

集微技术信息简报

2022 年第 **2** 期 (总第 47 期)

中国科学院文献情报中心

2022 年 3 月制

本期目录

政策计划

欧盟委员会提出芯片法案，以应对半导体短缺和加强欧洲的技术领导地位.....	1
美国 CSET 就芯片法案激励措施优先事项提出建议.....	5
加拿大政府宣布对本土半导体和光子学进行重大投资	7
美国政府提议与韩国、日本和台湾地区成立“芯片四方联盟”.....	8
台湾地区芯片工程师将成为中美科技竞争的关键	9
兰德公司发布《美中量子技术产业基础评估》报告	10

前沿研究

韩国和新加坡合作开发直接化学吸附辅助纳米转移印刷技术提高芯片产量.....	16
清华大学首次制备出亚 1 纳米栅极长度的晶体管	17
英国伯明翰大学研发首个实用量子重力传感器探测地下结构	19
美国加州大学伯克利分校采用 MEMS 焦平面开关阵列显著提高固态激光雷达分辨率	20

产业动态

半导体十大行业巨头联合宣布小芯片（chiplet）联盟	22
英特尔公司宣布初始投资超 330 亿欧元的欧洲芯片研发和制造计划	23
印度韦丹塔资源公司将和富士康公司合作建立一家芯片工厂	24
日本 Novel Crystal Technology 公司首次实现氧化镓半导体 6 英寸成膜	25
奥地利 EVG 公司和以色列 Teramount 公司合作开发硅光子芯片的封装工艺.....	26

政策计划

欧盟委员会提出芯片法案，以应对半导体短缺和加强欧洲的技术领导地位

2022年2月8日，欧盟委员会公布《欧洲芯片法案》（以下简称法案）¹，旨在加强欧洲半导体生态系统，聚集全球领先的研究机构和设备制造商，突破先进芯片的设计、制造和封装技术，减少对美国和亚洲的依赖，确保半导体供应链的弹性。法案指出，欧盟将在2030年之前调动超过430亿欧元的公共和私人投资应对未来供应链中断，确保欧洲实现“数字十年”目标，到2030年将欧洲的半导体全球市场份额翻一番、占比20%。法案将专注五个战略目标，短期计划是预测、协调和防患芯片危机，确保快速应对供应链中断；中期计划是加强欧洲的设计和制造能力；长期计划是实现研发到生产的知识转移，保持欧洲的技术领先地位。

一、法案的五个战略目标

1. 加强研究和技术的全球领导力，加大投资下一代技术，补充现有计划。当务之急需保护欧洲在若干突破性技术方面的现有资产，包括在设备制造和先进材料方面，这些技术是建造下一代生产设施所必需的。未来的研究将加强对垂直应用产业的支持，并应对社会和环境挑战，如2 nm以下的技术、支持AI的技术、超低功耗节能处理器、新材料、不同材料异构集成、新设计方案等研究。

2. 建设和加强欧洲在先进、节能和安全芯片方面的设计、制造

¹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-chips-act#:~:text=The%20European%20Chips%20Act%2C%20adopted%20by%20the%20Commission,a%20Regulation%2C%20and%20a%20Recommendation%20to%20Member%20States>

和封装能力，并将其转化为制造产品。这将保证欧洲芯片的长期供应，满足工业和公共部门的需求，并刺激广泛的经济创新。为此，需要投资试验生产线和先进设计、测试、实验设施及工具，建立特有的世界级设施并开放给供应链参与者，使欧洲成为全球强有力伙伴，为加强国际合作提供坚实的基础。

3. 建立有力框架，到 2030 年大幅提高产能。全球半导体市场预计到 2030 年将翻一番。为实现欧洲目标，欧洲产量必须翻两番。这不仅仅是一个体量问题，还涉及生产最先进的芯片、满足用户需求和实现市场准入多样化等挑战，同时还需在防患产业新问题出现的同时考虑芯片的绿色生产。此外，有必要加强半导体供应安全，尤其是公共安全等关键部门的供应安全。为此，欧洲需要吸引欧盟内外的生产设施投资，并为私人投资创造合适条件和有利框架。

