

和先进电子学。中国的技术进步主要局限于超导量子计算和光量子计算路径。应用方面，中国研究人员特别专注于开发破解加密的技术。

研发支出方面，全球的多数评估显示中国政府在量子技术研发方面的支出显著高于美国政府，但是美国的私人投资保持着较高水平。**专利方面**，据美国量子经济发展联盟（QEDC）2023年2月份专利分析数据显示，美国是量子计算领域专利申请的全球领先者，美国专利局在2010-2022年期间收到约1838件量子计算专利申请，而中国国家知识产权局仅收到908件。在此时间段内，专利申请数量排名前19的专利权人中，有9家来自美国、5家来自中国。此外，美国专利权人在国际专利申请方面也占主导地位，国际专利的价值更高。截至2021年，IBM拥有最多的国际专利家族，达401项。国际专利申请数量排名前20的专利权人中，有9家来自美国，仅有1家来自中国。**研究出版物方面**，中国在量子计算领域的研究出版物数量排名第一，全球占比约22.8%，美国排名第二，全球占比约21.3%。然而，H指数表明，美国的研究出版物质量全球最高，H指数达92，中国排名第二，H指数为52。

尽管中国在量子计算领域的整体技术进步落后于美国，但是中国科研人员进行了大量的研究而且中国政府给予了大力支持，中国有潜力在量子计算领域超越美国。

二、对美国的建议: 支持安全、有弹性的量子技术供应链发展，建立多元化的量子劳动力队伍

（一）构建健壮的量子技术供应链

拜登在关于美国供应链的行政命令中指出：“有弹性、多样化、安全的供应链是美国经济繁荣和国家安全的基础。”安全稳定的量子技术供应链将提高美国的制造能力，有助于维持美国在研发方面的竞争优势、创造高薪就业机会。它还将有助于美国免受地缘政治和

经济竞争、网络攻击和其他潜在干扰的影响。

为了培育有弹性的量子计算供应链，美国政策制定者必须了解量子计算供应链中必需的组件和材料、目前的供应链构成、以及识别供应链漏洞并评估中断的可能性。

1. 美国量子计算供应链挑战

(1) 量子计算供应链中必需的原材料、组件、制造设备和基础设施尚不够清晰。量子计算领域仍处于萌芽阶段，硬件多技术路线并行发展，哪种技术路线能够胜出尚不确定，不同的技术路线供应链构成不同，例如，超导量子计算依赖稀释制冷机，而离子阱量子计算依赖高性能激光器。此外，随着量子技术的不断发展，量子计算供应链结构仍会在未来几年甚至几十年内发展变化。

虽然未来仍有许多未知因素，但是 Hyperion Research 公司 2022 年对 47 家量子技术公司进行调研，梳理了未来三年最有可能导致量子计算供应链中断的材料和组件。**材料包括：**氦-3 气体、硅-28、铜、铝、金。**组件包括：**高性能制冷机、泵、阀门、压缩机、电源、射频发生器、超导接线组件、稀释制冷组件、光纤和同轴电缆、低噪声激光器、量子 and 经典芯片的关键制造和测试设备。

(2) 量子技术供应链呈现全球化、高度专业化特点，存在很多单点故障。Hyperion Research 公司 2022 年调查显示，大多数量子计算公司在量子计算供应链中缺乏多样性。例如，公司最关键的制造组件供应商通常只有一个，而找到替代供应商需要一年以上的时间。此外，许多关键供应商位于美国境外，美国对外国存在一定的依赖性。

欧洲和亚洲国家在量子计算供应链方面发挥越来越大的作用。美国依赖欧洲各地的供应商提供超导、离子阱、中性原子和光量子四种物理实现路径所需的材料或组件。芬兰 Bluefors Oy 公司、英国 Oxford Instruments 公司、荷兰 Leiden Cryogenics BV 公司是量子计算

用稀释制冷机的领先供应商。中国研发出可商用可量产的超导量子计算机用稀释制冷机。美国有少数公司包括 Quantum Design 公司和 Maybell Quantum 公司正在开发低温系统，但相对不成熟。此外，英国是金刚石真空窗片的主要来源国，德国是高性能激光器、介电玻璃窗（dielectric glass windows）、单光子探测器的重要来源国，法国生产光纤相位调制器和双角蒸发器，瑞典提供高电子迁移率晶体管放大器，荷兰是先进光刻设备的领先生产国，俄罗斯是大尺寸蓝宝石晶圆的领先生产国。

亚洲是量子计算供应链的另一个重要供应区域。日本是光子探测器、蓝光氮化镓二极管、非线性光学元器件、电子束光刻工具的来源国，中国大陆、菲律宾、中国台湾、马来西亚生产微控制器。此外，中国还是常规光电子元器件和稀土元素的重要来源国。

2. 对美国促进安全、可靠供应链发展的建议

（1）全面审查量子技术供应链

美国白宫供应链弹性委员会应启动对当前量子技术供应链的深入调查，以确定关键节点和评估美国对国外供应商的依赖程度。同时，该委员会应该咨询 QEDC 的成员、量子研究机构、学术研究人员和工程师，以更全面地了解美国量子生态系统供应链挑战和关切。这些信息有助于政策制定者管理和减轻风险，同时有助于他们制定针对中国的更有效的出口管制规则。

