

集微技术信息简报

2022 年第 **3** 期 (总第 48 期)

中国科学院文献情报中心

2022 年 5 月制

本期目录

政策计划

美国智库发布《保护关键环节——降低美国半导体制造设备公司离岸风险》报告.....	1
美国 SIA 就建设国家半导体技术中心提出建议	3
俄罗斯制定 3.19 万亿卢布的新半导体计划发展电子产品	9
美国智库发布《数字盟友：深化美韩科技创新合作》报告	10
美国国防部研发预算创历史新高	13
荷兰将投资 11 亿欧元研发硅光子芯片技术.....	14
韩国科学和信息通信技术部建议设立国家半导体研究院	15

前沿研究

新加坡和中国研究团队利用范德华力成功集成高 K 钙钛矿氧化物和 2D 半导体制造新型晶体管.....	16
英特尔与欧洲科研机构合作在 300mm 晶圆上制造硅量子比特	18
中美研究团队首次报道由集成微腔光梳驱动的新型硅基光电子片上集成系统.....	20
美国研究团队开发出铜的共形涂层散热器实现电力密集型电子设备的高效冷却.....	21

产业动态

英特尔、美光和亚德诺半导体宣布加入 MITRE Engenuity 半导体联盟.....	24
国际半导体财团 ISMC 拟投资 30 亿美元在印度建立首座半导体晶圆制造厂	25
Synopsys 和 Juniper 成立新公司提供开放硅光电子平台生产片上激光	26
台积电启动 1.4 纳米芯片制造工艺开发	27

政策计划

美国智库发布《保护关键环节——降低美国半导体制造设备公司离岸风险》报告

2022年5月，美国安全和新兴技术中心（CSET）发布报告《保护关键环节——降低美国半导体制造设备公司离岸风险》¹，探讨了美国半导体制造设备公司将其生产转移到其他国家的程度，以及促使这些公司离岸生产的原因。报告认为加大对半导体制造设备公司的投资以及建立一个新的多边出口管制机制，将有助于维持美国及其盟国对半导体供应链中最重要环节的控制，同时减缓或逆转离岸生产。

报告认为，对先进半导体制造设备（SME）的出口管制是维持中国对芯片依赖的最重要的手段之一。中国可以生产多种类型的计算机芯片，但在智能手机、超级计算机和人工智能等领域的尖端芯片仍然依赖于美国及其盟国的公司，这使得美国及其盟国可以切断中国尖端芯片供应。先进半导体制造设备的生产由美国、日本和荷兰的少数公司主导，技术非常复杂，中国在开发先进的半导体制造设备方面面临严峻挑战。例如，EUV光刻设备对于制造尖端逻辑芯片来说至关重要，但目前只有荷兰ASML公司一家能够生产该设备。美国及其盟国对半导体制造设备实施出口管制，以防止中国将先进芯片制造能力本土化，从而使中国继续依赖美国及其盟国获得先进芯片。自2019年以来，美国对半导体制造设备的出口管制也阻止了其他国家的芯片制造商向中国华为出售芯片。最近，美国及其盟国实施了类似的手段，限制向俄罗斯和俄罗斯军方销售芯片和各种电

¹ <https://cset.georgetown.edu/publication/preserving-the-chokepoints/>

子设备。

报告认为，如果单边出口管制刺激美国半导体制造设备公司将生产转移到其他国家，会对美国产生不利的长期影响。中国目前是全球最大的半导体制造设备市场，美国近期对其实施单边出口管制，引发一些担忧，担心美国半导体制造设备公司可能会将生产转移到海外，以避免未来的关税或出口管制。半导体制造设备离岸生产不仅会消除对中国制衡，还会使美国更加依赖其他国家获得半导体制造的一些关键能力。

一、主要发现

1. 顶级半导体制造设备公司维持并正在建设/投资境外制造能力。在美国三大半导体制造设备公司中，应用材料公司表示其一半的制造业务在新加坡，KLA 和 Lam Research 都对海外制造设施进行了大量投资。然而，美国、日本和荷兰都继续在境内生产全球大部分出口的半导体制造设备。

2. 美国半导体制造设备公司离岸生产的原因有很多，这些原因早于最近的出口管制。其中包括海外收购、更接近东亚客户、以及获得新的 STEM 人才。然而，半导体制造设备公司正在密切关注美国出口管制政策的发展，特别是外国直接产品规则（FDPR）和类似的域外管制。迄今为止，多数美国半导体制造设备公司受到出口管制的影响有限，但在其年报中将出口管制视为一种风险加以讨论。

二、相关建议

1. 建立一个新的控制半导体制造设备出口的多边机制。多边管制显著降低了离岸生产的风险，但瓦森纳协议（目前是协调半导体制造设备多边出口管制的主要机制），对于这一目的来说过于庞大而且难以操作。鉴于此，美国、日本和其他少数盟国目前正在讨论建立规模较小的多边机制，以对半导体制造设备和其他先进技术实施出口管制。

2. 避免对半导体制造设备进行单边出口管制。传统的单边管制通常不会阻止美国公司从其海外制造基地向中国运送半导体制造设备。像 FDPR 这样的域外控制可以在短期内防止这种情况发生，但从长远来看，这种控制会激励中国设计出美国原产技术。

3. 资助《美国芯片法案》。东亚芯片制造商是半导体制造设备公司的最大客户。历史上，东南亚及其制造业一直是半导体制造设备公司离岸生产的优选之地和动力之源。因此，将芯片制造能力回流美国可能会间接吸引半导体制造设备公司在美国生产更多产品。

4. 通过劳动力投资、高技术移民和直接激励措施促进在岸半导体制造设备的生产。根据 2022 年美国竞争法案的规定，国会应该对某些 STEM 领域的博士免除绿卡上限。国会还应考虑对半导体制造设备公司实行税收抵免政策，正如《促进美国制半导体法案》（FABS）和众议院通过的《重建更好法案》中先进制造业投资信贷（AMIC）所提及的相关政策。

（执笔：王丽）

美国 SIA 就建设国家半导体技术中心提出建议

2022 年 3 月 25 日¹，美国半导体协会（SIA）向商务部²提交评论，以回应与实施《为美国半导体制造创造有益激励法案》相关的信息请求。该法案将为美国本土半导体研究、设计和制造提供所需的投资。众议院和参议院都通过了该法案提议的 520 亿美元资金，现在两院必须就法案内容协调分歧、达成共识，并提交给总统以签署成法律。美国国家半导体技术中心（NSTC）是芯片法案投资的关键环节，旨在推动产业界、学术界、政府间合作，改善研究成果的

¹ <https://www.semiconductors.org/semiconductor-industry-provides-recommendations-to-commerce-department-on-chips-act-implementation/>

² <https://www.federalregister.gov/documents/2022/01/24/2022-01305/incentives-infrastructure-and-research-and-development-needs-to-support-a-strong-domestic>

“死亡谷”，促进研究成果进一步发展和商业化。SIA 就 NSTC 建设提出相关意见或建议，包括职能定位、知识产权管理、项目协调、连接国家半导体研发网络、确定优先资助领域、公私合作模式、资源共享、“研究联盟”经验借鉴、吸引和培养人才、完善美国半导体生态系统、投资基金结构、国际合作等 12 个方面。