4. 解决技能短缺问题，吸引新人才，培养有技能的劳动力。目前的技能短缺问题限制了欧洲半导体生态系统的均衡发展。

5. 深入了解全球半导体供应链。监测全球半导体供应链的运作，了解其未来趋势，预测供应链中断风险，建立基于共同利益的平衡的国际伙伴关系，使欧盟能及时反应并在必要时采取适当措施防止国际供应链崩溃。

二、法案的实施组成

法案由“欧洲芯片计划”、供应安全框架以及协调机制三部分组成。

1. 支持大规模技术能力建设和尖端芯片创新的欧洲芯片计划 (The Chips for Europe Initiative)。该计划由“芯片联合执行体 (Chips Joint Undertaking)”贯彻落实，目前可预见的公共投资有 110 亿欧元，支持大规模技术能力建设和尖端数字创新，开发和部署尖端和下一代半导体和量子技术，加强欧盟的先进设计、系统集成、

芯片生产能力和技能，重视初创企业和规模放大企业。具体规划包括：

(1) 设计能力。通过虚拟平台建立一个大规模的设计基础设施，加强欧洲的芯片设计能力。该平台将基于现有和新的设计库，集成大量尖端技术和新技术；整合 EDA 工具，开发新功能；进而具备新的设计能力和可升级性。该平台将促进用户群体与设计公司、初创企业和中小企业、知识产权和工具供应商、设计师和科技研发机构的广泛合作，并有助于确保下一代芯片的知识产权来自欧洲。

(2) 中试生产线。在现有中试线基础上，开发能够使新的先进技术达到更高成熟度的基础设施，加速工业采用和商业化进程。在公开、透明和非歧视前提下，为第三方提供测试、验证和设计开发产品能力的试点项目。为下一代生产、验证能力开发新型先进中试线，如建立量子技术和工程能力，以加速量子芯片的创新发展。

(3) 芯片认证。针对具有潜在高社会影响的特定关键产业和技术，有必要制定节能和可信芯片的认证程序，以保证关键应用的质量和安全性。欧盟委员会将与相关利益方协商，确定需要认证的产业和产品及其优先次序，同时考虑法律适用性以及当前相关认证框架。

(4) 能力中心网络。支持在欧盟范围内构建能力中心网络，为利益相关者提供专业知识，包括面向终端用户的中小型企业、初创企业以及垂直行业，以及提高行业技能。能力中心网络还将促进设计设施和生产试验线的有效使用，吸引创新型高技能人才。

(5) “芯片基金”。该基金将促进债务融资和股权分配，提供更多资金支持初创企业、规模放大企业和中小企业的增长以及产业价值链投资，支持充满活力、弹性的半导体生态系统的发展。

2. 确保供应安全的新框架。在半导体制造、先进封装、测试和组装领域，通过加大投资和提高产能等方式建立供应链安全新框架。具体规划包括：

(1) 首创两类创新生产设施。在有助于欧盟半导体供应安全并符合公共利益的前提下，明确了两类一流建设设施，即集成生产设施（Integrated Production Facilitie）和欧盟开放晶圆厂（Open EU Foundries）。集成生产设施，为欧洲本土市场设计和生产芯片；欧洲开放晶圆厂，主要为其它产业参与者提供生产制造服务。

(2) 为应对日益增长的弹性供应链需求，欧盟委员会将在欧洲标准机构的支持下，与成员国以及私营机构合作建立一致的标准、认证以及采购要求，确定各类芯片的供应需求量，制定合格评定和市场监管的新立法框架。

3. 欧洲委员会与成员国之间的协调机制，以监测市场动态和预测危机。监测半导体供需关系，评估需求，预见短缺，应对供应链危机。具体规划包括：

(1) 提出供应链安全框架（framework to ensure security of supply），通过吸引投资和支持建立大规模生产能力来确保芯片供应安全。

(2) 鉴于持续的芯片短缺危机，欧盟委员会还向成员国提出建议，鼓励成员国和委员会立即采取协调行动应对危机。

(3) 提出监控和缓解供应链中断的机制，使欧洲在面对当前和未来供应链中断时更具弹性。

此外，欧盟委员会和欧洲投资银行集团为加强半导体领域研发投入签署了联合声明，将在欧洲芯片战略背景下进行协作，刺激欧洲半导体行业的投资机会。可能采取以下形式：

1. 通过股权融资提供风险资本和增长基金，支持规模放大企业和中小企业开发和商业化半导体技术和解决方案，扩张市场容量。
2. 为“欧洲芯片倡议”支持的项目提供混合融资。
3. 为建立和扩大先进生产设施和芯片设计活动提供贷款和担保。
4. 为上述芯片产业部门提供咨询、专业知识和技能提升服务。

