

集微技术信息简报

2025 年第 **1** 期 (总第 64 期)

中国科学院文献情报中心

2025 年 2 月制

本期目录

2024 年集成电路领域态势

一、全球政策态势分析1

二、全球技术态势分析4

三、全球产业态势分析8

四、行业洞察与研判10

政策计划

美国能源部宣布投资 1.79 亿美元建设三个微电子科学研究中心14

美国拜登政府公布人工智能出口管制新规15

荷兰将扩大先进半导体制造设备出口管制范围17

美国政府对成熟芯片展开 301 调查17

美国 DARPA 启动鲁棒量子传感器项目征集18

韩国拟投资 139 亿美元组建新晶圆代工厂 KSMC19

产业洞察

美商务部发布“芯片法案”实施成果与未来规划20

美国能源部发布《量子信息科学应用路线图》27

美国政府问责局发布《科技聚焦：量子传感器》报告32

2024 年集成电路领域态势

一、全球政策态势分析

随着全球半导体产业成为战略竞争焦点，各主要经济体围绕技术研发、供应链安全与国际协作，制定了系列政策规划。美国、欧洲（包括欧盟及其主要成员国）、日韩和中国各自展现出不同的发展路径与竞争策略，既形成了多维竞争态势，也通过区域和全球协作相互依存。

（一）美国：推动产业本土化，强化技术主导地位

1.芯片法案深入实施，推进研发与制造本土化。资金支持：美国通过《芯片与科学法案》（CHIPS Act），计划总拨款 527 亿美元，涵盖研发设施建设、半导体制造扩展及供应链安全。2024 年新增 16 亿美元投资支持“国家先进封装制造计划”（NAPMP），覆盖芯粒（Chiplets）生态、电源热管理、光通信技术及协同设计等五大方向，每个项目最高获 1.5 亿美元资助¹。**制造设施升级：**商务部资助亚利桑那州和新墨西哥州建设晶圆厂，总投入超过 85 亿美元，用于支持台积电与英特尔的先进制程工厂，预计新增超过 1 万个就业岗位²。

2.强化出口管制，确保技术优势和供应链安全。技术封锁升级：商务部新增 140 家中国实体至出口管制清单，涉及高带宽内存（HBM）、先进光刻设备及 EDA 软件等关键技术³。**供应链国际协作：**通过全球半导体供应链网络（SIEN），与 50 多个经济体和非政府利益相关者合作优化政策协调与数据共享，加强应急响应机制，提升国际供应链透明度与韧性⁴。

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

² <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/us-chips-act-intel-direct-funding.html>

³ <https://www.bis.gov/press-release/commerce-strengthens-export-controls-restrict-chinas-capability-produce-advanced>

⁴ <https://www.state.gov/global-semiconductor-network-drives-strong-collaboration-among-partners/>

3.多领域技术战略布局。EUV 光刻生态部署：美国商务部拨款 8.25 亿美元支持极紫外（EUV）研发中心，用于加速先进制程技术突破¹。**量子与 AI 技术：**美国国家科学基金会（NSF）启动国家量子虚拟实验室项目（NQVL），首期资助 3200 万美元，重点推动量子通信、量子传感及其商业化应用²。**政产协同创新：**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³，以提升美国在半导体研究和创新领域的领导地位。

（二）欧洲：以欧盟为核心，深化光子与量子技术协同

1.欧盟层面光子与量子技术的双轮驱动。光子技术投资：通过“芯片联合执行体”（Chips JU），欧盟投资 3.25 亿欧元，支持光子集成电路（PIC）试验生产线建设及基于云的设计平台，旨在推动高性能计算机和高速通信应用⁴。**量子技术布局：**欧盟投入 1.12 亿欧元支持量子重力仪研究、量子通信及跨国协作项目，目标在量子传感与通信领域保持全球领先地位⁵。**能力中心建设：**通过“芯片能力中心”网络，为中小企业与科研机构提供技术支持和试验机会，提升区域内设计与制造能力⁶。

2.欧盟成员国政策协同。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，以支持欧洲半导体制造公司（ESMC）半导体晶圆厂的建设和运营⁷；与 IMEC 合作开发

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/10/biden-harris-administration-announces-ny-creates-albany-nanotech>

² <https://new.nsf.gov/funding/opportunities/nsf-national-quantum-virtual-laboratory-quantum/nsf24-586/solicitation>

³ <https://new.nsf.gov/news/nsf-awards-42-4m-new-grants-support-future-semiconductors>

⁴ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-invests-eu325-million-support-europes-semiconductor-innovation-ecosystem>

⁵ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/new-horizon-europe-funding-boosts-european-research-ai-and-quantum-technologies>

⁶ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-invests-eu325-million-support-europes-semiconductor-innovation-ecosystem>

⁷ <https://pr.tsmc.com/english/news/3169>

EUV 光刻及新材料技术，同时通过与美国的供应链安全协定，保障资源优先分配¹⁻²。意大利为意法半导体拨款 20 亿欧元（约 21 亿美元）³，用于在西西里岛建立碳化硅（SiC）功率器件集成芯片工厂⁴。⁵荷兰政府加大研发支持力度，保持 ASML 在全球光刻设备市场的技术领先地位，并将 DUV 设备纳入出口管控范围⁶。此外，法国、荷兰等成员国共同出资支持在 CEA-Leti 建设全耗尽型绝缘体上硅（FD-SOI）试验生产线⁷。

（三）日韩：抢占技术高地，扩展产业布局

1. 日本深化材料与设备优势。与台积电合作扩展产能，日本政府与台积电合作扩建熊本晶圆厂，计划到 2027 年实现月产 10 万片 12 英寸晶圆的目标，主要聚焦 6/7 纳米及以下先进制程⁸；**加强功率器件与 EUV 研发**，支持 SiC 和 GaN 功率器件材料研发，加大对 EUV 光刻机及其关键部件的研发投入，进一步提升在设备与材料领域的全球竞争力⁹。

2. 韩国建设全球最大半导体集群。开展超级集群计划，韩国与三星、SK 海力士合作，计划投资 622 万亿韩元（约 4650 亿美元），目标在 2030 年建成全球最大半导体超级集群，占地 2100 万平方米，月产 770 万片晶圆，同时推动 2nm 及以下制程的量产¹⁰。**加强 AI 与芯片融合**：重点发展存内计算（PIM）技术及低功耗 AI 芯片，推动智能制造和数据中心技术转型¹¹。

¹ <https://www.csis.org/analysis/imcc-world-leading-cooperative-research-center-microelectronics>

² <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3942126/dod-german-ministry-of-defence-enter-into-security-of-supply-arrangement/>

³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_2994

⁴ <https://www.euronews.com/business/2024/05/31/stmicroelectronics-gets-2-billion-grant-as-eu-ramps-up-chipmaking>

⁵ <https://www.eetimes.eu/europe-is-convincingly-pursuing-a-path-to-semiconductor-sovereignty/>

⁶ <https://www.asml.com/en/news/press-releases/2024/dutch-governments-updated-export-license-requirement>

⁷ <https://www.eetimes.eu/cea-leti-discloses-details-of-e830m-pilot-line-for-europe/>

⁸ <https://pr.tsmc.com/english/news/3105>

⁹ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

¹⁰

http://english.motie.go.kr/en/pc/pressreleases/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=1642&bbs_cd_n=2¤tPage=9&search_key_n=&search_val_v=&cate_n=

¹¹ <https://eng.president.go.kr/briefing/yKPaTKzX>

（四）中国构建自主创新生态，以突破技术封锁

异构集成与 Chiplet：加大对先进封装技术的支持力度，聚焦异构集成、Chiplet 设计及混合键合技术研发，形成自主技术生态¹。**去美化设计：**推动 EDA 工具与芯片 IP 自主开发，减少对海外技术的依赖，同时加快自主化技术在制造与封装环节的落地²。**加强全球化协作：**中国加强与“一带一路”国家在半导体制造与封装技术领域的合作，通过技术输出与市场互补，提升供应链韧性 with 全球影响力³。

2024 全球 IC 政策态势呈现：政策主导与技术主导并重，各主要经济体通过政府主导的政策驱动和产业协同，围绕核心技术实现布局，光子、量子、EUV 光刻与 Chiplet 技术成为全球竞争的焦点。**强化供应链多元化与韧性建设，**美国以选择性国际协作和推动产业本土化保障供应链安全，欧洲通过区域网络化提升协作能力，日韩以产能扩展加强全球地位，中国通过区域合作实现供应链多样化。**前沿领域竞争加剧，**全球主要经济体在光子、量子、先进封装和低功耗 AI 芯片等领域形成全面竞争，未来这些领域将决定全球技术竞争格局。

