

半导体供应链：新技术涌现，挑战依旧

随着针对下一代关键AI芯片技术的贸易限制不断升级，企业领导者应迅速调整，以增强供应链的韧性。

地缘政治紧张局势和不断升级的贸易限制正在重塑半导体供应链，对AI芯片创新、全球经济、国家安全以及科技进步产生深远影响。这些高科技工艺和材料中的许多环节依赖于少数供应商，而这些供应商在关键地区的主导地位促使各国政府设置贸易壁垒，以保护战略利益并降低依赖性。长期以来，为下一代AI系统和高性能计算（HPC）数据中心制造世界上最先进的芯片意味着要在脆弱的供应链中艰难前行，但如今风险已大大增加。

德勤预计，包括前端及后端芯片制造中的蚀刻工艺、全环绕栅极（GAA）晶体管、电子设计自动化（EDA）以及支撑先进AI模型的软件工具。此外，德勤预测，受贸易壁垒影响的关键技术投资总额将至少达到300亿美元，涵盖极紫外光刻设备（EUV）和高带宽内存（HBM）协同封装工具等领域。¹然而这些投入与相关技术催生的约3000亿美元AI芯片市场规模相比仍相形见绌，这凸显了这些技术在全球半导体供应链中的核心地位。²

AI重塑全球半导体供应链

德勤与半导体行业协会联合开展的一项关于人工智能数据中心半导体含量的研究指出，全球半导体供应链高度相互依存，各国正着力保障自身对人工智能芯片及硬件组件的获取，这些组件对生成式AI（Gen AI）、高性能计算和自主系统而言至关重要。³因此，与两三年前相比，出口管制及其他贸易限制措施在2025年和2026年已开始对更大范围的半导体设备、材料、软件、设计工具、各类芯片以及封装和组装工具产生影响（图1），这并不令人意外。

图1：美国和欧洲的贸易管制在2025年、2026年及以后已扩大至涵盖多种半导体技术

半导体与人工智能芯片领域在不同时间点（2019 - 2025*）受到出口管制的特定方面



来源：德勤分析。2019年至2025年的数据基于从公开可获取的来源收集的信息，包括联邦公报网站（美国商务部工业与安全局）发布的文件和公告。2026年的信息基于与中小企业交流所获得的对话内容和前瞻性洞察。

*注：2025年的信息截至2025年10月8日。

Deloitte Insights deloitte.com/insights

AI系统的性能依赖于一个由全球分布的多项技术构成的狭窄堆栈，包括先进的AI逻辑设计、前沿的前端节点制造以及先进封装技术。实现这些能力需要多方利益相关者之间的协作，例如集成器件制造商（IDMs）、晶圆代工厂、设备制造商、设计供应商、外包半导体封装测试（OSAT）供应商、系统集成商、外包渠道分销合作伙伴以及来自不同国家的政府机构。⁴

出口管制正在重新定义先进AI逻辑设计的未来

2024年和2025年，美国对多项关键半导体技术（尤其是EDA工具）的限制先收紧后放松。⁵EDA 流程包括设计逻辑、芯片布局与布线、仿真、AI 增强设计、验证以及集成工作流程，这些对于开发先进的 AI 加速器至关重要。

例如，对于基于环绕栅极场效应晶体管（GAAFET）开发的芯片，此前已存在限制。⁶GAAFET 是一种面向 5 纳米及以下、3 纳米及以下逻辑设计的新兴晶体管架构，可为计算密集型的生成式AI工作负载提供性能和能效优势。2024 年 12 月，美国进一步扩大了出口管制范围，将支持先进计算节点开发与设计的软件和工具纳入管制。⁷随着这些新的出口管制措施的出台，它们可能在2026年对更广泛的EDA生态系统及代工厂合作伙伴产生影响。