美国 CSET 就芯片法案激励措施优先事项提出建议

2022 年 1 月，美国安全和新兴技术中心（CSET）发布《确保美国在半导体制造领域的竞争力——芯片法案激励措施优先事项》报告¹，从国家安全角度最迫切需要回流的芯片产能类型、现有激励资金可以为不同类型芯片建立多少产能、如何为不同类型芯片产能分配激励资金三个方面考虑，就如何有效使用用于半导体制造的 370 亿美元激励资金提出建议。

一、主要发现

（一）逻辑芯片制造过度依赖中国大陆和中国台湾，将威胁美国经济和国家安全

1. 美国逻辑芯片消费每年达数百亿美元，其中约 25% 的逻辑芯片消费流向较敏感的应用包括人工智能、数据中心、军事以及汽车（含军用车辆）。

2. 约 85% 的全球 5nm 逻辑芯片（先进逻辑芯片）产能位于中国台湾，约 65% 的全球传统逻辑芯片（>16nm）产能位于中国大陆和中国台湾。如果美国就台湾问题与中国大陆发出冲突，美国可能失去这些产能。

3. 美国境内的 5nm 逻辑芯片产能为 0，而传统逻辑芯片（>16nm）产能的全球占比为 8%。

（二）动态随机存取存储器 (DRAM) 过于依赖韩国，也存在一定风险

1. DRAM 芯片对美国经济也至关重要，但美国本土的制造能力

¹ <https://cset.georgetown.edu/publication/sustaining-u-s-competitiveness-in-semiconductor-manufacturing/>

非常有限，且没有领先全球制造能力。

2. 约 50% 的全球 DRAM 芯片产能位于韩国，约 43% 位于中国大陆和中国台湾。由于紧邻朝鲜，韩国 DRAM 芯片制造面临供应中断的风险处于中度。

(三) 闪存、模拟芯片、光电子器件、传感器和分立器件等其他类型的半导体器件供应面临重大中断的风险较低

1. 这些器件的生产较少集中在韩国、中国大陆和中国台湾。

2. 这些器件大多数都是商品化的，即使是在供应中断的情况下，也可以找到替代。

二、建议

(一) 美国应回流先进逻辑芯片制造能力，到 2027 年满足 100% 的本土需求

1. 建议至少 230 亿美元（占比 62%）激励资金用于建设先进逻辑芯片产能。这部分资金需要足以支持美国先进逻辑芯片产能到 2027 年能够满足 100% 的本土消费需求，并鼓励英特尔、三星和台积电在美国的长期稳定存在。

2. 建议先进逻辑芯片激励资金在英特尔、三星和台积电三家企业之间按照 1: 1: 2 的原则进行分配，即这 230 亿美元资金可以支持英特尔和三星各新建 1 家晶圆厂、台积电新建 2 家晶圆厂。

(二) 美国应新建 1 家本土大型 DRAM 晶圆厂

1. 建议 50-100 亿美元激励资金用于建设美国本土大型 DRAM 晶圆厂，以在全球芯片严重短缺的情况下解决美国敏感领域的 DRAM 需求。由于经济规模高，最低成本效益的 DRAM 晶圆厂的月产能是 10 万片（WPM），这约相当于目前全球 DRAM 产能的 6%。