二、全球技术态势分析

（一）先进工艺技术：摩尔定律的延续与后摩尔时代的新探索

1.EUV 与高 NA 光刻技术推动摩尔定律延续。EUV（极紫外）光刻技术已成为先进节点芯片制造的基础，高 NA（数值孔径）设备将进一步推动 2nm 及以下制程的发展。英特尔与 ASML 完成首台高 NA EUV 光刻设备的装配，预计 2025 年进入量产阶段，这将支持 2nm 以下节点的工艺需求⁴。EUV 技术不仅将提升先进节点的量产能

¹ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

² <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

³ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

⁴ <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/intel-foundry-opens-new-frontier-chipmaking.html>

力，还将通过与设计工具和材料的协同优化加速新一代芯片研发。

2.3D 晶体管与混合工艺技术加速。先进制程的挑战促使晶体管结构从平面向 3D 演变，同时混合工艺路径加速推进。台积电宣布 GAAFET（环绕栅极晶体管）将在 2nm 制程中全面应用，与 3D 堆叠技术结合，显著提升晶体管密度和性能¹。三星通过存算融合技术改进其 PIM（存算一体）架构芯片，为 AI 计算任务提供更高效的解决方案²³。3D 晶体管与混合工艺将为 AI 计算和高性能应用领域提供高效低功耗的解决方案。

（二）材料与器件：新型材料驱动芯片性能和能效革新

1.二维材料和宽禁带半导体在高性能器件中应用前景广阔。瑞典林雪平大学开发高通量二维材料剥离技术，为规模化生产铺平了道路⁴。法国 CEA-Leti 推出 200mm GaN-on-Si 工艺，用于高频通信和电力电子系统⁵。二维材料将更多地应用于逻辑电路和光电器件，而宽禁带半导体将在电力电子和新能源领域成为技术核心。

2.存算一体和低功耗器件的研发持续引领新型逻辑架构的发展。阿贡国家实验室开发基于二硫化钼（MoS₂）的存算一体晶体管，能耗降低至传统硅器件的百万分之一，为 AI 计算开辟了全新路径⁶。清华大学基于光量子比特研发了新型高效存储结构，为量子计算与经典逻辑的融合提供了技术支持⁷。存算一体架构将与低功耗材料结合，在智能设备和边缘计算中实现规模化应用。

（三）先进封装技术：异构集成与 Chiplet 生态系统的扩展

1.异构集成：系统性能的跨越式提升。异构集成通过芯粒技术

¹ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

² <https://research.samsung.com/news/Samsung-Electronics-Hosts-Samsung-AI-Forum-2024>

³ <https://www.chosun.com/english/industry-en/2024/11/06/LNZGR35HJJD4DMR67EMQYICDIE/>

⁴ <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adj6556>

⁵ <https://www.leti-cea.fr/cea-tech/leti/Pages/actualites/Communique%20de%20presse/iedm-gan.aspx>

⁶ <https://www.anl.gov/article/us-department-of-energy-awards-argonne-national-laboratory-4-million-for-energyefficient-microchip>

⁷ <https://iiis.tsinghua.edu.cn/show-10546-1.html>

(Chiplet) 和先进封装优化整体系统性能，是后摩尔时代的重要技术路径。AMD 在 MI300 GPU 中采用 3D 和 2.5D 组合的“3.5D 封装”，整合 HBM 模块与逻辑芯片，为高性能计算提供了强大的支持¹。创意电子 (GUC) 采用台积电 N3P 3nm 硅晶圆制程与 CoWoS® 2.5D 先进封装技术，正式生产出每通道 32Gbps 的 UCle™ 物理层 IP，可用于 AI 高效能运算²，芯粒接口可提供领先业界的带宽密度。与此同时，台积电持续扩展 CoWoS 2.5D 先进封装产能，在美新工厂也将引入先进封装技术³，这标志着全球先进封装能力的进一步强化。异构集成技术将通过标准化接口与协作加速全球生态构建。

2. 封装材料与热管理创新。封装材料和散热管理成为高密度集成和高功耗芯片的关键技术方向。Akash Systems 通过金刚石基散热解决方案，大幅提升 AI 数据中心芯片的热管理能力⁴。美国商务部“国家先进封装制造计划”(NAPMP) 重点支持新型封装材料的研发，包括光子集成和多层堆叠技术⁵。先进封装将通过高效散热和光子技术为 AI 计算提供强大的支持。

(四) 设备与设计工具：智能化与生态协同发展

1. EDA 工具的智能化与数字孪生技术的结合，为芯片设计和工艺优化提供了更高效的解决方案。美国 CHIPS 制造研究所通过数字孪生技术搭建虚拟芯片设计验证环境，显著缩短了设计周期并提高了制造精度⁶。Synopsys 推出集成 AI 的 EDA 工具，能够动态调整设计流程，进一步优化功耗和性能⁷。EDA 工具的智能化与数字孪生技术结合将推动芯片研发效率的倍增。

¹ <https://pc.watch.impress.co.jp/docs/column/semicon/1599019.html>

² https://www.guc-asic.com/cn/news-cont.php?k=202401_PR

³ <https://pr.tsmc.com/chinese/news/3174>

⁴ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/11/biden-harris-administration-announces-preliminary-terms-akash-systems>

⁵ <https://www.nist.gov/news-events/news/2024/07/biden-harris-administration-announces-first-chips-america-rd-facilities-and>

⁶ <https://www.nist.gov/news-events/news/2024/05/chips-america-announces-285-million-funding-opportunity-digital-twin-and-0>

⁷ <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/foundry-news-roadmaps-updates.html>

2.半导体制造设备从精度和工艺支持向高智能化方向发展。应用材料公司推出支持 2nm 及以下节点的全新布线技术，结合机器学习优化布线路径，大幅提升信号完整性。IMEC 在 300mm CMOS 平台上制造超导量子比特，为量子芯片的规模化量产提供了基础。智能制造设备将通过模块化设计和 AI 控制适应异构集成和个性化芯片生产的需求。

（五）架构设计：摩尔定律延续与突破的核心路径

1.专用架构优化适配多任务需求。针对特定任务优化的专用架构在生成式 AI、高性能计算和量子计算中表现卓越。谷歌推出 AlphaQubit 架构，优化量子纠错能力，为量子-经典计算协作提供支持¹。英特尔的神经形态芯片通过事件驱动优化深度学习效率²。专用架构将进一步适配 AI 推理和训练场景，为智能计算奠定硬件基础。

2.存算融合与量子架构突破性能极限。存算融合技术优化数据流路径，而量子架构通过多物理维度协作探索未来计算新范式。三星 HBM-PIM 技术实现高带宽存储与计算融合用于 AI 芯片³，与 SK 海力士合作加速存内计算的标准化工作⁴，以推动这种可能改变 AI 处理架构的下一代存储器商业化。美国谷歌公司利用 105 比特超导量子芯片 Willow 实现了码距为 7 的表面码纠错；中国科学技术大学 105 比特超导量子芯片“祖冲之 3.0”与 Willow 达到了同一量级，量子计算朝着“有用的、超越经典的”计算更进一步。量子架构将通过与经典架构的深度融合为高性能计算和安全通信提供新方向。

2024 全球 IC 技术态势呈现：EUV 光刻技术进入高 NA 时代，

¹

https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI2NDIzMjYyMA==&mid=2247528488&idx=2&sn=4d79f57caff7dcda96f679541a9be6f8&chksm=ebabc9cf0ae7b84749e010fa4d9e8c8ffc01dbe4a47ecc3bfb0fb38d98ea7e02a339c052f9fd&scene=27

² <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/intel-builds-worlds-largest-neuromorphic-system.html>

³

http://english.motie.go.kr/en/pc/pressreleases/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=1642&bbs_cd_n=2¤tPage=9&search_key_n=&search_val_v=&cate_n=

⁴ <https://www.trendforce.com/news/2024/12/02/news-samsung-and-sk-hynix-reportedly-unite-to-standardize-lpddr6-pim-for-on-device-ai/>

低温与 3D 工艺协同助力摩尔定律延续。二维材料与存算一体技术为高性能与低能耗设计注入新活力。Chiplet 与光子封装技术加速多功能模块化生态成熟。智能 EDA 与模块化设备推动从研发到制造的全面高效化。专用架构与量子技术驱动未来计算范式的探索。集成电路技术的多路径协同创新正在为全球产业注入活力，智能化、生态化与多样化的趋势将持续引领行业变革。