（2）利用财政激励措施和技术中心计划来促进敏感量子技术的本土生产

对于量子计算供应链中的敏感组件、材料不能依赖美国境外生产商，白宫应该利用国防生产法案、小企业创新研究、小企业技术转让和技术中心计划促进美国本土生产。

（3）为 QEDC 提供资源，要求其持续监测美国量子计算供应链和国外竞争对手发展本土量子计算生态系统的努力

美国需要一个长期的机制来探测随着量子技术的发展新出现的供应链漏洞。在美国对外国供应商产生不可持续的依赖之前，及早发现新出现的供应链漏洞能够为政策制定者提供干预的机会。

了解竞争对手的供应链能力和意图有助于摸清它们采用哪种量子计算物理实现路径，以及发现潜在合作的机会。这些信息也有助于美国政策制定者确保外国开发独立量子计算生态系统的努力不会对美国量子产业在国外公平竞争的能力产生不利影响。

（4）建立国际论坛，与美国盟友及合作伙伴在供应链方面进行协作

没有任何一个国家能够单独拥有建造量子计算机所需的所有材料和组件，因此，各国必须最大限度地发挥各自优势合作共建安全、可靠的供应链。美国可以创建一个论坛帮助确定协作机会以及促进供应链负担分担。

（二）建设多元化的量子劳动力队伍

美国政策制定者还必须优先考虑劳动力发展，以确保和提高美国在量子计算领域的竞争力。为了支持强大的量子劳动力发展，美国政府应该：（1）制定流程，以了解量子生态系统劳动力需求和技能差距；（2）建立国家量子教育和劳动力发展中心，以协调和支持现有旨在建立更强大的量子人才管道的计划；（3）与盟友和合作伙伴合作，与全球量子中心建立交叉培训和互惠研究交流计划；（4）学术界和工业界合作开发行业特定的高等教育计划，并建立候选人才管道以填补关键人才缺口；（5）与 K-12 学校系统合作，为学生开发量子课程和体验式学习机会；（6）与州和地方政府合作，扩大农村地区的个人量子教育和职业发展机会。

（执笔：于杰平 王丽）

英国光电子小组发布《支持光电子学发展的未来政策行动》白皮书

据官网 2024 年 6 月 28 日报道，英国光电子小组发布《支持光电子学发展的未来政策行动》白皮书，提出了五项对支持英国光电子行业持续增长至关重要的未来政策行动¹。英国业界呼吁新政府优先考虑在这些领域采取行动，以确保英国光电子学继续蓬勃发展，实现整体经济的三倍增长。

五项未来政策行动具体分别是：

1. 增强投资信心：加快下一次投资审查，为部门预算提供确定性。在支持基础科学的同时保护创新支持，使英国能够更多地发挥全球科学领导力。

2. 税收抵免：加强税收抵免实施。取消英国税务海关总署（HMRC）通过谈判降低公司应得税收抵免的激励措施，并将税收抵免的支付期限设定为 30 天。保护并扩大资本设备税收减免，以支持英国制造业的规模扩张，包括 100% 的资本全额费用化。

3. 技能：光电子学创造了高附加值（GVA）工作岗位，雇员人均 GVA 超过英国平均水平的 200%。为了继续扩大生产和应用，该行业需要不断壮大的熟练劳动力队伍，因此需要一个人才输送管道，这需要：对 16-18 岁青少年的职业教育进行审查，以确保职业咨询专业人员了解并传达英国现代制造业设计和创新领域的职业选择机会、影响和前景；支持在教育工作者和行业之间制定技能培训矩阵，以突出当前和未来所需和缺失的技能；简化并加快各级 STEM（科学、技术、工程、数学）技能的签证审批流程，缩短中小企业聘用所需关键技术人员的时间。

¹ <https://photonicsuk.org/category/white-papers>

4. 面向未来的复原力：支持光电子学公司开发量子和人工智能技术的解决方案，降低风险，并激励其投资对英国至关重要但规模和时机仍高度不确定的市场。加快落实英国半导体基础设施可行性审查的建议。为化合物半导体和集成硅光子学提供大规模支持，英国在这些领域拥有领先的创新优势和全球竞争力。

5. 平衡创新支持：光子学、声学、流体学和电子学对于支持所有社会挑战的进展至关重要。针对这些领域，政府机构应平衡对重点挑战计划和成熟基础技术两者的支持力度，并使解决方案能够以最大的英国供应链含量得以实现。具体举措包括：1) 为创新项目提供专门支持，以降低光子技术进步带来的风险，这将对多个终端应用产生影响，例如集成光子学。2) 加强 UKRI（英国研究与创新署）对项目资金的资本支出支持，通过 100% 报销项目中用于演示新/更新制造工艺的硬件设备成本，以支持先进自动化开发。3) 优先采取激励措施，在整个英国制造业加速部署最新的生产设备。更广泛地采用光电子学生产技术对于部署人工智能、数字制造和减排至关重要。英国目前在采用方面落后于竞争对手，危及未来制造业竞争力。4) 更新英国的先进制造计划和智能制造的范围，明确包括机器视觉、3D 打印、激光加工、焊接和清洗。5) 为英国未来的现代制造设施和投资制定国家战略，涵盖未来英国企业所需的高科技制造基础设施的规划、激励和风险消除。