2. 建议将激励资金给予承诺在美国建设未来产能的公司，其中

美光公司作为唯一一家总部位于美国的 DRAM 生产商，将是很好的对象。

（三）美国应与盟友协作，用剩余激励资金回流传统逻辑芯片产能

1. 建议用 40-90 亿美元激励资金建造 2 至 5 家传统逻辑芯片的晶圆厂。这不能完全满足美国对传统逻辑芯片的需求，但可以满足最敏感应用领域的需求。

2. 建议鼓励盟友（尤其是德国、日本和韩国）投资额外的传统逻辑芯片产能，以减少全球对中国大陆和中国台湾的依赖。

（四）美国应联合东亚盟友参与评估和协调关于半导体制造的激励措施

1. 进一步研究和了解日本和韩国为其芯片制造商提供的激励措施的水平。

2. 与盟友（尤其是中国台湾和韩国）协商调整激励措施，以提升供应链的弹性和多样性。

（执笔：于杰平）

加拿大政府宣布对本土半导体和光子学进行重大投资

据加拿大创新、科学和经济发展部 2022 年 2 月 28 日新闻报道¹，加拿大政府宣布投入 2.4 亿美元用于巩固加拿大在光子学领域的领导地位以及促进本土半导体设计和制造。加拿大创新、科学和工业部长宣布半导体挑战征集计划，通过战略创新基金投资 1.5 亿美元，旨在利用加拿大本土的半导体开发和供应优势进行针对性投资。此外，

¹ <https://www.canada.ca/en/innovation-science-economic-development/news/2022/02/government-of-canada-announces-significant-investment-in-the-canadian-semiconductor-and-photonics-industries.html>

他宣布为加拿大光子学制造中心（CPFC）提供 0.9 亿美元。

此次宣布的半导体挑战征集计划代表了加拿大对投资创新项目的初步承诺，这些项目将加强和扩大加拿大的创新半导体生态系统。政府呼吁企业在研究、商业化和扩大半导体制造能力的优先领域进行变革。这将有助于增强加拿大半导体行业在北美信息和通信技术供应链中的作用。

对 CPFC 的资助主要用于设备升级和提高该中心解决尖端技术市场化问题的能力。CPFC 是过去二十年来加拿大光子学行业的一项重要资产，它是北美唯一一家公开运营并向所有人开放的化合物半导体代工厂。它在提供有影响力的光子学设备制造服务方面发挥着重要的作用，帮助加拿大在电信、环境传感、汽车、国防和航空航天等行业的中小型企业发展壮大。

（执笔：于杰平）

美国政府提议与韩国、日本和台湾地区成立“芯片四方联盟”

据《首尔经济》2022 年 3 月 27 日报道^{1,2}，美国政府最近提议与韩国、日本和台湾地区成立半导体产业联盟——“芯片四方联盟”，意图将中国大陆排除在全球半导体供应链之外。报道称，尽管四者之间的交叉投资和工厂建设正在加速，但韩国政府和企业接受该提议的可能性有限。首尔大学半导体共同研究所所长李宗昊称：“三星电子、SK 海力士等韩国半导体企业在中国大陆的业务比重较大，恐难以接受美国政府的提议，需要政府与企业紧密沟通进行应对。”

据韩国商业网 28 日消息³，三星电子唯一的内存芯片工厂位于西

¹ <https://news.nate.com/view/20220327n13940?mid=n0302>

² <https://www.sedaily.com/NewsView/263KWTWF35>

³ <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=89777>

安，NAND 工厂的月产能为 26.5 万片 12 英寸晶圆，占三星电子 NAND 闪存总产量的 42%。SK 海力士在无锡生产 DRAM 芯片，占公司 DRAM 芯片总产量的 47%。

(执笔：于杰平)

台湾地区芯片工程师将成为中美科技竞争的关键

据《南华晨报》2022 年 3 月 23 日报道¹，随着中美两国加快提高本土芯片产能，中国大陆地区和美国可能很快就会对中国台湾地区的半导体人才进行抢夺，台湾地区的半导体人才将成为中美两国科技竞争的关键。报道称，对于中国大陆来说，缺乏经验丰富的人才当前达成半导体产业自给自足目标的最主要障碍。根据《中国集成电路产业人才发展报告（2020-2021 年版）》报告显示²，预计到 2023 年前后全行业人才需求将达到 76.65 万人左右，仍存在超 20 万的缺口。这种情况将促使中国大陆地区积极吸引台湾地区有经验的工程师加入。

美国正在采取措施积极促进本土半导体生产，这已经催生了美国对有经验的半导体工人的新需求。美国安全和新兴技术中心（CSET）分析师认为：《为美国半导体制造创造有益激励法案》将产生对有经验半导体工人的需求，而美国本土人才无法满足这一需求，美国需要吸引韩国和中国台湾地区的这类人才。全球第一大晶圆代工厂台积电（TSMC）正在亚利桑那州建造一座 5 纳米芯片晶圆厂，而 2021 年 11 月，韩国三星电子公布了一项在德克萨斯州建造一座价值 170 亿美元的先进晶圆厂的计划。根据 CSET 估计，未来十年美国将创造 2.7 万个晶圆厂工作机会，其中约 3500 个职位需要外国