一、关于职能定位的建议

SIA 尤其强调了 NSTC 应该为企业 提供获取半导体研发基础设施的途径，以及帮助公共机构和企业的研究人员缓解晶圆投片压力，以实现实验室技术向原型和早期试验过渡。NSTC 应该：

1. 实施有远见的研究议程，在能够满足全栈研究需求的同时最大限度提升投资回报率。具体包括：（1）加强美国本土研发生态系统能力；（2）提前部署探索性研究；（3）建设和强化先进封装、异构集成、掩膜基础设施等新兴领域的能力。

2. 致力于实现半导体行业颠覆性技术的突破。具体包括：（1）鼓励全球行业领导者积极参与 NSTC 研发活动，加强美国创新结构；（2）利用自身优势支持全栈创新，召集公司合作解决复杂的技术问题；（3）聚焦于早期寻路探索（pathfinding）、先进节点研发、先进和主流节点的材料探索、主流节点的架构和工艺创新、以及其他需要大胆投资的领域包括 EUV 设施、先进工艺集成能力等。

3. 充分利用现有资源，同时合理调整资金分配。

4. 由政产学研共同确定中心目标和规划，制定项目或计划资助和评估方案。

5. 解决跨研究阶段和跨研究领域的一系列需求。具体包括：（1）确保探索性研究、研发基础设施、合作开发、劳动力等方面的能力；（2）具备向参与者提供研发代工基础设施的能力；（3）建设先进内存、Fabless 设计、模拟/混合信号技术等方面的专业基础设施。

二、关于知识产权管理的建议

NSTC将与政产学研的研究团体广泛合作，其知识产权管理方法需保障参与成员的基础性贡献，促进合作和创新。

相关建议包括：1. 协作 IP 的产业所有权和灵活的市场准入是 NSTC 知识产权管理的基本原则。2. NSTC 研究产生的 IP 的权属结构应有助于参与公司实施商业化，如允许相关公司保留自身产生的知识产权。3. 通过基于云的访问控制环境为企业提供合作开发的 EDA IP，促进成果共享和交换。4. 通过授予非排他性许可权更广泛和更迅速地促进研究成果商业化。5. 知识产权应该由资助方和参与研究者根据特定研究环境共同设定。

三、关于项目协调的建议

目前美国各类创新实体都有一些微电子学相关研发项目，NSTC 如何协调这些项目与 NSTC 项目连接？相关建议包括：

1. 不同于美国国家科学基金会（NSF）、能源部（DOE）、国防部高级研究计划局（DARPA）等机构，NSTC 应该支持竞争前的研究，即将政产学研的研究中心聚集在一起，评估美国公司可能需要哪些具有商业价值的技术并提供支持，使这些技术成熟。

2. 与现有项目、资源进行协调。具体包括：（1）NSTC 应充分利用国内现有基础设施，通过升级、协调、连接现有基础设施促进设施使用；（2）NSTC 项目申请者需要展示其与现有微电子学项目或 NSTC 资助的其他项目的协调关系。

四、关于连接国家半导体研发网络的意见

NSTC 的主要活动侧重于原型开发和技术开发的早期试验阶段，是国家半导体研发网络中处于实验室阶段技术的最终目的地。美国国家半导体研发网络的任务是探索新材料、设备、架构并通过本土原型开发能力加速技术创新的商业化。二者应该密切合作来完成这些任务。

NSTC、美国制造创新研究所（Manufacturing USA Institute）和

多边半导体安全基金均是美国国家半导体研发网络的重要节点。美国制造创新研究所将在劳动力培训、新能力开发方面成为 NSTC 强有力的合作伙伴，并为其提供新想法和技术。多边半导体安全基金旨在降低将半导体供应链从中国转向盟友区域的风险，与 NSTC 的自有投资基金密切合作将最大限度地发挥联邦和私人投资的技术和地缘战略价值。

五、关于优先资助领域的意见

在确定优先投资领域时，NSTC 应该以整个半导体行业的投入为指导，继续征求利益相关方的意见，同时鼓励其他研发计划的持续投入。《半导体十年计划》可以成为 NSTC 确定优先事项的依据。NSTC 应该审查和选择值得成为优先研究领域的技术目标，并为每个目标分配适当的总资助额度。NSTC 应该保持与行业一致的战略路线图，以确定初始愿景和目标，并进行年度审查，以说明新变化和新需求。

六、关于公私合作模式的建议

NSTC 应该最大限度地让产业界、政府、学术界等各界广泛参与。相关建议包括：

1. 无论 NSTC 采用集中式还是分布式管理结构，都应该遵循一些基本原则：（1）召集产业界、学术界和政府，并在管理方面予以资助；（2）利用美国现有半导体设施，以扩大从实验室到工厂的转移能力；（3）维护美国各地拥有最好的物理和人力资源的核心中心；（4）协调 NSTC 成员的技术议程和路线图；（5）与美国政府项目协作；（6）与志同道合国家的国际设施协作；（7）授权灵活的领导力，不受某个实体控制，能够广泛代表产业界、学术界和政府声音；（8）大学和小型企业可方便获得 NSTC 能力；（9）为原型和试验开发知识产权管理或许可模型；（10）支持整个半导体生态系统的教育和劳动力发展；（11）为广泛的行业参与者提供机会。

2. NSTC 必须确保众多利益相关者参与其领导工作，这些利益相关者包括：（1）研究人员，在技术“从实验室到工厂”转移方面合作；（2）材料和设备供应商，寻求将新技术集成到其用于半导体设计、制造和测试的商业产品中；（3）用户，包括 IP 开发者、无晶圆厂、系统开发者等用户，在评估新技术和驱动新需求方面合作；（4）制造商，将新的半导体技术扩大到商业生产。

3. 其他交易授权（OTA）是 NSTC 公私合作方式的最佳选择，可以使产业界参与最大化，同时使创新紧跟产业步伐。

七、关于资源共享的建议

NSTC 致力于广泛的资源共享，相关建议包括：

1. 通过伙伴关系、基于市场的基础设施以及公开竞赛来解决初创企业等小群体难以访问商业晶圆厂设施的难题。具体包括：（1）将与全国各地的大学、私营企业和财团合作的公有区域中心纳入 NSTC 网络；（2）升级这些中心的研发设施，为小群体提供设施和专业知识；（3）NSTC 的探索性基础设施应该对半导体生态系统中所有符合条件的参与者开放，访问方式可以是项目补贴或用户直接付费。

2. NSTC 应提供开放竞争环境激发各类主体的创新性。例如支持大型公司在自有设施内进行研究和早期原型设计。

八、关于“研究联盟”经验借鉴的意见

超越硅极限的半导体材料如氮化镓的成功、晶体管的缩放、EUV 技术可行性的证明均是“研究联盟”模式成功的具体体现。共同的需求、原则和目标是一些“研究联盟”实现利益和可持续性的基础。公平和开放共享是这些原则的基础，共同的需求是成功的关键，明确的目标关乎实践和政策。唯一需要提前厘清的是知识产权问题。

