

集微技术信息简报

2024年第**5**期 (总第62期)

中国科学院文献情报中心

2024年9月制

本期目录

政策计划

美国国防部宣布为“微电子共享中心”计划拨款 2.69 亿美元	1
荷兰政府宣布对两种 ASML 设备进行出口管制	1
美商务部与国际合作伙伴一起对量子计算和其他先进技术实施出口管制	2
美国政府拨款近 500 万美元资助中小企业将新型芯片技术推向商业市场	4
美国 NSF 正式宣布为“半导体未来”计划资助 4240 万美元	5
美国和越南举办半导体劳动力发展和公共政策研讨会	6
美国举行 IPEF 供应链理事会首次现场会议	7
美国政府宣布投资 2.5 亿美元建设国家半导体技术中心卓越劳动力中心	8
美国 DOE 宣布拨款 6500 万美元用于量子计算研究	9
美国 NIST 发布首批三项后量子密码标准	10
美国 NSF “国家量子虚拟实验室计划”启动首批五个试点项目	10
美国发布推进量子信息科技领域的国际合作报告	11
美国 NSF 与英特尔宣布投资 760 万美元扩大半导体制造人才队伍	16

产业洞察

美智库发布报告评价中国半导体等先进产业创新能力	17
美国 NQIAC 发布“国家量子计划”新评估报告重点关注量子网络	20

前沿研究

美国康奈尔大学首创基于极性半导体晶圆两面集成功能器件的制造方法	27
美国科研团队观测到反铁磁体二极管效应	29
IMEC 使用 CMOS 工艺在 300mm 晶圆上制造超导量子比特	30

中国科学院和北京大学研制出由石墨烯和锗等混合维度材料构成的热发射极晶体管	31
苏州大学、沙特阿卜杜拉国王科技大学等开发出基于二维半导体的高性能晶体管	33

产业动态

台积电获欧盟约 56 亿美元资助、在德芯片工厂动工	36
英特尔获得美国政府 30 亿美元直接资金用于“安全飞地”计划	37
美国 IonQ 公司首次在钡离子阱量子计算系统上实现 99.9% 的双比特门保真度	37
美国商务部拟直接资助德州仪器公司 16 亿美元扩大当前一代和成熟节点芯片产能	38
美国商务部拟直接资助 SK 海力士 4.5 亿美元提升 AI 供应链安全 ..	39

政策计划

美国国防部宣布为“微电子共享中心”计划拨款 2.69 亿美元

据官网 2024 年 9 月 17 日报道，美国国防部（DoD）宣布通过《芯片与科学法案》为“微电子共享中心”（ME Commons）计划下的 33 个新技术项目拨款 2.69 亿美元¹，以大幅提高美国的微电子制造能力和劳动力发展基础设施。该投资主要分布在六个技术领域：四项量子项目，总额 3200 万美元；四项安全边缘计算项目，总额 2500 万美元；五项 5G/6G 项目，总额 4200 万美元；六项电磁战项目，总额 5100 万美元；七项商业跨越式发展项目，总额 3800 万美元；七项人工智能项目，总额 4200 万美元；一项跨中心支持解决方案（CHES）奖，总额 3900 万美元。

ME Commons 成立于 2023 年，由八个区域中心组成，预计在 2023-2027 财年将获得合计 20 亿美元资金。该计划的重点是加快美国国内微电子硬件原型和劳动力发展，为美国工人提供获得高薪职业的先进技能。

（执笔：沈湘 王丽）

荷兰政府宣布对两种 ASML 设备进行出口管制

据阿斯麦（ASML）官网 2024 年 9 月 6 日报道，荷兰政府公布了关于浸没式深紫外光刻（DUV）半导体设备出口的最新许可证要求，扩大对 ASML 一些芯片制造设备的出口管制范围，将两款低精度 DUV 浸没式光刻机 TWINSKAN NXT:1970i 和 TWINSKAN

¹ <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3908176/>

NXT:1980i 列入出口许可管制范围¹。荷兰政府发布的这一最新许可证要求将于 2024 年 9 月 7 日生效。

美国此前曾单方面监管这些工具，并将其作为对中国芯片制造商进行出口管制措施的重要手段之一。由于此次更新许可证要求，并符合美国出口管理条例 734.4.(a)(3)的规定，ASML 将需要向荷兰政府而不是美国政府申请 TWINSCAN NXT:1970i 和 1980i 光刻机的出口许可证。

此前，荷兰已对 TWINSCAN NXT:2000i 及其后续推出的两款浸没式 DUV 光刻系统实施了出口许可证要求，ASML 极紫外光刻系统的销售也已受到许可证要求的限制。

(执笔：沈湘 王丽)

美商务部与国际合作伙伴一起对量子计算和其他先进技术实施出口管制

2024 年 9 月 6 日，美国商务部工业安全局（BIS）发布了一项临时最终规则²，在商业管制清单（CCL）中新增和修订了出口管制分类编号（ECCN）；新增了一项许可例外，授权向已对这些新增物项实施同等技术管制的国家进行出口和再出口；基于“国家安全”或“区域稳定”的原因在《出口管理条例》（EAR）中新增两项全球范围内的许可要求。这些出口控制措施是与国际合作伙伴进行广泛讨论的结果。

该临时最终规则新增和修订的相关物项涉及³：（1）量子计算物项：量子计算机及可以用于开发和维护量子计算机的相关设备、组件、材料、软件和技术；（2）先进半导体制造设备：生产先进半

¹ <https://www.asml.com/en/news/press-releases/2024/dutch-governments-updated-export-license-requirement>

² <https://www.federalregister.gov/documents/2024/09/06/2024-19633/commerce-control-list-additions-and-revisions-implementation-of-controls-on-advanced-technologies#p-47>

³ <https://www.bis.gov/press-release/department-commerce-implements-controls-quantum-computing-and-other-advanced>

导体器件所必需的工具和机器；（3）GAAFET 技术：生产或开发可用于超算的高性能计算芯片的技术；（4）增材制造物项：生产金属或金属合金零部件的设备、组件及相关技术和软件。其中，新增 18 个 ECCN，修订 9 个 ECCN。本次新增 18 项 ECCN 种，11 种涉及量子计算，3 种涉及 GAAFET 及半导体制造设备，4 项涉及增材制造，具体如下：

1. 新增量子计算 ECCN

3A901：适用于超导量子处理器的、能在 4.5K（-268.65 °C）或更低温度下运行的 CMOS 器件（3A901.a）；在极低温度、特定频率和噪声系数参数下运行的参量信号放大器（3A901.b），参量信号放大器包括行波参量放大器（TWPAs），参量信号放大器也可被称为量子限制放大器（QLAs）。

3A904：侧重于与研究具有更多物理量子比特的量子系统相关的物项，在 0.1 开尔文（-273.05 摄氏度）或更低温度下提供冷却功率大于或等于 600 微瓦且持续时间超过 48 小时的系统以及指定的两级脉管制冷机。

3B904：低温晶圆探针测试设备，旨在扩展基于固态量子比特和其他类型量子比特的量子计算。

3C907：包含至少一层外延生长层“基底”的外延材料，这些材料由含有特定比例硅或锗同位素的硅或锗构成。

3C908：含有特定比例硅或锗同位素的硅或锗的氟化物、氢化物、氯化物。

3C909：含有特定比例硅或锗同位素的硅、氧化硅、锗或氧化锗。

3D901：与“3A901.b、3B903、3B904”物项相关的软件。

3E901：用于开发或生产“3A901、3A904、3B903、3B904、3C907、3C908、3C909”物项的技术。

4A906: 量子计算机及相关的电子组件和零部件。具体包括: 特定的量子计算机 (4A906.a, 最近的标准是在规定的错误率下支持 34 个或以上物理量子比特的量子计算机); 量子比特设备和量子比特电路 (4A906.b); 为“4A906.a”所述量子计算机专门设计的量子控制组件和量子测量设备 (4A906.c)。

4D906: 开发或生产为“4A906.b、4A906.c”物项专门或修改的软件。

4E906: 用于开发或生产“4A906.b、4A906.c、4D906”物项的技术 (4E906.a); 使用“4D906”物项的技术 (4E906.b)。

2. GAAFET 和半导体制造设备相关技术

3B903: 用于半导体器件或集成电路成像的扫描电子显微镜 (SEM) 设备。

3D907: 用于从 SEM 图像中提取“图形设计系统 II (GDSII)”或等效标准的图层数据并执行层到层的对准, 以及生成多层 GDSII 数据或电路网表的软件。

3E905: 用于开发或生产 GAAFET 结构的集成电路或器件技术。

3. 增材制造技术

2B910: 增材制造设备, 用于生产金属或金属合金零部件。

2D910: 与增材制造设备 (2B910) 相关专用软件。

2E910: 与增材制造设备 (2B910) 相关的技术。

2E903: 用于开发或生产涂层系统的技术, 这里的涂层系统主要用于陶瓷基复合材料制备。

(执笔: 于杰平 王丽)

美国政府拨款近 500 万美元资助中小企业将新型芯片技术推向商业市场

据美国商务部 2024 年 9 月 19 日报道, 美国政府根据小企业创新

研究（SBIR）计划，向 9 个州的 17 家小企业拨款近 500 万美元¹。SBIR 第一阶段将资助研究项目，以探索新理念或新技术的价值或可行性，从而开发出可行的产品或服务，以引入商业微电子市场。这是 CHIPS 研发办公室的首次资助项目。

资助项目从提案申请中竞争性选出，涉及：急需的测量服务、工具和仪器研究；新制造计量技术；新的质量保证和起源技术以及先进的计量研发试验台。

17 家小企业的 SBIR 第二阶段资助将从 2025 年春季开始评选。每个项目第二阶段最高可获得 191 万美元资助。

（执笔：沈湘）

美国 NSF 正式宣布为“半导体未来”计划资助 4240 万美元

据官网 2024 年 9 月 16 日报道，美国国家科学基金会（NSF）与爱立信、英特尔公司、美光科技、三星公司合作，正式宣布为“半导体未来”（NSF FuSe2）计划提供 4240 万美元资助，将支持 23 个前沿研究项目，这些项目分布在 15 个不同的州和 20 个机构²。一年前，在 2022 年《芯片和科学法案》资助下，美国 NSF 启动了最初的 FuSe 计划，拟提供 4560 万美元资助 24 个研究和教育项目。