三、全球产业态势分析

（一）全球发展格局与投资动向

1. 韩国以 SK 海力士和三星电子为核心的存储产业持续推动全球技术前沿。SK 海力士发布全球首款 321 层 4D NAND 闪存，采用突破性“3-Plug”工艺，其生产效率较上一代提升 59%。这一成果奠定了其存储技术的领先地位，并将推动云计算、AI 应用中更高效的存储解决方案¹。三星电子计划投资约 20 万亿韩元建设新型半导体研发综合体（NRD-K），配备高 NA 极紫外（EUV）光刻设备，以支持超过 1000 层 3D DRAM 与 V-NAND 芯片的研发。这一投资预计将显著强化韩国在存储器技术中的全球竞争力²。

2. 美国通过《芯片与科学法案》加速产业本土化，特别是在先进封装与存储技术领域。台积电在美国亚利桑那州获得 66 亿美元资助，用于 2nm 及以下先进制程量产及新型 Chiplet 封装技术。这项投资将增强美国在高性能计算芯片的供应链韧性³。SK 海力士选择印第安纳州建立先进芯片封装工厂，将有助于在 2028 年实现 HBM 存储器的量产，并进一步推动美国本土 AI 芯片生态系统的建设⁴。

3. 欧洲加速区域合作与技术突破，通过投资与政策支持推动半

¹ <https://news.skhynix.com.cn/sk-hynix-starts-mass-production-of-world-first-321-high-nand/>

² <https://news.samsung.com/global/samsung-reaches-key-milestone-at-new-semiconductor-rd-complex>

³ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/11/biden-harris-administration-announces-chips-incentives-award-tsmc>

⁴ <https://news.skhynix.com/sk-hynix-signs-investment-agreement-of-advanced-chip-packaging-with-indiana/>

导体产业集群建设。台积电与德国博世、英飞凌合作，在德国建设首个基于 FinFET 工艺的晶圆厂，预计将强化欧洲在逻辑制造工艺和产业生态的全球竞争力¹。

（二）技术产业化与落地应用

1.先进封装技术与落地应用。异构集成与 Chiplet 生态建设，Cadence 公司推出首个基于 UCIe 标准接口的小芯片，整合了处理器、安全管理及内存 IP，显著优化了数据传输效率。这标志着 Chiplet 技术的进一步落地，成为 AI、高性能计算领域的重要支撑²。**高效热管理与互连技术，**台积电的新型混合键合技术提高了晶圆到晶圆的接触可靠性，为 2nm 及以下制程技术的封装效率提供了新的解决方案³。

2.新材料与存储技术突破。碳化硅与宽禁带材料应用，碳化硅（SiC）材料在高功率应用中显示出巨大潜力，中国企业通过专利与生产能力的协同提升了市场竞争力⁴。**存储芯片技术迭代，HBM3E**内存的量产为高性能计算提供了更高带宽和更低能耗的解决方案，这将进一步推动 AI 应用场景的扩展⁵。

（三）产业生态系统与技术布局

1.全球技术协同与竞争。美国通过高额补贴与政策支持构建半导体供应链韧性，例如与 Amkor、苹果的合作，推动先进封装在美国本土化⁶。中国积极构建 Chiplet 生态系统，推动从材料到终端产品的全产业链协作，特别在 AI 计算芯片领域实现显著突破⁷。

2.区域协作与生态优化。欧洲通过整合区域资源构建涵盖制造、设计及研发的全栈生态系统，如荷兰 Neways 收购 Sencio 公司以强

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

² https://community.cadence.com/cadence_blogs_8/b/ip/posts/cadence-transforms-chiplet-technology-with-first-arm-based-system-chiplet

³ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

⁴ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

⁵ <https://news.skhynix.com/sk-hynix-begins-volume-production-of-industry-first-hbm3e/>

⁶ <https://www.apple.com/newsroom/>

⁷ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

化智能传感与驱动应用的封装能力¹。

2024 全球 IC 产业态势呈现：异构集成技术与 Chiplet 设计的推广将成为未来行业竞争的关键驱动。碳化硅与氮化镓材料技术加速产业化，将推动宽禁带半导体在新能源汽车、5G 通信领域的全面渗透。技术与政策双驱动，美国、欧洲与亚洲国家通过政策协同与技术布局实现了区域性供应链优势，但地缘竞争风险加剧。

四、行业洞察与研判

（一）智库对行业现状的分析

1.技术创新与竞争格局方面

全球技术路径多元化：美国国家标准与技术研究院（NIST）和战略与国际研究中心（CSIS）指出，全球半导体技术正在延续摩尔定律的同时向异构集成、宽禁带材料和 Chiplet 技术多路径发展²。美国通过 CHIPS 法案推动技术领先，投资 EUV 中心和先进封装设施（NAPMP），构建涵盖芯片设计、制造与封装全流程的综合生态³。中国在美国出口管制压力下，通过“去美化设计”和“规避设计”策略提升本土创新能力，尤其在异构集成、混合键合和高密度堆叠技术方面实现快速突破⁴。

先进封装成为核心战场：国际半导体产业协会（SEMI）指出，Chiplet 技术和混合键合将推动高性能计算和 AI 芯片发展，成为摩尔定律减缓后的主要创新路径。美国 Nvidia 的 Hopper H200 芯片和 AMD 的 Ryzen-16 芯片在全球市场占据技术优势，而中国则加速布局长江存储和华为等企业的高性能芯片封装技术⁵。

¹ <https://newayselectronics.com/neways-enhances-its-technology-position-in-advanced-microelectronics-through-acquisition-of-sencio/>

² <https://www.nist.gov/publications/semiconductors-and-microelectronics-standards-report-semiconductors-and>

³ <https://www.nist.gov/news-events/news/2024/07/biden-harris-administration-announces-first-chips-america-rd-facilities-and>

⁴ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

⁵ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

2.政策推动与生态建设方面

美国以政策为杠杆巩固优势。CHIPS 法案支持国内设施建设，包括极紫外（EUV）中心、国家先进封装制造计划（NAPMP）和国家半导体技术中心（NSTC），为尖端研发和制造提供基础¹。美智库如 CSIS 认为，美国出口管制政策虽然限制了对华关键技术输出，但需警惕其对本土企业全球市场竞争力的负面影响²。

中国以自主研发对冲技术封锁。CSIS 分析，中国通过地方性集群如无锡“Chiplet Valley”，加强地方政府与企业协同，补齐 EDA 工具、关键设备等短板³。深南电路等企业在先进基板领域的技术突破为高端芯片制造提供了本土化材料支撑⁴。

3.国际合作与标准竞争

美国国务院通过全球半导体供应链网络（SIEN），强化与盟友在供应链管理和技术标准化方面的合作⁵。欧洲创新委员会（EIC）通过“地平线欧洲”项目，聚焦光子学、量子计算等领域，探索差异化竞争路线⁶。

（二）智库对未来趋势的研判

1.技术趋势：从摩尔定律到后摩尔时代

异构集成与 Chiplet 技术。智库普遍认为，异构集成将成为未来 10 年的核心技术方向，Chiplet 的市场规模预计在 2035 年达到 4110 亿美元⁷，复合年增长率 14.7%。美国通过 CHIPS 法案资助的项目计划进一步优化 Chiplet 生态系统，包括高速互连技术和高效热管理⁸。中国则在混合键合和 3D 堆叠领域持续投入，希望在成本与性能平

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

² <https://www.csis.org/analysis/true-impact-allied-export-controls-us-and-chinese-semiconductor-manufacturing-equipment>

³ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

⁴ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

⁵ <https://www.state.gov/global-semiconductor-network-drives-strong-collaboration-among-partners/>

⁶ https://qt.eu/news/2024/2024-10-16_eic-pathfinder-open-call-funds-new-quantum-tech-projects

⁷ <https://www.idtechex.com/en/research-report/chiplet-technology-2025/1041>

⁸ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/07/biden-harris-administration-invest-16-billion-establish-and-accelerate>

衡方面获得突破¹。

新材料与封装技术的结合。CSIS 指出，宽禁带材料在高效能应用中的重要性。宽禁带材料（如 SiC 和 GaN）因其高功率和高效率特性，在电动汽车、5G 通信等领域被视为未来增长的重要支柱。中国在 SiC 基板领域通过深南电路和三安光电等企业取得领先地位，形成较为完善的供应链布局²。

AI 与量子技术的融合推动新增长。AI 芯片成为新风口。智库认为，AI 芯片的高效能计算需求推动了内存计算（PIM）和专用处理器的研发热潮。美国在 AI 芯片方面继续保持领先，而中国在低功耗 AI 芯片的应用场景上取得突破³。**量子计算商业化加速。**CSIS 指出，量子计算在材料研发、密码破解等领域的潜在应用，将成为下一个国家竞争的核心战场。美国 and 欧洲在超导量子位和硅基量子处理器领域持续推进，中国则在光量子计算方面表现出一定优势⁴。