九、关于吸引和培养人才的建议

NSTC 使命是将技术从实验室转移到工厂，如何发挥其特质吸引

人才到 NSTC 工作？如何为半导体领域培养人才？相关建议包括：

1. 发挥纽带作用，吸引人才。具体包括：（1）为年轻研究人员提供更多的研究机会；（2）NSTC 作为创新技术开发的纽带，可以吸引大学的研究人员；（3）NSTC 作为技术转移的纽带，可以吸引美国国防部、能源部、宇航局等以任务为重点的机构的研究人员；（4）构建灵活的劳动力输送渠道吸引私营企业人才，为派遣人员提供发展机会和灵活的任职期限，同时派遣人员可以相对轻松地返回其原有岗位。

2. 通过促进一系列的计划来扩大美国半导体研发人员的供应。具体包括：（1）投资美国 STEM（科学、技术、工程和数学教育）教育；（2）吸引 STEM 毕业生加入半导体行业；（3）促进灵活就业，如在美外国学生通过短期实习（OPT）过渡留美工作。

3. 与产业、社区学院和职业学校合作，为对半导体制造至关重要的技术人员制定和加强培训课程。

十、关于完善美国半导体生态系统的意见

NSTC 应该提供制造设施、设计工具和 IP、云计算和设计基础设施、顶尖设计和制造技术专家，以帮助企业设计和开发原型。NSTC 的卓越中心应该将重点放到关键的战略技术上。

十一、关于投资基金结构的意见

NSTC 的投资基金应该有助于公私部门初创企业的成长。通过对企业提供原型和试验的早期资金，降低这些公司的融资风险，促进私人投资进入市场意愿不高的领域。

NSTC 应该寻找致力于实现下一代半导体技术突破的组织，可以是为基础研究提供资助的群体，如大学、DARPA、国家实验室、半导体研究公司等，以确定有潜力的初创企业。NSTC 的投资基金最终应该发挥孵化器的作用。

十二、关于国际合作的意见

私营企业与 SRC（美国）、IMEC（比利时）、CEA-Leti（法国）等非学术研究组织或机构进行基础研究合作。其中 SRC 总部设在美国，但它比欧洲和亚洲的非学术研究组织规模小，因此国际合作至关重要。NSTC 应该寻求与这些组织或其他国际组织的合作，探索领域长期解决方案，避免重复研究工作。

（执笔：于杰平 王丽）

俄罗斯制定 3.19 万亿卢布的新半导体计划发展电子产品

据俄罗斯媒体 4 月 15 日报道，俄罗斯工业和贸易部制定了新的半导体计划，该计划作为俄罗斯全新微电子开发计划的初步版本，预计到 2030 年投资 3.19 万亿卢布用于开发本土半导体生产技术、国内芯片设计、数据中心基础设施、本土人才培养及自制芯片产品的市场推广¹。该计划将提交俄罗斯总理审议和正式批准。

半导体制造方面，俄计划拟投资 4200 亿卢布开发新的制造和改进工艺²，短期目标是在 2022 年底前实现本地 90nm 制程芯片制造，长期目标是到 2030 年实现本土 28nm 制程芯片制造。在俄罗斯工贸部组织下，莫斯科电子技术研究所（MIET）获得 6.7 亿卢布资助负责开发基于 X 射线同步技术和(或)等离子源的无掩模光刻技术，有望用于 28nm、16nm 甚至更小的半导体晶圆光刻³。

电子产品方面，俄罗斯计划在 2022 年底前启动新项目以重新设计国外开发的芯片，并将其生产转移到俄罗斯和中国。俄罗斯还计

¹

<http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=cfe9234d408886b674d7ced4a38aff42&recommendId=109616&controlType=>; [https://www.cnews.ru/news/top/2022-04-](https://www.cnews.ru/news/top/2022-04-15_u_vlastej_novyj_plan_po_razvitiyu)

[15_u_vlastej_novyj_plan_po_razvitiyu](https://www.csfusion.org/semiconductor/russian-governments-new-semiconductor-plan-28nm-local-by-2030/)

² <https://www.csfusion.org/semiconductor/russian-governments-new-semiconductor-plan-28nm-local-by-2030/>

³

<http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=df853c5e17559645f2b83db9eadc0903&recommendId=109371&controlType=>

划拨款 1.14 万亿卢布启动电子工程发展计划，在 2024 年确保所有电子领域实现 100% 的进口替代，到 2030 年形成俄罗斯技术产品组合。该计划还探讨了通过跨领域项目刺激国内电子产品采购的可能性，拟对公司购买国内电子产品给予 50% 的合同金额补贴。

基础设施方面，计划投资 4600 亿卢布，到 2030 年全国数据中心预计由目前的 70 个增加到 300 个。

人才培养方面，预计到 2030 年投资 3090 亿卢布开发至少 400 种新型电子产品原型，开展至少 2000 项研究工作，将半导体领域的大学生培养比例从目前的 5% 提高到 35%。

俄罗斯计划通过以上措施，实现到 2030 年 30% 俄罗斯家庭主要使用国内电子产品、政府 100% 采购俄罗斯电子产品的总体目标。

(执笔：沈湘)

美国智库发布《数字盟友：深化美韩科技创新合作》 报告

数字技术和其他新兴技术的快速发展已成为 21 世纪国际地缘政治和地缘经济的一个决定性特征。2022 年 3 月 22 日，新美国安全中心 (CNAS) 发布报告¹，探讨了美国和韩国如何通过扩大在技术和创新相关问题上的合作来扩大和深化联盟关系。通过韩国新南方政策和美国印太战略协作，美韩两国深化合作的潜在机会将超越双边范畴扩展到区域和全球事务。加强美韩在技术问题上的合作具有很强的战略意义，两国已经在就深化科技合作而努力，但双方仍有更广阔的合作空间。两国的政策制定者应该考虑外交政策和国际组织、关键技术协作、贸易和投资、数字治理和本土政策等方面的建议。

¹ <https://www.cnas.org/publications/reports/digital-allies>

一、技术合作在美韩联盟中的作用

美韩两国政府都注意到关键技术对经济增长、以及安全和治理的重要性。在技术领域，美韩两国企业间的良性商业竞争和政府间为促进共同目标而进行的双边努力之间始终能够找到平衡点。虽然不同的观点可能因为对战略问题的处理方法不同而进一步复杂化，尤其涉及到是否、如何以及多大程度上与中国经济脱钩。但是，美韩经济间的互补性和一体化有助于促进双方在技术问题上的合作。

二、美韩联盟在关键技术领域的互动情况

技术问题是拜登政府和文在寅政府政策平台的核心问题，并且在两国未来政策中将持续重要。2021年5月21日¹，美韩发表联合声明，一致同意探索在美国白宫和韩国总统办公室之间建立美韩供应链工作组，落实和审查高科技制造和供应链方面的双边合作。在不断发展的全球经济中，美韩两国在许多基础技术生态系统中占据主导地位，如半导体、电信和先进电池。在人工智能和量子计算等新兴领域，美韩合作不仅具有通过技术突破提高生活水平的潜力，而且还具有根据自由民主原则促进治理规范的潜力。在半导体领域，虽然美韩双方在出口管制和投资审查方面的合作是可能和必要的，但美国以韩国公司与中国市场脱钩或完全放弃中国市场为前提的政策将阻碍双方的合作。在下一代电信（5G、6G、Open-RAN）领域，美国、韩国和中国在5G设备部署方面处于全球领先地位。出于政治和经济原因，美国和韩国的公私部门都在寻求发展Open-RAN（开放式无线接入网络）。下一代电信网络的形态仍在不断演变，它们对经济增长、技术颠覆和关键基础设施安全的影响还远未明确。中国将在决定这些悬而未决问题的答案方面发挥重要作用。美韩两国应

