

集微技术信息简报

2022 年第 **5** 期 (总第 50 期)

中国科学院文献情报中心

2022 年 10 月制

本期目录

政策计划

美国签署芯片法案 着眼与我国长期竞争	1
美国拜登总统签署《芯片法案 2022》实施的行政命令	5
美国发布针对 ECAD 软件等 3 项半导体技术的对华出口管制新禁令	6
美国宣布禁止对华供应先进计算芯片和半导体制造设备	6
美国 NIST 概述美国半导体制造业的战略机遇.....	8
美国 DARPA 启动“下一代微电子制造”计划.....	10
韩国政府发布《半导体超级强国战略》	11
欧盟更新《关于创建欧洲开源硬件、软件和 RISC-V 技术主权的建议 和路线图》报告	13

产业洞察

美国智库分析中美两国 6G 战略路径.....	18
美国智库建议构建美欧长期技术联盟战略	24

前沿研究

美中研究人员提出可逆的激光辅助氯化过程可用于在石墨烯单层中 产生高掺杂浓度	28
美国研究人员实验证明立方砷化硼具有高热导率和双极迁移率	30
丹麦技术大学研究人员开发出一种基于芯片的光束转向技术	31

产业动态

美国 NIST 将与谷歌合作研发芯片以用于新纳米技术和半导体设备	33
欧洲 PATTERN 项目研发性能超过 100GHz 的光子技术用于量子 and 卫 星应用.....	34
英国创新局资助 Wave Photonics 公司研发量子光子集成电路封装工艺	35

政策计划

美国签署芯片法案 着眼与我国长期竞争

2022年8月9日美国总统拜登在白宫将总额高达2800亿美元的《芯片与科学法》(以下简称“芯片法案”)签署生效。该法案旨在提升美国半导体产业的竞争力,通过为半导体产业提供联邦补贴增强美国在工业、技术和军事方面的优势以抗衡来自我国的竞争。

美国《芯片法案》中的芯片投资,主要通过设立各种基金和计划,为半导体生产和研发提供巨额补贴,推动半导体制造产业落地美国,帮助美国重获在半导体制造领域的领先地位。芯片方面大约有520亿美元的拨款,其中大部分将用于为美国新的半导体制造设施提供奖励,但也有相当数量的资金用于半导体研发,将会建立一个新的技术中心,以及一些用于劳动力发展的投资。法案的大部分投资集中在其他一系列科学和技术研究领域,价值约2000亿美元,从核能到生物技术到量子计算。《芯片法案》主要内容如下:

(一) 促进美国境内半导体设施设备的建设、扩展和现代化

美国商务部获得390亿美元资金在美国境内建设、扩建国内半导体设备设施或使设备设施现代化,包括用于半导体制造、组装、测试、高级封装或研发的设备设施。其中20亿美元用于激励对汽车行业、军事和其他关键行业至关重要的成熟半导体芯片的设施设备投资。法案要求资助实体能够识别或缓解半导体供应链安全风险,为成熟半导体芯片的制造、组装、测试或封装生产或提供设备或材料,或能够进行成熟半导体技术的制造、组装或测试,并承诺增加成熟半导体产品。

(二) 促进美国先进半导体的研究、开发和制造

1. 建立国家半导体技术中心

美国国防部与商务部合作建立国家半导体技术中心（NSTC），该中心作为公私联盟运营，能源部（DOE）和国家科学基金会（NSF）参与其中，旨在增强经济竞争力和国内供应链的安全。中心开展先进半导体的制造、设计和封装研究以及原型设计，其重点是：半导体先进测试、组装和封装能力；下一代微电子学的材料表征、仪器和测试；半导体机械维护的虚拟化和自动化；用于安全和供应链验证的计量学。此外，中心与私营部门合作建立投资基金，支持初创企业以及各类企业与学术界的合作，促进技术创新商业化，其重点是：3nm 或更先进制程的微芯片制造的先进计量和表征；用于安全和供应链验证的计量学。

2. 开展微电子研究计划

美国国家标准与技术研究所（NIST）开展微电子研究计划，以实现测量科学、标准、材料表征、仪器、测试和制造能力方面的进步和突破，加速下一代微电子计量学的基础研究和开发，并确保美国在该领域的竞争力和领导地位。

3. 改善先进半导体封装制造能力

一方面，NIST 建立美国半导体制造研究所，研究半导体机械的虚拟化，开发新的先进测试、组装和封装能力。另一方面，美国商务部长建立由 NIST 所长牵头的国家先进封装制造计划，与 NSTC 协调，必要时与建立的半导体制造研究所协调，加强国内生态系统中的半导体先进测试、组装和封装能力。

（三）建设国家微电子研究开发网络

美国国防部获得 20 亿美元资金设立美国芯片国防基金，用于建立国家微电子研究开发网络，使美国的微电子创新向制造过渡，并扩大美国在微电子领域的全球领导地位，主要活动包括：基于成本效益原则探索美国本土设施的新材料、设备、架构和原型，以保护

本土知识产权；加速向国内微电子制造商转让新技术；开展其他国防部长认为必要的其他相关活动。

（四）发展半导体劳动力和教育

法案提出，要开发和部署支持产业发展所需的教育和技能培训课程，并确保美国能够建立和维持可信赖和可预测的人才管道。首先，国内高技能的半导体劳动力对于成功创建或扩建半导体设施至关重要，获得相关资助的实体要承诺为工人和社区提供教育和培训，并获得地区教育和培训实体和高等教育机构的承诺，为其提供劳动力培训。其次，NSF 获得 2 亿美元资金设立美国芯片劳动力和教育基金，用于微电子劳动力发展活动，解决近期劳动力短缺问题。NSTC 要与劳工部长、NSF 主任、DOE 部长、私营部门、高等教育机构和劳动力培训实体合作，开发和传播与微电子相关的课程和研究培训经验，并发展先进微电子设计、研究、制造和封装能力方面的劳动力培训计划和学徒制，以激励和扩大参与涉及微电子的研究生、本科生和社区大学课程的地域多样性。

（五）实施先进半导体税收抵免政策

美国为合格纳税人的任何先进制造设施提供 25% 的投资税收抵免，涵盖半导体制造设备以及半导体制造设施的建设，还包括半导体制造过程中所需的专用工具设备。当专门针对半导体设施设备的抵免与促进设施设备建设和扩展的激励措施结合起来，补贴金额还是相当高的，这为芯片制造的回流提供了一个基本的激励机制，允许补贴资金集中在对美国经济和国家安全特别重要的先进半导体技术上。

（六）保障国际技术安全和半导体供应链安全

美国拨款 5 亿美元设立美国芯片国际技术安全和创新基金，与美国国际开发署、进出口银行和国际开发金融公司合作，支持国际信息通信技术安全和半导体供应链活动，包括支持开发和采用安全

可信的电信技术、半导体和其他新兴技术。美国将与外国合作伙伴协调，一是建立共同的资助机制，支持开发和采用安全半导体和安全半导体供应链，包括伙伴国家之间的研发合作；二是促进合作伙伴建立一致的合作措施，包括为半导体企业提供补贴或其他经济利益的透明制度、向有安全风险国家出口半导体的统一处理和核查制度、应对非市场经济体半导体活动的统一政策、调整供应链完整性和半导体安全政策、涉及半导体投资筛选和出口管制的统一政策等。

（七）限制在中国等国家扩大先进半导体制造产能

法案规定，获得联邦芯片基金资助的实体，需与商务部长签署协议，保证自获得资助之日起的 10 年内不得在中国进行扩大先进半导体制造产能的重大交易，且进行扩大先进半导体制造产能的重大交易的纳税人也在 10 年内不享受先进制造业投资税收抵免政策。然而，用于成熟半导体既有厂房或设备的交易，以及扩大成熟半导体产能的重大交易（包括生产成熟半导体和主要服务于其他关注外国的市场），则不在此限制内。现成熟半导体指的是 28nm 及以上的芯片制造技术，以及相关的存储技术、模拟技术和封装技术等。成熟半导体的内涵要在 2 年后更新，并在获得最后资助的 8 年内每 2 年更新一次。

获得资助的企业，须根据其商务部长签署的协议，向商务部报告其计划与有关国家开展的交易。如果商务部确定计划中的交易违反协议，该企业将有机会补救潜在的违规行为；否则，商务部可以收回全部联邦财政援助。该条款规定，商务部可以要求提供任何必要的记录，以审查企业对协议的遵守情况，同时确保这些记录保密。