2026年及以后的预测与展望

随着对基于GAAFET的芯片限制增加，使用GAAFET工艺设计套件（PDK）开发先进节点的非美国盟国晶圆厂将需要EDA工具支持以进行验证。但如果某一地区无法获得这些工具，则可能不得不依赖更老旧、效率更低的制程节点，或被迫发展本土的EDA能力，这两种情况都可能导致产品周期延长并削弱竞争力。此外，特别是在中国，对先进计算芯片的额外管制以及对AI模型权重的新管制，提高了企业与客户及商业伙伴合作时的合规要求，⁸AI模型及其模型权重的规模和质量正日益影响用于芯片设计的AI驱动EDA工具的能力。⁹

德勤预测，到2026年，电子设计自动化和逻辑设计领域的相关企业可能会受到这些管控措施的影响：针对与AI加速器相关的晶圆厂知识产权（IP）库、PDK以及性能测试输出，在实体、地点和最终用途方面，企业可能面临更严格的审查和更细致的披露要求。用于产品验证和模型微调的评估硬件（包括用于测试的参考模型权重及输出结果）也可能受到更密切的审查。¹⁰涉及AI硬件协同设计的公司可能需要建立可信国家通道，或不得不调整工作流程：例如，可将模型权重保留在美国或盟友的安全IT基础设施内，同时允许代工厂伙伴远程运行测试。¹¹

AI系统前端节点制造中面临的瓶颈问题

美国和荷兰继续限制对EUV设备的获取，该设备被广泛认为是生产最先进工艺节点所必需的。¹²尽管美国不具备本土EUV生产能力，但通过与盟友（如荷兰）协调实施出口管制，美国仍能影响哪些国家可以购买这些设备，主要目的是保障技术和国家安全。与此同时，中国则通过国内芯片设备企业，采用多重图形化技术定制深紫外光刻技术，积极推进光刻设备的研发进程。¹³尽管这些方法看起来有效，但其运行速度较慢且成本较高。¹⁴为保护国家安全利益，美国对用于精密蚀刻的工具加征了额外的出口限制，这些工具对于构建复杂的AI架构至关重要。¹⁵

2026年及以后的预测与展望

先进的刻蚀技术对于在5纳米以下节点制造前沿AI芯片至关重要。芯片行业采用双重、四重以及基于间隔层的图案化技术，在最先进的AI芯片上制造精细结构。¹⁶因此，源自美国的刻蚀工艺设备，以及使用美国刻蚀技术知识产权在海外设计或制造的刻蚀设备和工具，可能在2026年成为新的瓶颈。此外，光学元件（如透镜和反射镜）和光罩（photomask）等作为晶圆制造设备关键组成部分、承载着晶圆上图案蓝图的部件，也可能面临限制。

此外，特种气体（如硅烷和氟化衍生物）¹⁷以及关键矿产（包括镓、锗和锑）¹⁸作为先进节点制造工艺的一部分，为全球芯片供应链引入了额外的摩擦点。

由于前端工艺设备、组件和原材料面临广泛的出口管制，德勤预测，美国、中国台湾和韩国的5纳米及以下、3纳米及以下制程的产能扩张将持续加速，这一趋势将延续至2026年及以后。与此同时，中国预计将继续专注于采用多重成像技术作为替代方案的成熟DUV技术。

因此，跨国芯片设备企业应调整其在区域层面的前道晶圆制造相关资本支出规划。晶圆制造设备供应商、零部件供应商以及代工厂可能面临比2024年和2025年更长的认证、升级和安装周期。随着芯片设计公司适应新要求——开发功能简化或降级的AI XPU（即高端AI芯片的性能降低版本）以及面向特定区域的工艺库，以满足中国及其他非美国盟友国家日益增长的生成式AI芯片需求——前端制造设备供应商需提供更强支持的可能性也将上升。

贸易管制扰乱先进封装和测试环节

先进封装技术已迅速成为出口管制的战略目标。来自荷兰的测量与检测设备正面临出口限制。¹⁹由于其在高密度芯片堆叠中的关键作用，²⁰当前和未来生成式AI芯片的关键基础组件。²¹用于测试和验证先进AI芯片所必需的特定类型的芯片设备（刻蚀、沉积、光刻、离子注入、退火、计量与检测以及清洗设备）受到出口管制。²²这是因为这些技术被视为敏感且具有潜在的两用性，未来可能继续受到额外的贸易管制。