（执笔：沈湘 王丽）

美国和日本共同探讨量子技术走向实用相关问题

2024年6月28日，美国知名智库兰德公司发布会议论文集¹，总结了美国和日本关于让量子技术从实验室走向实用的观点和建议，涉及国际合作、供应链等关键领域。

一、应用量子技术：实现量子技术从实验室到商业应用的转变

美国量子经济发展联盟（QED-C）的执行董事 Celia Merzbacher 表示，她的职责是让量子技术走出实验室，进入实际应用，使研究成果具有商业价值，目标是创建基于量子技术的未来产业和经济。实现这一目标的主要障碍包括确定行业需求的缺口、政策缺口，以及汇聚整个生态系统的利益相关者思考如何填补这些缺口。

Celia Merzbacher 认为，在量子计算领域，短时间内无法制造出能够解决多种问题的通用量子计算机，但研究人员能够开发出用于解决特定问题的优化工具、方法、算法和硬件。同时，她指出，开发量子技术组件的公司由于其产品市场规模小，难以从中获益，这将阻碍其对量子技术的研发投资。她建议，政府可以思考如何通过资金资助来帮助这些公司度过早期阶段，进而进入盈利阶段。此外，Celia Merzbacher 认为量子技术在药物发现、医学成像、金融服务等领域将大有作为。同时，她指出量子技术的发展面临供应链脆弱性、出口管制等挑战。最后，她强调了与日本公司合作的机遇，特别是在低温学领域。

日本初创公司 NanoQT 联合创始人兼首席技术官 Akihisa Goban 表示，NanoQT 的愿景是人们可以通过可扩展的量子网络从任何地方安全地访问量子计算机。为实现这一愿景，NanoQT 采用的技术方案是利用非纤维腔和量子电动力学技术以及结合原子和光子的独特量子中继器混合系统。NanoQT 的研发重点是量子中继器，Akihisa

¹ https://www.rand.org/pubs/conf_proceedings/CFA1556-4.html

Goban 希望通过合作伙伴共同开发量子网络，同时，强调了美国与日本合作的必要性，以加速实现大规模量子网络。

美国量子公司 Infleqtion 的首席商务官 Paul Lipman 表示，Infleqtion 参与开发多种量子产品，例如，超精密光学原子钟、使用原子接收无线电信号的高精度射频接收器、多光谱成像技术、中性原子量子计算机。他表示这些量子技术能够改变世界，但是面临着供应链高度分散、资金有限等挑战。他建议，通过垂直整合来提高供应链弹性，同时，他强调政府作为量子技术最大资助者的重要性，以及国际大学和产业合作的重要性，并提到美国、日本、澳大利亚、英国的大学和产业正在密切合作。

二、迈向量子中心超级计算：通过国际合作构建量子生态系统

量子计算领域正迅速接近实用阶段，量子计算机将能够解决传统计算机无法解决的问题。未来，量子计算的进步将需要与传统的高性能计算架构、支持新算法的可扩展软件堆栈、强大的供应链、以及由量子原生劳动力组成的整个生态系统更紧密地联系在一起。

构建一个充满活力的量子技术生态系统需要解决的挑战超出了任何单一公司或国家的能力。实现实用级量子计算需要具有前瞻思维的机构和政府合作。

美国 IBM 与日本有着 99 年的合作历史，包括与日本学术界、产业界和政府组织深入合作，共同推动量子计算的发展。2023 年 G7 峰会宣布了 IBM、东京大学和芝加哥大学之间的一项为期 10 年、1 亿美元的倡议，重点是创建以量子为核心的更广泛的高性能计算（HPC）范式，研究方向包括新的量子算法发现、量子硬件与大规模并行经典计算能力的集成。

（执笔：于杰平 王丽）

前沿研究

比利时微电子研究中心在 300mm CMOS 平台上制造的 Si-MOS 量子点实现了创纪录的低电荷噪声

对更高算力的需求使量子计算成为人们关注的焦点。量子计算使用量子态进行信息处理的概念有望大大加快速度，并解决经典计算机难以解决的某些问题。在过去的几十年里，量子计算取得了显著的发展，在不同平台上实现了小规模量子算法和量子优势。在迈向实际量子计算应用的过程中，研究重点正从基本的量子比特操作转向大型量子比特系统。特别是，用工业半导体制造技术制造的量子比特最近受到了极大的关注。

然而，最先进的自旋量子比特大多是在实验室环境中制造的。尽管有一些令人兴奋的量子比特演示是通过先进的工业制造技术制造的，具有良好的产量和传输均匀性，但最终的量子比特性能通常比实验室环境制备的量子比特性能有一定程度的下降。器件电荷噪声是自旋相干性的限制因素之一，也是表征低温器件质量的重要指标。采用不同材料和结构的厂制器件通常有都很高的电荷噪声。