FuSe2 计划的资助项目聚焦三个主题：（1）特定领域计算的协同研究；（2）通过异构集成实现高级功能和高性能；（3）用于高能效、高性能和可持续半导体系统的新材料。

FuSe2 计划的资助重点包括：（1）先进计算技术。这些项目旨在通过开发超薄氧化物半导体、新型芯片设计和高级算法等尖端技术来革新计算范式。通过增强人工智能工作负载的性能以及为边缘

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/09/biden-harris-administration-awards-nearly-5-million-small-businesses>

² <https://new.nsf.gov/news/nsf-awards-42-4m-new-grants-support-future-semiconductors>

设备开发节能解决方案，这些创新有望使更多人能够获得先进的计算能力，并提高从可穿戴健康设备到大型数据中心等各种应用的效率。**(2) 提高能源效率和环境影响。**这些项目旨在提高计算系统的能源效率，包括用于深度神经网络、垂直供电系统和高密度 3D 集成电路的硬件。这些创新可能会大幅降低功耗和散热要求，应对现代数据中心日益增长的能源需求，并促进环境可持续性。**(3) 先进功能和高性能电子。**这些项目旨在加速采用先进的电子、光子、混合器件及组件在传感、存储和能源领域的应用，以推动半导体技术中的前沿功能实现。项目通过整合兼容未来技术的新型组件和材料，支持器件、电路到算法的整体系统协同设计。重点将专注于系统级策略，旨在提供最具鲁棒性、紧凑、节能且具成本效益的解决方案，解决模拟和数字信息的处理、存储、通信和执行问题。**(4) 下一代材料和器件。**这些项目旨在开发新材料和器件，以克服数据存储、处理和量子信息处理中现有局限，从而在解决复杂计算问题方面取得突破。

(执笔：沈湘 王丽)

美国和越南举办半导体劳动力发展和公共政策研讨会

据美国驻越南大使馆官网 2024 年 9 月 11 日报道，美国和越南于 9 月 11-13 日在河内举办半导体劳动力发展研讨会和公共政策研讨会，正值美国和越南庆祝签署全面战略伙伴关系一周年之际¹。

该系列会议是美国国务院国际技术安全与创新基金（ITSI Fund）的一部分，也是美国《芯片与科学法案》的一项重要举措，旨在增强全球半导体能力和供应链弹性。

会议由美国亚利桑那州立大学组织，汇聚了主要利益相关者，包括来自计划投资部、信息通信部、教育培训部、科技部、劳动荣

¹ <https://vn.usembassy.gov/the-united-states-and-vietnam-mark-the-first-csp-anniversary-by-launching-semiconductor-workforce-development-and-public-policy-workshops/>

军和社会事务部、国家创新中心的领导、地方政府官员、组装测试封装（ATP）行业领导者以及来自顶尖工程技术大学和职业学院的学术代表。会议旨在确定越南在半导体领域的优势和挑战，并制定行动计划以提升其能力。

越南与哥斯达黎加、墨西哥、巴拿马、印度尼西亚、菲律宾、肯尼亚和印度一起，被美国选为国际技术安全与创新基金的八个战略国家，并得到美国国务院经济和商业事务局的支持。美国国务院向亚利桑那州立大学拨款 1380 万美元，用于推动这些国家的人才发展并制定公共政策建议。

（执笔：沈湘）

美国举行 IPEF 供应链理事会首次现场会议

据官网 2024 年 9 月 14 日报道，美国商务部牵头于 9 月 12 日组织召开印太经济框架（IPEF）供应链理事会的首场面对面会议，并在 13 日举行了危机应对网络会议¹。在 IPEF 理事会 7 月虚拟会议基础上，IPEF 理事会通过了第一年工作计划，并设立了两个小组委员会：物流和货物运输委员会与数据分析委员会。IPEF 理事会还成立了半导体、化学品和关键矿物三个领域的行动计划小组，并将于今年内成立医疗保健领域行动计划小组。IPEF 理事会将于 2024 年 12 月再次举行会议。

2022 年 5 月，拜登总统启动了 IPEF 供应链理事会，聚集地区伙伴澳大利亚、文莱、斐济、印度、印度尼西亚、日本、韩国、马来西亚、新西兰、菲律宾、新加坡、泰国、越南和美国共 14 个国家形成一种新的经济合作模式。IPEF 供应链协议谈判于 2022 年底开始，并于 2023 年 5 月基本完成。2023 年 11 月，IPEF 合作伙伴举行了 IPEF 供应链协议的签字仪式，该协议于 2024 年 2 月 24 日生效。

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/09/us-and-ipef-partners-hold-first-person-meetings-ipef-supply-chain>

(执笔：沈湘 王丽)

美国政府宣布投资 2.5 亿美元建设 NSTC 卓越劳动力中心

据美国商务部官网 2024 年 9 月 25 日报道，美国政府宣布启动国家半导体技术中心（NSTC）劳动力卓越中心（WCoE）¹。这是朝着解决美国半导体行业面临的最紧迫挑战之一——劳动力发展迈出了决定性的一步，美国商务部预计将在十年内向 WCoE 投资 2.5 亿美元。随着世界对先进半导体的需求达到前所未有的水平，美国保持这一关键技术全球领先地位的决心取决于维持一支高技能和适应性强的劳动力队伍。

为了解决这个问题，WCoE 将汇集来自私营部门、政府、非营利组织、培训提供商、社区和技术学院、大学以及劳工组织的利益相关者，为该行业的劳动力挑战制定创新的解决方案，加快最佳实践，促进高薪工作，并加强下一代半导体研究人员、工程师和技术人员的招聘和培训。

同时，商务部指定运营 NSTC 的非营利实体 Natcast 宣布已在十几个州和全国范围内获得超过 1100 万美元的预期资助，并对美国教师联合会教育基金会、爱达荷州技术委员会、马里科帕县社区学院、罗切斯特理工学院、德州农工大学、加州大学洛杉矶分校和伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校七家机构进行资助，以进一步支持劳动力发展工作。

WCoE 将有三个创始项目，每个项目都旨在重塑劳动力发展生态系统：

(1) 放大器计划：重点是扩大高效、公平和行业驱动的、以工人为中心的劳动力发展实践，为工人提供高质量工作，提供维持家

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/09/biden-harris-administration-launches-nstc-workforce-center-excellence>

庭生计的工资和自由、公平地加入工会的选择。它将提供资金，促进伙伴关系，并认可劳动力保留、培训和教育方面的最佳实践。

(2) 信号计划：利用数据和研究来监测劳动力趋势，评估计划进展和成果。它旨在全面了解人才格局，包括供需情况，同时制定可行的见解。

(3) 连接计划：促进会员服务、量身定制的活动和实践协助，以满足 NSTC 成员组织的特定需求，帮助其建立未来的美国半导体劳动力。

(执笔：沈湘 王丽)

美国 DOE 宣布拨款 6500 万美元用于量子计算研究

2024 年 9 月 9 日¹，美国能源部（DOE）宣布将为 10 个量子计算项目提供总额达 6500 万美元的资金支持，为期五年，包括 38 个奖项。这项投资旨在构建端到端的软件工具链，以实现大规模量子系统的编程和控制，以及开发能够通过错误检测、预防、保护、缓解和纠正来提供量子优势并增强系统弹性的量子算法。这些是开发软件生态系统的关键组件，一方面必须考虑模块化和互操作性，另一方面需要考虑专业化和性能。承担机构包括：德克萨斯大学奥斯汀分校、弗吉尼亚理工学院暨州立大学、橡树岭国家实验室、旧金山州立大学、加州理工学院、马里兰大学、芝加哥大学、洛斯阿拉莫斯国家实验室、劳伦斯伯克利国家实验室、乔治城大学、ColdQuanta 公司、阿贡国家实验室、北卡罗来纳州立大学、新墨西哥大学、新墨西哥桑迪亚国家实验室、劳伦斯利弗莫尔国家实验室、加州理工学院、约翰斯·霍普金斯大学、密歇根大学、美国国家航空航天局、加州桑迪亚国家实验室、太平洋西北国家实验室、马萨诸塞大学阿默斯特分校、Unitary Fund 投资基金、新泽西州立罗格斯大

¹ <https://www.energy.gov/science/articles/department-energy-announces-65-million-quantum-computing-research>

学等。

(执笔：于杰平)

美国 NIST 发布首批三项后量子密码标准

2024 年 8 月 13 日¹，美国国家标准与技术研究院（NIST）正式宣布推出三项后量子密码标准，旨在抵御量子计算机的攻击，确保从电子邮件到电子商务交易等各种电子信息的安全性，并鼓励计算机系统管理员尽快开始过渡到新标准。自 2016 年，美国 NIST 就启动了后量子密码标准建立工作，以应对量子计算挑战。

NIST 发布的三项新标准分别是 FIPS 203、FIPS 204 和 FIPS 205。其中，FIPS 203 标准基于 CRYSTALS-Kyber 算法（已更名为 ML-KEM 算法），旨在作为通用加密的主要标准，其优点是加密密钥相对较小，双方可以方便地交换，而且运行速度快；FIPS 204 标准基于 CRYSTALS-Dilithium 算法（已更名为 ML-DSA 算法），旨在作为保护数字签名的主要标准。FIPS 205 标准基于 SpHincs+ 算法（已更名为 SLH-DSA 算法），也是旨在用于保护数字签名。

(执笔：于杰平)

美国 NSF “国家量子虚拟实验室计划” 启动首批五个试点项目

2024 年 8 月 9 日²，美国国家自然科学基金委（NSF）宣布为五个试点项目提供 500 万美元的初始资金，迈出创建国家量子虚拟实验室的第一步。这五个试点项目分别为：（1）展示量子优势的广域量子网络（SCY-QNet），由石溪大学牵头，与哥伦比亚大学、耶鲁大学和布鲁克海文国家实验室合作，旨在构建一个长距离 10 节点量

¹ <https://www.nist.gov/news-events/news/2024/08/nist-releases-first-3-finalized-post-quantum-encryption-standards>