（执笔：青秀玲 王丽）

美国拜登总统签署《芯片法案 2022》实施的行政命令

据美国白宫 2022 年 8 月 25 日报道¹，为了有效实施《芯片法案 2022》，实现法案制定目标，促进美国联邦政府与各级地方政府、私营部门、学术界以及盟国等合作，拜登总统签署《芯片法案 2022》实施的行政命令²。

该行政命令设置了实施《芯片法案 2022》的 6 个优先事项，分别是：（1）保护纳税人资源，确保对资金接受方采取严格的合规和问责措施；（2）满足经济、可持续性和国家安全需求，建设国内制造能力，减少前沿和成熟微电子产品对外国生产的过度依赖；（3）确保微电子领域的长期领导地位，建立一个动态、协作的微电子研究和创新网络；（4）促进私营部门投资，降低投资风险并最大限度地扩大私营部门对生产、突破性技术以及劳动力发展的投资；（5）创造利益，如高薪、高技能的工作和创业机会、帮助弱势群体、资助弱势社区、与各级政府和高等教育机构合作；（6）加强和扩大区域制造业和创新生态系统，投资供应商、制造商、劳动力发展、基础和转化研究以及整个微电子供应链的相关基础设施和网络安全，促进半导体集群的扩张、创建和协作。

该行政命令还确定成立新的《芯片法案》实施指导委员会，职责为协调政策制定、促进广泛合作以确保《芯片法案》有效实施。新理事会的联合主席将由总统经济政策助理、总统国家安全事务助理、白宫科技政策办公室主任联合担任，其他成员包括美国国务卿、国家网络总监以及财政部、能源部、商务部、国防部、劳工部、管

¹<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2022/08/25/executive-order-on-the-implementation-of-the-chips-act-of-2022/>

²

<http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=11216d175789540bd1f6b8033bb59243&recommendId=113970&controlType=>

理和预算办公室、小企业管理局、情报局、国家科学基金会等多个部门负责人。

(执笔：沈湘 王丽)

美国发布针对 ECAD 软件等 3 项半导体技术的对华出口管制新禁令

2022 年 8 月 12 日，美商务部工业与安全局（BIS）发布公告¹，称出于“国家安全”考虑将四项“新兴和基础技术”纳入新的出口管制。其中三项为半导体技术，分别为：氧化镓（Ga₂O₃）和金刚石两种超宽带隙半导体材料，用于开发全栅场效应晶体管（GAAFET）结构的芯片设计工具 ECAD（EDA）软件。该禁令于 8 月 15 日生效，ECAD/GAAFET 软件的控制于 2022 年 10 月 14 日生效，行业开放评论期至 2022 年 9 月 14 日。

BIS 称，将这些技术纳入出口管制是《瓦森纳协定》42 个参与国在 2021 年 12 月全体会议上达成的一致结果。上月的公开报告表明，BIS 已致函芯片制造设备生产商，指示他们不要向中国出口能够制造 14 纳米及以下芯片的设备。

(执笔：沈湘)

美国宣布新的芯片出口管制措施禁止对华供应先进计算芯片和半导体制造设备

2022 年 10 月 7 日，美国商务部工业和安全局（BIS）公布了一套范围广泛的出口管制措施，进一步限制中国购买和制造先进计算芯片、开发和维护超级计算机以及半导体制造设备，成为近年来美

¹ <https://www.semiconductor-digest.com/u-s-commerce-department-issues-new-semiconductor-related-export-controls/>

国在向中国输出技术方面最大的政策转向，以阻碍中国发展先进军事系统。

BIS 新的芯片出口管制措施**聚焦两方面**，首先将对某些先进计算半导体芯片、超级计算机最终用途交易以及“实体清单”上某些实体的交易实施限制性出口管制；**其次**将对某些半导体制造物项和某些集成电路最终用途交易施加新的限制。具体管制规则中，其中一项措施禁止向中国提供世界任何地方使用美国工具制造的某些半导体芯片，极大扩展了美国试图减缓中国的技术与军事进步的努力范围。如果这些措施得到有效实施，将迫使美国和使用美国技术的外国公司，切断对一些中国最先进工厂和芯片设计者的支持。

9大具体管制规则：（1）将某些先进和高性能计算芯片及含有此类芯片的计算机商品加入《商业管制清单》（CCL）。（2）对最终用途是中国超级计算机或在中国开发制造半导体的物项，增加新的许可要求。（3）扩大《出口管理条例》（EAR）的适用范围，包括某些外国生产的先进计算机物项和用于超级计算机最终用途的物项。（4）将需要获得许可证的外国生产物项的范围扩大到《实体清单》上位于中国境内的 28 个现有实体。（5）将某些半导体制造设备和相关物项添加到 CCL。（6）对在中国制造符合规定的集成电路的半导体制造“设施”，增加了新的许可证要求。中国实体拥有的设施将面临“拒绝许可推定”，而跨国公司拥有的设施将根据具体情况决定。相关涉及范畴如下：具有 16nm 或 14nm 或以下非平面晶体管结构（即 FinFET 或 GAAFET）的逻辑芯片；18nm 或以下的 DRAM 存储芯片；128 层或以上的 NAND 闪存芯片。（7）限制美国人在没有许可证的情况下，在中国境内的某些半导体制造“设施”支持集成电路的开发或生产。（8）对开发或生产半导体制造设备及相关物项，增加了新的许可证要求。（9）建立临时通用许可证(TGL)，通过允许特定的、有限的生产活动，最大限度地减少对半导体供应链的短期影响。

此外，BIS 在“未经验证清单（UVL）”中移除 9 家中国实体并新增了长江存储等 31 家中国实体。新增中国实体主要为生产和研发半导体、光电子、先进材料等相关产品的公司，还包含了中国科学院大学、中国科学院化学研究所、上海科技大学、上海理工大学和中国地质科学院矿产资源研究所五家科研机构或大学。

新管制措施将分阶段生效，对半导体制造物项的管制当日生效，对美国人为某些中国半导体制造设施提供开发、生产或使用能力的管制将于 2022 年 10 月 12 日生效，对先进计算和超级计算机的管制以及其他新规则将于 2022 年 10 月 21 日生效。

（执笔：王丽 沈湘）

美国 NIST 概述美国半导体制造业的战略机遇

2022 年 9 月 1 日，美国国家标准与技术研究院（NIST）发布《美国半导体制造行业的战略机遇》报告¹，概述了美国半导体制造行业在半导体测量、标准化、建模和模拟方面面临的七个领域重大挑战及发展战略²，具体如下所示：

1. 在材料纯度、性能和溯源的计量学领域，存在的重大挑战为开发新的测量方法和标准以满足不同供应链对半导体材料纯度、物理性能和溯源日益严格的要求，发展战略是发展测量技术、性能数据和标准，重点关注缺陷和污染物识别，以支持统一的材料质量和整个供应链的可追溯性。

2. 在未来微电子制造的先进计量学领域，存在的重大挑战为确保关键计量技术的进步与尖端和未来的微电子和半导体制造保持同步以此保持美国的竞争优势，发展战略是促使物理和计算计量适用

¹ <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CHIPS/NIST.CHIPS.1000.pdf>

²

<http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=3753a218754ff1a918c62f397b18632f&recommendId=114308&controlType=>

于先进和复杂的集成技术和系统的下一代制造。

3. 在**组件集成的先进封装计量学**领域，存在的重大挑战为提供跨越多个长度、尺度和物理特性的计量学以加速下一代微电子的先进封装，发展战略是发展精密元件的复杂集成和新材料的计量学以支持强大的国内先进微电子封装产业。

4. 在**半导体材料、设计和组件的建模和模拟**领域，存在的重大挑战为改进有效建模和模拟未来半导体材料、工艺、器件、电路和微电子系统设计所需的工具，发展战略是使用多物理模型和下一代概念（如人工智能和数字孪生）创建高级设计模拟器为美国微电子设计师提供支持。

5. 在**半导体制造过程的建模与模拟**领域，存在的重大挑战为无缝建模和模拟从材料输入到芯片制造、系统组装和最终产品的整个半导体制造过程，发展战略是开发先进的计算模型、方法、数据、标准、自动化工具，使国内半导体制造商能够提高产量、加快上市时间以及增强竞争力。

6. 在**微电子新材料、工艺和设备的标准化**领域，存在的重大挑战为将支持和加速微电子和先进信息通信技术的发展和制造的方法标准化，发展战略是为下一代材料、工艺和设备创建标准、验证工具和协议，为美国工业的加速创新和成本竞争力铺平道路。