2026年及以后的预测与展望

正如2024年TMT预测中所强调的，芯粒（chiplets）和异构架构正迅速成为面向高性能计算AI工作负载的生成式AI芯片的首选封装模式。²³然而，由于需要从不同地区的多家供应商采购并封装多个芯片裸片和组件，其复杂性可能导致芯粒（chiplets）在2026年成为重大的地缘政治瓶颈。值得注意的是，基于芯粒的解决方案预计在2026年将带来约1000亿至1100亿美元的年收入。²⁴

HBM也已成为生成式AI训练和推理工作负载的关键组成部分。截至2025年年中，业界对HBM的共封装技术进行了更密切的关注，包括识别HBM与逻辑芯片共封装的具体位置。²⁵因此，参与组装、测试和封装的半导体企业可能需要提供额外的信息披露，包括列出参与封装的OSAT供应商或后端制造厂商，明确系统共封装的地点，指明中间产品或最终产品所运往的目的地国家，以及详细说明相关的性能阈值。

到2026年及以后，日益凸显的趋势可能是对后端工艺效率的依赖不断加深，以确保新产品能够按时上市。随着异地封装站点（特别是涉及HBM、逻辑芯片和高速输入/输出的站点）在布线和文件记录方面的要求日趋严格，供应链的每个环节——从前端晶圆厂的生产排程和EDA供应商的设计签核，到终端客户ODM/OEM（原始设计制造商和原始设备制造商）的产品发布——都将更加依赖于先进封装相关工艺审批和流程的完成速度。封装供应商或OSAT（外包半导体封装测试）厂商任何一方的延误，都可能影响良率爬坡和调优进程，进而引发将生产设施迁回本土或转移至盟友国家的“近岸外包”或“友岸外包”举措。

总体而言，这些因素可能会影响2026年及以后多个地区规划中的AI数据中心的部署。预计到2026年，超大规模企业、云服务提供商以及各行业公司将合计在AI数据中心上投入约5,000亿美元，到2028年将达到约1万亿美元。²⁶其中芯片解决方案约占该支出的50%至60%。鉴于预期的增长，供应链中断可能在三年期间影响价值数百亿甚至数千亿美元的半导体产品。

小结

中国加强其国内半导体生态系统

严格的出口管制以及对一系列半导体技术的限制，阻碍了中国获取最先进的AI芯片。这促使中国加快国内半导体创新步伐，尤其是当中国意识到这些举措可能影响其在7纳米以下和5纳米以下制程上的进展，而中国大陆以外的芯片制造商正从2025年的3纳米和2纳米推进至2026年和2027年的1.8纳米。²⁷

随着中国开发应对出口管制的变通方法，它可能会探索全球半导体供应链的多个方面，不仅限于前端制造，还包括芯片设计和先进封装。²⁸尽管使用较旧制造工艺的复杂芯片可用于先进封装，但美国可能会实施额外的管控和审查，以限制面向前沿AI芯片的此类封装系统的性能。

主权技术体系竞争加速，催生区域格局新变局

技术主权是一种理想目标，各国致力于独立开发、掌控和监管数字技术。²⁹由于AI被普遍视为推动经济发展和国家竞争力的下一个主要动力，各国政府正寻求对其数字基础设施实施更直接的控制，因而AI生态系统备受关注。各国和地区都不愿进一步落后，或被迫丧失自身主权。这种紧迫感日益增强，因为目前先进的AI能力主要集中于少数国家和企业手中。此外，随着美国和欧洲纷纷将高端芯片制造回迁本土，预计到2026年及以后，它们将在国内以及印度、越南和马来西亚等国家投资建设替代性的先进封装与测试中心。³⁰

半导体行业亟需增强供应链韧性

整个生态系统中的芯片企业可能需要通过内部压力测试等方式主动提升韧性，主要用以自我评估端到端的供应链，并加强网络安全准备能力。³¹

其次，跨区域的供应链多元化，以及对替代采购策略和渠道合作的投资至关重要。确保关键材料和零部件供应链独立的战略重要性，要求加快本地化进程并提升监管适应能力。此外，地缘政治问题可能导致全球AI生态系统分裂，带来诸如通过灰色市场出口芯片等风险，并加剧企业加强产品及供应链监控与追踪能力的压力。