¹ <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/05/21/fact-sheet-united-states-republic-of-korea-partnership/>

该共享标准制定活动的情报并协作推进 5G 在两国和全球范围的应用。此外，美韩双方的政策制定者应该考虑先进制造业、量子计算、商业太空和卫星、智慧城市等高科技领域的合作。

三、关于推进美韩科技合作的建议

在外交政策和国际组织方面：（1）随着尹锡悦当选韩国总统，美韩双方应尽早发布正式声明，重申技术问题的磋商与合作是美韩联盟的主要优先事项；（2）利用现有的双边机制，包括高端经济对话和韩美工作组，推进技术合作或考虑建立一个双边贸易和技术理事会，以讨论未来商业竞争和第三国贸易对美韩联盟合作的影响；（3）与韩国参与的多边和小型论坛密切合作，如 OECD、G20，以及邀请韩国加入 G7 等；（4）确定美韩两国的政府负责人以协调全球标准制定机构尤其是国际电信联盟政策立场；（5）深化美国印太战略和韩国新南方政策的整合。

在贸易和投资方面：（1）深入落实美韩双边投资审查工作组；（2）寻求扩大两国间的外国直接投资的机会；（3）探索更好地协调监管制度和扩大数字服务的双边贸易；（4）致力于确保半导体供应链的安全；（5）寻找在清洁能源技术方面合作的机会。

在数字治理和本土政策方面：（1）塑造美国对信息的要求，如为了绘制全球半导体供应链地图而向韩国公司提出要求；（2）在先进电信设备领域与韩国密切合作；（3）利用官方交流，辅以 1.5 轨和 2 轨对话，协调与保护公民隐私、打击虚假信息和使用数字工具加强民主治理有关的法律、法规和最佳实践；（4）修改签证、移民和教育政策，以促进美韩两国技术政策涉及的各方面人员之间的联系，促进在新兴领域处于研究前沿的组织间的人才交流和研究合作，尤其是人工智能和量子计算领域。

（执笔：于杰平 王丽）

美国国防部研发预算创历史新高

2022年3月28日，美国总统拜登向国会提交了2023财年预算案，国防开支高达8133亿美元¹，其中7730亿美元用于国防部，是有史以来最高的年度军费预算。该高额预算旨在提供必要资源来维持和加强美国威慑力，通过综合威慑、威慑行动、持久优势建设等优先事项推进美国关键国家利益。研发创新是建立持久优势的重要组成部分，2023年国防部研发预算创历史新高，用以推进创新与现代化进程、加强国防工业基础。

“创新与现代化”方面，预算将加强投资科学、技术及先进能力，“研究、工程、开发和测试”（RDT&E）预算高达1300亿美元的资金，比去年增长了9.5%，并对人工智能、5G等技术进行了重大投资。预算中，165亿美元将用于科学和技术，基础研究维持在24亿美元；2.5亿美元将用于5G实验，继续在军事网络和应用上进行5G实验。人工智能方面，将支持全国防部相关研究，尤其是负责任的人工智能研发；预算请求设立“数字和人工智能首席办公室”²，该办公室将负责联合人工智能中心、国防数字服务、Maven项目、Advana平台、人工智能数据加速器项目等。

“国防工业基础”方面，预算将优先考虑对国家安全至关重要的五个关键领域：（1）33亿美元将用于**微电子学**，投资最先进微电子生产、封装和测试以及电子复兴计划；（2）4800万美元将用于**铸件和锻件**，扩大次级供应商并改进快速设计和可靠、可负担生产；（3）4300万美元将用于**电池和储能**，确保获得先进的电池能力，并为未来的武器系统建立安全和测试能力；（4）6.05亿美元将用于**动能能力**，开发和扩大高超音速和定向能武器的工业基础，并投资对

¹ <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2980014/the-department-of-defense-releases-the-presidents-fiscal-year-2023-defense-budget/>

² https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/FY2023/FY2023_Budget_Request.pdf

导弹和弹药至关重要的关键化学品；(5) 2.53 亿美元将用于**战略关键材料**，资助国防储备以采购在国家紧急情况下所需的关键材料。其它优先领域的额外投资还包括，(1) 加强潜艇工业基础：5.43 亿美元将用于扩大次级供应商活动，2.07 亿美元将用于培训相关劳动力；(2) 6000 万美元将用于提升多种关键化学品的模块化生物制造能力。

(执笔：王丽)

荷兰将投资 11 亿欧元研发硅光子芯片技术

据英国电子周报 4 月 14 日报道，荷兰 PhotonDelta 集团再次获得 11 亿欧元投资用于硅光子芯片技术研发，其中 4.7 亿欧元资金来自荷兰政府的国家增长基金 (National Groeifonds)，其余资金来自合作伙伴和利益相关者¹。这项资金将推动一项为期六年的研究计划，PhotonDelta 及其合作伙伴将投资与光子技术相关的初创公司，扩大这些企业的生产规模，进一步扩大荷兰境内的相关生产和研究设施，创造使用光子芯片技术的新方式和方法，吸引和培训一批领域顶尖人才，开发世界级的光电芯片设计库。该项投资的研究目标是到 2030 年创建一个拥有 200 多家公司的生态系统，为全球客户提供服务，并实现每年超过 10 万片的晶圆产能。PhotonDelta 创新计划是荷兰国家发展战略的一部分，该计划将荷兰定位成集成光子学的领先国，于 2018 年 12 月启动。PhotonDelta 集团目前由 26 家公司、11 家技术合作伙伴和 12 家研发合作伙伴组成，已共同投资 1.71 亿欧元发展有前景的光电子公司。

(执笔：沈湘)

¹ <https://www.electronicsworld.com/news/business/dutch-put-e1-1bn-photonics-ics-2022-04/#respond>

韩国科学和信息通信技术部建议设立国家半导体研究院

据韩国媒体 4 月 21 日报道，韩国科学和信息通信技术部于 4 月 20 日向总统过渡委员会提交了纳米半导体研究所（NSRI）的设立计划¹，旨在成立半导体行业的国家研究院。全球半导体行业已经成为国家之间的竞争，而不只是企业之间的竞争，因此国家级研究机构成为不可或缺的竞争资源。

NSRI 的目标是建立一个 12 英寸晶圆厂，基于 EUV 光刻等先进设备进行半导体技术的开发和测试，并提供给韩国本土无晶圆厂公司以及材料、部件和设备供应商使用。NSRI 也将拥有研究人员，并与大学、其他研究机构和企业的研究人员合作，以提高韩国半导体研发效率。

美国和欧洲已经在半导体行业设立了国家研究机构，美国计划投资 105 亿美元建设一个新的国家半导体技术中心。中国台湾地区于 2019 年成立了半导体研究院，目前正与全球最大的晶圆制造厂台积电合作，台积电还与东京大学合作进行系统设计。