7. 在**加强微电子元件及其产品的安全和标定的计量学**领域，存在的重大挑战为创造所需的计量进步以增强供应链中微电子组件及产品的安全性和溯源性并增加信任和保证，发展战略是寻求硬件安全保护的综合方法，包括标准、协议、正式测试过程和先进的计算技术，同时为整个供应链和终端产品中微电子组件的安全性和溯源性提供途径。

（执笔：沈湘）

美国 DARPA 启动“下一代微电子制造”计划

2022年8月16日，美国国防高级研究计划局（DARPA）宣布推出“下一代微电子制造”（NGMM）计划¹，旨在创建一个新颖的、三维异构集成（3DHI）微系统研发和制造中心。DARPA 早在8月5日就发布了 NGMM 计划的广泛机构公告，认为当前美国生态系统限制或减缓 3DHI 研发进展的障碍包括：（1）缺乏集中的设施来促进开发期间的信息共享；（2）缺少共同的标准；（3）缺少负担得起的小批量产品的制造能力，具体而言，一方面现有设施的迭代周期非常长，另一方面制造设备昂贵；（4）昂贵专用设计工具对探索新概念的的限制。DARPA 预计微电子创新的下一个主要浪潮将来自于通过先进封装集成异构材料、器件和电路的能力，建议建立一个专门针对下一代 3DHI 的国家加速器。

NGMM 计划旨在建立美国本土 3DHI 研发的整体能力，为 3DHI 微系统的设计、封装、组装和测试开发关键工艺模块。如果成功，该项目将提供：（1）一个开放的制造中心，全面解决设计、组装、封装和测试问题；（2）一个试验线制造能力；（3）多项目运行或专门的“小巴士”（指用户可以随时加入、退出）运行，作为研究服务的一个特点；（4）为所有用户提供培训和指导。

NGMM 计划分为三个阶段（第 0 阶段、第 1 阶段和第 2 阶段），其中第 0 阶段是该计划的重点，将通过定义示范性 3DHI 微系统和确定制造这些微系统的设备、工艺、软件工具和设施要求，为制造中心的规划提供信息。在第 0 阶段，DARPA 鼓励提案者组成团队，包括但不限于微系统设计者、工具制造商和系统集成商。提案需要提供：（1）对示范性 3DHI 微系统的详细分析；（2）制造微系统所需软件和硬件工具的具体建议，包括但不限于电子设计自动化（EDA）

¹ <https://www.darpa.mil/news-events/2022-08-16b>

工具、封装和组装工具，以及计量和测试工具和技术。此外，NGMM 计划第 0 阶段还需要平衡工艺多样性，即过窄的工艺选择可能对目标用户群（学术界、国防工业基础、小型企业）无用，而过于广泛的工艺可能在开发和维护方面过于昂贵和费时。

第 0 阶段的分析将被用来为 NGMM 第 1、第 2 阶段的单独招标提供信息，但要视 DARPA 的决定和资金的可用性而定。在这个单独的招标中，第 1 和第 2 阶段将侧重于建立 3DHI 制造中心，创建并最终确定基线工艺模块，鉴定试验线制造工艺，以及实施中心的研发准入模式。DARPA 预计，为第 0 阶段选定的研究团队不会与为第 1 和第 2 阶段后续招标提出的团队相同。第 0 阶段依赖于将用户需求与制造能力综合起来，而第 1 和第 2 阶段将强调为研发创造运营制造服务的专业知识。

（执笔：于杰平）

韩国政府发布《半导体超级强国战略》

2022 年 7 月 21 日，韩国发布了由产业通商资源部、企划财政部、国土交通部联合制定的《半导体超级强国战略》¹⁻²，希望通过全力支持企业投资、民官协力培养人才、确保领先的系统半导体技术、构建坚实的材料零件设备生态系统四大具体战略，使韩国确立在全球供应链中核心生产技术地位、引领半导体产业创新国家目标，实现半导体超级强国的愿景。

韩国政府的半导体产业发展战略和具体举措包括³：

1. 全力支持企业投资，以引导企业到 2026 年完成投资至少 340

1

https://www.motie.go.kr/motie/nc/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=165825&bbs_cd_n=81¤tPage=41&search_key_n=title_v&cate_n=&dept_v=&search_val_v=<https://www.donga.com/ISSUE/Vote2016/News?m=view&date=20220722&gid=114578373>

² <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=97099>

³ <http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=3b12a155660600c39c4335ded186a9ff&recommendId=113491&controlType=>

万亿韩元。举措包括：(1) **积极支持对半导体公司的投资**：审查政府对建设大规模新建和扩建设施的成本补贴，支持半导体产业园区的必要基础设施建设；将半导体企业工厂适用容积率从 350% 提高到 490%，这将使平泽市和龙仁市的洁净室设施分别从 12 个增加到 18 个，从 9 个增加到 12 个，预计将创造 9000 个就业机会；修改《国家尖端战略产业特别法》，规定在创建半导体产业园区时，在没有严重或明显原因的情况下，必须迅速办理许可证；与周边地方政府共享产业园区的引进效益，积极推动地方政府区域负责人特别调整补助金的使用。(2) **审查扩大对半导体设施和研发投资的税收支持**：半导体等国家战略技术大型企业的设施投资税收抵免率将从目前的 6-10% 提高到 8-12%，与中坚企业相同；审议扩大税收支持范围的措施，将测试设备、IP 设计、验证技术等纳入国家战略性技术；改善劳工和环境法规以刺激半导体公司的投资，从 9 月起，目前仅限于限制出口日本的项目研发（每周 52 小时到每周最多 64 小时）的特殊加班将扩大到所有半导体研发。

2. 政府与私营部门合作培养半导体人才。举措包括：(1) **通过监管创新和财政支持加强大学的半导体人才培养**：工信部根据《国家尖端战略产业特别法》，明年将新指定一所半导体专业研究生院，并为教育成本、设备和研发提供支持；计划从今年开始在 30 所学校开设面向非专业学生的半导体双主修/辅修课程（2 年）；(2) **产业界还通过建立产学合作基础设施，积极开展人才培养合作**：建立以行业为主导的“半导体学院”，从明年开始针对每个培养目标（大学生、求职者、新员工、有经验的员工）提供定制化教育，5 年培养 3600 多名人员；2023-2032 年，政府将与私营部门合作准备 3500 亿韩元，以支持研究生院的研发活动和培养研究生；企业捐赠设备时，将考虑 10% 的税收减免；参与保就业签约的企业纳入人力资源开发费用投资税减免对象。(3) **防止人才外流**，如在吸引国内外半导体人才

时，将减免 50% 的所得税，期限从现在的 5 年延长至 10 年。

3. 重点支持下一代系统半导体研发，力争到 2030 年将系统半导体的全球市场份额从 3% 提高到 10%。举措包括：（1）大力支持功率半导体、车用半导体和人工智能半导体三大领域研发：2024-2030 年将分别在功率半导体和车用半导体领域投入 4500 亿韩元和 5000 亿韩元进行研发；2022-2029 年将投入 1.25 万亿韩元用于人工智能芯片研发。（2）投资 1.5 万亿韩元于 30 家有前途的无晶圆厂公司，在技术开发、原型生产、海外销售渠道等方面提供支持。（3）构建晶圆代工生态系统，扩大对 IP 设计、后道工艺的支持，特别是在先进封装领域，促进 chiplets 等核心技术开发、基础设施建设、人力培训等大型项目。

4. 建立健全材料零件设备生态系统，自给率从目前的 30% 提高到 50%。举措包括：（1）研发从“追赶型国产化”明显转向“市场领先型”：大幅提升市场领先技术开发份额，重点关注影响未来供应链变化的重要领域。（2）构建半导体专业化研发集群，建立半导体企业专用空间，2023 年、2024 年和 2026 年分别在板桥和龙仁启动相关项目；（3）公私合作将创建一个 3000 亿韩元的半导体生态基金，从明年开始将集中投资于企业创新和无晶圆厂并购。

（执笔：沈湘 王丽）

欧盟更新《关于创建欧洲开源硬件、软件和 RISC-V 技术主权的建议和路线图》报告

2022 年 9 月 8 日，欧盟委员会更新《关于建立欧洲开源硬件、软件和 RISC-V 技术主权的建议和路线图》报告。报告指出，作为一种颠覆性方法，开源硬件和软件的使用大大降低了创新型片上系统（SoC）的设计障碍，是欧洲目前的优势领域，中国、美国和印