尽管面向AI推理优化的芯片市场预计到2026年将增长至数百亿美元，但大部分高性能计算仍将依赖最先进的AI芯片，这些芯片主要部署在超大规模数据中心，或使用与数据中心相同芯片和机架的本地服务器中。³²因此，新的和额外的出口管制及要求可能会针对AI推理芯片及相关基础设施，整个半导体行业应为此在从采购到分销的各个环节开发替代性的供应链方案。

随着从训练向推理的转变，软件作为半导体更核心组成部分的重要性也将不断提升，例如，利用软件编程技术将一个主要用于训练的大型单体AI GPU重新配置为多个较小的GPU切片或虚拟GPU实例，以用于推理任务。³³

此外，总部位于美国和欧洲的设备原始设备制造商（OEM）可能需要将生产和组装从中国转移至东南亚和印度等新兴制造中心。这一转变可能在短期内推高成本，进而导致消费类科技设备价格上涨。半导体企业应保持灵活性并实现规模化运营，预判并适应2026年后的贸易格局变化，同时探索替代性的战略性国家联盟，以保障关键物流通道和基础设施的安全。

随着贸易紧张局势重塑全球联盟和渠道合作关系，芯片产业的韧性将在进入2026年前面临前所未有的考验。全球芯片供应链具有高度互联和战略性的特征，这凸显出各方产业利益相关者亟需积极开展合作，以增强半导体供应链的韧性。

Karthik Ramachandran
India

Jeroen Kusters
United States

Girija Krishnamurthy
Global

Duncan Stewart
Canada

Deb Bhattacharjee
United States

Jan Thomas Nicholas
Malaysia

ENDNOTES

1. A note to methodology. Estimates include projected aggregate spending for 2026 on extreme ultraviolet equipment, AI-based etch equipment, select advanced packaging equipment including high-bandwidth memory co-packaging tools, and AI chip design software and tools.
2. In 2025, Deloitte Consulting LLP performed an analysis of the data center market, including a rough bill of materials for the various components and market sizes. This analysis is due to be published in December 2025.
3. Ibid.
4. Ibid. Importantly, an AI server rack is not just a monolithic unit but a far more complex, integrated system that comprises tens of thousands of components ranging from advanced chips, memory dies, analog integrated circuits, controllers, power devices, and passives like substrates and capacitors.
5. Karen Freifeld and Surbhi Misra, [“As trade war truce with China holds, US lifts curbs for chip design software and ethane,”](#) Reuters, July 3, 2025; Joe Cash, [“China says successful US trade talks make return to tariff war unnecessary,”](#) Reuters, July 18, 2025.
6. Bureau of Industry and Security and US Department of Commerce, [“Federal Register, vol. 89, no. 173,”](#) Sept. 6, 2024.
7. New software and technology controls included restrictions on electronic computer-aided design and technology computer-aided design software and technology, especially when these are used for designing advanced node-integrated circuits. To read further, see: Bureau of Industry and Security and US Department of Commerce, [“Commerce strengthens export controls to restrict China’s capability to produce advanced semiconductors for military applications,”](#) Dec. 2, 2024.
8. Bureau of Industry and Security and US Department of Commerce, [“Framework for artificial intelligence diffusion,”](#) Federal Register, Jan. 15, 2025.
9. Wenji Fang, Jing Wang, Yao Lu, Shang Liu, Yuchao Wu, Yuzhe Ma, and Zhiyao Xie, [“A survey of circuit foundation model: Foundation AI models for VLSI circuit design and EDA,”](#) arXiv, March 28, 2025.
10. For further information on AI model weights related technology controls, see: US Department of Commerce and Bureau of Industry and Security, [“Federal Register, vol. 90, no. 9,”](#) Jan. 15, 2025.
11. Insights based on conversations and interviews with Deloitte experts in the areas of the semiconductor industry, supply chains, and export control impact.
12. Chris Miller, [“How US export controls have \(and haven’t\) curbed Chinese AI,”](#) AI Frontiers, July 8, 2025.
13. Stefano Lovati, [“China invests €37 billion to develop domestic EUV lithography systems,”](#) Power Electronics News, Feb. 11, 2025.
14. Pablo Valerio, [“China semiconductor ambition and adversity,”](#) EE Times, May 19, 2025. Additionally, US regulations included restricting and capping the production of advanced AI chips far below the domestic demand in China.
15. See Bureau of Industry and Security and US Department of Commerce, [“Federal Register, vol. 89, no. 173,”](#) p. 7. As noted in this document, atomic layer etching helps produce vertical edges required in high-quality, leading-edge advanced devices and structures, including gate-all-around field-effect transistor and similar 3D structures. Anisotropic dry etching is critical for gate-all-around field-effect transistor and similar 3D structure fabrication. It is also an important tool for fin-shaped field effect transistor (FinFET) fabrication.
16. Ibid.
17. US Department of Commerce and Bureau of Industry and Security, [“Foreign-produced direct product rule additions, and refinements to controls for advanced computing and semiconductor manufacturing items,”](#) Dec. 5, 2024.