2.政策趋势：从单边封锁到多边合作

美国以政策为驱动的技术生态构建。推动研发设施建设：通过 CHIPS 法案，美国资助了 NSTC、EUV 中心和 NAPMP 等关键设施，以形成从设计到制造的完整生态⁵。**出口管制强化技术优势：**智库指出，美国的出口管制虽然能够保护其核心技术，但可能刺激受控国家加速自主研发，导致技术脱钩⁶。

中国以本地化与自主创新为核心。加速供应链本地化：中国通过地方集群和国家专项推动 EDA 工具、宽禁带材料和关键设备的自主化研发，以应对外部压力。**提升供应链韧性：**通过加强与东南亚和欧洲国家的合作，中国试图构建多元化供应链网络，减少对单一

¹ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

² <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

³ <https://itif.org/publications/2024/09/16/china-rapidly-becoming-leading-innovator-in-advanced-industries-new-report-finds/>

⁴ <https://www.cnas.org/publications/reports/the-quest-for-qubits>

⁵ <https://www.nist.gov/news-events/news/2024/07/biden-harris-administration-announces-first-chips-america-rd-facilities-and>

⁶ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

市场的依赖¹。

区域竞争与多边合作。欧盟技术差异化路径：欧盟通过“地平线欧洲”计划支持光子学、量子计算和半导体设计生态建设，探索与中美不同的技术竞争策略²。**韩国的产业集群计划：**韩国政府计划建设全球最大的半导体产业集群，涵盖 PIM 技术、AI 芯片和封装工艺，以在区域竞争中占据优势³。

（三）智库对产业生态发展的建议

1.加强人才培养与供应链韧性。美国通过 NSTC 劳动力卓越中心为本土人才提供培训和认证机会，例如 Arizona 州与台积电的合作，计划每年培养数千名技术工人⁴。中国需要进一步加强地方与企业的协同，优化供应链环节的本地化比例，同时在高端设备和核心材料领域突破关键技术瓶颈⁵。

2.推动技术与标准协同发展。智库建议，各国需通过多边合作强化技术标准制定，以减少因技术路线分歧导致的市场分裂风险。如，通过 SEMI、ISO 等平台增强在 Chiplet 接口标准化中的话语权⁶。

从全球主要智库和协会 2024 年的分析中可以看出，半导体领域正经历从技术多元化到政策协同化的重大变革。未来，异构集成、AI 与量子计算的融合以及区域技术生态竞争，将成为产业发展的核心驱动力。各国在技术创新、政策优化和国际协作上的表现，将直接决定其在全球竞争中的地位。

¹ <https://www.csis.org/analysis/double-edged-sword-semiconductor-export-controls>

² <https://www.gov.uk/government/news/new-independent-institute-to-steer-uk-semiconductor-innovation-and-support-semiconductor-strategy>

³ http://english.motie.go.kr/en/pc/pressreleases/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=1642&bbs_cd_n=2¤tPage=9&search_key_n=&search_val_v=&cate_n=

⁴ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/04/biden-harris-administration-announces-preliminary-terms-tsmc-expanded>

⁵ <https://www.csis.org/analysis/true-impact-allied-export-controls-us-and-chinese-semiconductor-manufacturing-equipment>

⁶ <https://www.nist.gov/publications/semiconductors-and-microelectronics-standards-report-semiconductors-and>

政策计划

美国能源部宣布投资 1.79 亿美元建设三个微电子科学研究中心

据官网 2024 年 12 月 23 日报道，在《芯片和科学法案》资助下，美国能源部宣布为三个微电子科学研究中心（MSRC）提供为期四年合计 1.79 亿美元资金支持，2024 财年的资金投入为 4100 万美元，之后资金取决于国会拨款¹。

三个微电子科学研究中心具体包括：

（1）先进技术的微电子能效研究中心（MEERCAT），致力于通过推进材料、器件、信息传输模式和系统架构的集成创新，彻底改变高能效微电子技术。MEERCAT 将专注于智能传感、数据带宽、多路复用和先进计算，探索无缝衔接传感、边缘计算、人工智能和高性能计算的变革性解决方案。通过端到端的协同设计、跨越纳米级材料、神经形态架构、传输中的数据处理和异构集成，MEERCAT 将发现实时高能效信息处理的新方法。通过利用最先进的合成、模拟和原型制作方法，MEERCAT 将加速新概念的部署，实现可扩展、可持续和解决复杂数据挑战的系统，重新定义计算和传感范式。

（2）极端环境微电子协同设计和异构集成中心（CHIME），旨在通过异构集成以及各种材料、工艺和技术的无缝融合，推动极端环境电子学的变革性进步，从而实现下一代系统。CHIME 将创造稳健的高性能解决方案，能够在极端的热环境和辐射环境等条件下表现出色。通过跨材料、器件、电路和系统的协同设计，CHIME 将利用跨学科的专业知识来优化从原子尺度到完全集成仪器的技术。CHIME 将推进快速原型制作方法，以加快创新周期，实现新概念的

¹ <https://www.energy.gov/science/articles/departments-energy-announces-179-million-microelectronics-science-research-centers>

快速迭代和验证。通过弥合从实验室到晶圆厂的差距，CHIME 将把突破性的研究转化为可扩展、可制造的解决方案，以满足关键的社会和工业需求。

(3) 极限光刻与材料创新中心 (ELMIC)，旨在推进基础科学的发展，推动将新材料和新工艺集成到未来的微电子系统中，重点关注等离子体纳米制造、极紫外 (EUV) 光子源、二维材料系统和超大规模内存等关键领域。其中，美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室 (LLNL) 将参加极限光刻和材料创新中心项目，其正在研发一种替代传统 EUV 激光器的拍瓦级 (petawatt-class) 大口径铥激光器 (thulium laser)¹。该激光器采用掺铥氟化钇锂作为激光增益介质，通过该介质可以提高激光束的功率和强度。这个项目将在 LLNL 建立第一个高功率、高重复率、约 2 微米的大孔径铥激光器，将光源效率比目前 EUV 工具中使用的二氧化碳激光器提高十倍，从而能够以更低功耗、更高效地生产芯片，为新一代 EUV 光刻系统铺平道路。

美能源部表示，上述中心将以项目网络的形式成立，共有 10 个国家实验室牵头组成。资助项目通过竞争性同行评审选出。

(执笔：沈湘 王丽)

美国拜登政府公布人工智能出口管制新规

据美国白宫 2025 年 1 月 13 日报道，为确保美国的安全和经济实力，拜登政府正式宣布对先进人工智能 (AI) 芯片以及高算力 AI 系统实施新的出口管制规则，即“AI 扩散出口管制框架”²。美国商务部工业和安全局 (BIS) 也随之修订了用于先进计算的集成电路出口管制条款 (EAR)，并新增了针对某些军民两用封闭权重 AI 模型 (closed-weight models) 的权重参数限制条款³。该新规将接受为期

¹ <https://www.llnl.gov/article/52226/llnl-selected-lead-next-gen-extreme-ultraviolet-lithography-research>

² <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2025/01/13/fact-sheet-ensuring-u-s-security-and-economic-strength-in-the-age-of-artificial-intelligence/>

³ <https://www.federalregister.gov/public-inspection/2025-00636/framework-for-artificial-intelligence-diffusion>

120 天的公众意见征询，这意味着特朗普政府将有可能修改该规定。但据悉特朗普行政当局正在考虑进一步限制 AI 芯片领军者英伟达销售专为中国市场设计的 H20 芯片¹。

针对先进 AI 芯片出口管制，拟议新规制定了六个关键机制：

(1) 面向美国 18 个关键盟友和合作伙伴的芯片销售不受限制。(2) 算力总和不超过 1,700 个先进 GPU 的 AI 芯片订单无需许可证，也不计入国家芯片购买上限。目前绝大多数芯片订单都属于这一类，尤其是那些来自大学、医疗机构和研究机构的订单。(3) 符合高安全性和信任标准且总部设在亲密盟友和合作伙伴的实体可以获得高度可信的“通用经验证最终用户 (UVEU)”身份。(4) 满足相同安全要求且总部设在非受关注国家/地区的实体可以申请“国家经验证最终用户 (NVEU)”身份，能够在未来两年内购买算力总和不超过 320,000 颗先进 GPU 的 AI 芯片。(5) 位于亲密盟友之外的“非验证终端用户 (Non-VEU)”实体，每个国家最多可购买 50,000 颗先进 GPU。(6) 签署政府间协议的国家可以将其芯片购买上限翻倍（不超过 100,000 个先进 GPU），政府间协议将使该国的出口管制、清洁能源和技术安全工作与美国保持一致。