（执笔：沈湘）

¹ <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=91291>

前沿研究

新加坡和中国研究团队利用范德华力成功集成高 K 钙钛矿氧化物和 2D 半导体制造新型晶体管

在过去几十年里，全世界的电子工程师和材料科学家一直在研究各种用于制造电子设备中放大或转换电信号的晶体管材料的潜力。二维（2D）半导体被认为是制造新型电子器件的特别有前途的材料。

尽管 2D 材料具有优势，但在电子产品中的使用在很大程度上取决于它们与高质量电介质、绝缘材料的集成。然而，这些材料很难沉积在 2D 半导体衬底上。

2022 年 4 月 25 日，新加坡南洋理工大学、北京大学、清华大学和北京量子信息科学院的研究人员利用范德华力成功集成了高 K 钙钛矿氧化物单晶钛酸锶与 2D 半导体，为新型晶体管和电子元件的开发开辟了新的可能¹⁻²。

该工作主要受到 2016 年《自然材料》杂志上发表的一篇文章的启发。单晶钙钛矿薄膜通常被认为是易碎的陶瓷，但却具有丰富功能。该论文介绍了一种独立的单晶钙钛矿薄膜的智能制备方法，可以将这些材料转移到任意基底上并使它们能与各种材料集成。SrTiO₃ 是最有前途的钙钛矿氧化物之一，具有极高的介电常数。然而将钙钛矿氧化物与具有不同原子结构的材料相结合几乎是不可能的。传统上，单晶钙钛矿氧化物和 2D 层状半导体之间的晶格失配阻碍了高质量氧化物覆盖层的外延生长。此外，单晶钙钛矿氧化物的

¹ <http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=aed7908319c2ac2b4a261e24cde9fd&recommendId=110150&controlType=>; <https://techxplore.com/news/2022-05-transistors-high-k-perovskite-oxides-2d.html>

² Yang JA, Han K, Huang K, et al. Van der Waals integration of high- κ perovskite oxides and two-dimensional semiconductors[J]. Nature Electronics, 2022, 5:233–240. <https://www.nature.com/articles/s41928-022-00753-7>

生长条件（涉及高温和氧气环境）对 2D 层状半导体不利。

研究人员在水溶性牺牲层上生长了高 K 钙钛矿氧化物，然后将钙钛矿氧化物从该层剥离，并使用弹性体载体（聚二甲基硅氧烷）将其转移到两种 2D 半导体上。研究人员特地使用了二硫化钼和二硒化钨这两种不同的 2D 半导体，因为可以分别用于制造 n 型和 p 型晶体管。

研究人员对晶体管进行了一系列测试和评估后，发现取得了显著效果，二硫化钼晶体管在 1V 电压下的电流开关比达到 10^8 ，最小亚阈值摆幅为 66mV dec^{-1} 。

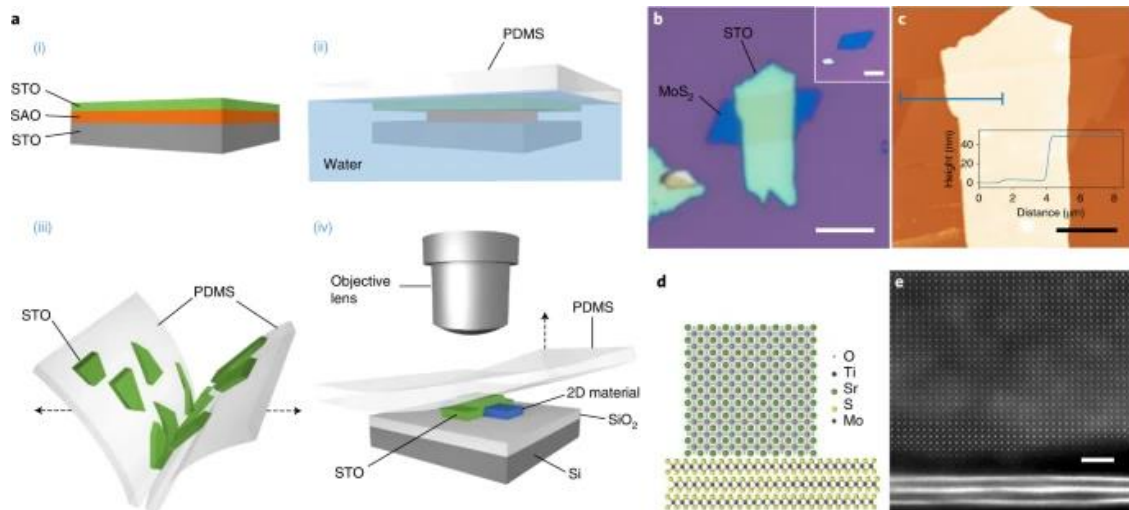


图 1 在 SiO_2/Si 基底上制备的 SrTiO_3 -2D 半导体异质结

该研究成功克服了高 K 钙钛矿氧化物和 2D 半导体集成的局限性，集成方法几乎可以实现任何材料的组合。此外，转移的高 k 钙钛矿氧化物和 MoS_2 之间的界面质量很高，允许制造具有突变亚阈值斜率（abrupt subthreshold slopes）的场效应晶体管。该晶体管可用于制造高性能、低功耗的 CMOS 逆变电路，未来可实现大规模生产并用于低功耗逻辑电路和微芯片。在后续研究中，研究人员将尝试进一步提高高 k 钙钛矿氧化物的质量，以降低晶体管和逻辑门的电源

电压。同时将监测栅极泄漏电流，并在必要时使用缓冲层或双高 K 氧化物来阻止栅极泄漏。

(执笔：沈湘)

英特尔与欧洲科研机构合作在 300mm 晶圆上制造硅量子比特

全尺寸量子计算机需要集成数百万个量子比特，门保真度超过 99%，并且近邻耦合可调谐。门定义量子点 (gate-defined quantum dots) 中的自旋量子比特尺寸小、相干时间长，为量子计算提供了巨大潜力。单量子比特门的保真度超过 99.9%、双量子比特门的保真度超过 99%，算法、条件隐形传态、三量子比特纠缠和四量子比特通用控制也已得到验证。此外，硅自旋量子比特的工作温度相对较高、为 1–4 K，更高的冷却功率使得集成控制电子的缩放策略成为可能。

硅自旋量子比特的一个主要优势是可以利用半导体行业数十年的工业制造技术发展。到目前为止，硅量子点制造一直依赖于电子束光刻，传统的剥离工艺除少数情况外具有产量低、均匀性差的缺点。

2022 年 3 月 29 日，英特尔与欧洲研究团队 Qtech（代尔夫特技术大学和荷兰应用科学研究组织构成的科研组织）合作，在其位于俄勒冈州希尔斯伯勒的 D1 工厂制造出 1 万个具有多个硅量子比特的阵列¹⁻²。这是该工厂首次大规模制造量子比特，同时晶圆良率达到 95%或更高。在量子比特数量与良率方面的表现，均远超目前各高

¹

<http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=18255e285c820057524f597618102158&recommendId=109626&controlType=>; <https://www.eenewseurope.com/en/intel-shows-mass-production-of-qubits-on-300mm-wafers/>

² Zwerver AM J, Krähenmann T, Watson TF, et al. Qubits made by advanced semiconductor manufacturing [J]. Nature Electronics, 2022, 5:184–190. <https://www.nature.com/articles/s41928-022-00727-9>