² <https://new.nsf.gov/news/nsf-national-quantum-virtual-laboratory-advances>

子网络，通过量子通信和分布式量子处理来展示量子优势。这些技术进步将有助于实现安全和保护隐私的长距离通信系统。（2）量子优势级囚禁离子系统（QACTI），由杜克大学牵头，与芝加哥大学、塔夫茨大学、北卡罗来纳州立大学和北卡罗来纳州农业技术州立大学合作，致力于创建 256 量子比特离子阱量子计算系统。该系统可以通过互联网进行控制，并能够运行各种量子模拟和量子计算。（3）可编程量子计算机上的深度学习（DLPQC），由麻省理工学院牵头，与哈佛大学、加州大学洛杉矶分校和马里兰大学合作，寻求开发超过 100 量子比特的量子计算平台，用于纠错计算，能够进行复杂的多体分析，以解决化学、先进材料和物理学问题。（4）量子传感与成像实验室（Q-SAIL），由加州大学洛杉矶分校牵头，与特拉华大学、加州理工学院和麻省理工学院合作，旨在开发基于二维囚禁离子阵列的量子传感器。这种传感器有潜力大大推进频率计量的发展，其应用包括电信和导航、天文学和医学中使用的太赫兹成像以及其他领域。（5）光子学的量子计算应用（QCAP），由新墨西哥大学领导，与新墨西哥州立大学、桑迪亚国家实验室、洛斯阿拉莫斯国家实验室、Skorpios Technologies 公司和 Hoonify Technologies 公司合作，旨在运用单片集成量子光子学在芯片上制造量子计算机，最终通过与行业的合作，将这项技术开发成商业上可行的产品。

（执笔：于杰平 王丽）

美国发布推进量子信息科技领域的国际合作报告

2024 年 8 月 8 日，美国国家科学技术委员会（NSTC）量子信息科学小组委员会（SCQIS）发布《推进量子信息科技领域的国际合作》报告¹，旨在为美国进一步加强在量子信息科技（QIST）领域的

¹ <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2024/08/Advancing-International-Cooperation-in-QIST.pdf>

国际合作提供战略指导。该报告分析了美国需要继续加强 QIST 国际合作的动力、现有路径及机会，并提出了政策建议。

一、加强量子信息科技国际合作的动力

量子信息科技发展高度国际化，与许多相关领域的科技前沿紧密相连，国际合作在量子信息科技领域的重要性日益凸显。美国与其盟友和合作伙伴在量子信息科技领域的合作带来了多方面的好处，对美国的科学领导力、经济竞争力和国家安全都至关重要，具体包括加快科学进步，吸引和培养国际人才，确保资源和市场的稳健获取，指导 QIST 相关的国际原则、政策和有效实践，加强国际合作等。

加快科学进步方面：近年来，全球对量子信息科技领域的投入大幅增加。在这种环境下，科学进步打破了机构和地域的限制，有利于全球知识网络的形成。2018-2022 年期间，美国科学家发表的量子信息科技领域的出版物，涉及国际合作的数量占比约 50%（而这一比例在所有科学出版物中仅为 40%），这表明了 QIST 发展的国际化特性。量子信息科技领域的发展整体上仍处于初期阶段，存在许多需要解决的重大科学挑战，国际合作将对促进科学发现和加速解决关键基础研究问题至关重要。

吸引和培养国际人才方面：美国本土量子信息科技人才无法满足本国学术界、产业界和政府的需求。美国需要：（1）利用现有途径并采取新的举措来吸引和留住国际人才；（2）确保伙伴国家的量子信息科技人才库保持稳定，同时与美国增强交流合作；（3）确保企业或研究人员层面的国际合作，以增进对合作伙伴国家的工业和技术发展的熟悉程度，从而促进科学和经济互动。

确保资源和市场的稳健获取方面：量子信息科技的研究、开发、商业化所需的关键资源遍布全球，这些资源包括科学和技术专业知识、关键组件、基础设施、配备现代化设备的实验室、硬件测试平台和工厂。加强和扩大这些资源的获取将降低协作研发和商业化的

壁垒，从而推动关键组件的开发并促进可持续供应链的建设。此外，进入全球市场对于确保量子信息科技相关产品和服务能够扩大覆盖范围、创造收入、并惠及所有合作伙伴也至关重要。

指导量子信息科技相关的国际原则、政策和有效实践方面：量子信息科技领域的国际合作应当遵循促进开放和公平追求科学技术的共同原则、政策和有效实践，包括尊重知识产权、数据共享实践和标准制定过程，以及隐私、公民权利和自由保护。

加强国际合作方面：以量子信息科技为中心的国际合作，可以成为加强国际合作的平台，并在 QIST 领域之外产生影响。例如，美国政府与多个国家签署了双边量子合作声明，在量子信息科技声明框架内创建的机制和对话同样适用于其他技术和社会领域。

二、量子信息科技国际合作的现有路径及机会

美国在量子信息科技领域的国际合作方式以自下而上为主，自上而下为辅。尽管，美国与国际合作伙伴进行高层科学技术讨论很有价值，但是美国在 QIST 领域的国际合作更多是自下而上，例如研究人员最适合确定和促成富有成效的研发合作，专家对研究提案的择优审查比高层讨论更适合确定有前途的技术项目。

随着全球对量子信息科技兴趣的增加，美国各机构收到的国际合作请求也在增加。由于美国各机构的使命不同，拥有的权限有差异，美国政府资助的量子信息科技研发活动呈现分布式管理特点。这种管理模式为美国创新提供了多样性和灵活性，但也为美国参与协调一致的国际合作带来挑战。

目前，美国现有的多个机制有助于加强其在量子信息科技领域的国际合作，包括国家科学技术委员会下属量子信息科学小组委员会、量子信息科学经济与安全影响小组委员会，国际科学技术协调小组委员会，国家量子协调办公室等。

三、推进量子信息科技国际合作的建议

为加强美国在量子信息科技领域的国际合作能力，实现互惠互利并优先考虑共同价值观、科学目标和经济承诺的国际合作，该报告提出三项建议。

（一）美国政府应该建立专门的长期机制来资助量子信息科技国际合作

挑战：参与欧盟地平线计划的欧盟成员国超过 20 个，日本和英国也通过专项资金推动国际合作。欧盟尤里卡计划（EUREKA）在应用量子技术方面的国际合作项目吸引了 16 个国家的参与。美国由各机构分权管理研发活动的模式使其不适合参与大规模的国际合作。

建议：美国应该建立一个新的、专门的、集中的机制来支持广泛的 QIST 国际活动。这些活动包括联合研发项目、人员流动、以及美国量子信息科技领域专家参与各类国际论坛，这些论坛致力于制定 QIST 相关的政策、标准、出口管制和安全实践。新的授权和拨款需要显著增强美国的国际合作能力。美国国务院具备协调这一努力的能力，可通过量子信息科学小组委员会和量子信息科学经济与安全影响小组委员会进行协调管理。同时，美国各机构可以根据自身现有权限独立支持国际合作，或通过跨机构的资金池支持国际合作但需要与出资机构紧密协调。

（二）各机构应加强国际合作实践的跨机构协调，以加强美国政府在量子信息科技国际合作活动中的综合投资组合

挑战：随着量子信息科技领域的全球合作机会不断增加，一个国家会单独与多个美国机构提出合作请求，这可能造成重复工作。此外，国际合作文书例如谅解备忘录或协议的制定和实施需要漫长的时间和大量的资源。

建议：美国应该通过新的或修订流程和工具来探索和实施国际合作，这对美国量子信息科技领域的企业至关重要。这些流程和工具应该减少障碍、促进有效实践的共享、加强技术保护、吸引和利

用联合投资。首先，各机构应该利用量子信息科学小组委员会的国际合作跨机构工作组（International IWG）协调国际合作。其次，加强正式和非正式机制以培养和保持对全球发展的认识。与值得信赖的合作伙伴协调、合作和接触可以减轻供应链和劳动力管道的压力，同时帮助构建规模经济。最后，各机构应该激励员工在联合资助或其他正式合作项目确定之前，分配时间和资源在适当的情况下与合作伙伴建立合作关系；酌情减少官僚障碍，以简化新的正式国际安排流程；确保新的协议或书面安排得到适当的审查。

（三）美国政府应建立并跟踪量子信息科技及其相关技术的全球竞争力指标

挑战：跟踪量子信息科技的国际竞争力和实用化进程是一项挑战。由于技术的多样性、成熟度水平的差异、最终用途的不同，不同国家、区域和部门间交流量子技术进展和优先事项变得困难。文献和专利数据可以量化，但不能清楚地反映技术平台的价值。资金资助水平能够反映优先级，但不一定能够反映竞争力水平。技术准备水平的术语和定义不匹配。

建议：美国应该调动各机构投入专门的资源、时间和专业知识，以及让量子信息科学小组委员会和量子信息科学经济与安全影响小组委员会加入，制定量子技术里程碑跟踪框架。同时，美国应该制定更好的指标来考虑 QIST 劳动力和供应链，并与文献、专利、资金等数据结合使用。另外，美国政府应该跟踪劳动力和资金的变化和流动，例如，哪些国家正在培养 QIST 劳动力以及劳动力如何跨境迁移。

（执笔：于杰平 王丽）

美国 NSF 与英特尔宣布投资 760 万美元扩大半导体制造人才队伍

据官网 2024 年 8 月 7 日报道，美国国家科学基金会（NSF）和英特尔公司宣布，通过“加强工程技术和先进半导体制造技术教育（ETSTE）”向六个项目投资 760 万美元，旨在促进公平的 STEM 教育和培训机会，增强美国半导体劳动力队伍¹。这次投资是 NSF 和英特尔之前宣布的为期十年合作计划的一部分。该合作计划总投资 1 亿美元，旨在应对美国在半导体设计和制造方面的挑战以及劳动力短缺问题。通过强有力的公私合作伙伴关系，NSF 计划资助全国各类高等教育机构（包括两年制学院和四年制大学）的研究和课程开发，以满足未来国内半导体劳动力的需求。