度等国也都发展这一领域的强大能力。为了巩固欧洲在开源领域的全球优势地位并确保技术主权，报告提出了发展建议并制定了技术发展路线图，为汽车、工业自动化、通信、医疗保健和航空/国防等关键市场提供新的技术解决方案。

一、开源生态系统的技术路线图

（一）拟议路线图的关键要素

建立保障欧洲技术主权的开源硬件、软件和 RISC-V 路线图的关键要素包括：

1. 特定领域的体系架构/加速器是计算机体系架构进步的主要机会之一，对学术界和工业界具有巨大的创新潜力。

2. 加速器需要与通用计算环境、芯片级和系统级硬件以及软件堆栈和编程工具集成，以充分发挥其潜力。

3. 硬件集成需要大量的工程工作（接口 IP 模块、高性能 PCB 设计），阻碍了小型参与者（如学术界和中小企业）在开源加速器方面的创新。

4. 创新潜力可以通过资助研发开源标准化接口及其相应的硬件实现、以及片上系统和计算系统的可扩展和可重用技术模板来释放。

5. 应解决创新加速器的软件支持挑战。这需要为新的或改进的、以一个或多个计算模型为目标的通用加速器集成软件栈提供研发资金，还需要支持特定领域软件框架（如机器学习或图像处理）的新加速器开发。

6. 应利用欧洲实作中心（EUROPRACTICE）现有的设计共享和商业化机制，促进合作者之间 IP 模块的交换，以及学术界内全部或部分 IP 商业化。

7. 应为学术界或工业界提供资金，促进以开源方式开发或许可所需制品（如：IP 模块、接口和模板），然后以类似

EUROPRACTICE 代工服务的“一站式购物”方式向用户提供开源制品服务，并为这些制品的使用者提供培训和支持。

8. 对于通用和特定领域的加速器软件栈，需要采用更加分散的方法。应向学术界和工业界提供资金，以开源方式创建或提供所需制品，然后通过现有渠道（如 Github、本地存储库）进行传播。这些开源制品可能包括文档、培训材料和特定领域加速器框架的后端执行示例等。此外，资助项目也需要为使用者提供培训和支持。

9. 为加速器和特定领域架构创新创建开源硬件/软件生态系统需要资助计划，以确保在最初广泛的实验阶段后，未来的资金将用于经实践证明最有益的技术，如以实际用户采用来衡量。

（二）路线图的优先发展方向

报告制定九大需要优先发展的关键方向，包括（1）RISC-V 处理器的代码仓库；（2）特定领域处理器架构的开源硬件；（3）开源硬件外围模块的代码仓库；（4）逻辑单元的开源实时互连；（5）系统集成互联；（6）特定领域加速器的软硬件框架；（7）工业级软件和工具；（8）方法论和 EDA 工具；（9）特定领域的示范应用，并确定了短期（2-5 年）、中期（5-10 年）和长期（10 年以上）发展目标的详细技术清单。

二、保障欧洲开源硬件、软件和 RISC-V 技术主权的发展建议

（一）具体建议

1. 发展开源软件

（1）资助开发：开源或易访问的低成本或无成本基本构架块（如：RISC-V 处理器、加速器、外围设备、数据管理 IP、调试等芯片 IP）；SoC/小芯片/中介层/PCB 技术模板；异构 SoC 操作的软件框架，以减少新硬件设计成本的。

(2) 构建块应具有所有视图、软件支持以及测试和文档，以便可以轻松组合和使用。

(3) 免费或以最少的使用费和管理费提供构建块服务，如将它们集成到 OpenHW 或 EURO PRACTICE 等服务组织中，提供“一站式商店”服务。

(4) 确保这些构建块在开源许可下分发，允许所有利益相关者（半导体行业、设备制造商、中小企业、学院/研究等）使用。

2. 建立社区支持

(1) 为中小企业和初创企业提供一站式服务，提供长期、全面支持（如：许可证、产品化方面的建议）。

(2) 鼓励使用标准规范和标准化工作解决技术差距。

3. 构建“小芯片+中介层”的欧洲生态系统

(1) 鼓励通过开源开发构建“小芯片+中介层”生态系统。“Die to Die”通信是小芯片设计生态系统的缺失环节，开源开发将有助于广泛采用并可能导致一个“事实”标准。

(2) 开发 SoC 基础设施模板，包括 IP 间的通信、存储器和外部世界的接口，并有工具支持轻松集成新的小芯片；开发验证套件允许集成各种开源或非开源 IP 快速设计完整 SoC，并开发“最佳实践”使中小企业、初创企业和行业能够向“小芯片+中介层”迈进。

4. 工具、验证、方法和示范

(1) 专有 EDA 工具将使工业级开源设计 IP 的开发受益匪浅，EDA 工具的授权应在适当条件下提供，而非让商业终端用户支付高昂费用，同时允许所设计 IP 的宽松授权。

(2) 为创建开源 EDA 生态系统提供资金。参照典型 ASIC EDA 流程（逻辑综合、布局、布线），用开源工具逐步替换一个或多个闭源步骤。同时，为实现开源和闭源工具的互操作，需要步骤间的开放接口（如 APIs，数据格式）。

(3) 应支持开发可重复使用的验证基础设施（如：带有测试框架的 IP 模块）。

(4) 应支持使用开源 IPs（RISC-V 硬件、加速器和 SoC IPs）的工业演示，来验证整个技术链。演示的开源硬件和软件应在适当的许可下提供。

5. 重点关注欧洲在安全解决方案方面的需求

(1) 应支持安全关键开源硬件的开发方法研究，尤其是开源社区中的协作、文档、验证和认证。

(2) 建立可重复使用的安全验证基础设施（如：带有测试框架的 IP 模块）。

(3) 支持 RISC-V 硬件的工业示范，特别是在安全领域，以促进硬件/软件协同安全认证。

（二）长期建议

为实现欧洲在开源领域的集群效应和生态系统的长期目标，需要：

1. 建立非营利组织来协调欧洲开源硬件 IP 提供商

(1) 建立一个中立的非营利组织来协调欧洲开源硬件 IP 提供商。该组织的目标是：开发一个合规标准，以证明开源硬件解决方案的互操作性和工业成熟度；协调市场特定要求（例如，汽车或工业自动化领域的安全性）；由欧盟资助，但对欧盟以外的公司开放，以避免出现封闭的开源硬件 IP 集群。

(2) 在学术界和工业界之间建立 IP 交换系统。鼓励 EDA 供应商、设计和 IP 公司以及 IC 代工厂开创新的商业模式。

2. 实施教育措施

(1) 以有效的方式向公众和行业宣传开源硬件的优势和意义。需要开发适当的教学材料和宣传活动，尤其是，解释开源硬件对欧

盟经济的积极影响、以及在保障数字主权方面的战略重要性。

(2) 向欧盟公共机构提供激励，包括大学和研究实验室，以促进研究人员为开源硬件开发做出更多贡献，同时在其职业发展中得到适当认可。开放硬件应该成为公共资助机构所有硬件开发的默认范式。

(执笔：沈湘 王丽)

产业洞察

美国智库分析中美两国 6G 战略路径

2022 年 8 月 18 日，英国智库国际战略研究所（IISS）发布《6G 战略环境¹：中国和美国的途径》报告，回顾了中国和美国的无线通信是如何发展到目前的地位，考察了中美两国和第三方伙伴之间的学术合作与知识网络、政府界和产业界在两国 6G 发展中发挥的作用、以及在标准制定方面的影响力等，分析了无线通信创新与地缘政治的关系，评估了 6G 对中美国防安全的影响。

作为一项关键新兴技术，6G 无线通信已经成为国际战略必争领域，尤其是在中美之间，对国家安全和经济可能产生重大影响。中美都已将 6G 列入技术开发优先事项中，探索其军事应用潜力。美国并没有像中国那样优先发展下一代通信，尤其在 5G 基础设施和服务部署方面，但美国在创新生态系统方面仍具优势。随着中美地缘政治分歧加剧，6G 的国际竞争将日益激烈，同时随着越来越多的国家