校及实验室普遍采用的工艺。

量子点位于 $^{28}\text{Si}/^{28}\text{SiO}_2$ 界面，允许良好的隧道势垒控制，这是容错双量子比特门的关键特性。在少电子区使用磁共振的单自旋量子比特操作显示弛豫时间超过 1s、相干时间超过 3ms。

这项全新工艺采用了先进的晶体管制造技术，包括用于生产硅自旋量子比特的全光学光刻工艺（all-optical lithography），同套设备也用于生产英特尔最新一代互补金属氧化物半导体（CMOS）芯片。这一突破性研究成果是实现量子芯片规模化生产的关键一步，证明了量子比特未来最终有可能与传统芯片一起，在同一工业制造设备中生产。

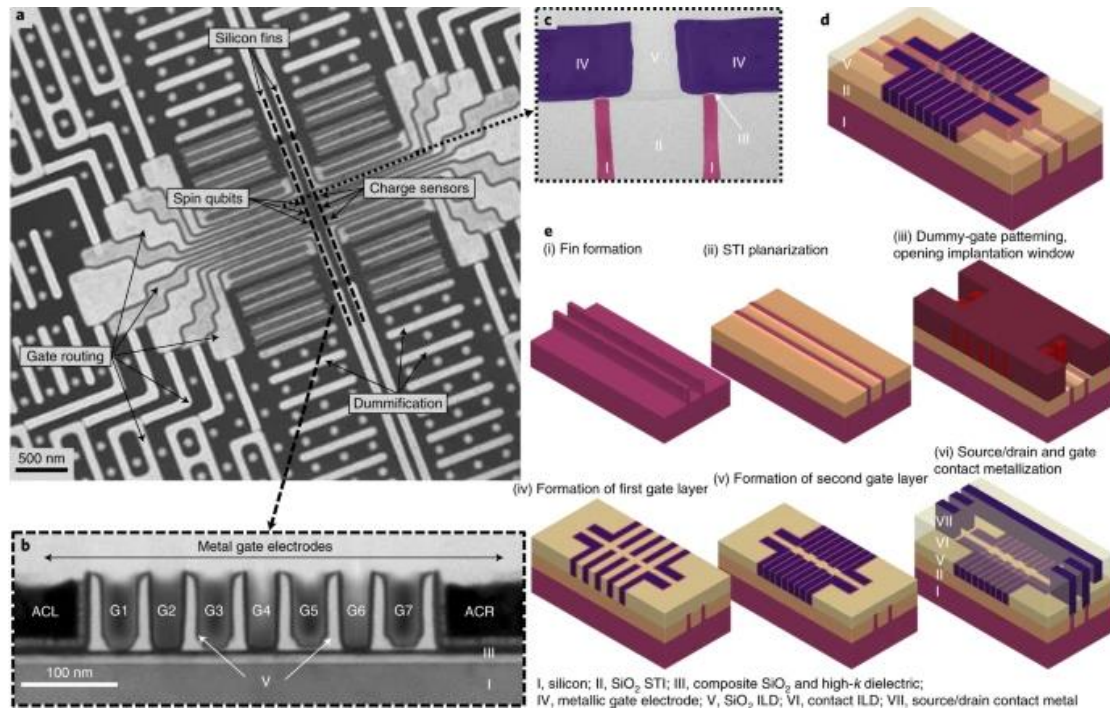


图 1 工业生产量子器件

这项研究发表在《自然电子》杂志上，是英特尔首次通过同行评审证明在 300 毫米硅上成功制造量子比特的研究。

（执笔：沈湘）

中美研究团队首次报道由集成微腔光梳驱动的新型硅基光电子片上集成系统

集成光子学正在深刻影响数据通信和信号处理。其中，克尔微腔光梳（Kerr microcomb）提供了由微谐振器产生的相互相干和等距的光学频率线。虽然微腔光梳（microcomb）的集成取得了巨大进展，但在几乎所有利用该技术的系统级演示中，无源微腔光梳发生器仍然是唯一的集成组件，而系统的其余部分通常依赖于笨重、昂贵且耗电的设备。与此同时，硅光子学技术为小型化光学系统提供了一种可扩展且低成本的解决方案，这得益于制备技术与 CMOS 兼容。然而，基于晶圆制造厂的绝缘体上硅（silicon on insulator, SOI）技术的光子集成电路（photonic integrated circuits, PICs）缺少关键性的多波长光源。在该系统中增加通道数，需要大量的设计工作，同时通道线之间缺乏相互相干性限制了许多应用。尽管将以上两种技术结合有助于解决上述问题，但是目前这种组合仍然存在很多问题。

2022 年 5 月 18 日，北京大学和美国加州大学圣塔芭芭拉分校在世界上首次报道了由集成微腔光梳驱动的新型硅基光电子片上集成系统¹⁻²。研究团队基于芯上分布式反馈激光器（distributed feedback laser, DFB）直接泵浦的绝缘层上铝砷化镓（AlGaAsOI）微谐振器，生成了一个暗脉冲微腔光梳，其具有最先进的效率、操作简单和长期稳定性。这种相干梳用于驱动基于 CMOS 制造的硅光子学引擎，该引擎包含多种功能、应用广泛。在此基础上，针对两个主要的集成光子学领域进行了系统级演示。作为通信演示，研究人员展示了一种基于微腔光梳的硅光子收发器的数据链路，具有 100-Gbps 脉冲

1

<http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=aa70d9d6521e51222f29b4b37000a6e7&recommendId=110241&controlType=>

² Shu HW, Chang L, Tao YS, et al. Microcomb-driven silicon photonic systems[J]. 2022, Nature, 605:457-463. <https://www.nature.com/articles/s41586-022-04579-3>

幅度四级调制（pulse-amplitude four-level modulation, PAM4）传输和 2-Tbps 数据中心总速率。对于微波光子学，通过片上多抽头延迟线处理方案展示了具有数十微秒级重构速度的紧凑型微波滤波器，其可调带宽和灵活的中心频率能够支持 5G、雷达和片上信号处理。