比利时微电子研究中心（IMEC）演示了一种高质量 300 mm 硅基量子点自旋量子比特制造工艺¹。在这项工作中，研究人员为 Si-MOS（金属氧化物半导体）量子比特结构定制了最先进的 300 mm 晶圆制造流程，通过全栅极堆叠优化，证明了 Si/SiO₂ 界面可以为量子比特操作提供低噪声环境。在多个器件中，所有量子点结构在毫开尔文（milli-Kelvin）下都能稳定均匀地运行，在 1 Hz 下的平均电荷噪声水平为 0.6 $\mu\text{eVHz}^{-0.5}$ 。

¹ A. Elsayed, M. M. K. Shehata, C. Godfrin, et al. Low charge noise quantum dots with industrial CMOS manufacturing [J]. npj Quantum Information, 2024, 10, Article number: 70.

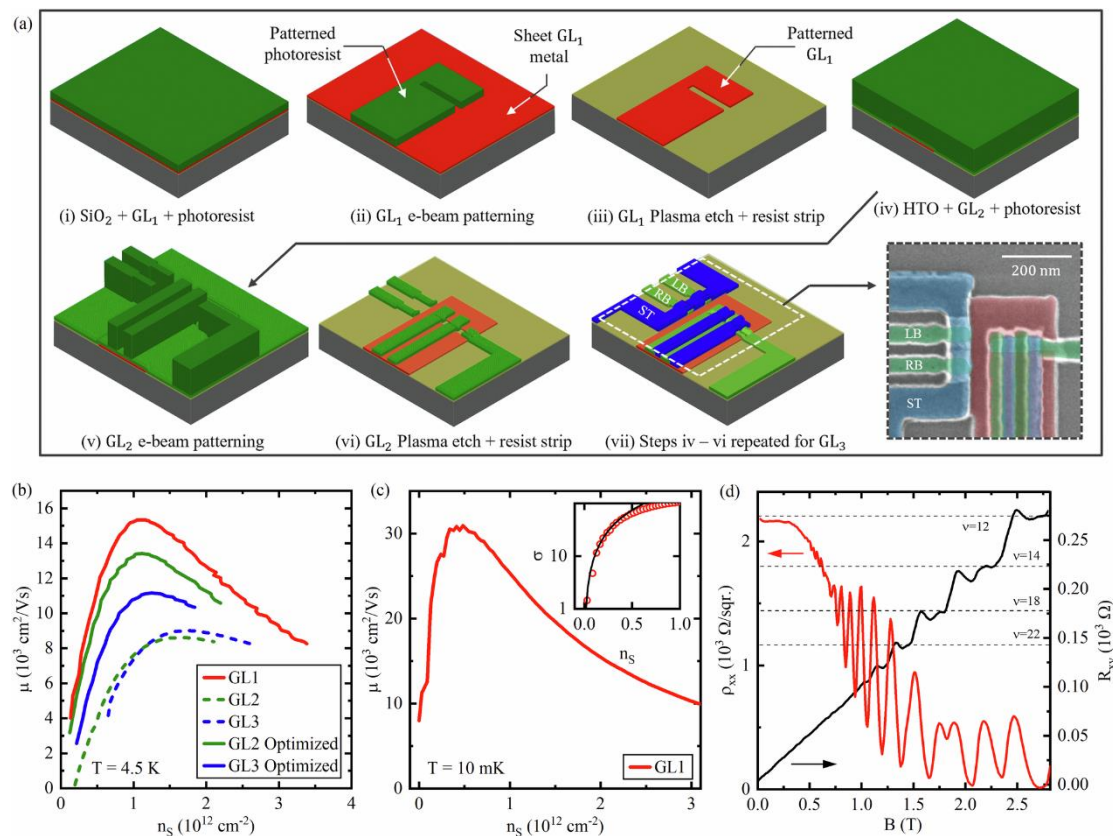


图 1 器件制造和接口表征

这种低噪声值能够实现高保真量子比特控制，因为降低噪声对于保持量子相干性和高保真度控制至关重要。通过在 300 mm Si-MOS 量子点工艺上反复、可重复地演示，这项工作有望使基于硅量子点的大规模量子计算机成为现实¹。

（执笔：沈湘 王丽）

英国 Oxford Ionics 公司和芬兰 IQM 量子计算机公司 使实用量子计算更进一步

2024 年 7 月 11 日²，英国 Oxford Ionics 公司展示了性能最高且可规模化生产的量子芯片，开发了一种电子量子比特控制系统，不再

¹ <https://www.imec-int.com/en/press/imec-achieves-record-low-charge-noise-si-mos-quantum-dots-fabricated-300mm-cmos-platform>

² <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/oxford-ionics-sets-industry-records-for-two-qubit-and-single-qubit-gate-performance/>