¹ https://mp.weixin.qq.com/s/X0gPXF3IcwWnykO6OL_5FA

建立下一代通信基础设施，国际技术生态系统和全球技术力量平衡将受到影响。

一、无线通信行业的发展

随着互联网的普及和发展，全球通信技术生态系统的组成部分和参与者的范围进一步多样化。目前，无线通信建立在一个由技术和参与者组成的庞大网络基础上，呈现全球分布和极度复杂性。“伞式”组织 3GPP（第三代合作伙伴计划）体现了无线通信技术生态的多国特征。目前，6G 的开发处于竞争前的阶段，鉴于该阶段相关研发活动的资本密集型和技术复杂性，许多参与者已经在 6G 背后的各种技术方面进入了研发合作。竞争前阶段的公开合作具有促进 6G 研发和吸引各国政府资金的双重作用。在 3GPP 会议上，韩国、日本、美国、欧洲、中国等委派通信技术领域的领先企业作为代表出席。相比之下，6G Hexa-X 完全是欧洲的倡议，IOWNGF（创新光学无线网络全球论坛）和 Next G Alliance 等似乎都将致力于 6G 技术研发的中国公司排除在外。其中，华为在美国的分公司 Futurewei Technologies 是 Next G Alliance 的成员，这是个例外。随着各国争夺这一战略技术领域优势，这些技术联盟之间也出现了微弱的地缘政治竞争。

（一）美国的 5G 和 6G 发展之路

尽管美国在 ICT 的很多领域仍是世界领先者，但在通信网络设备方面却不是这样。特朗普政府时期并未延续奥巴马政府时期的电信政策，导致其缺乏连贯性，这反映了美国政府机构、立法者、产业界在基本管理问题和政策优先事项上存在分歧，尤其涉及到国家安全。拜登政府维持并扩大了特朗普政府的对华压制行动，同时采取行动加强与盟友及合作伙伴关系，以减少中国数字基础设施在全球的影响力。美国通信设备的缺乏阻碍了其在境外压制中国供应商

的努力，因此，特朗普政府和立法者开始促进开放无线接入网络（ORAN）发展，以替代华为和中兴、甚至诺基亚或爱立信所提供的集成设备。美国在相关技术方面仍然处于领先地位，尤其是在软件和处理器设计方面，ORAN 生态系统可能会给美国公司带来优势。

（二）中国的 5G 和 6G 发展之路

中国通信行业的发展离不开政府政策的支持，例如，20 世纪 90 年代末，中国信息产业部要求中国电信运营商购买国产设备；同时期，中国加入世贸组织，迫于美国的压力允许 2G 码分多址标准进入市场，之后中国政府大力支持中国企业参与通信领域的国际标准制定，华为在中国政府的支持下崭露头角，拥有的 4G、5G 专利迅速增加。近年来，中国政府持续支持未来通信领域的发展，这在“中国制造 2025”、“十三五”规划、《“十四五”信息通信行业发展规划》中均有体现。中国在半导体等核心技术方面暴露出的弱点以及 5G、6G 等技术的进步持续受到影响引发了一些负面情绪，但中国仍有一些声音认为未来两年是中国 5G 商业化应用的关键期，5G 的成功商业化将为 6G 发展奠定基础。

二、无线通信行业的创新生态系统

（一）学术合作与知识网络

美国的几个大学研究中心在 5G 和 6G 技术研发方面处于前沿，与产业界有紧密的合作与交流。美国政府最近与日本、韩国、英国等盟国建立 6G 发展伙伴关系。美国与日本、韩国的合作包括基于 ORAN 的 5G、6G 网络等，试图通过供应商多样化来削弱中国主导的通信设备市场。

中国政府有明确的机制来引导和推动技术发展，包括国家层面的政策。对于产业界，中国通过“伞式”协会（例如，IMT-2020

(5G) 推进组) 把政府、行业界和学术界等利益相关者聚集在一起。2019 年 6 月, 中国成立 IMT-2030 (6G) 推进组, 2021 年发布《6G 总体愿景与潜在关键技术》。

尽管迫使中美之间技术“脱钩”的政治压力越来越大, 中美两国仍在 6G 方面进行重要的研究合作。

(二) 政府发挥的作用

美国政府近年致力于基于 ORAN 的 5G、6G 技术发展以及改善频谱管理, 截至 2022 年 5 月, 美国政府和国会正在审查是否应该改变管理电磁频谱分配的方式, 同时, 产业界和智库警告称在这个问题上不采取行动将损害美国在 5G 和 6G 领域的竞争力。自特朗普政府以来, 美国一直延续在通信网络及其基础技术方面对中国采取日益敌对的立场。拜登政府维持并加强了特朗普政府针对中国个别数字技术公司的出口管制措施。然而, 拜登政府并未效仿特朗普政府在美国境外发起高调运动, 反对中国企业参与其它国家推出的 5G 基础设施建设。此外, 美国国会通过《基础设施法案》授权 650 亿美元用于宽带和 5G 连接, 美国国家科学基金会 (NSF) 为广泛的 6G 研究提供资助, 美国国防高级研究计划局 (DARPA) 等为 5G 的军事应用提供资助。

中国政府明确持续支持 6G 发展, 早在 2018 年就启动了 6G 的前期研究, 2021 年《“十四五”信息通信行业发展规划》提出开展 6G 基础理论及关键技术研发。近年, 中国启动了一系列关于 6G 的项目, 涉及高效传输, 天地一体化信息网络, 通信、传感和计算的融合, 超低延迟和超可靠大规模无线传输技术, 人工智能驱动的网络、安全和隐私技术, 超低能耗移动通信。中国重视国内技术开发, 同时欢迎与外国开展 STEM (科学、技术、工程、数学) 合作, 凸显了中国将继续推行双轨技术开发政策, 例如, 华为在加拿大建立了与

6G 网络相关的研发中心、中国信息通信研究院与韩国科学和信息通信技术部合作开发 6G 核心技术、中国积极要求国外产业界专家参与 6G 讨论。

（三）产业发挥的作用

美国企业在 ORAN 架构及相关技术（如网络虚拟化）的开发方面处于有利地位。英特尔在通信领域软件方面的领导地位将与其重塑尖端半导体制造方面的努力（如果后者成功）形成协同效应，为美国在下一代通信领域获得更广泛的领导地位奠定基础。美国产业界在天基商业通信方面的领导地位可以提升美国 6G 的国际竞争力，例如 SpaceX 星链星座提供的互联网服务。

中国企业在 6G 领域也十分活跃，中国三大电信运营商、中兴、华为等企业已经开始探索各自的 6G 愿景，例如，华为 2021 年发布《6G 白皮书》，中国联通 2019 年牵头成立联合研究中心专注毫米波和太赫兹通信等。中国国家知识产权局研究发现，中国拥有全球最多的 6G 相关技术专利申请，其中大学和科研机构是 6G 技术创新的主要贡献者。中国公私合作在 6G 研发方面取得重大原创成果，2022 年 1 月，紫金山实验室联合东南大学、鹏城实验室、复旦大学和中国移动等，在国家重点研发计划 6G 专项等的支持下搭建的首个 360~430GHz 太赫兹 100/200Gbps 实时无线传输通信实验系统，能满足全息及“元宇宙”通信等新型应用需求。

（四）标准制定方面的影响力

历史上，美国工业和技术标准的制定一直是分散的，政府的参与有限。目前，美国技术标准化领域的一个重要角色是美国国家标准技术研究院（NIST）。随着中美在战略新兴技术领域的竞争日益激烈，美国政府将更大程度地参与技术标准制定。

中国积极参与国际标准制定并制定了与国际同行同水平的行业标准，而中国国内标准制定体系正在经历改革，以激发市场潜力。近年，中国政策提倡提升标准化对外开放水平，2021年10月，中共中央、国务院印发了《国家标准化发展纲要》，强调了标准对经济发展和供应链安全的重要性，明确提出提高中国标准与国际标准的一致性程度。

三、无线通信创新与地缘政治的关系

6G 地缘政治的关键在于：(1) 6G 技术是否会沿着与 5G 相同的标准化和技术路径发展，(2) 6G 技术差异是否会使美国和中国更容易为下一代无线通信建立不同的基础，避免相互依赖。

当前的全球无线通信标准框架挫败了排除特定参与者的企图，此外，将中国企业排除在标准化进程之外可能不会促进美国达成 6G 政策目标。鉴于未来无线通信网络供应链的全球化特性，美国与中国脱钩也将面临障碍。

美国一直在建立政治框架与盟国和合作伙伴协作发展 6G 和其他新兴技术，以与中国竞争，例如美国正在寻求与日本、韩国、中国台湾在半导体方面的合作，与欧盟建立贸易和技术理事会等。然而这些政治努力是否能够跟上全球化技术发展的步伐、克服与美国结盟的经济体间存在的利益冲突尚不清楚。