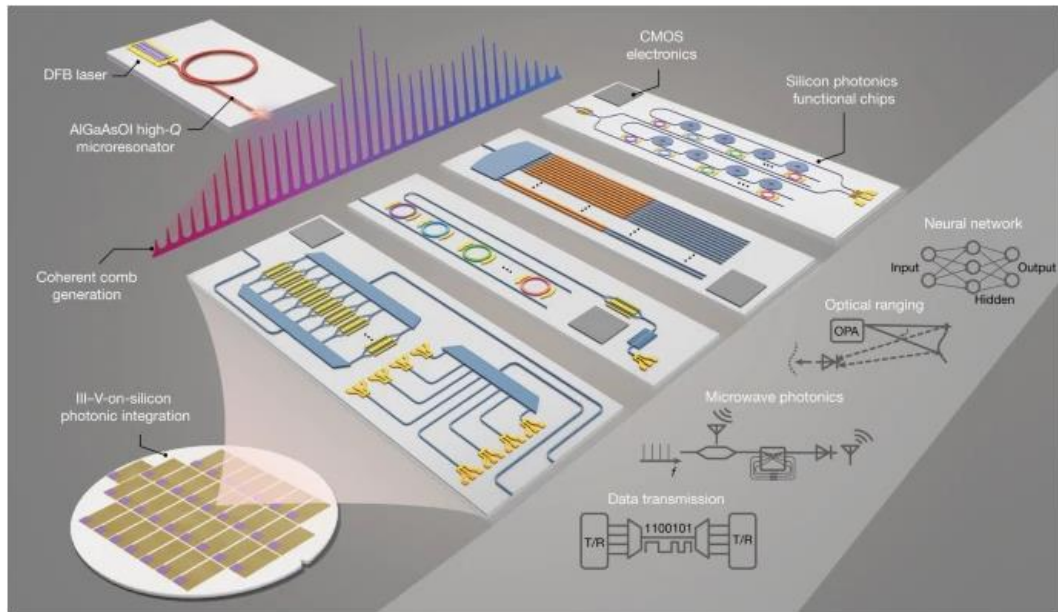


图 1 集成微腔光梳驱动的硅基光电子片上集成系统

该工作为全面集成广泛的光学系统铺平了道路，并将显著加速下一代集成光子学的微腔光梳硅光子技术的发展。

（执笔：沈湘）

美国研究团队开发出铜的共形涂层散热器实现电力密集型电子设备的高效冷却

智能手机和平板电脑等电子设备正变得越来越先进和紧凑。随着性能的提高和尺寸的减小，这些电子设备会产生更多的热量，这可能会降低安全性并造成设备损坏。

近年来，工程师一直在努力发展防止电子过热的策略。其中一

个解决方案是使用散热器促进电子设备内部热量的传播和消散。散热器是由高导热性材料（如铜和铝）组成的冷却系统。这些系统可以将设备产生的热量传播到更大的表面积，使其更容易将热量散发到周围环境中。基于单片金属的散热器可以降低电子设备的热阻和温度波动，但是单片金属的导电性使散热器难以实施。

2022年5月2日，美国伊利诺伊大学香槟分校和加州大学伯克利分校的研究团队设计了一种比现有解决方案更能有效冷却电子产品的方案，以生产用于电子设备高效冷却的涂层散热器，并实现电力密集型电子设备的有效散热¹⁻²。

研究人员首先在器件上涂上一层聚（2-氯-对二甲苯）（*parylene C*）的电绝缘层，然后再涂覆铜的共形涂层。这使得铜可以靠近发热元件，与现有技术相比，不需要热界面材料并提供了更好的冷却性能。研究人员使用氮化镓功率晶体管测试了该方法，表明它可在高达 600 V 的系统中使用，并实现了低的结到环境（*junction-to-ambient*）的比热阻，静止空气中为 $2.3 \text{ cm}^2 \text{ K W}^{-1}$ 、静止水中为 $0.7 \text{ cm}^2 \text{ K W}^{-1}$ 。

¹ <http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=fa8971148b7bf70559098b1d0809522a&recommendId=110242&controlType=>; <https://techxplore.com/news/2022-05-solution-cool-electronic-devices-overheating.html>

² Gebrael T, Li JQ, Gamboa AR, et al. High-efficiency cooling via the monolithic integration of copper on electronic devices[J]. Nature Electronics, 2022. <https://www.nature.com/articles/s41928-022-00748-4>

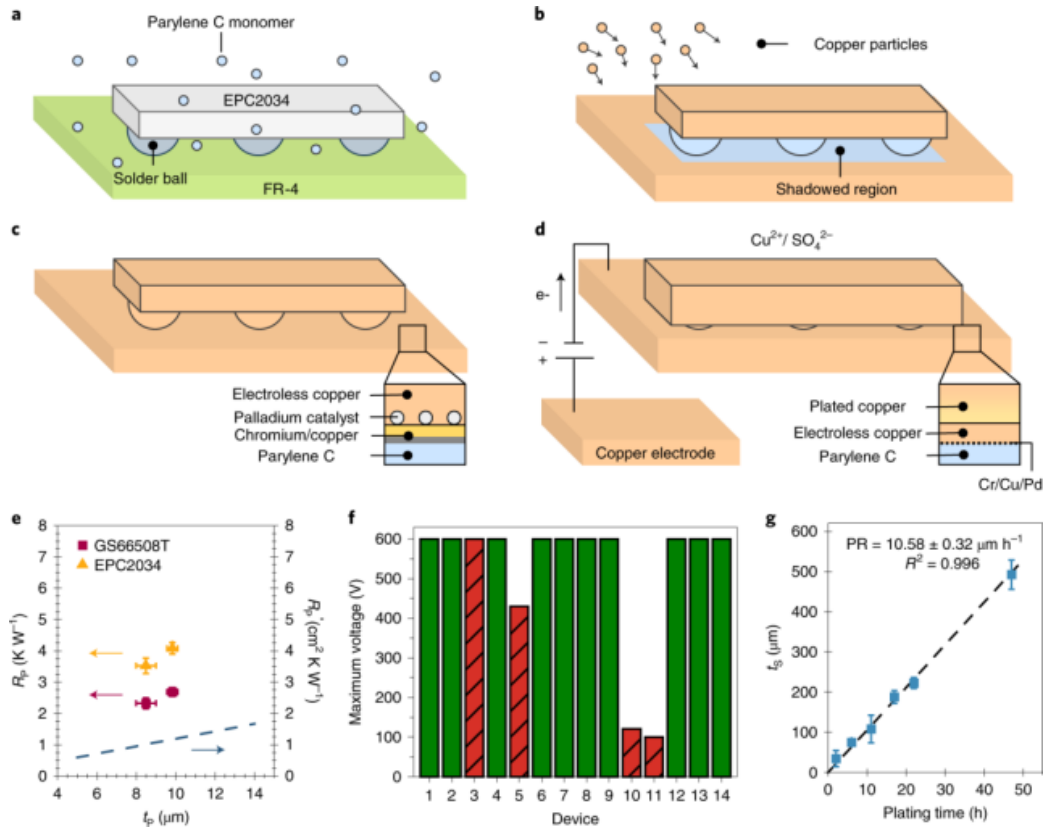


图 1 铜的共形涂层散热器的制备

研究人员表示，这个散热器的优点是共形涂层完全覆盖了电子设备，包括设备的顶部、底部和侧面。通常在电子设备顶部或标准 PCB 铜平面上增加标准热扩散器是不可能的，通过涂覆这些共性涂层，能够提供更多热量离开电子设备的途径，从而实现更好的冷却性能。

以前研究人员用钻石材料开发了类似技术，但是钻石非常昂贵从而难以大规模开发和实施。研究人员在一系列测试中评估了单片铜涂层散热器，发现冷却性能非常好，而无需使用昂贵材料。具体而言，与目前使用的标准空气冷却的铜散热器相比，单片铜涂层散热器使每单位体积功率增加了 740%。这一显著结果源于单片金属层的散热有效性，以及涂覆在印刷电路板上的紧凑体积。这些特性可以在更小的空间内安装更多的电子设备，而不会出现过热问题，这对于创建人工智能、增强现实等未来技术平台至关重要。该涂层方案

结合了电子工业现有工艺，可以进一步促进其在现实环境中的应用及商业化。

研究人员正在研究涂层在特定环境（沸水、沸腾液体介质、热循环和高压环境）中的长时间可靠性和耐久性以确保涂层能保持优越的冷却性能，并在全尺寸电源模块和 GPU 卡进行测试。