需要使用激光控制量子比特。该方法采用了囚禁离子技术，并将控制俘获粒子所需的一切集成到可大规模生产的硅芯片中。Oxford Ionics 公司在双量子比特门和单量子比特门保真度方面创下行业记录，分别达到 99.97% 和 99.9992%。Oxford Ionics 计划开发一款可扩展的 256 量子比特芯片，该芯片能够在现有的半导体生产线上制造。

2024 年 7 月 15 日，芬兰 IQM 量子计算机公司在超导量子计算领域取得重大进展，改进了表征量子计算机质量的两个关键指标¹：

（1）双量子比特门保真度达 99.91%，（2）量子比特弛豫时间为 0.964 毫秒，退相干时间为 1.155 毫秒。

此前，2024 年 4 月，国际知名量子企业 Quantinuum 公司宣布在量子计算机 H1 系统中实现了 99.914% 的双量子比特门保真度，是国际上首次在商用量子计算机中实现“三个九”双量子比特门保真度。

（执笔：于杰平）

美国 DARPA 展示量子基准计划最新前沿进展

2024 年 6 月 20 日，美国国防高级研究计划局（DARPA）量子基准计划的研究团队分享了第二阶段研究成果²。量子基准计划于 2021 年启动，旨在重新定义衡量量子计算进展的关键指标。第一阶段，八个研究团队汇编了 200 多个潜在应用，并创建了 20 个候选基准，能够度量使用量子计算机解决具有经济效益的复杂计算任务的进展。第二阶段，五个研究团队针对化学、材料科学、非线性微分方程三个应用领域的具体基准进行详细研究。研究结果表明量子计算机能够在化学、量子材料、材料科学应用等方面提供优势，但是否能够在非线性微分方程应用方面提供优势尚不可知。

在第二阶段研究中，南加州大学、HRL 实验室、L3Harris 公司

¹ <https://www.meetiqm.com/newsroom/press-releases/iqm-achieves-new-technology-milestones>

² <https://www.darpa.mil/news-events/2024-06-20>

负责基准测试和应用，Rigetti Computing 公司和 Zapata Computing 公司负责估算所需量子计算资源。此外，麻省理工学院林肯实验室、美国国家航空航天局（NASA）和洛斯阿拉莫斯国家实验室提供专业领域知识、软件集成、以及测试和评估能力。

具体研究成果包括¹：（1）Zapata AI 证明了容错量子计算机加速均相催化剂发现的可行性，（2）L3Harris 证明了容错量子计算机加速不可压缩计算流体动力学模拟的可行性，（3）麻省理工学院林肯实验室展示了容错量子计算机预测核磁共振波谱的前景，（4）北卡罗莱纳州立大学探讨了利用量子计算机模拟强相关系统的容错能力，（5）南加州大学展示了在量子计算机上进行开放系统模拟的应用和资源估算，（6）洛斯阿拉莫斯国家实验室展示了量子计算在该实验室的潜在应用，（7）Rigetti Computing 公司估算了在模块化超导架构上使用图状态编译的容错资源，（8）波音研究技术部展示了量子计算在耐腐蚀材料和防腐涂层设计方面的应用，（9）HRL 实验室展示了利用量子算法计算淀粉样蛋白- β 结合亲和力所需量子资源，（10）HRL 实验室展示了通过量子计算实现下一代纳米尺度推进剂的富勒烯封装环状臭氧。

（执笔：于杰平）

量子磁力计随欧洲 Ariane 6 火箭执行太空任务

2024 年 7 月 9 日，欧洲 Ariane 6 火箭首次发射，标志着欧洲恢复了依靠自己的重型运载火箭进入太空的能力²。Ariane 6 火箭此次发射中携带了欧盟资助的基于金刚石 NV 色心的量子传感器。这种先进的量子传感器在室温下能够以出色的灵敏度和范围检测磁场，且适用于太空任务。比利时哈塞尔特大学和比利时微电子研究中心

¹ <https://www.darpa.mil/work-with-us/publications-highlighting-potential-impact-of-quantum-computing-in-specific-applications>

² https://qt.eu/news/2024/2024-07-15_quantum-magnetometer-on-board-eu-space-mission-ariane-6

(IMEC) 联合参与了该量子磁力计的研发。在此次太空任务中，该磁力计成功测量了火箭轨迹沿线的磁场，为导航和姿态确定提供了数据验证。

(执笔：于杰平)

韩国基础科学研究所开发出用于二维半导体逻辑电路的一维金属相新结构

半导体器件的集成度取决于栅极电极的宽度和控制效率。在传统半导体制造工艺中，由于光刻分辨率的限制，将栅极长度减小到几纳米以下几乎是不可能的。

在原子级薄的范德华材料中，晶界（grain boundaries）——倾斜平面内旋转的相邻晶粒之间的线缺陷——无处不在。当倾斜角度任意时，晶界形成不均匀的亚晶格，产生不受控制的局部电子态。韩国基础科学研究所的研究团队创造性地利用二维半导体二硫化钼（MoS₂）的镜面孪晶边界（MTB）制造出超小型晶体管的栅极电极，可以克服传统光刻工艺的限制¹。二维半导体 MoS₂ 的 MTB 是一种天然的一维金属，宽度约为 0.4 nm，长度可达几十微米。