针对先进 AI 系统和用于 AI 训练的计算能力管制，拟议新规制定了三个措施：(1) 继续确保销往国外的先进半导体不会被关注国家用来训练先进 AI 系统，同时仍允许电信到银行等通用应用使用。

(2) 限制将先进的封闭权重 AI 模型的模型权重参数转移给不受信任的参与者，但不会阻止公开权重 AI 模型的模型权重参数发布。

(3) 制定安全标准来保护先进的封闭权重 AI 模型权重参数，使其能在世界各地安全地存储和使用，同时防止非法对手访问。

该新规在正式发布前，美国高科技企业、智库等发文明确表示了质疑和不满，认为该措施未充分征求行业意见、制定出台草率，

¹ <https://www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/trump-officials-discussing-tightening-curbs-nvidias-china-sales-bloomberg-2025-01-29/>

是对 AI 领域的过度监管。同日英伟达表示¹：“虽然这些规则打着‘反华’措施的幌子，但对加强美国安全毫无帮助。新规则将控制全球技术，包括已经广泛应用于主流游戏电脑和消费硬件的技术。拜登政府的新规定非但不会减轻任何威胁，反而只会削弱美国的全球竞争力，破坏美国的创新领先地位。”

（执笔：沈湘）

荷兰将扩大先进半导体制造设备出口管制范围

据官网 2025 年 1 月 15 日报道，从 2025 年 4 月 1 日起，荷兰将扩大对先进半导体制造设备的出口管制范围，更多类型技术将受到国家出口许可要求约束²。例如，新政策将适用于生产先进半导体的特定测量和检测设备。

这项新的授权要求是自 2023 年 9 月 1 日荷兰政府实施半导体制造设备出口管制修订措施以来，荷兰政府出口管制措施的第二次修订，适用于荷兰向欧盟以外所有目的地的出口。

（执笔：沈湘）

美国政府对成熟芯片展开 301 调查

据官网 2024 年 12 月 23 日报道，美国贸易代表办公室（USTR）宣布针对中国成熟制程芯片产业相关政策与产品发起 301 调查，旨在评估中国成熟制程半导体对美国经济的影响³。

USTR 认为，有证据表明，中国试图在半导体行业主导国内和全球市场，并采取了广泛的反竞争和非市场手段，包括设定和追求市场份额目标，以实现本土化和自给自足。中国的行为、政策和做

¹ <https://blogs.nvidia.com/blog/ai-policy/>

² <https://www.government.nl/latest/news/2025/01/15/klever-export-controls-on-advanced-semiconductor-manufacturing-equipment-to-be-tightened>

³ <https://ustr.gov/about-us/policy-offices/press-office/press-releases/2024/december/ustr-initiates-section-301-investigation-chinas-acts-policies-and-practices-related-targeting>

法似乎已经并可能对美国和其他经济体产生不利影响，破坏美国工业和工人的竞争力、美国关键供应链和美国经济安全。

调查拟聚焦中国成熟制程半导体制造，涉及国防、汽车、医疗设备、航空航天、通信以及电力生产和电网等关键领域的半导体及下游产品。调查还将初步评估中国的政策和做法对碳化硅衬底（或用作半导体制造投入的其他晶圆）生产的影响是否会对美国商业造成不合理、歧视、负担或限制效果。

USTR 的该项调查于 2024 年 12 月 23 日启动，在 2025 年 1 月 6 日至 2 月 24 日期间接受书面意见及公开听证会报名，到 2025 年 3 月 11 日至 3 月 12 日期间举行公开听证会¹。

最终调查结果将影响美对华半导体政策导向，包括是否对华芯片以及产品征收关税、实施进口禁令或其他措施。鉴于完成调查时间较长，将延续到特朗普新政府期间。

（执笔：沈湘）

美国 DARPA 启动鲁棒量子传感器项目征集

2024 年 12 月 24 日，美国发布鲁棒量子传感器（RoQS）项目征集公告²，探索能够在科学、器件和系统方面取得变革性进步的方法。RoQS 项目旨在将量子传感器引入国防部平台（美国国防部使用的各种军事设备和系统）。尽管量子传感器在实验室条件下已展示出卓越的性能，但是一旦安装到军事平台上，其性能就会下降。RoQS 项目目标是开发和演示能够抵抗平台干扰的量子传感器，并实现在政府平台上的应用演示。RoQS 项目还希望与军事平台制造商合作，确定适合集成量子传感器的军事平台，并最终实现量子传感器在军事平台中的实际应用。

RoQS 项目包括两个技术领域：第一个技术领域是开发可以随时

¹ <https://cacs.mofcom.gov.cn/article/flfwpt/jyjdycgal/202412/182868.html>

² <https://sam.gov/opp/c0368342762645a794d66341be88dfba/view>

安装和卸载的量子传感器，并在大范围磁场、场强梯度和振动环境下的直升机上进行测试。第二个技术领域是将量子传感器集成到具体的军事平台中。

（执笔：于杰平 沈湘）

韩国拟投资 139 亿美元组建晶圆代工厂 KSMC

据韩国媒体 2024 年 12 月 18 日报道，韩国工业界和学术界提议创建一家“韩国半导体制造公司（KSMC）”，对标的是中国台湾地区的台积电，旨在通过多样化的制造工艺，包括尖端和传统技术，在代工厂和无晶圆厂公司之间建立一个平衡的生态系统，以应对韩国半导体行业面临的挑战¹。

该计划于 2024 年 12 月 18 日在韩国国家工程院（NAEK）举行的半导体特别委员会研讨会上公布。专家估计，到 2045 年，韩国对 KSMC 的 20 万亿韩元（139 亿美元）投资可以产生 300 万亿韩元（2087 亿美元）的经济效益。此前，韩国国家工程院于 2024 年 2 月成立了半导体特别委员会，为半导体行业提出创新战略。

在此次研讨会活动中，半导体特别委员会确定了七个关键挑战，包括与海外竞争对手的技术差距、投资竞争力减弱、缺乏无晶圆厂和封装技术的增长、人才外流和过度监管等。建议的解决方案包括加强半导体生态系统、增加研发投入以及实施吸引和留住人才的政策。

（执笔：沈湘）

¹ <https://news.nate.com/view/20241218n29427>; <http://koreabizwire.com/korea-considers-establishing-ksmc-to-bolster-semiconductor-ecosystem/301233>

产业洞察

美商务部发布“芯片法案”实施成果与未来规划

2025 年 1 月 10 日，美国商务部国家标准与技术研究院（NIST）下属的 CHIPS 计划办公室（CHIPS Program Office, CPO）发布了阶段性总结报告，详细介绍了美国《芯片与科学法案》（CHIPS）实施两年来在先进逻辑芯片、先进封装、先进内存芯片、当前一代和成熟节点技术、化合物半导体和 MEMS 芯片、以及供应链六个方面的成果与未来工作规划¹。本文梳理了报告要点，供参阅。

一、CHIPS 项目实施进展与成果

在可分配的 380 亿美元资金中²，CPO 已经批准超过 330 亿美元，并为额外的 30 亿美元签署了初步协议，且仍有更多谈判正在进行中。这意味着超过 96% 的资金已经被分配，超过 86% 的资金已经批准发放。CPO 还在审查数十个额外项目的申请。

（一）先进逻辑芯片

1. 最初愿景：美国将拥有至少两个新的大型先进逻辑芯片生产集群

2. 发展问题：在 CHIPS 出台之前，美国生产全球先进逻辑芯片的占比为零，完全依赖于集中于东亚的国外制造业。

3. 实施进展及预期成果：

（1）到 2030 年，美国预计将生产全球至少 20% 的先进逻辑芯片。2025 年初，台积电在亚利桑那州实现量产，这是美国近十年来首次进行大规模的先进逻辑芯片生产，标志着美国制造业的历史性里程碑。

¹

<https://www.nist.gov/system/files/documents/2025/01/10/The%20CHIPS%20Program%20Office%20Vision%20for%20Success%20-%20Two%20Years%20Later.pdf>

² CPO 获得 390 亿美元拨款，其中 382 亿美元用于资助各项计划，约 8 亿美元用于项目管理。

(2) 预计到 2030 年，美国将拥有 8 座新的先进逻辑芯片工厂。CPO 已与台积电、英特尔和三星签署拨款协议，到 2030 年末，这三家公司将共同为美国带来 8 座先进逻辑生产设施。这意味着，到 2030 年末，美国将拥有比世界其他任何地方（除中国台湾地区外）都多的先进逻辑晶圆厂。此外，这些工厂计划生产世界上最先进的半导体技术，包括英特尔的 18A 和 14A 技术、三星的 2nm 技术以及台积电的 N4、N3 和 N2/A16 技术。