中国仍然容易受到美国技术封锁的影响，尤其在美国与其他发达经济体协作的情况下。中国在先进半导体制造方面存在的技术差距将损害中国企业在无线通信领域的国际竞争力。

中美产业界的主张普遍与脱钩政策相冲突，私营部门可以利用技术政治，而不必提供政策制定者所期望的结果。许多跨国公司根据不同司法管辖区的政治监管要求建立不同国家市场的技术栈，来应对政治压力。总之，中美之间的技术脱钩不太可能出现混乱局面，

但政治因素将限制技术栈和供应链的持续利益，同时增加其中的风险。

四、6G 对中美国防安全的影响

中美两国都将新兴和颠覆性技术视为民用与国防技术优势竞争的关键领域。到目前为止，对于 6G 技术的进步及其应用将如何在两国的军事能力中得到实施，还没有一个明确的图景。但是，两国都可能基于类似 5G 的下一代信息和通信技术的进步促进国防技术发展。

（执笔：于杰平、王丽）

美国智库建议构建美欧长期技术联盟战略

2022 年 8 月 30 日，美国智库新美国安全中心发布《照亮道路:制定跨大西洋技术战略》报告¹。报告指出，世界主要大国正在进行前所未有的技术竞争，这场技术竞争如何展开将影响几十年来形成的全球经济、政治和军事平衡，世界科技领先国之间的合作对于实现利益最大化至关重要，其中最重要的因素可能是构建长期的跨大西洋伙伴关系以应对挑战，美国和欧洲必须参与竞争以求得共赢。报告认为，跨大西洋合作伙伴必须在可能的情况下调整方针并管理合作关系中的分歧，还提出了促进和保护跨大西洋合作伙伴的议程，最后针对人工智能、生物技术、清洁能源技术、信息和通信技术与服务、量子信息科学与技术、半导体和标准制定七个关键技术领域提出了合作建议，以确保美国和欧盟的经济安全和长期技术竞争力。

一、处理跨大西洋关系中的分歧

为了更好地在技术政策上进行合作，美国和欧洲必须努力处理双方关系中的分歧，为合作议程铺平道路。其中一个深刻分歧集中在数据治理和隐私方面，欧洲制定的数据治理和隐私法律和政策远

¹ <https://mp.weixin.qq.com/s/mUrquGQPhiEUfz0MvDgegQ>

远领先于美国。美国在数据保护和隐私问题上缺乏全球影响力，法律的参差不齐可能难以缓解相关的国家安全风险。

为了确保数据驱动的经济增长和技术竞争，美国国会应制定国家数据保护和隐私法。

为给加强数据治理、竞争和反垄断政策方面的合作铺平道路，美国和欧洲应：关注隐私增强技术；采用经济合作与发展组织（OECD）关于政府获取数据的共同原则以协调跨大西洋政策；成立跨大西洋竞争政策小组；让创业投资者参与竞争对话。

二、制定合作共识议程

人才、研发和共同目标应该成为跨大西洋技术战略的基础。为了建立合作创新基础，美国和欧洲应：优先考虑人才，投资于联合研发，确定具有共同战略利益的技术以指导合作。

三、制定合作保护议程

在推进共识议程的同时，美国和欧洲必须加强保护工具。为了加强跨大西洋协调，美国和欧洲应：协调出口管制和投资筛选流程，在监测和执行方面进行合作，明智地与各国建立特设联盟以对瓶颈技术实施出口管制，启动关于对外投资控制的跨大西洋对话，推进新的多边出口管制制度。

四、七大关键技术领域的合作建议

跨大西洋合作伙伴必须在关键技术方面领先，包括人工智能、生物技术、清洁能源技术、信息和通信技术与服务、量子信息科学与技术、半导体和标准制定。为了增强这些领域优势，美国和欧洲应采取以下措施。

1. 在人工智能（AI）领域：开发联合监管沙盒，以测试产品、技术和商业模式；确保欧盟 AI 法案的基础标准和美国国家标准与技术研究院（NIST）AI 风险管理框架的兼容性，以促进统一的 AI 风

险管理方法标准；制定一项 AI 联合研究计划，为标准制定活动提供信息；将技术标准和创新议程相结合，以探索和促进可信赖 AI。

2. 在生物技术领域：投资于预测和降低风险的系统和流程，以应对不断变化的风险；合作改革生物技术领域的监管制度，有效权衡监管和创新间的利弊；就管理生物安全风险建立持续的美欧对话机制，以评估持续存在的生物安全风险，并促进国家的经济或安全能力（如疫苗技术发展）；合作制定整个生物技术领域的规范和标准，特别是敏感数据领域，重点关注技术能力以及某些生物技术产品的潜在应用和影响。

3. 在清洁能源技术领域：共享因原材料依赖而导致的风险，确保基本资源安全；制定共同方法以应对竞争对手国家的不公平工业补贴，以维护全球创新生态系统；就减少对外国清洁能源技术供应商依赖开展战略合作，例如，美欧应提升国内稀土矿产加工能力，并合作研究储能技术；分享清洁能源创新融资的最佳实践，以支持将新的清洁能源技术推向市场。

4. 在信息和通信技术及服务领域：激励开放无线接入网（O-RAN）的开发和部署，同时联合日本、韩国和印度等国家，向开放网络架构过渡；协调 O-RAN 风险评估，制定降低风险的建议以激励 O-RAN 部署；制定跨大西洋 6G 战略，在频谱管理、安全和标准制定等问题上进行协调，并广泛联合包括澳大利亚、加拿大、印度、日本、韩国和英国等其他关键国家；开展数据中心能效提升研究，评估数据中心碳足迹并推荐提高能效的措施。

5. 在量子信息科学与技术（QIST）领域：合作研究 QIST 领域的安全最佳实践，寻求开放合作与敏感保护之间的最佳平衡；加强跨大西洋能力和协作，以评估 QIST 发展和趋势，特别是在可能涉及量子技术军事应用的领域；识别 QIST 供应链中的潜在瓶颈和漏洞，特别注意对中国等竞争对手的过度依赖；建立新的和持续的双边和

多边伙伴关系，以促进 QIST 在基础科学研究、联合研发以及互操作性等方面的合作。

6. 在半导体领域：协调经济和安全政策，继续评估对先进制造设备等使能技术出口的进一步限制；反对来自竞争国家的不公平工业半导体补贴，同时考虑在美欧国内实施有效的补救措施；就各自的半导体发展和战略保持密切协调和信息交流，以分享与跨大西洋芯片供应相关的市场趋势信息；避免补贴军备竞赛，以减少世界贸易组织（WTO）的诉讼风险；建立补贴壁垒，对接受补贴的公司施加义务，如限制在华投资。

7. 在标准制定领域：利用美欧贸易和技术委员会（TTC），来协调和共同推进标准；改革标准制定机构，以加强诚信；鼓励公司参加标准开发会议以参与标准制定活动，并提供研发税收抵免、资金资助等激励措施；全面谋划领导力竞赛，推举友好国家代表担任国际标准组织的重要职务；通过扩大和培训从事标准制定活动的劳动力来增强标准专业知识；任命标准协调员，以集中处理标准制定相关问题并简化跨大西洋合作。