研究团队在原子水平上控制现有二维半导体的晶体结构，将其转化为一维 MTB，实现了一维 MTB 金属相，由这种 1D MTB 制造的晶体管栅极长度仅为 3.9 nm。在电路性能方面，与用于硅半导体器件小型化的 FinFET 或 GAA 等技术相比，1D MTB 晶体管由于结构简单、栅极宽度极窄，可以将寄生电容降至最低，从而提高集成电路的稳定性。

¹ Heonsu Ahn, Gunho Moon, Hang-gyo Jung, et al. Integrated 1D epitaxial mirror twin boundaries for ultrascaled 2D MoS₂ field-effect transistors [J]. Nature Nanotechnology, 2024. <https://www.nature.com/articles/s41565-024-01706-1>

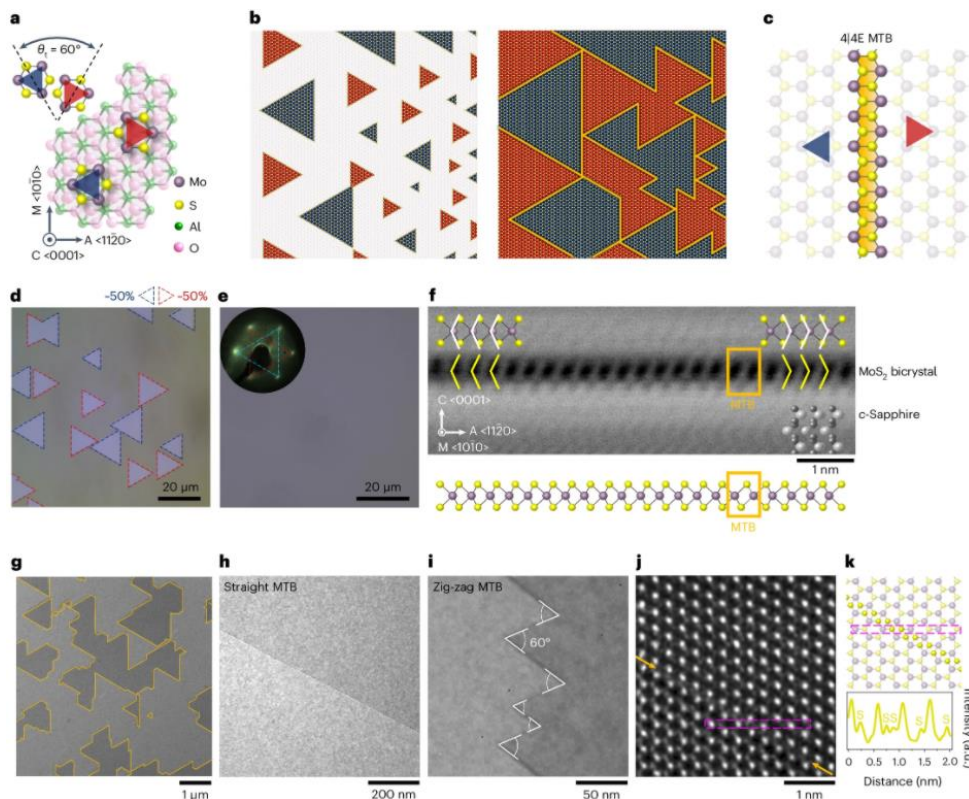


图 1 MTB 嵌入外延范德华材料 MoS₂ 单层双晶中

研究人员认为，通过外延生长实现的一维金属相是一种新型材料工艺，可应用于超小型半导体工艺，有望成为未来开发各种低功耗、高性能电子器件的关键技术。

（执笔：沈湘 王丽）

美国和加拿大合作研制出新型薄膜半导体、电子迁移率创下新纪录

(Bi,Sb)₂(Te,Se)₃ 辉碲铋矿（tetradymite）材料是热电能量转换最有效的材料之一，也是拓扑绝缘体自旋电子技术中最坚固的材料，但应具有不同的掺杂特性以适用于任何一种技术。

美国陆军作战能力发展司令部（DEVCOM）陆军研究实验室、俄亥俄州立大学、麻省理工学院和加拿大渥太华大学的研究人员，利用三元辉碲铋矿（tetradymite）晶体材料，通过分子束外延工艺成

功研制出一种新型超薄晶体薄膜半导体¹。薄膜厚度仅 100 纳米，其电子迁移速度创下新纪录，约为传统半导体的 7 倍。这一成果有助科学家研制新型高效电子设备。

研究人员向这种薄膜半导体施加电流时，电子以 10000 平方厘米/伏秒的破纪录速度迁移。相比之下，在标准硅半导体内，电子的迁移速度通常约为 1400 平方厘米/伏秒；在传统铜线中则更慢。研究人员认为，这有助于研制更高效、更可持续的电子设备。

研究团队同时指出，即使材料中最微小的瑕疵也会阻碍电子运动，从而影响电子迁移率。未来希望进一步改进制作过程，进一步降低薄膜厚度，从而更好地应用于未来的自旋电子设备和可将废热转化为电能的可穿戴热电设备。