六个资助项目具体内容包括：**（1）为贫困学生、少数族裔提供奖学金或学术支持。**通过克拉克学院工程和计算机科学学生设计中心，扩大低收入学生的入学机会；通过亚利桑那大学开发一个面向西班牙裔的学术支持计划，涵盖学术咨询、导师指导、实习和就业安置。**（2）开发半导体证书课程或技能教育培训。**通过塔兰特县学院开发适用于半导体行业技术人员的电子技术证书；通过纽约州立大学奥内达加社区学院为个人提供多种教育途径，帮助他们获得半导体行业认可的证书；通过圣巴巴拉城市学院与加州大学圣巴巴拉分校合作，向社区大学生提供使用洁净室设施机会和培训，重点是微纳米技术教育。**（3）加强半导体领域教师培训。**建立哥伦布州社区学院的半导体教育讲师强化联盟，通过开发一个教师中心，招聘、培养并提升与半导体和先进制造业相关学科的教师技能，以满足对熟练技术人员的需求。

（执笔：沈湘 王丽）

¹ <https://new.nsf.gov/news/nsf-invests-76m-educational-projects-build-skilled>

产业洞察

美智库发布报告评价中国半导体等先进产业创新能力

2024年9月16日，美国科技智库信息技术与创新基金会（ITIF）发布研究报告《中国正在快速成为先进产业的创新领导者》¹。该报告基于对中国10个高科技行业创新能力为期20个月的调查结果，长达136页，涵盖的10个重要技术领域：机器人，化学制品，核能，电动汽车和电池，机床，半导体，人工智能，量子计算，显示技术和生物制药²。

一、总体评估情况

根据ITIF评估，中国在核能领域似乎处于领先地位；在电动汽车和电池领域与美国实力相当；在机器人、显示技术、人工智能和量子计算等领域接近领先水平；但在化学制品、机床、半导体和生物制药领域则相对落后。除半导体领域因设备出口管制导致进展受阻，以及量子计算领域的某些限制领域外，中国在这些技术领域的进步速度令人瞩目。

报告还指出，如果中国成功成为全球创新领导者，全球技术与经济权力的中心将发生转移。潜在后果包括：中国对西方制裁和其他贸易手段的抵御能力将增强，其军事力量以及对发展中国家的影响力也将得到提升。

二、半导体评估情况

中国政府已将半导体列为优先发展事项，投资数千亿美元推动本土半导体生态系统的发展，力图在几乎所有领域培养具有全球竞争力的半导体企业，涵盖从半导体设计和制造到半导体制造设备，

¹ <https://itif.org/publications/2024/09/16/china-rapidly-becoming-leading-innovator-in-advanced-industries-new-report-finds/>

² <https://mp.weixin.qq.com/s/y5X1tPvkskBNkWwu2rVNQ>

再到组装、测试和封装（ATP）。然而，到目前为止，中国大陆这些努力取得了不均衡的成果，整体上仍远远落后于全球领导者。具体体现如下：

1. 半导体制造工艺与尖端逻辑芯片。在尖端逻辑半导体制造方面，中国大陆的中芯国际（SMIC）可能比中国台湾地区的台积电（TSMC）等全球领先者落后约五年。中芯国际正在采用 7 纳米工艺进行制造，但与全球领导者相比工艺更加耗时、成本更高且产量较低。虽然中芯国际在 28 纳米工艺上可以实现大规模、高产量制造，但在 7 纳米工艺上的掌握仍不成熟。2023 年 8 月，华为发布了 Mate 60 Pro 智能手机，该智能手机搭载了 7 纳米麒麟 9000S 芯片（由华为海思设计，采用 ARM 架构），该芯片由中芯国际使用 N+2 工艺技术制造，其性能表现震惊了全球。然而，由于这一工艺复杂且成本高昂，难以实现大规模生产。分析师预计华为在 2023 年只能出货 700 万部 Mate 60 Pro 手机，在 2024 年可能会出货 4000 万部。

尽管中国在尖端逻辑芯片制造上取得了一些突破，但与全球领先者相比仍有较大差距。像英特尔和台积电这样的领先企业已经在推动尖端半导体制造迈向 2 纳米以下的工艺水平。

2. 半导体制造设备。中国在半导体制造设备领域的落后更为显著，特别是在光刻技术上，中国公司在该领域可能落后五代。正如一位分析师所解释的，“中国目前能够生产的最先进的光刻设备只能制造 28 纳米工艺的芯片，而国际领先的尖端设备已经能够生产 2 纳米工艺的芯片。”尽管如此，光刻技术的追赶一直是中国半导体产业的核心焦点。中国领先的光刻设备开发商——上海微电子设备集团（SMEE）于 2023 年 12 月声称已成功开发出 28 纳米光刻机 SSA/800-10W。然而，分析人士对 SMEE 能否实现 28 纳米光刻设备的大规模生产表示质疑。值得注意的是，中国晶圆制造设备生产商的国内市场份额从 2019 年的 4% 上升到 2023 年的 14%。

3. 电子设计自动化（EDA）软件。EDA 软件是半导体设计中的关键环节，中国企业在这方面长期处于劣势。尽管华为在 2023 年 3 月宣布在 EDA 软件的开发上取得突破，声称其技术可以支持 14 纳米及以上工艺半导体的生产，但整体来看，中国企业在 EDA 领域仍明显落后于全球领先者。2022 年，中国的半导体设计公司仅占全球设计收入的 8%，全球前 25 大设计公司中没有一家中国企业。然而，正如一份报告所指出的那样，自 2015 年以来，得益于资本的广泛可获得性（包括政府和私营部门的支持）、行业并购以及下游用户自行设计芯片的需求增长，中国的设计行业规模迅速扩大。事实上，从 2010 年到 2022 年，中国半导体设计公司的数量从 582 家增加到 3243 家，增长了近六倍。

5. 人工智能芯片。中国企业在 AI 芯片领域的进展迅速，华为、壁仞科技、腾讯、阿里巴巴、百度和沐曦等众多中国企业正在加速 AI 芯片的发展。有分析称，这些公司在两年内有望大规模生产与英伟达 A100 相当的芯片，使用的是中芯国际的 7nm 工艺。尽管壁仞科技的 BR100 处理器已经在市场上与 NVIDIA H100 展开竞争，但业界普遍认为，NVIDIA 的 CUDA 生态系统更具吸引力，因为其紧密集成了硬件和软件。

6. 半导体存储。中国半导体存储产业，尤其是 NAND 和 DRAM 存储领域，一直是国家发展的战略重点。中国领先的 NAND 制造商长江存储科技有限公司（YMTC）是由国家集成电路产业投资基金发起的一家中国国有控股合资企业，中国政府为其武汉工厂提供了 240 亿美元初始资金支持。TechInsights 分析称，YMTC 进展迅速，推出了全球首款 200 层以上的 3D NAND 闪存，领先于竞争对手三星、SK 海力士和美光。2022 年，苹果考虑收购 YMTC 的 NAND 存储芯片，用于生产在中国销售的 iPhone 和 iPad。然而，2022 年 12 月，美国将 YMTC 列入实体清单，严重影响了 YMTC 扩展计划，导

致其裁员 10%。长鑫存储科技有限责任公司（CMXT）是另一家中国政府支持的企业，专注于 DRAM 技术。CMXT 已成为中国的主力 DRAM 公司，但其在技术路线图的执行上面临重大挑战，分析师普遍认为它不具备全球领先地位。尽管中国企业在存储器技术上受到尖端设备的制约，但依然能够生产可用的内存芯片。

7. 组装、测试和封装（ATP）。在 ATP 领域，中国企业已经占据了全球市场的重要份额。截至 2021 年，中国占全球 484 个 ATP 设施的 27%（134 个）。到 2023 年 8 月，五大全球外包半导体组装与测试（OSAT）企业均为中国公司——长电科技、华天科技、苏州通富超威、苏州晶方半导体科技和气派科技，市场份额上升至 38%。虽然中国企业在成本竞争力上有优势，但在尖端 ATP 技术上仍然不具备全球领先水平。

8. 创新与研发投入。中国半导体行业在研发投入方面与全球主要竞争者相比仍有差距。2022 年，中国半导体行业的研发强度为 7.6%，远低于美国的 18.8%、欧盟的 15% 和中国台湾地区的 11%。尽管如此，中国研究人员在半导体领域的科研产出数量和质量方面有显著提升。根据 h 指数，在先进集成电路和设计领域的学术产出方面，中国有 7 家机构跻身全球排名前 20 位的研究机构行列。

（执笔：沈湘 王丽）

美国 NQIAC 发布“国家量子计划”新评估报告重点关注量子网络

2024 年 9 月 6 日，美国国家量子计划咨询委员会（NQIAC）发布《量子网络：增强美国领导力的发现与建议》报告¹，该报告是对美国国家量子计划的第二次独立评估，重点关注美国量子网络战略，

¹ <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2024/09/NQIAC-Report-Quantum-Networking.pdf>

尤其是量子网络测试平台（Quantum Networking Testbeds），以推进美国在量子网络领域的领先地位。该报告展示了六项发现，并提出七项建议。

一、六项发现

1. 量子网络能力将在美国经济繁荣和国家安全中发挥作用，但其作用的重要性只能通过持续的研发才能明确

量子网络不会取代经典网络，而是开劈一个新的通信领域，能够将经典网络能力扩展至量子信息传输领域。虽然量子网络有望实现新的、强大的应用，但也提出了新的安全考虑。美国将受益于继续培育量子网络研发，能够更全面地了解量子网络及其应用带来的经济和安全方面的好处与风险。

尽管美国 NQIAC 预见量子网络在某些应用方面的价值，例如分布式量子计算，但它在其他应用方面的影响尚未被充分理解或达成共识。然而，如果不提供研发资金来挖掘量子网络的潜力，将迎来风险，例如失去本土专业知识和供应链以及失去颠覆性技术的先发优势，尤其是在全球持续投资的背景下。因此，美国需要持续投资量子网络研发。

2. 美国政府有必要持续投资研发，以确定、理解和实现量子网络在实际应用中的优势

NQIAC 发现，要理解、开发和利用量子网络应用，必须解决许多科学和工程研发挑战。这需要在该领域的理论基础、设备开发和系统集成、用例、指标和相关技术的下游影响等各个方面持续进行研发。通过研发来确定量子网络在哪些领域能够提供超越现有技术的显著优势及经济价值十分必要。

NQIAC 发现，美国政府需要持续进行研发投资，以在量子网络领域取得优势，建立本土专业知识和供应链能力，使美国工业能够率先推出利用量子网络的重要新技术以及判断是否、何时需要对新