（执笔：沈湘 王丽）

前沿研究

美中研究人员提出可逆的激光辅助氯化过程可用于在石墨烯单层中产生高掺杂浓度

近年来，电子和化学工程师设计了不同的化学掺杂技术，以控制不同材料样品中电荷载流子的负荷和浓度。化学掺杂方法基本上需要将杂质引入材料或物质中以改变其电性能。

美国加州大学伯克利分校、北京理工大学、深圳大学和清华大学最近推出了一种基于激光辅助氯化的可调控和可逆方法来化学掺杂石墨烯¹⁻²。

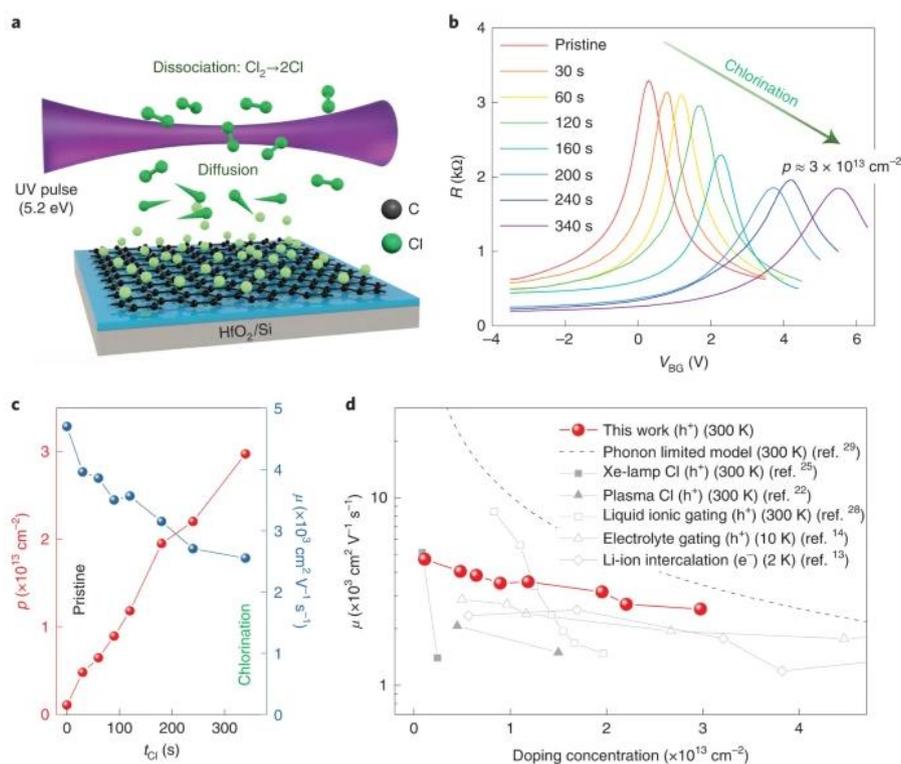


图 1 激光辅助氯气表面功能化的原理图和高掺杂浓度和高迁移率的演示

¹ <https://techxplore.com/news/2022-09-laser-based-chlorination-high-doping-patterns.html> ; <http://kjqb.las.ac.cn/recommend/recommendInfo.htm?serverId=14&id=113908&redirect=by>

² Yoonsoo Rho, Kyunghoon Lee, Letian Wang, et al. A laser-assisted chlorination process for reversible writing of doping patterns in graphene [J]. Nature Electronics, 2022, 5:505–510.

基于取代掺杂或表面功能化的传统方法会由于结构无序而导致电迁移率的降低，最大掺杂密度由掺杂剂的溶解度极限设定。研究人员展示了可逆的激光辅助氯化过程，可用于在石墨烯单层中，产生高掺杂浓度（高于 $3 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ ），且迁移率下降最小。

为了实现该方法，研究人员使用了波长为 $\lambda = 213 \text{nm}$ (5.8eV) 的紫外 (UV) 纳秒激光束，在流动的氯气 (Cl_2) 下，平行于样品表面对准该光束。聚焦的紫外脉冲激光可以光化学解离 Cl_2 分子，产生在石墨烯样品中扩散的氯自由基。在将方法应用于石墨烯样品后，研究人员收集了测量数据，以确定其对电荷载流子密度和迁移率的影响。随后，研究人员使用光热工艺去除氯掺杂剂。该工艺采用波长为 ($\lambda = 532 \text{nm}$ (2.3eV)) 的连续波 (CW) 绿光激光器，在法线方向上施加，焦距为 $2 \mu\text{m}$ ($1/e^2$)。

也就是说，该方法使用了两个具有不同光子能量和几何配置的激光器，设计用于氯化 and 随后的氯去除，允许写入和擦除高掺杂图案，而不会损坏石墨烯。

为了评估该可逆掺杂方法，该团队基于石墨烯基光电探测器创建了可重写的光活性结。研究发现，该激光辅助氯化方法导致了可饱和的超高掺杂浓度，使载流子的迁移率下降最小。此外，当移除 Cl 掺杂剂时，掺杂图案被完全擦除，而不会对石墨烯造成任何结构损伤。

未来，该研究团队引入的激光辅助方法可以用于在 2D 范德瓦尔斯材料中引入不同的掺杂元素。这又能够可逆地引入用于光电子器件的有价值的电子功能。

(执笔：沈湘)

美国研究人员实验证明立方砷化硼具有高热导率和双极迁移率

微电子和光电子器件的性能得益于同时具有高电子和空穴迁移率以及高热导率的半导体，然而迄今尚未发现此类迁移率和热导率俱佳的材料。美国麻省理工学院机械工程系陈刚教授领导的团队于2018年预测，立方砷化硼（c-BAs）对电子和空穴都有非常高的迁移率。尽管理论预测很有前景，但实验测量并没有发现 c-BAs 的高迁移性。

近期，来自美国麻省理工学院、休斯顿大学和其他机构的研究团队的最新实验研究证明，c-BAs 材料克服了硅作为半导体的两个限制，能够为电子和空穴提供很高的迁移率，并且具备良好的导热性能¹⁻²。

研究人员使用光学瞬态光栅技术，在 c-BAs 样品的相同位置但存在空间变化，室温下实验测量了 $1200\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ 的热导率和 $1600\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 的双极迁移率。从头计算法表明，降低电离和中性杂质浓度分别是实现高迁移率和高热传导率的关键。高双极迁移率加上超高导热率，使 c-BAs 成为下一代电子产品的潜在候选产品，用于整合当前和未来的半导体制造工艺，并应对下一代电子产品热管理方面的巨大挑战。

¹ <http://kjqb.las.ac.cn/recommend/recommendInfo.htm?serverId=14&id=113489&redirect=by>

² Jungwoo Shin, Geethal Amila Gamage, Zhiwei Ding, et al. High ambipolar mobility in cubic boron arsenide [J]. Science, 2022, 377(6604):437-440.

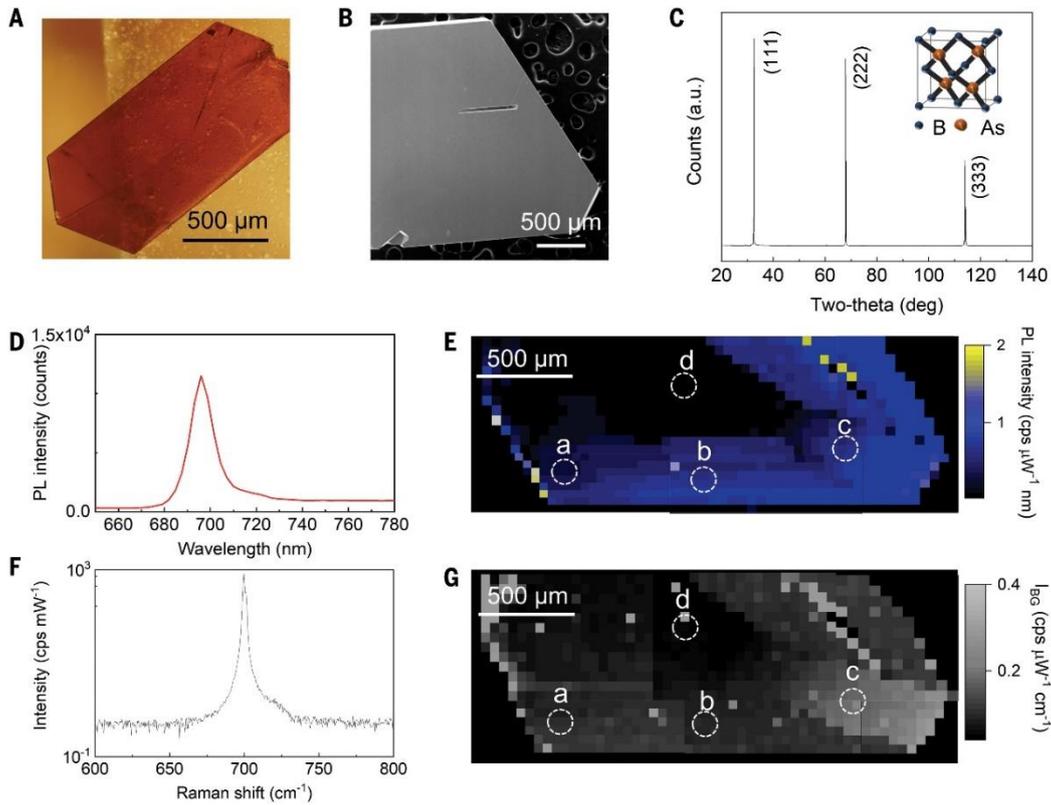


图 1 立方砷化硼（c-BAs）单晶的光学表征

研究人员表示，c-BAs可能是迄今为止业界已发现的各项性能最好的半导体材料。当然，c-BAs作为一种最新发现的材料，它的长期稳定性等其他性能还有待进一步测试。据悉，到目前为止，c-BAs只在实验室规模进行了制造和测试，这些产品并不均匀，还需要更多的工作来确定能否以实用并经济的形式制造c-BAs。