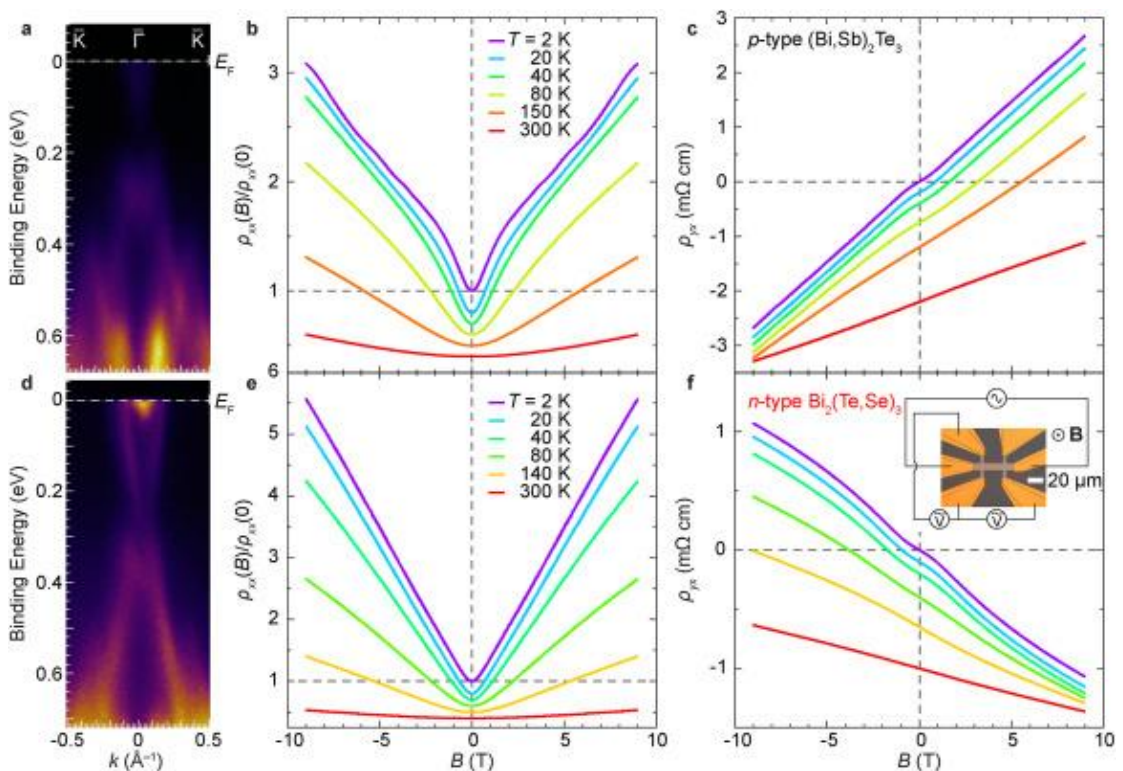


图 1 电子迁移性能的温度依赖性

(执笔：沈湘)

¹ Patrick J. Taylor, Brandi L. Wooten, Owen A. Vail, et al. Magnetotransport properties of ternary tetradymite films with high mobility[J]. Materials Today Physics, 2024, 101486.

产业动态

美国商务部拟投资 4 亿美元资助 Global Wafers 公司 开展关键半导体晶圆生产

据官网 2024 年 7 月 17 日报道，美国商务部和半导体硅片大厂环球晶圆（Global Wafers）公司签署了一份不具约束力的初步条款备忘录（PMT），将根据《芯片和科学法案》向其提供高达 4 亿美元的拟议直接资金，以帮助其在美国国内建立首个用于先进芯片的 300 mm 硅片厂，并扩大绝缘体上硅片的产能，加强美国国内关键半导体元件的供应链¹。

硅晶圆是半导体生态系统中的基础关键组件。包括 Global Wafers 在内的五家领先公司目前占据了全球 300 mm 硅片制造市场的 80% 以上，目前约 90% 的硅片来自东亚。基于这项拟议投资，Global Wafers 将在以下两个地区建造和扩建设施：

（1）得克萨斯州谢尔曼：在美国建立第一个用于先进芯片的 300 mm 硅片制造工厂。300 mm 硅片是代工厂和集成器件制造商制造尖端、成熟节点和存储芯片的关键投入。

（2）密苏里州圣彼得斯：建立一个新工厂，生产 300 mm 绝缘体上硅（SOI）晶片。SOI 晶片可以在恶劣环境中显著提高性能，通常用于国防和航空航天的高端应用中。

此外，作为 PMT 的一部分，Global Wafers 计划将其位于德克萨斯州谢尔曼的现有硅外延晶片制造工厂的一部分转换为碳化硅（SiC）外延晶片制造，生产 150 mm 和 200 mm 的 SiC 外延晶片。SiC 外延

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/07/biden-harris-administration-announces-preliminary-terms-globalwafers>

晶片是高压应用的关键部件，特别是包括电动汽车和清洁能源基础设施。

(执笔：沈湘)