（执笔：沈湘）

产业动态

英特尔、美光和亚德诺半导体宣布加入 MITRE Engenuity 半导体联盟

据 MITRE 官网 2022 年 4 月 6 日报道，英特尔、美光、亚德诺半导体（ANALOG DEVICES，简称 ADI）和 MITRE Engenuity 半导体联盟宣布达成合作协议，将共同开展半导体研究、开发和原型设计，旨在打造美国更强大的半导体产业、培育先进制造业，以及在日益激烈的全球竞争中保护知识产权¹。这意味着英特尔、美光、亚德诺半导体将遵守 MITRE Engenuity 半导体联盟机制、加强成员合作，确保整个半导体行业的弹性，为更加注重创新的美国半导体产业和供应链提供全国性解决方案奠定基础。MITRE Engenuity 半导体联盟寻求来自美国半导体生态系统各个方面的行业和专家的参与，囊括集成设备制造商（IDM），芯片设计公司（Fabless），基础设施、设计和制造工具的供应商以及工业界和学术界的技术创新者，构建资源协调机制，保障基础研究与前沿创新成果从试验室向工业界转化。

（执笔：沈湘）

¹ <http://kjqb.las.ac.cn/recommend/recommendInfo.htm?serverId=14&id=109519&redirect=by;https://www.mitre.org/news/press-releases/intel-micron-analog-devices-join-mitre-engenuity-semiconductor-alliance>

国际半导体财团 ISMC 拟投资 30 亿美元在印度建立 首座半导体晶圆制造厂

据 EETimes 于 2022 年 5 月 10 日报道，由总部位于阿布扎比的 Next Orbit Ventures 和总部位于以色列的 Tower Semiconductor（高塔半导体）联合创办的国际半导体财团（ISMC）最近宣布，将在印度西南部卡纳塔克邦建造第一家芯片晶圆厂¹。根据基金管理公司 Next Orbit Ventures 的一份声明，该项目将投资约 30 亿美元建设一个 65 纳米模拟芯片厂，该公司负责启动这项工作。以色列的 Tower Semiconductor 为该项目的技术供应商和集成商。印度卡纳塔克邦首席部长会见了 ISMC 团队，Tower Semiconductor 副总裁也出席了会议。作为印度半导体计划的一部分，ISMC 要求在 Kochanahalli 工业区获得 150 英亩土地，目前正在等待印度政府批准。印度政府将根据晶圆厂的工艺技术提供该项目至少一半的建设费用。

ISMC 并不是印度制造芯片的唯一项目。此前，印度 Vedanta 集团已与台湾富士康签署协议，最早于 2025 年开始半导体生产，投资约 100 亿美元。Vedanta 集团正在与智能手机品牌 Oppo、Vivo 以及笔记本电脑制造商、电子设备制造商进行积极谈判，计划推出其印度半导体工厂计划。印度政府还在与芯片制造商英特尔、格罗方德（Global Foundries）和台积电谈判，希望他们在印度当地建立半导体工厂²。这是印度政府吸引显示器和半导体制造商在印度设立基地计划的一部分。分析人士表示，芯片制造在物流、水和能源供应等方面有严苛要求，印度政府此举面临着艰难挑战。

（执笔：沈湘）

¹ <https://www.eetimes.com/india-prepares-to-build-nations-first-chip-fab/>

² <http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=be8a866993ca2cfac1dc3fd90331d9e&recommendId=109859&controlType=>; http://www.semiconductor-today.com/news_items/2022/apr/synopsis-juniper-120422.shtml

Synopsys 和 Juniper 成立新公司提供开放硅光电子平台生产片上激光

据今日半导体和 OFweek 激光网 2022 年 4 月 7 日报道¹，EDA 软件工具开发平台 Synopsys 和网络通讯设备公司 Juniper Networks 宣布成立一家独立的新公司，为行业提供一个开放的硅光子学平台，以满足包括医疗保健、电信、激光雷达和量子计算等应用领域日益增长的光子需求²。

新公司的开放硅光子学平台将包括集成激光器、光放大器和一套完整的光子组件，形成一个完整的解决方案，可通过工艺设计工具包（PDK）访问。新公司将由 Synopsys 和 Juniper 共同拥有，部分从 Juniper Networks 集成硅光电资产中剥离出来，Synopsys 为大股东。目前，Juniper Networks 拥有 200 多项光子器件设计和工艺集成的专利。作为 Juniper 的一部分，新公司与 Tower Semiconductor 公司密切合作，开发和验证 Tower Semiconductor 公司的 PH18DA 工艺技术，以实现行业首个“芯片上激光”开放硅光电子平台。

硅光子学目前面临的一个关键挑战是增加离散激光器的成本，包括制造、组装和对准这些激光器到光子芯片上。随着激光通道的数量和总带宽的增加，这些挑战更加突出。

通过将磷化铟（InP）材料直接加工到硅光子晶片上，PH18DA 平台降低了添加激光的成本和时间，实现了体积可扩展性，并提高了功率效率。此外，硅片上的单片集成激光器提高了整体可靠性，简化了封装。这种“芯片上激光”的开放式硅光子学平台将为集成光子学带来许多新的应用和市场，预计在 2022 年夏季提供第一个样品。

（执笔：沈湘）

¹ <https://laser.ofweek.com/2022-04/ART-8130-2400-30556476.html>

² <http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=bd231eba75f4aced79ecfc65c53b96e1&recommendId=109590&controlType=>

台积电启动 1.4 纳米芯片制造工艺开发

据 Business Korea 于 2022 年 5 月 17 日报道，TSMC 宣布启动 1.4 纳米芯片制造工艺开发，将于 6 月份让其 3 纳米制程研发团队转战 1.4 纳米制程，再次引发了先进工艺技术竞争¹。在全球代工市场上紧随台积电之后的三星电子也不得不采取相应措施。

在三星 2021 论坛上，三星电子宣布计划在 2025 年使用 2 纳米工艺批量生产芯片。TSMC 在三星之前启动了 1.4 纳米工艺的开发，先迈出了一步。

TSMC 和三星一直在竞相开发亚 10 纳米的制造工艺。就市场销售额而言，TSMC 具有绝对优势。根据台湾市场研究公司 TrendForce 的数据，TSMC 的市场份额（按销售额计算）在 2021 年第三季度达到 52.1%，远远超过三星的 18.3%。

然而，三星一直在追赶 TSMC，目标是在 2022 年使用下一代晶体管结构工艺——全环绕栅极晶体管（GAA）大规模生产 3 纳米产品。这项技术使晶体管越来越小。三星即将在 TSMC 之前将该技术商业化。

英特尔最近加入了技术竞赛。它宣布计划在 TSMC 和三星之前开发亚 2 纳米工艺。英特尔于 2021 年重新进入晶圆代工行业，宣称在 2024 年下半年大规模生产 1.8 纳米产品。

（执笔：沈湘）

¹ <http://kjqb.las.ac.cn/choiceness/getChoicenessDetail.htm?serverId=14&uuid=62eeae12283072548c647a4e0e9410ef&recommendId=110180&controlType=>; <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=92813>

《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