(3) 投资规模是前所未有的。英特尔计划在 2030 年末前投资 900 亿美元，这代表了美国历史上最为激进的半导体制造产能投资。台积电的 650 亿美元投资是美国史上所有行业中新项目的最大外国直接投资，而三星计划的 370 亿美元投资位居第二。

(4) 美国正在推动四个先进逻辑芯片集群的创建。CHIPS 投资正在推动多个大规模生产集群的形成，这些集群分布在亚利桑那州、俄亥俄州、俄勒冈州和德克萨斯州。

(二) 先进封装

1.最初愿景：美国将拥有多个大规模先进封装设施，并将在逻辑芯片和内存芯片的商业化先进封装技术方面成为全球技术领导者。

2.发展问题：美国先进封装产能目前约占全球总产能的 3%，这意味着大部分需要先进封装的美国芯片必须送往海外封装。

3.实施进展及预期成果：

(1) 到 2030 年，美国有望拥有至少三个大规模先进封装设施，用于先进逻辑芯片和内存芯片。CPO 已与 Amkor、英特尔和 SK 海力士签署拨款协议，每家公司都将在美国建设先进封装设施。SK 海力士将大规模生产下一代高带宽内存（HBM）——与人工智能 GPU 配对使用的关键组件。英特尔和 Amkor 将提供集成逻辑和内存芯片的封装服务。这三项投资总额超过 100 亿美元，将为培育一个先进封装生态系统奠定基础，支持人工智能数据中心、计算与通信基础

设施、人工智能电脑和手机、自动驾驶汽车等应用。

(2) 美国正在推动先进封装前沿技术。CHIPS 正在对先进封装技术和能力进行前瞻性投资，以满足先进应用不断增长的需求。例如，通过 CPO 与 Absolics 的拨款协议，美国将扩大用于先进封装的玻璃基板供应，这些基板能降低功耗和系统复杂性，从而实现更快、更节能的计算。与此同时，SK 海力士在印第安纳州的投资重点是扩大规模化先进封装设施，并开展与异构集成、以内存为中心的解决方案以及生成式人工智能架构相关的研发。展望未来，CHIPS 国家先进封装制造计划已宣布超过 30 亿美元的资金，用于建立原型验证和试点能力，支持新材料、设备和设计能力的发展，以推动未来先进封装技术的商业化。

(三) 先进内存芯片

1.最初愿景：美国晶圆厂将以具有经济竞争力的方式大规模生产先进 DRAM 芯片。

2.发展问题：目前，所有先进 DRAM 芯片制造集中在东亚，对美国供应链的安全和韧性构成重大风险。

3.实施进展及预期成果：

(1) 到 2035 年，美国有望生产约 10%的全球先进 DRAM 芯片，而目前这一比例为零。2024 年 12 月，CPO 与美光科技签署拨款协议，支持其在纽约州和爱达荷州的三座晶圆厂生产先进 DRAM 芯片。美光科技预计在未来二十年里，在这两个州投资约 1250 亿美元，其中包括在纽约州建立“巨型晶圆厂”所需的 1000 亿美元，以及 250 亿美元将在爱达荷州建造一座晶圆厂。总之，美光科技的 1250 亿美元投资计划将打造美国有史以来最大规模的洁净室空间。

(2) CHIPS 投资将推动内存技术的尖端研发。美光科技在爱达荷州博伊西的新型大规模制造工厂将与公司的研发设施共址，以提高研发和制造业务的效率，减少技术转移转化的时滞，并缩短先

进内存芯片产品的上市时间。

（四）当前一代和成熟节点芯片

1.最初愿景：美国将增加对当前一代和成熟节点芯片的生产，这些芯片对美国经济和国家安全至关重要。

2.发展问题：疫情暴露了美国半导体供应链的脆弱性。对汽车、家用电子产品、国防系统和医疗设备至关重要的当前一代和成熟节点芯片，突然出现了短缺。CPO 已经批准的当前一代和成熟节点芯片生产投资，几乎是国会设定目标的两倍，体现了这些芯片对美国经济和国家安全的重要性。

3.实施进展及预期成果：

（1）到 2030 年，美国预计将新增四座大规模当前一代和成熟节点芯片制造设施，实现芯片的本土化生产。通过德州仪器（TI）和格罗方德（GF）新建的设施，CHIPS 基金将支持生产各种芯片，包括用于工业机器人、电动汽车、军事系统的芯片。具体来说，CPO 正在支持 TI 建设三座新晶圆厂，这是该公司更广泛计划的一部分，即在美国新增五座 300 mm 晶圆厂，并将 95% 以上的制造业务本土化。与此同时，GF 在纽约马耳他将扩建国内当前一代和成熟节点生产设施。

（2）美国正在对其现有的生产设施进行现代化改造，以增加产能、提高生产力、引进新技术并达到全球竞争标准。例如，GF 正在通过自动化和环保升级来振兴其位于佛蒙特州伯灵顿的工厂，将其转变为美国首个能够生产用于通信和电动汽车的 200 mm 硅基氮化镓芯片的工厂。位于明尼苏达州的 Polar Semiconductor 工厂，将通过现代化改造，在两年内将车用传感器和电源芯片的产能翻一番。美光科技位于弗吉尼亚州的投资将高达 20 亿美元，旨在将 1-alpha DRAM 技术引入美国本土，并确保在汽车、工业和国防市场中使用的传统 DRAM 的国内供应。

（五）化合物半导体和 MEMS 芯片

1.最初愿景：美国将增加化合物半导体和其他专用芯片的生产，并保持技术领先地位。

2.发展问题：随着硅集成电路技术的进步，数字技术的应用范围不断扩大，这导致了对专用技术需求的增加，如化合物半导体和微机电系统（MEMS）设备，但是美国在这些领域的生产能力仍显不足。CHIPS 投资正在推动美国在化合物半导体领域的国内领导地位，并通过扩大生产规模和提升产能来巩固国内 MEMS 生态系统。

3.实施进展及预期成果：

（1）CHIPS 正在扩展国内端到端化合物半导体生态系统。与 Wolfspeed 和 Bosch 达成的初步协议，旨在推动向 200mm 碳化硅制造的转型。Coherent 公司和英飞朗正在建设世界首两座 150 mm 磷化铟制造设施，以快速满足人工智能对光学半导体日益增长的需求。CHIPS 对 X-Fab 的投资将支持其碳化硅（SiC）晶圆厂的扩建和现代化，这是美国唯一的大规模 SiC 晶圆厂。同时，GF 正在将 200mm 硅基氮化镓技术商业化，以提高射频系统的生产能力，从而降低国防和通信应用的成本。BAE Systems 公司也在对其设施进行现代化改造，将 F-35 战斗机等关键项目的生产能力提高四倍。

（2）美国有望增加用于电信、国防、汽车等应用的专用芯片的产量。Rocket Lab 的高效太阳能电池和 Rogue Valley 的 MEMS 代工厂正在为航天和生物医学应用提供支持，而惠普（HP）公司升级改造的微流控制造工厂正在推动药物发现和细胞开发的创新应用。SkyWater 作为美国国防部认证的代工厂，计划将 90 nm 和 130 nm 半导体的产能提高 30%，有助于保障美国国防供应链。与此同时，CHIPS 资金还在支持潜在的突破性化合物半导体技术创新。

（六）供应链

1.最初愿景：减少地理集中带来的瓶颈风险，推动美国技术领

导地位，并支持充满活力的半导体工厂集群。

2.发展问题：美国在地理集中以及供应链安全和完整性方面的风险日益增加。

3.实施进展及预期成果：

（1）美国正在确保从石英到晶圆的完整供应链。对 Hemlock（超高纯多晶硅）和 GlobalWafers（300 mm 硅晶圆）的投资正在建立国内从石英到晶圆的端到端供应链。GlobalWafers 的投资是美国历史上首个 300 mm 硅晶圆制造工厂。

（2）美国正在推动半导体设备技术的创新。Entegris 正在扩大先进半导体晶圆载体（FOUP）和液体过滤产品的国内生产，而 Edwards Vacuum 则正在为半导体工具建造下一代真空泵，以形成本土化的美国供应链。与此同时，康宁（Corning）正在扩大 EUV 光刻玻璃的生产，并开创新技术，以支持下一代光刻技术的发展。