18. Sara Bulter, [“How China’s rare earth metals export ban will impact supply chains in 2025,”](#) Optilogic, Feb. 17, 2025.
19. Deloitte analysis based on conversations and insights gathered from industry experts and cross-validated with multiple secondary sources, including: Abbie Windsdale, [“Netherlands takes bold step to tighten semiconductor export control,”](#) Tech Announcer, Jan. 16, 2025.
20. For example, hybrid bonding is fundamental to developing advanced 2.5D and 3D chip designs and heterogeneous architectures (or chiplets), as it enables ultra-fast data transfers (up to 17 TB/s) that are critical for AI and high-performance computing. To read further, see: Sam Naffziger, [“Future of AI hardware enabled by advanced packaging,”](#) IEEE Electronics Packaging Society, May 28, 2024.
21. Duncan Stewart, Karthik Ramachandran, Prashant Raman, and Ariane Bucaille, [“Silicon building blocks: Chiplets could move Moore’s Law forward,”](#) Deloitte Insights, Nov. 19, 2024.
22. Bureau of Industry and Security, [“Commerce strengthens export controls to restrict China’s capability to produce advanced semiconductors for military applications,”](#) press release, Dec. 2, 2024.
23. Stewart, Ramachandran, Raman, and Bucaille, [“Silicon building blocks.”](#)
24. Xiaoxi He and Yu-Han Chang, [“Chiplet technology 2025-2035: Technology, opportunities, applications,”](#) IDTechEx, accessed Oct. 1, 2025.
25. US Department of Commerce and Bureau of Industry and Security, [“Foreign-produced direct product rule additions, and refinements to controls for advanced computing and semiconductor manufacturing items.”](#)
26. Duncan Stewart, et al, [“Why AI’s next phase will likely demand more computational power, not less,”](#) Deloitte Insights.
27. For context, state-of-the-art chip fabs in the United States and Taiwan were already pushing the boundaries toward sub 7 and sub 5 nm as of 2020 to 2021, indicating China is probably at least four to five years behind (see [Deloitte 2024 semiconductor outlook](#)). Therefore, initiatives such as Beijing’s Big Fund III actively support the expansion of local semiconductor capabilities, notably electronic design automation (EDA) and lithography tech development. To read further, see: Anton Shilov, [“China to pivot \\$50 billion chip fund to fighting U.S. squeeze as trade war escalates — country to back local companies and projects to overcome export controls,”](#) Tom’s Hardware, June 27, 2025.
28. The Chinese Academy of Sciences worked with domestic chip design players on an open-source project to develop an AI system that used large language models to accelerate chip design and build fully functional central processing units. To read further, see: Mark Tyson, [“China claims to have developed the world’s first AI-designed processor — LLM turned performance requests into CPU architecture,”](#) Tom’s Hardware, June 12, 2025. Additionally, Huawei’s breakthroughs in developing EDA tools capable of supporting 14 nm processes and above mark significant milestones. To read further, see: Omar Sohail, [“Huawei has reportedly developed 14nm EDA tools, which the company will employ to mass manufacture its Kirin 9020, but the company is still limited to the 7nm architecture,”](#) WCCF TECH, June 11, 2025.
29. David Jarvis, et al, [“A new era of self-reliance: Navigating technology sovereignty,”](#) Deloitte Insights.
30. Analysis based on multiple publicly available secondary sources that discuss the chip industry’s plans to commence new AT hubs in countries including India, Malaysia, and Vietnam.
31. Aside from trade-related issues, as we already mentioned in our [2024 Global Semiconductor Outlook](#) report, cyber threats are surging, requiring chip fabs and AI systems to intensify security measures against malware targeting critical infrastructure.
32. Duncan Stewart, et al, [“Why AI’s next phase will likely demand more computational power, not less,”](#) Deloitte Insights. Deloitte analysis based on conversations and insights gathered from industry experts.
33. Gwangoo Yeo, Jiin Kim, Yujeong Choi, and Minsoo Rhu, [“PREBA: A hardware/software co- design for multi-instance GPU based AI inference servers,”](#) arXiv, Nov. 28, 2024.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank **Nina Zhang, Amy Scimeca, Karan Aggarwal, Jesse Singh, Michael Greco, and Pablo LeCour** for their contributions to this article.