的量子网络基础设施进行投资。

3. 量子网络研发可以补充和增强其他量子信息科学技术的进步

量子网络的进步可能会影响和加速量子信息科学（QIS）其他领域的工作。例如，转导（transduction）技术的进步可能会促进分布式量子计算和量子传感的进步。美国政府对量子网络研发的持续投资将有助于识别成熟的通用使能技术。此外，深入理解分布式量子纠缠在量子信息科学中的作用将最终影响量子算法、量子信息论及其他领域的理论基础。

4. 与量子网络相关的术语“测试平台”的使用含糊不清，需要重新定义

NQIAC 将“测试平台”定义为可供多个用户访问的平台或设施，用于对组件技术、协议、系统集成等进行可重复和严格的测试。根据该定义，测试平台与原型、演示器、用户设施不同，它们在研发过程中均发挥着重要作用。NQIAC 发现“测试平台”这一术语的使用缺乏一致性，进而导致对美国部署测试平台的误解。相比原型、演示器、用户设施，测试平台使跨学科研究团队能够通过对不同技术、协议和系统配置进行可复制的比较测试，研究并迭代改进由多种技术组合而成的系统性能，从而学习如何最好地实现强大的系统。因此，虽然原型、演示器和用户设施很重要，但它们并不能取代所定义的测试平台。

5. 早期的量子网络原型、演示器和测试平台已经投入运行，但实际或经济影响尚待确定

构建能够达到预期功能和可扩展的量子网络是一个巨大的挑战，需要多个学科的进步。自美国《国家量子计划法案》通过以来，美国政府已经投入 5 亿美元用于量子网络研发。同时，国际上也对量子网络系统进行了可观的商业或国家级投资。尽管该领域取得了显著进展，但这些早期量子网络系统中使用的基础技术尚未成熟到足

以支持分布式量子计算或传感应用的程度。

专注于量子密钥分发（QKD）或极低速率纠缠分发的演示还处于开发的早期阶段，且运行规模较小，目前难以评估它们对该领域的影响或其广泛应用的潜力。

6. 把握好战略选择和适当时机，量子网络测试平台可以在加速美国量子信息科学领导地位方面发挥重要作用

量子网络测试平台能够为适当成熟度的新兴技术开发提供关键的技术资源。例如，ARPANET 的早期测试平台加速了互联网的采用，而且各种测试平台用于开发和测试包括智能电网应用在内的工业控制系统的安全和入侵检测。测试平台还可以揭示整个系统堆栈中在纯净的实验室环境下可能不存在的系统工程挑战和集成复杂性。

NQIAC 发现把握好量子网络测试平台的战略选择和合适时机将在发展量子网络和量子通信相关理论基础、技术、安全模型和应用场景方面同样发挥重要作用。测试平台将有助于推动对量子信息科学（QIS）和量子力学的理解。量子网络测试平台应成为评估和比较组件技术与协议的资源，并能够进行系统级模型和实现的研究，从而有助于更成功、更快速地部署量子网络及依赖于它们的技术。

二、七项建议

1. 继续支持量子网络及其应用和使能技术的基础研究

NQIAC 建议美国政府应继续资助由国防部、能源部、国家航空航天局、国家标准与技术研究院、国家科学基金会等联邦机构开展的基础科学和工程研究，这些研究旨在开发量子网络所需的关键设备和组件。随着该领域的发展，美国政府还应为其他相关机构提供资金支持。

实现达到预期功能的量子网络需要解决一些技术挑战，包括量子存储器、量子态转换器（Quantum State Transducers）、量子中继器、光子源和探测器以及先进传输介质等组件需要取得重大进展。

此外，还需要在设备、组件和系统、协议、网络操作系统、算法和其他所需技术的全栈工程和集成方面进行工作，以解决系统工程挑战。当这些技术和设备显示出实现实际应用的潜力时，应对其进行进一步投资。

2. 鼓励定义、开发和使用指标来衡量量子网络技术及其应用的进展

NQIAC 建议在适当的情况下，在开发量子网络技术和测试平台的同时，也应鼓励相关指标的发展，以便进行技术发展的比较和跟踪。当技术达到足够成熟的水平，可以进行用户级别的量子网络评估时，就有可能开发基于应用的指标，以指导系统级技术的实施。例如，分布式量子计算可能需要了解诸如纠缠速率、保真度、延迟和时序抖动等纠缠指标，以便编译应用程序。量子网络性能也可能影响分布式量子传感，但方式可能因所使用的传感器类型而异。

3. 支持开发用于描述量子网络功能层的协调模型

NQIAC 建议投资研究来定义量子网络的协调模型，包括经典网络组件和要求。协调模型定义了网络的抽象层、接口和功能，从而支持跨学科的研发，并促进来自不同领域的专家参与整个堆栈和系统的开发。

尽管量子网络仍处于早期研究阶段，但已经可以定义一些模型层，并考虑量子网络与经典网络之间必要的交互。因此，测试平台应鼓励来自各个学科的研究人员参与，以便探索经典和量子技术、协议和应用之间复杂的权衡空间。

4. 联邦政府对量子网络测试平台的资助应在测试平台既“规模适中”又“时机恰当”时分配

NQIAC 建议政府资助新的测试平台应：（1）阐明明确的科学或经济前景；（2）定义具体的科学或工程研究目标；（3）提出衡量目标进展的指标；（4）解释为什么需要专门的测试平台而不需要

原型和演示器；（5）在可能的情况下，加强并整合地区独特的学术和工业能力及在量子网络技术方面的投资。

目前，许多量子网络技术尚不成熟，尚不足以建立测试平台。各机构在开发测试平台项目时应收集利益相关方的意见，并且测试平台的资助应与技术需求保持同步。

5. 支持并促进产业界参与量子网络测试平台建设

产业界参与测试平台开发对于确保以支持产业和政府用户商业化和部署的方式测试和实施技术至关重要。产业合作伙伴的业务依赖于发现有价值的应用，它们参与测试平台开发将增加量子网络技术的经济影响。通过参与量子网络测试平台建设，产业界还有机会通过政府机构或其他实体的技术评估向政府和学术界学习。联邦政府在建立测试平台时还应考虑现有区域投资，将区域能力纳入测试平台规划可能会产生连锁反应，例如通过利用区域资源来帮助劳动力培训和加速技术开发，从而增加联邦资金的影响。

6. 优先考虑新的资金拨款和制定新机制，以促进与国际盟友和志同道合的合作伙伴在量子网络研发方面的合作

与志同道合的国家进行国际合作，可以帮助解决任何一个国家都无法单独应对的技术挑战，有助于加速美国的研发计划和促进科学外交。同时，与领先的国际机构合作可以帮助培养、吸引和发展人才。各联邦机构应根据其任务需求继续资助研发方面的国际合作。此外，NQIAC 建议美国政府为与盟友和合作伙伴联合资助的国际研发活动设立新的专用资金。优先考虑能够实现互惠互利、加速研发进程或提供超越美国现有能力的国际合作。

7. 利用量子网络测试平台来支持和培训多样化的量子劳动力

随着技术的成熟，美国政府应确保量子网络测试平台为学生、科学家、工程师、技术人员和操作员提供系统级、现实环境中的教育和培训。NQIAC 建议在测试平台选址时考虑区域能力，以确保多

集微技术信息简报

样化和广泛的科学家、研究人员、学生和工程师有机会学习新的量子信息科学技能。

(执笔：于杰平 王丽)

前沿研究

美国康奈尔大学首创基于极性半导体晶圆两面集成功能器件的制造方法

与硅等传统的非极性半导体不同，氮化镓（GaN）等极性半导体具有独特的晶体结构与物理性质，使其在电子和空穴传输特性上展现出了显著差异。在过去三十年间，GaN 的阳离子（镓）面被广泛应用于制造发光二极管（LED）和激光器等光电子器件，而阴离子（氮）面则展现出在高性能电子迁移率晶体管（HEMTs）领域的潜力。

美国康奈尔大学和波兰科学院研究团队提出“双面光/电子学（dualtronics）”全新概念，成功展示了在单极性半导体晶圆上，分别在阳离子面构建光子器件以及在阴离子面构建电子器件的可能性。研究团队在同一 GaN 晶圆的两个对立面成功集成了高性能的 HEMT 和 LED，这为集成电子与光电子器件的制造方法开创了新的技术途径¹。

研究人员首先采用分子束外延技术，在 GaN 晶圆的阳离子面上生长蓝光 LED 结构，并在阴离子面上生成了具有高电子迁移率的二维电子气（2DEG）。随后，通过精细的工艺步骤，分别利用电子束蒸发、化学气相沉积、反应离子刻蚀等技术，将阳离子面加工成 LED 器件，而阴离子面则被加工成 HEMT 器件。实验结果显示，这些双面集成的 HEMT 和 LED 器件均表现出色：HEMT 展现出低阈值电压、低漏电流和高电子迁移率的优异性能，而 LED 则具有高亮度及可调节的发光强度。此外，通过电路连接，研究团队还成功实现

¹ Len van Deurzen, Eungkyun Kim, Naomi Pieczulewski, et al. Using both faces of polar semiconductor wafers for functional devices [J]. Nature, 2024. <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07983-z#:~:text=This%20LED%20heterostructure%20was%20capped%20with%20p-InGaN%20contact>