（3）美国正在创建充满活力的半导体工厂集群。当前，新的晶圆厂投资正在将上游供应链引入 CHIPS 资助地区。例如，台积电在亚利桑那州的扩建已经带动了 14 家直接供应商的投资，这些供应商计划在亚利桑那州或美国其他地区建设或扩建工厂。

（4）CPO 的第二轮投资机会将进一步确保上游供应商在化学品、气体和关键原材料方面的生产能力。CPO 目前正在审查 50 份申请，总计约 60 亿美元的资本支出，并计划在 2025 年投资 5 亿美元，以支持国内半导体制造的多个小型供应链项目。

二、CHIPS 项目未来工作规划

目前 CPO 已取得实质性进展，但工作还远未结束。半导体行业是世界上最具波动性、竞争性和成本高昂的行业之一。尽管 CPO 旨在通过严格的尽职调查、基于阶段性目标的拨款以及严格的纳税人保护措施来为项目保驾护航，但不确定性是不可避免的，并非所有项目都能成功，有些项目可能会发生重大变化，而且前进的道路并

不总是线性的。在接下来的一年里，CPO 将过渡到投资组合管理，同时保持项目重点，促进美国经济和国家安全。基于当前工作，接下来的任务包括：

1.管理基于阶段性目标的拨款发放。CPO 将监督其资助的项目，确保公司按计划推进建设；履行运营、劳动力等承诺；遵守国家安全相关规定；并实现战略目标。当公司达成阶段性目标时，资金将按计划释放。

2.适应行业变化。CPO 将灵活应对行业周期和不断变化的竞争动态，根据需要调整项目时间表和里程碑，以适应不断发展的行业。

3.解决劳动力发展需求。CPO 史无前例地投资了近 3 亿美元用于劳动力发展，这是 CHIPS for America 总投资近 6 亿美元的一部分。CPO 将继续与国家半导体技术中心的卓越劳动力中心、州和地方政府以及学术界、劳动力发展和培训提供商、工会等其他利益相关者合作，以确保劳动力不断发展，以满足行业需求并应对劳动力挑战。

4.继续投资加强半导体生态系统。CPO 将继续投资国内芯片、关键材料、设备及子系统的生产，以促进美国经济和国家安全。

5.与利益相关方合作以缩短建设周期。CPO 将继续与联邦、州和地方政府合作，高效管理和执行许可和环境审查，同时确保项目的安全、环境责任并遵守联邦和州法律。

6.建立有韧性的全球生态系统。政策制定者应继续与盟友和伙伴合作，加强跨境供应链，促进知识交流和协作研发，并加强国家安全保障措施。

7.保持整个政府的努力，促进国内半导体生态系统的繁荣并保护美国的国家安全。CHIPS for America 计划只是美国加强国内半导体制造、促进研发和推动半导体创新领导力的更广泛政策工具之一。CPO 将继续与其他重要的联邦伙伴密切协调，共同实施 CHIPS 愿景，包括国防部、国家科学基金会、国务院和能源部。政策制定者应继

续推动需求，支持在美国及其盟国生态系统内生产的芯片，并加强供应链的各个环节，包括联邦预算和采购工具。同时，政策制定者应继续应对中国迅速且积极的半导体制造能力建设，包括传统芯片产能和碳化硅晶圆生产等上游市场领域。与此同时，政策制定者还应继续通过出口管制保护国家安全，保持美国及其盟国在人工智能领域的领导地位，并保护关键技术，防止其被对手滥用。

（执笔：王丽 沈湘）

美国能源部发布《量子信息科学应用路线图》

2024年12月20日，美国能源部（DOE）发布了《量子信息科学应用路线图》（以下简称“路线图”）。路线图基于科学文献、专家访谈以及能源部在量子信息科学及相关领域的研究贡献，系统梳理了量子计算、量子传感、量子网络的关键基础问题、工程挑战以及未来发展路径。“路线图”指出，尽管量子信息科学在过去几十年取得了重大基础性突破，但整体技术仍处于早期发展阶段。从实验室研究迈向实际应用，仍需长期的研发投入和持续创新，以克服核心的基础和工程挑战。中国科学院文献情报中心梳理了“路线图”关于量子信息科学应用的前沿及发展时间线要点，提出了我国在量子信息领域抢占科技制高点的启示和建议。

一、量子计算：超越传统计算能力

（一）量子计算硬件前沿

实现大规模容错量子计算机，仍需要量子计算软硬件的全面创新，包括材料、器件和封装，系统工程、架构设计和控制技术，软件堆栈、纠错码和应用特定算法等。

通过材料特性精确控制和器件高精度制造方法解决材料层面的挑战，以提高量子计算硬件的性能。材料杂质和缺陷会影响量子计

算硬件的器件性能，因此需要精确控制材料性能，并开发既不降低材料性能，又不会增加新噪声源的制造方法。通过优化材料抗噪性、提升器件制造精度，并结合处理器架构的协同设计，可有效减少噪声影响，提高量子计算硬件的稳定性和可靠性。

通过设计优化和建模创新解决器件层面的挑战，以提升抗噪能力和计算精度。量子比特设计、耦合机制和读出方法的创新对于系统的抗噪声能力、长期稳定性、门保真度和互连至关重要。优化器件几何结构以满足长期架构需求，仍然是该领域的核心研究方向。

实现支持性经典技术的小型化、集成化和规模化，以构建大规模量子计算机。经典硬件组件的类型取决于具体的量子硬件平台，不同的量子计算系统可能采用不同的组件配置，例如微波衰减器、放大器、光调制器、开关、波导、探测器等。这些经典组件的集成需要新的封装技术、新的信号处理方法、以及新的材料。

采用模块化设计，实现量子计算处理器间互连，将是量子计算规模化发展的重要方向。类似于经典高性能计算（HPC）集群，量子计算机未来也将采用模块化架构，但仍需要提高系统可靠性和保真度。随着量子计算系统规模的扩大，量子计算硬件控制和架构设计将成为关键研究方向。

（二）量子计算未来发展时间线

量子计算未来发展可划分为四个阶段，从当前的嘈杂中等规模量子计算（NISQ）逐步迈向大规模容错量子计算机（FTQC）。第一个阶段（0-5年）：嘈杂中等规模量子计算机与容错量子计算机小型演示共存，并加速向小型容错量子计算机过渡。第二阶段（5-10年）：首台小型容错量子计算机将问世，同时量子互连技术将并行发展，以支持更大规模、多节点量子计算系统构建。第三阶段（10-20年）：容错量子计算机规模将持续扩展，并可能会采用模块化架构，同时集成不同类型的硬件和量子比特。量子计算科学应用将在此阶

段实现突破性进展，应用场景包括三维量子色动力学模拟、复杂化学模拟、经典科学计算加速等。**第四阶段（20年后）：**超大型容错量子计算机将实现，其逻辑错误率足够低，可执行极长时间的计算任务。科学发现的方式在这一阶段可能被颠覆。图1给出了每个阶段的技术里程碑、使能研究与基础设施、科学结论和应用。



图1 量子计算未来发展时间线

二、量子传感：实现前所未有的精度和新发现

（一）量子传感前沿

量子传感器有多种物理实现路径，但在不同物理平台和应用场景存在共性的研发重点。量子传感器的物理实现路径包括在特殊环境（如真空室或蒸汽室）中的原子、离子和分子，固态缺陷（如金刚石氮空位色心），以及其他固态量子比特（如超导）。尽管量子传感的许多关键技术已在实验室中得到验证，但要在实际应用中展现量子优势，仍需要跨学科的科学研究和工程创新。在不同物理平台和应用场景中，共性研发重点包括：（1）消除经典噪声和实现量子极限噪声性能所需的经典工程。由于量子态的脆弱性，实现标准量

子极限需要极高的传感器稳定性，并且需要在材料工程和纯化、设备工程方面进行全面提升。（2）通过设计实现量子传感器在实际应用中的鲁棒性。例如，量子雷达的应用受限于必须在足够微弱的信号下运行，同时适应复杂多变的环境。这要求在环境隔离、先进材料、自适应算法等方面进行创新，以确保传感器的实用性和可靠性。

（3）量子传感的理论研究，包括更好地理解材料特性和发现量子传感器新用途。（4）利用多路复用和多模态传感来实现新功能。随着传感器的广泛部署，需要研究传感器之间的相关性，并开发大规模测量数据的实时处理方法，以支持新型测量应用。（5）生成和操纵不同量子平台中的量子资源态，包括设计新的策略来利用和分发纠缠态、生成高度压缩的量子态、以及采用无扰量子测量方法对纠缠态进行探测。该方向的一个核心目标是利用多体量子态的信息编码，提高灵敏度或获取被测系统的全新信息。