Cover image by: **Jaime Austin**; Adobe Stock

关于德勤

德勤中国是一家立足本土、连接全球的综合专业性服务机构，由德勤中国的合伙人共同拥有，始终服务于中国改革开放和经济建设的前沿。我们的办公室遍布中国31个城市，现有超过2万名专业人才，向客户提供审计、税务、咨询等全球领先的一站式专业服务。

我们诚信为本，坚守质量，勇于创新，以卓越的专业能力、丰富的行业洞察和智慧的技术解决方案，助力各行各业的客户与合作伙伴把握机遇，应对挑战，实现世界一流的高质量发展目标。

德勤品牌始于1845年，其中文名称“德勤”于1978年启用，寓意“敬德修业，业精于勤”。德勤全球专业网络的成员机构遍布150多个国家或地区，以“因我不同，成就不凡”为宗旨，为资本市场增强公众信任，为客户转型升级赋能，为人才激活迎接未来的能力，为更繁荣的经济、更公平的社会和可持续的世界开拓前行。

Deloitte（“德勤”）泛指一家或多家德勤有限公司，以及其全球成员所网络和它们的关联机构（统称为“德勤组织”）。德勤有限公司（又称“德勤全球”）及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，相互之间不因第三方而承担任何责任或约束对方。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构仅对自身行为承担责任，而对相互的行为不承担任何法律责任。德勤有限公司并不向客户提供服务。请参阅www.deloitte.com/cn/about了解更多信息。

德勤亚太有限公司（一家担保责任有限公司，是境外设立有限责任公司的其中一种形式，成员以其所担保的金额为限对公司承担责任）是德勤有限公司的成员所。德勤亚太有限公司的每一家成员及其关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，在亚太地区超过100个城市提供专业服务，包括奥克兰、曼谷、北京、班加罗尔、河内、香港、雅加达、吉隆坡、马尼拉、墨尔本、孟买、新德里、大阪、首尔、上海、新加坡、悉尼、台北和东京。

本通讯中所含内容乃一般性信息，任何德勤有限公司、其全球成员所网络或它们的关联机构并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前，您应咨询合格的专业顾问。

我们并未对本通讯所含信息的准确性或完整性作出任何（明示或暗示）陈述、保证或承诺。任何德勤有限公司、其成员所、关联机构、员工或代理方均不对任何方因使用本通讯而直接或间接导致的任何损失或损害承担责任。

© 2025。欲了解更多信息，请联系德勤中国。

CQ-017-CN-25



这是环保纸印刷品