了 HEMT 对 LED 发光的智能控制功能。

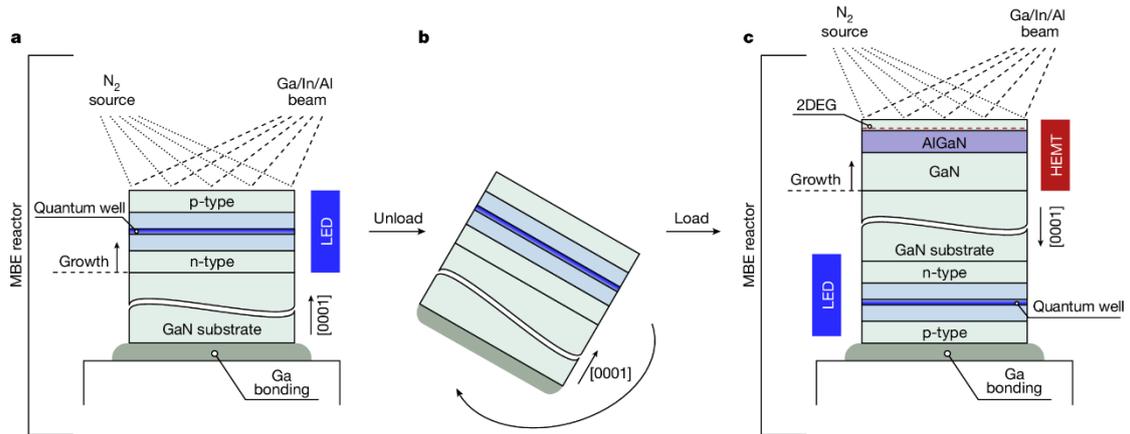


图 1 HEMT-LED 的等离子体辅助分子束外延生长示意图

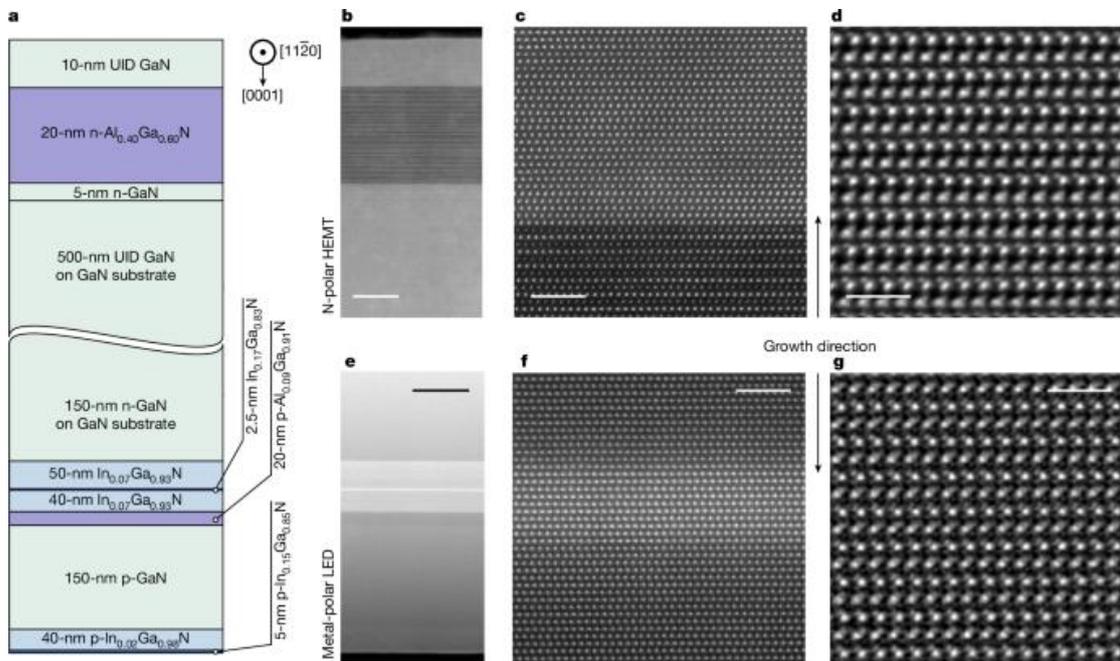


图 2 双电子外延异质结构的 STEM 成像

这种技术方法实现了在 GaN 晶圆的两面分别集成了电子器件与光电子器件，为未来利用单一极性半导体晶圆平台的多功能系统提供了新思路。具体而言，阳离子面可用于制造激光二极管、半导体光放大器和电光调制器等光电子器件，而阴离子面则可用于制造晶体管或光电探测器。这种双面利用的设计极大地优化了晶圆衬底的使用效率，显著减少光电子集成电路中的组件和芯片数量。这一技术革新不仅预示着组件数量的实质性降低和制造成本的下降，更有望显著提升器件的整体性能，展现了其在光电子与微电子集成领域

的巨大潜力和应用价值。

(执笔：沈湘 王丽)

美国科研团队观测到反铁磁体二极管效应

反铁磁体，以其内部磁矩的反平行交错排列及宏观净磁矩为零的特性，展现了一种独特的磁性状态，能引发包括磁电效应、反铁磁拓扑绝缘体、反铁磁狄拉克半金属、轴子绝缘体等在内的多种物理现象。反铁磁体因为不易受外场扰动以及超快磁翻转特性，成为下一代自旋电子学的候选材料。

传统观念认为，二极管效应常见于非中心对称的极性导体中，并表现出非线性德鲁德效应引起的磁手性各向异性、非互易磁阻和单向磁阻，在没有磁场的情况下表现出非线性霍尔效应。但最新科研成果颠覆了这一观念，在非中心对称极性超导体中还实现了超导二极管效应。尽管二极管效应已在不同的材料体系中被观测到，但其产生原因一致——电荷的不均匀分布破坏了材料的中心反演对称性。

近期，由美国哈佛大学、麻省理工学院、东北大学、加州大学洛杉矶分校以及中国台湾地区的国家理论科学研究中心和台湾中央研究院组成的跨学科科研团队验证了在电荷均匀分布的中心对称晶体中，反铁磁体电子的自旋极化分布能够破坏中心反演对称性，进而产生二极管效应¹。

研究人员选取电荷均匀分布的偶数层反铁磁体 MnBi_2Te_4 为研究对象。在此材料中，偶数层反铁磁体 MnBi_2Te_4 中电子的自旋极化产生自旋偶极矩，打破了中心反演对称性，但同时保持了 PT 对称性 (PT symmetry, Parity-Time symmetry)，因此整体磁矩为零。为了表征样品的电输运性质，研究人员还制作了双栅器件，当给样品通直

¹ Anyuan Gao, Shao-Wen Chen, Barun Ghosh, et al. An antiferromagnetic diode effect in even-layered MnBi_2Te_4 [J]. Nature Electronics, 2024, <https://www.nature.com/articles/s41928-024-01219-8>

流信号时，观测到了整流效应。基于反铁磁体二极管效应，研究人员不仅提出了面内场效应晶体管的创新概念，还进一步验证了将这一材料应用于无线电波能量收集器的可行性。

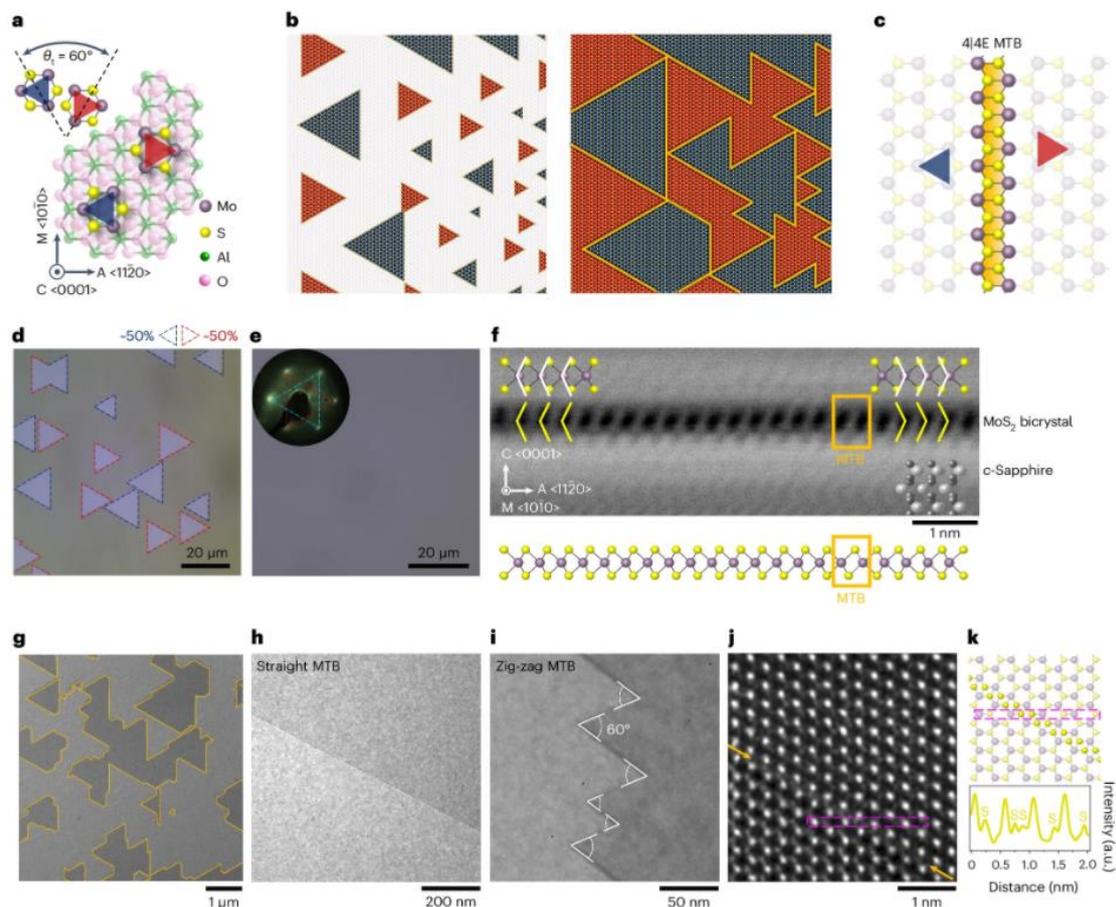


图 1 在偶数层反铁磁体 MnBi_2Te_4 中引入 PT 对称性

(执笔：沈湘 王丽)

IMEC 使用 CMOS 工艺在 300mm 晶圆上制造超导量子比特

超导量子比特技术的发展在构建实用量子计算机方面展示出巨大潜力。随着量子处理器的复杂性不断增长，严格的制造公差（fabrication tolerances）变得越来越重要。利用先进的工业制造工艺可以促进实现必要的制造控制水平，以支持量子处理器的持续扩展。然而，现有工业工艺尚未针对生产高相干性器件进行优化，且与制

造超导量子比特通常采用的方法不兼容。

2024年9月18日，比利时微电子研究中心（IMEC）和比利时鲁汶大学的科研团队在学术期刊《Nature》上发表成果¹，他们成功在工业标准的300mm CMOS 试验线上，利用仅包含光刻和反应离子刻蚀技术的工业制造方法，制造出了超导量子比特。这一创新实现了弛豫和相干时间超过100 μ s，良率达98.25%，性能与采用传统复杂实验室技术（如金属剥离、斜角蒸镀和电子束直写）制造的量子比特相当。此外，通过3D集成以及优化，该工艺具备进一步升级的潜力。这一进展标志着用于超导量子计算处理器的替代性、大规模、CMOS兼容的制造方法的出现。