（二）量子传感未来发展时间线

量子传感的未来发展可分为三个阶段（详见表 1），每个阶段的关键研究方向和里程碑因具体应用领域而有所不同。量子传感的主要应用包括物理学精密测量，材料科学研究，复杂环境中传感器部署，生物、化学和医学测量等。

表 1 量子传感未来发展时间线

	1-5 年	5-10 年	10+年
物理学精密测量	•推进量子控制技术研究 •开发精密测量平台	•在最有可能获得突破的参数空间应用下一代量子传感技术 •利用纠缠增强的精密测量技术以超越经典的方法探索新物理	•基于量子传感器网络进行广泛参数空间的探索，例如轴子和超轻暗物质研究 •利用量子传感器研究相对论与量子力学的交叉问题 •将量子传感器与粒子加速器和探测器集成
材料科学研究	•实现接近量子噪声极限的超高灵敏度磁力计 •发现新型量子比特	•开发用于高通量材料科学的集成探针和仪器 •测量材料中的关联函数	•建设基于量子传感器的用户设施 •推动材料分析工具的商

	•实现电流和磁相位的纳米级分辨率成像 •动态过程的噪声感知	•并利用多体物理、压缩态和纠缠态提升探测灵敏度	业化部署 •实现具备量子优势的纳米级传感器
复杂环境中传感器部署	•提升传感器性能和鲁棒性以支持最先进应用 •开发耐辐射、耐高温和耐化学腐蚀的材料	•在实际环境中进行原型验证 •开展聚变环境中的传感器演示	•推进中等规模和大规模传感器的制造和部署 •推动技术商业化
生物、化学和医学测量	•结合几何优化提升传感器集成能力 •开发用于探测动态小信号的新测量协议	•量子传感技术应用于生物能源、二氧化碳捕获、生物医学和临床研究 •在生理相关条件下进行量子传感与成像 •高通量、高灵敏度的化学传感器进入原型演示阶段	•推动量子传感技术向临床应用、生物能源和生物经济转化 •广泛部署生物和化学检测技术

三、量子网络：利用量子资源连接的力量

（一）量子网络前沿

未来的量子互联网将支持多种应用，量子计算机和传感器能够通过光纤和自由空间通道相结合的网络基础设施进行互联。与传统互联网类似，量子互联网在理想情况下具备通用性，能够为用户提供服务。在**网络核心**，纠缠光子源将与量子开关或路由器相结合，实现网络内部或网络之间的设备互联。**量子中继器**能在光子丢失前有效地“捕获和释放”光子，从而延长量子通信的传输距离。在**网络边缘**，量子转换器可将光子携带的量子信息转换至节点上的物质量子比特，实现不同量子系统间的信息交互。

（二）量子网络未来发展时间线

量子网络的应用将推动更精密的光钟、更高分辨率的望远镜、更高灵敏度的粒子探测器、更大规模的量子计算等。**网络核心**和**网络边缘**技术可以并行推进，而各自的技术进展可以相辅相成。**量子中继器**是量子互联网的关键组成部分，开发出能够以超低损耗长距

离传输可见光的光纤，可以有效降低对量子中继器的紧迫需求。量子计算和量子传感的进步也会影响量子网络的发展路径。总之，将资源分配到量子网络的核心要素上，包括量子中继器、路由器、开关、转换器、纠缠源、量子计算机、低损耗光纤，并建立这些组件之间的高效互联，对于促进量子网络发展至关重要。图 2 给出了未来 5-10 年和 15-30 年两个阶段的技术里程碑和应用。

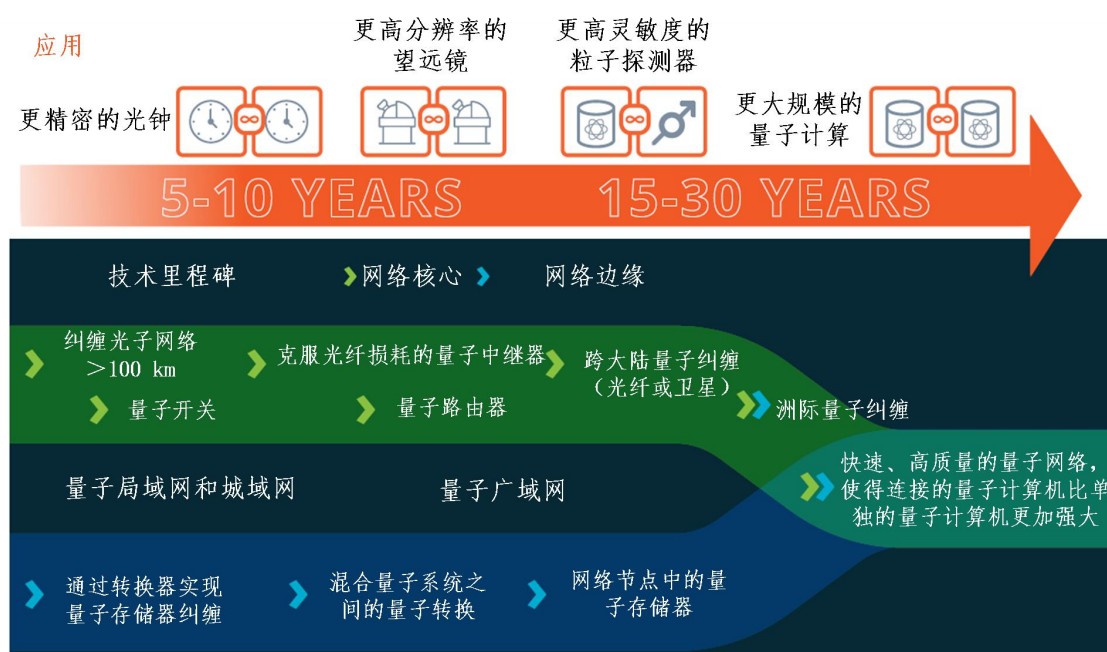


图 2 量子网络未来发展时间线

（执笔：于杰平 王丽）

美国政府问责局发布《科技聚焦：量子传感器》报告

据官网 2025 年 1 月 7 日报道，美国政府问责局（GAO）发布《科技聚焦：量子传感器》报告，简要概述量子传感器的重要性、发展方向、发展挑战和发展政策问题¹。

在重要性方面，精确测量可以支持医学、国防和科学研究的重大改进。量子传感器是量子技术中最成熟的技术，但一些传感器需

¹ <https://www.gao.gov/products/gao-25-107876>

要进一步提高可靠性和成本效益。自 20 世纪中叶以来，商业化的量子传感器包括磁共振成像（MRI）和用于 GPS 的原子钟。在下一个十年，进一步的研究突破可能会产生广泛的影响。例如，测量重力的原子干涉仪可用于绘制矿床和火山活动图，其他传感器可用于探测暗物质或监控量子计算机行为。

在发展机遇方面，量子传感器的发展机遇包括防御和导航、远程探测、医疗健康等方面。**防御和导航方面**，量子传感器能够提升授时和定位精度，能够在 GPS 不能使用或使用受限的情况下进行导航，如帮助车辆在恶劣天气和复杂地形中进行导航。量子传感器还可以帮助军队克服干扰和探测隐身技术。**远程探测方面**，量子传感器可以提升测量的准确性和范围，例如，将量子传感器放在地面及以上进行钻井前探测地下矿床、石油、地下水，以降低开采这些资源的成本和环境影响。**医疗健康方面**，量子传感器的进一步发展将能够提升人们对人体进行测量的精度，例如大脑活动成像或蛋白质结构确定的新方法。这些进步将有助于诊断和监测阿尔茨海默病等疾病。

量子传感器的发展还面临以下挑战：（1）技术转让：将量子传感器从原型发展为商业上可行的设备，仍需要公共、学术和私营部门的研究人员和公司之间进一步协作；（2）劳动力：量子传感器的研究和应用需要跨学科的劳动力，涉及生物学、计算机科学和国防等领域具有专业知识的量子科学家和工程师；（3）组件的可用性：部分量子传感器需要紧凑型激光器或其他组件，但这些组件受到制造能力或专用材料获取能力的限制，例如，“量子级”金刚石可以帮助绘制独特详细的磁场图，但美国缺乏可靠的来源。

此外，报告还提出美国国会正在考虑重新授权《国家量子倡议法案》，并继续支持量子研究和应用（包括量子传感器）。在政策制定中，需要考虑两个问题：（1）哪些行动可以帮助确保劳动力和制

造业能够充分支持美国在量子传感器方面的竞争力？（2）反隐形技术等应用对国家安全有何影响？

（执笔：沈湘 于杰平）

《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