（执笔：沈湘）

丹麦技术大学研究人员开发出一种基于芯片的光束转向技术

芯片级光学相控阵（OPA）为固态光探测和测距系统开辟了一条有希望的道路，该系统具有广泛的应用，例如自动飞行器、全息照相、增强和虚拟现实、生物成像和自由空间光通信。具有大视场（FOV）和高光束质量的无混叠2D光束转向技术对OPA至关重要。

然而，由于不需要的栅瓣和旁瓣，目前的 OPA 在 FOV 和光束质量方面仍然有限。

近期，丹麦技术大学的研究人员开发了一种基于芯片的光束转向装置，在整个 180° 视场上同时实现无混叠光束转向和具有低旁瓣水平的高质量光束，能够帮助减少高性能激光雷达的尺寸和成本¹。研究人员演示了一种 OPA，用平板光栅代替了传统 OPA 的多个发射器，形成单一发射源的新型 OPA。这种设计能够在不牺牲光束质量的情况下获得广泛的视野，从而实现了小型、高性价比和高性能的激光雷达系统。

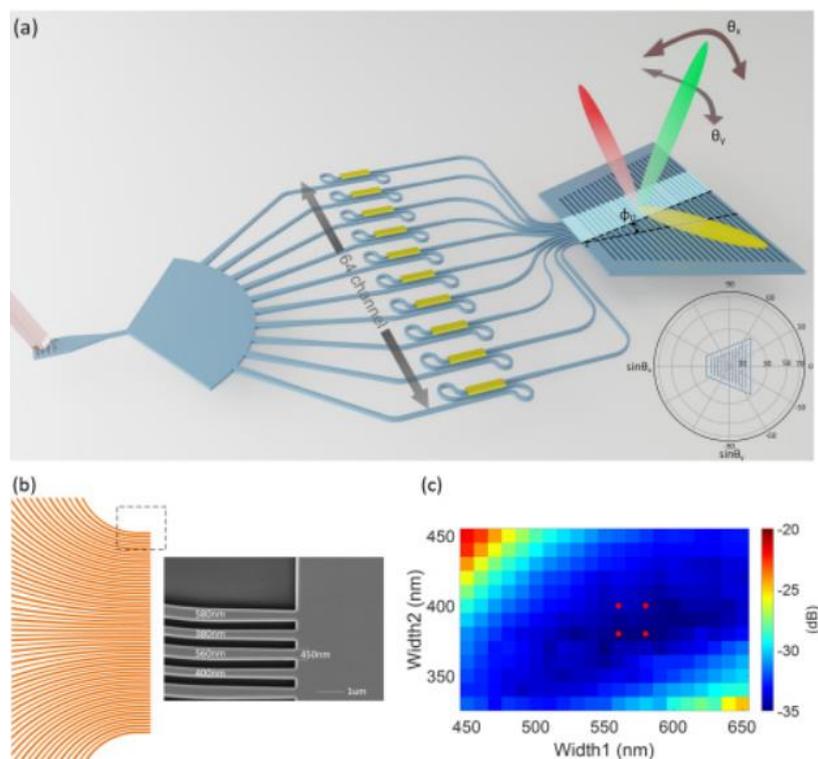


图 1 基于芯片的光学相控阵 (OPA)

该 OPA 是使用硅光子工艺在绝缘体上的硅晶片上制造的，该工艺与 CMOS 兼容，可以进行低成本大规模生产。

(执笔：沈湘)

¹ Yong Liu and Hao Hu. Silicon optical phased array with a 180-degree field of view for 2D optical beam steering [J]. Optica, 2022, 9(8):903-907.

产业动态

美国 NIST 将与谷歌合作研发芯片以用于新纳米技术和半导体设备

据美国国家标准与技术研究院（NIST）2022年9月13日报道¹，NIST 与谷歌公司（Google）签署了一项合作研发协议，将为研究人员开发和生产可用于新的纳米技术和半导体设备的芯片²。

这些芯片将由 SkyWater Technology 公司在其明尼苏达州布卢明顿的半导体代工厂制造。Google 将支付建立生产的初始成本，并为首次生产提供补贴。NIST 将与大学研究合作伙伴一起设计芯片的电路。电路设计将是开源的，允许学术机构和小型企业的研究人员可以不受限制的使用这些芯片。

设计和制造半导体的大公司通常可随时获得这些类型的芯片，但成本高达数十万美元，为大学和小型科技企业的创新带来了重大障碍，通过本次合作将大幅降低这些研究人员的芯片使用成本。NIST 与 Google 的合作将提供一个具有专门结构的底层芯片，可用于测量和测试置于其上的组件的性能，包括新型存储设备、纳米传感器、生物电子学以及人工智能和量子计算所需的先进设备。NIST 预计本次将设计并提供超过 40 种针对不同应用优化的不同类型芯片。

（执笔：沈湘）

¹ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2022/09/nist-and-google-create-new-supply-chips-researchers-and-tech-startups>

² <http://kjqb.las.ac.cn/recommend/recommendInfo.htm?serverId=14&id=114274&redirect=by>

欧洲 PATTERN 项目研发性能超过 100GHz 的光子技术用于量子 and 卫星应用

据 Enewseurope 网 9 月 19 日报道¹，欧盟近期资助的 PATTERN 项目，计划为频率超过 100 GHz 的微波光子学设计世界上第一个工艺设计工具包（PDK）和组装设计工具包（ADK），为 III-V 材料（如 InP 和硅锗（SiGe））的异质集成以及基于绝缘体铌酸锂薄膜（LNOI）电光和非线性平台的 BiCMOS 驱动器设计新方法²。

它还将开发光子集成电路的新功能，如声光调制（AOM）和光学隔离能力，这些功能将通过开放晶圆代工厂提供。

这项为期四年的项目称为使用先进混合集成技术的光子集成电路（Photonic integrATed circuiTs using advancEd hybRid iNtegration, PATTERN），将开发几个演示案例，包括量子、卫星自由空间通信和基于超稳定光学的射频源。

研究团队包括比利时的 Thales 公司、Luceda Photonics 公司，荷兰的 PHIX 公司，瑞士的电子与微技术中心（CSEM）和英国的伦敦大学学院，以及德国的弗劳恩霍夫·海因里希·赫兹研究所和微波光子研究所，比利时的 imec 心和法国的 CNRS、L-UP。

InP 和 LNOI 平台的集成将使用对接耦合、倒装芯片键合和微转移印刷等方法，以及钇铁石榴石（YIG）等新材料，为光子集成电路增加磁光功能。

项目还将研究目前是该领域主要瓶颈之一的高频封装技术，并开发设计自动化（如射频信号路由）和端到端电路模拟与设计的软件专业知识，这在超高频领域极具挑战性。

（执笔：沈湘）

¹ <https://www.eneurope.com/en/heterogeneous-photonics-project-drives-over-100ghz/>

² <http://kjqb.las.ac.cn/recommend/recommendInfo.htm?serverId=14&id=114425&redirect=by>

英国创新局资助 Wave Photonics 公司研发量子光子 集成电路封装工艺

据 Eeewseurope 网 9 月 20 日报道¹，英国初创公司 Wave Photonics Ltd 正在领导一个团队项目，以开发量子光子集成电路（QPIC）的封装。

Wave Photonics 成立于 2021 年，正在使用计算技术加速集成光子学设计。该项目由英国国家创新机构 Innovate UK 资助。

该项目被称为 QPICPAC，其目的是开发模板、设计指南和包装流程，以最大限度的减少所需的定制工作量，实现量子光子集成电路的快速、经济、高效地封装。合作伙伴包括：布里斯托尔大学、南安普顿大学、Alter Technology、Senko Advanced Components。

2021 年，Alter Technology 在苏格兰格拉斯哥成立了一个光子设计中心，以加速光子产品进入量子 and 空间市场的商业化。开发基于 QPIC 的量子随机数发生器的英国创业公司 Quantum Dice 将作为该项目的试用客户。

（执笔：沈湘）

¹ <https://www.eeewseurope.com/en/quantum-photonics-project-aims-to-standardize-packaging/>

《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