（执笔：于杰平 王丽）

中国科学院和北京大学研制出由石墨烯和锗等混合维度材料构成的热发射极晶体管

晶体管可以分为三大类别：场效应晶体管（field-effect transistors）、势效应晶体管（potential-effect transistors）和热载流子晶体管（hot-carrier transistors）。前两类分别以金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET）和双极结型晶体管（BJT）为代表，已作为现代集成电路的基石，取得了显著的技术成就。而第三类热载流子晶体管则利用载流子（电子或空穴）的额外动能来增强性能，其中热电子晶体管（HET）和实空间转移晶体管（RSTT）是这一领域的杰出代表。这些晶体管在速度和功能多样性方面展现出独特优势。为了进一步提升性能，二维材料如石墨烯和二硫化钼（MoS₂），因其超薄特性被用作晶体管基底材料，这极大地缩短基区渡越时间，提供了在太赫兹频段操作的可能性，这在下一代6G技术中很有前景。另一方面，RSTT通过电场加速载流子，当载流子获得足够热能时，

¹ <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07941-9#author-information>

能在不同路径间高效转移，这一机制不仅促进了高速操作，还实现了负差分电阻（NDR）这一特殊现象，这对于高频振荡器等关键电子元件的设计至关重要。

HET 和 RSTT 展现了潜在的高性能特性。然而，它们面临的挑战在于热载流子的生成机制，主要是载流子注入或加速，这些机制可能对器件的性能和功能构成限制。特别是，两者均难以突破玻尔兹曼极限，实现低于 60 mV dec^{-1} 的超低亚阈值摆幅，这在现代低功耗应用中极为关键。因此，需要一种新的热载流子产生机制来提高热载流子器件的功耗和 NDR。

为解决这一难题，研究转向了混合维电子器件的设计，这类器件通过结合体材料与低维材料（如石墨烯、碳纳米管等）来利用它们在几何尺度、电学特性及光学性能上的各自优势。这种结合不仅集成了各自的优点，还引入了一种新颖的热载流子产生机制。在低维材料中，如石墨烯和碳纳米管，由于其极高的载流子迁移率，使得电场加热载流子成为可能。同时，通过精心设计的块体与低维材料之间的能带结构组合，可以构建出多样的势垒结构，这些势垒结构能够有效发射高能载流子。

中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家研究中心与北京大学的科研团队合作，成功研制出一种由石墨烯和锗等混合维度材料构成的热发射极晶体管，并提出了一种全新的“受激发射”热载流子生成机制¹。这款新型晶体管由两个精心设计的“石墨烯/锗”肖特基结构成，实现了低于 1 mV/dec 的亚阈值摆幅，突破了传统晶体管难以逾越的玻尔兹曼极限（ 60 mV/dec ）。此外，在室温条件下，该晶体管还表现出峰谷电流比超过 100 的负差分电阻特性，展示出其在多值逻辑计算中的应用潜力。

¹ Chi Liu, Xin-Zhe Wang, Cong Shen, et al. A hot-emitter transistor based on stimulated emission of heated carriers [J]. Nature, 2024, 632:782–787.

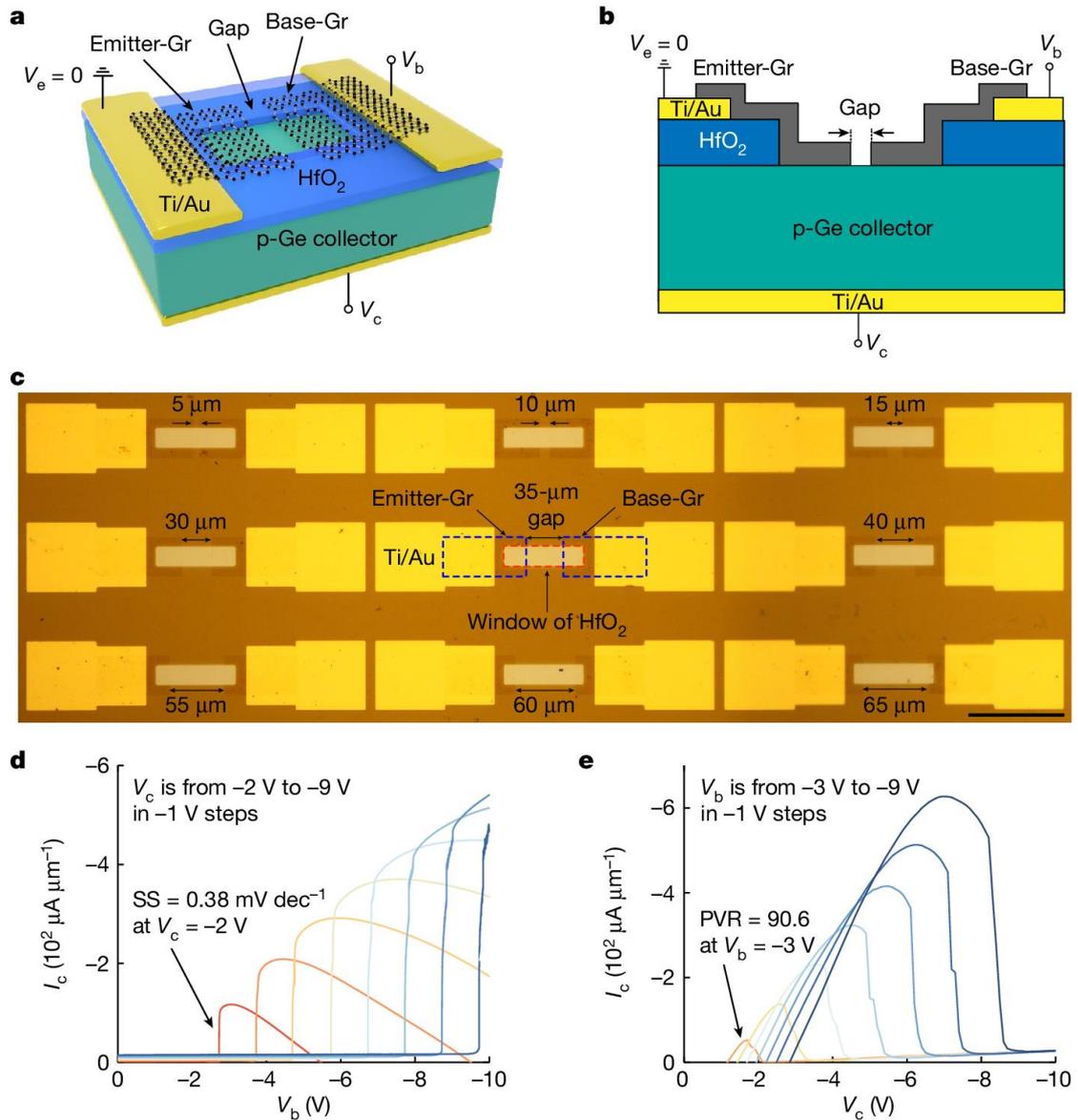


图 1 器件结构和基本特性

该项研究不仅开辟了晶体管器件研究的新领域，还极大地丰富了热载流子晶体管的种类，并有望推动其在未来低功耗、多功能集成电路中的广泛应用。

(执笔：沈湘 王丽)

苏州大学、沙特阿卜杜拉国王科技大学等开发出基于二维半导体的高性能晶体管

二维半导体材料，如二硫化钼 (MoS_2) 和二硒化钨 (WSe_2)，

正被视为未来商业晶体管中替代硅的候选材料。然而，这些前沿材料在与多数介电材料结合时面临显著的界面问题。具体来说，二维材料独特的表面特性——缺乏悬空键不仅阻碍了共形涂层的形成，还在界面区域引发了众多原子级别的缺陷。这些界面问题在电子器件层面具有破坏性影响，具体表现为晶体管性能的显著下降，包括栅极漏电流的增加、亚阈值摆幅的恶化以及阈值电压的不稳定波动。

这些界面问题的一种解决方案是使用 2D 六方氮化硼 (h-BN) 作为栅极电介质材料，其优势在于能构建出无缺陷的范德华界面，显著提高器件性能，如沟道迁移率的增加。同时，h-BN 还具备提供低漏电流和高介电强度的特性，进一步增强了其作为栅极材料的吸引力。不过，这一方案目前仅限于使用机械剥离的 2D 材料中。因为当使用通过化学气相沉积 (CVD) 合成的 2D 材料时，由于六方氮化硼中存在天然缺陷，导致器件性能较差。为缓解这一问题，研究者已探索多种策略，引入单层分子晶体作为晶种层以减少缺陷、选用能氧化生成高 k 电介质的 2D 半导体材料、以及试验将离子晶体用作栅极电介质等。然而这些方法仍面临集成难题，尚未被业界广泛采用与应用。

苏州大学、沙特阿卜杜拉国王科技大学和奥地利维也纳工业大学等研究人员合作发现，通过采用具有高内聚能的金属栅电极，显著降低了在化学气相沉积 (CVD) 技术生长的多层六方氮化硼 (h-BN) 上出现的漏电流和介电击穿问题¹。这一发现促使他们开发出一种新型高性能晶体管的制造工艺，该工艺结合了六方氮化硼作为电介质与具有高内聚能的金属（铂和钨）作为栅电极。与采用传统金电极的类似晶体管相比，这种新型晶体管展现出两大显著优势：栅极漏电流降低了约 500 倍、介电强度提高了约 5 倍。这两项改进有利于推动二维材料在固态微电子电路和设备中的可靠应用。

¹ Yaqing Shen, Kaichen Zhu, Yiping Xiao, et al. Two-dimensional-materials-based transistors using hexagonal boron nitride dielectrics and metal gate electrodes with high cohesive energy [J]. Nature Electronics, 2024.