应用材料公司推出全新布线技术拓展铜芯片布线到 2nm 及以下节点

据官网 2024 年 7 月 8 日报道，美国应用材料公司宣布推出其最新的集成材料解决方案（Integrated Material Solution, IMS）全新布线技术，旨在通过使铜布线微缩到 2 nm 及以下的逻辑节点，来提高计算机系统性能¹。IMS 在一个高真空系统中结合了六种不同的技术，包括业界首创的材料组合，使芯片制造商能够将铜线扩展到 2 nm 及更高节点。该解决方案是钌和钴（RuCo）的二元金属组合，这是业界首次在大批量生产中使用钌，它同时将衬垫的厚度减少 33%从而达到 2 nm 及以下节点，为无空洞铜回流（void-free copper reflow）产生更好的表面性能，并将布线电阻减少了 25%，提高了芯片性能和功耗，增强了用于 3D 堆叠的逻辑和 DRAM 芯片。

近年来，应用材料公司的“黑钻石（Black Diamond）”材料一直处于行业领先地位，其铜线周围采用低介电常数（或 k 值）薄膜，旨在减少电荷积聚，从而减少功耗并降低信号噪声。现在，应用材料公司推出了这一材料的增强版，降低了最小 k 值，实现了 2 nm 及以下节点的微缩，同时提供了更高的机械强度。AI 时代需要更节能的计算，芯片布线和堆叠对性能和功耗至关重要。随着芯片制造商和系统公司将 3D 逻辑和内存堆叠提升到新的高度，应用材料公司的该项技术将变得至关重要。

(执笔：沈湘 王丽)

¹ <https://ir.appliedmaterials.com/news-releases/news-release-details/applied-materials-unveils-chip-wiring-innovations-more-energy>

美国商务部拟投资 670 万美元资助 Rogue Valley Microdevices 公司开展 MEMS 和传感器代工设施建设

据官网 2024 年 7 月 1 日报道，美国商务部和 Rogue Valley Microdevices 公司（RVM）签署了一份不具约束力的初步条款备忘录（PMT），根据《芯片与科学法》（CHIPS and Science Act）向 RVM 公司提供 670 万美元的拟议直接资金¹。拟议投资将支持 RVM 公司在佛罗里达州棕榈湾的微机电系统（MEMS）和传感器代工设施的建设，预计将其制造能力增加近三倍。

RVM 公司是美国本土唯一一家从事 MEMS 晶圆代工业务的制造企业，专门从事对国防工业基础和生物医学行业非常重要的高端、小批量晶圆和 MEMS 代工服务，由女性及少数族裔创始人 Jessica Gomez 创立，本次也是美国《芯片与科学法》首次直接投资女性及少数族裔芯片企业。

通过这项拟议投资，美国政府将支持基于 300 mm 晶圆制造的 MEMS 器件的可靠国内供应，进一步加强美国供应链弹性，第一批晶圆预计将于 2025 年初发货，该工厂最终将于 2025 年年中完成建设。RVM 公司总部位于美国俄勒冈州梅德福，并在当地拥有一座晶圆厂。该公司于 2023 年 6 月宣布收购位于佛罗里达州棕榈湾的一幢商业建筑，资本预算支出为 3000 万美元，用于建设 300mm（12 英寸）MEMS 和传感器晶圆厂，每月可生产 21000 个晶圆片。RVM 公司是美国第一家宣布为客户提供 300 mm 晶圆代工能力的制造企业，其棕榈湾项目也将是美国本土第一条 300 mm MEMS 晶圆生产线。

(执笔：沈湘)

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/07/us-department-commerce-announces-preliminary-terms-rogue-valley>

AMD 和 Intel 公布 3.5 D 封装

2024 年 5 月 28 日到 31 日，在美国科罗拉多州丹佛市举行的全球最大的半导体封装技术国际会议（ECTC 2024）上，AMD 和 Intel 公布了 3.5D 封装¹。3.5D 封装是 3D 封装和 2.5D 封装的组合，该技术进一步提高了封装的集成密度和操作性能。

AMD 已在 2023 年 12 月发布的最新 GPU 产品“MI300 系列”中采用了 3.5D 封装技术，利用 2.5D 封装技术来连接硅中介层、输入/输出芯片（IOD）和 HBM 模块。也就是说，IOD 和 HBM 模块使用微凸块连接在硅中介层顶部。硅中介层的面积相当大，达到 3000 平方毫米，约相当于一个光罩面积（掩模版）的 3.6 倍。

英特尔也开发了结合 3D 封装和 2.5D 封装的 3.5D 封装技术，部分内容发表在 ECTC 2024 上。已发布信息显示，该封装在封装基板中嵌入了小片硅桥（英特尔称为“EMIB：嵌入式多芯片互连桥”），以缩小微型芯片之间的布线间距并缩短硅片之间的距离。

(执笔：沈湘)

¹ <https://pc.watch.impress.co.jp/docs/column/semicon/1599019.html>;
http://mp.weixin.qq.com/s?__biz=Mzg2NDgzNTQ4MA==&mid=2247741576&idx=2&sn=083218be4620754aee70cba

《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