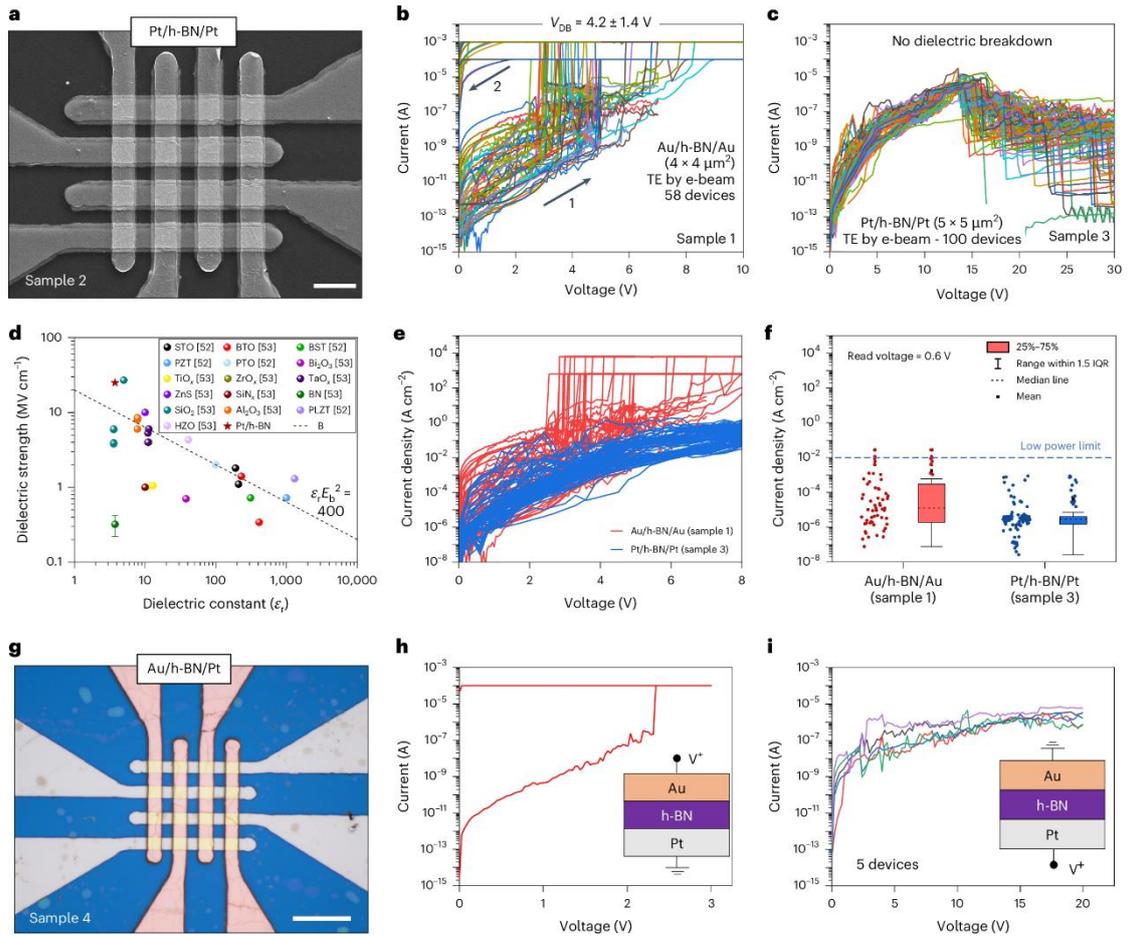


图 1 Pt/h-BN/Pt 和 Au/h-BN/Au 器件的介电击穿强度和栅极漏电流

(执笔：沈湘)

产业动态

台积电获欧盟约 50 亿欧元资助、在德芯片工厂启动建设

据官网 2024 年 8 月 20 日报道，台积电与罗伯特·博世有限公司、英飞凌科技股份公司和恩智浦半导体公司的合资企业——欧洲半导体制造公司（ESMC），在德国德累斯顿举行了奠基仪式，正式标志着其首个芯片制造工厂动工¹。此次活动汇集了政府官员、客户、供应商、商业伙伴和学术界，特邀嘉宾包括欧盟委员会主席、德国总理、萨克森州州长和德累斯顿市市长，共同庆祝这一里程碑事件，见证了欧盟首个具备 FinFET 技术的纯代工晶圆厂的启动建设。

活动期间欧盟委员会主席宣布，欧盟委员会已依据欧盟国家补助规则，批准德国为台积电在德累斯顿地区的新芯片工厂提供 50 亿欧元（约 56 亿美元）补贴，以支持 ESMC 半导体晶圆厂的建设 and 运营。预计该项目总资助额将高达 100 亿欧元（约 112 亿美元），包括股权注入、贷款以及欧盟和德国政府的支持。这是《欧洲芯片法案》迄今批准的最大一笔补贴，也是德国发放的首笔补贴。这也是台积电在欧洲的第一个项目。

全面运营后，欧洲半导体制造公司预计将基于台积电的 28/22 纳米平面 CMOS 工艺和 16/12 纳米 FinFET 工艺每月生产 40000 个 300 mm（12 英寸）晶圆，通过先进的 FinFET 晶体管技术进一步加强欧洲的半导体制造生态系统。新工厂预计将直接创造约 2000 个高科技专业工作岗位。

（执笔：沈湘 王丽）

¹ <https://pr.tsmc.com/english/news/3169>

英特尔获得美国政府 30 亿美元直接资金用于“安全飞地”计划

据官网 2024 年 9 月 16 日报道，英特尔公司宣布已根据美国《芯片和科学法案》获得高达 30 亿美元的直接资助，用于“安全飞地（Secure Enclave）”计划，旨在为美国政府扩大尖端半导体的可信制造。

“安全飞地（Secure Enclave）”计划是建立在英特尔与美国国防部之前的合作项目之上，比如“快速保障微电子原型-商业（RAMP-C）”项目和“先进异构集成原型（SHIP）”项目。作为唯一一家同时设计和制造尖端逻辑芯片的美国公司，英特尔将确保美国国内芯片供应链的安全，与美国国防部合作推进安全、尖端的解决方案，帮助增强美国技术系统的弹性。

英特尔已在 2024 年 3 月 20 日与美国商务部签署了一份不具约束力的初步条款备忘录（PMT），美国商务部将根据《芯片和科学法案》向英特尔提供约 85 亿美元的直接拨款以及最高 110 亿美元的联邦贷款。

英特尔表示，这次通过“安全飞地”计划得到的资助与今年 3 月份跟美国商务部签署的拟议资助协议是分开的。

（执笔：沈湘）

美国 IonQ 公司首次在钡离子阱量子计算系统上实现 99.9% 的双量子比特门保真度

据官网 2024 年 9 月 12 日报道¹，美国 IonQ 公司宣布其下一代钡离子量子计算系统的双量子比特门保真度超过 99.9%，这是该公司实现高性能企业级量子计算的重要里程碑，也是其技术路线图上开发实

¹ <https://ionq.com/news/ionq-achieves-industry-breakthrough-first-trapped-ion-quantum-system-to>

用、商业量子解决方案的重要一步，突显了公司在研发方面的投入，并强调了其致力于将全球最高性能量子计算机推向市场的决心。

IonQ 公司展示了双离子链中基于钡离子的优化双比特门操作，保真度超过 99.9%，该技术使用了与 IonQ 量产型量子计算机中相同的机制。该进展大大加深了 IonQ 公司对识别和消除大规模企业级量子系统中错误机制的理解，使公司朝着下一代商业系统 IonQ Tempo 迈出了重要一步。这将帮助客户以更高的准确性和效率解决复杂问题。

IonQ 公司致力于铯离子量子比特的研发，同时也在积极探索将钡离子用于量子比特。钡离子具有能够提升量子计算机性能的内在特性。随着在实现商业优势方面取得实质性进展，IonQ 公司预计钡离子的独特特性将使其钡离子系统在量子计算行业中占据领先地位。

(执笔：于杰平)

美国商务部拟直接资助德州仪器公司 16 亿美元扩大芯片产能

据官网 2024 年 8 月 16 日报道，美国商务部宣布和德州仪器公司 (TI) 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 TI 提供 16 亿美元的拟议直接资金，以加强国内供应链弹性，并提高美国在当前一代和成熟制程节点半导体生产方面的竞争力¹。

目前德州仪器公司专注于生产当前一代和成熟制程节点芯片，也称为“基础”芯片，这些芯片是几乎所有电子系统的基础，包括电源管理芯片、微控制器、放大器、传感器等。

除了拟议的 16 亿美元直接资金资助外，德州仪器还有望从美国财政部获得最高可达 25% 的投资税收抵免。CHIPS 项目办公室还将

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/08/biden-harris-administration-announces-preliminary-terms-texas>

根据 PMT 向 TI 提供约 30 亿美元的拟议贷款。拟议资金将支持 TI 在 2030 年之前投资超过 180 亿美元，建造三座 12 英寸晶圆厂，其中两个在德克萨斯州，一个在犹他州：

(1) 得克萨斯州谢尔曼：建造两座新的大型 300 毫米晶圆厂，预计将生产 65-130 nm 的基础芯片，预计每日产能超 1 亿个芯片。谢尔曼工厂是美国为数不多的 300 毫米晶圆芯片绿地生产基地之一。

(2) 犹他州莱希：建设一个新的大型 300 毫米晶圆厂，生产 28-65 nm 模拟和嵌入式处理芯片，预计每日产能达到数千万个芯片。该项目是犹他州历史上最大的经济投资。

(执笔：沈湘)

美国商务部拟直接资助 SK 海力士 4.5 亿美元提升 AI 供应链安全

据官网 2024 年 8 月 6 日报道，美国商务部宣布与韩国 SK 海力士公司签署了一份不具约束力的初步条款备忘录 (PMT)，美国商务部将根据《芯片和科学法案》向 SK 海力士公司提供 4.5 亿美元的直接资金投资，以建立高带宽存储 (HBM) 先进封装制造和研发 (R&D) 设施¹。拟议投资建立在 SK 海力士在印第安纳州西拉斐特投资约 38.7 亿美元的基础上，位于普渡大学研究园区的西拉斐特工厂将建造一座人工智能 (AI) 产品的内存封装制造厂和一座先进封装研发设施以大规模生产下一代 HBM。这些高性能存储芯片是训练人工智能系统的图形处理单元 (GPU) 的关键组件。该工厂预计将于 2028 年下半年投入生产。这也将创造约 1000 个新工作岗位，以填补美国半导体供应链中的关键空白。

(执笔：沈湘)

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/08/us-department-commerce-announces-preliminary-terms-sk-hynix-advance-us>

《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