¹ <https://www.scmp.com/tech/tech-war/article/3171571/us-china-tech-war-will-taiwan-chip-engineers-be-key-success-race-tech>

² <https://www.eet-china.com/news/202111020204.html>

人才来填补。为此，美国应该探索为在半导体制造和工程方面具有丰富经验的高技能工人设立专门签证通道，为拥有与美国国家安全相关技能的工人减少现有移民障碍。

(执笔：于杰平)

兰德公司发布《美中量子技术产业基础评估》报告

2022年2月3日，兰德公司发布《美中量子技术产业基础评估》报告，用一套通用指标评估国家量子技术产业基础，包括科学研究、政府活动、产业活动和技术创新等四类 31 个指标。报告全面评估了美国量子技术产业基础现状，对比分析了美中量子产业基础差异，提出了加强美国量子产业基础的政策建议。

量子技术处于早期阶段，其产业基础的相关组成部分更为广泛，报告中确定了学术界和国家实验室、政府、产业界三类关键参与主体。报告进一步评估了量子计算、量子通信和量子传感三个细分领域的产业基础，认为美国目前是量子技术的全球领导者，在量子计算、量子传感方面处于领先地位；中国在量子通信方面处于领先地位，在量子计算的部分技术路径上与美国相当。

一、美国量子产业基础评估的主要发现

1. 美国在量子技术方面的整体科研产出广泛、稳定，在量子计算、量子通信、量子传感领域均处于或接近全球前沿

美国拥有广泛的学术研究基础，过去十年里，1500 多个机构产出了超 10,000 篇的研究论文，其中量子计算领域的论文最多，其次是量子通信和量子传感，三个领域的论文数量都有稳定增长。在高被引论文方面，美国在量子计算和量子通信领域的高被引论文总量位居全球首位（中国在量子通信领域的高被引论文数量位居第一）。美国的量子技术研究是高度全球化的，大约一半的研究论文属于国

际合作产出，甚至小部分是与战略竞争对手的军事大学合作的。

2. 美国政府是量子技术的最大研究资助者，2021 年的研发支出约 7.1~7.9 亿美元

在国家量子计划的推动下，美国政府的投入以每年超过 20% 的速度稳步增长。

3. 美国的量子技术部署主要由私营部门推动，呈百家争鸣之势

美国量子技术方面的私营企业广泛且多样，至少有 182 家企业在探索不同的技术方案和应用，主要集中在量子计算领域，其次是量子传感，而专注于量子通信的公司较少。风险投资是初创企业的重要融资来源，目前公布的风险投资金额达 12.8 亿美元，主要集中在量子计算领域，大部分资金流向 PsiQuantum（5.09 亿美元）、D-Wave Government Systems（2.56 亿美元）和 Rigetti Computing（1.99 亿美元）这三个公司。

4. 美国在量子计算和量子传感领域处于领先地位

截至 2021 年 7 月，在量子计算领域，美国在大多数技术方案中展示了性能最高的原型，在超导量子计算方面，美中展示了同水平的性能优势；在量子传感领域，美国处于领先地位；在量子通信领域，美国的研发仍以学术性为主。

二、中国量子产业基础评估的主要发现

1. 中国在量子通信、量子计算、量子传感领域的科研产出都很高

中国在量子技术方面的研究非常活跃，过去十年中，2000 多个机构产出 14000 多篇的研究论文，产出数量稳步增长。在高被引论文方面，中国在量子计算和量子传感领域的高被引论文数量低于美国，而在量子通信领域高于美国，同时这三个领域的高被引论文总量位居全球第二。在量子密钥分发、量子密码和量子成像等美国国

防优先级较低的方向上，中国的研究比例明显高于美国。

2. 中国高层领导人将量子技术视为战略重点，但关于中国政府对量子技术研发投入总额尚无一致的官方报道，无法判定是否高于美国。

3. 中国量子技术研发主要集中在由政府资助的实验室，技术进步迅速。与美国相比，中国的私营企业在量子信息的研发中发挥作用较小，而且更关注量子通信。

4. 中国在超导量子计算方面与美国大致相当，高斯玻色取样量子计算原型机“九章”处于全球领先，而其他量子计算方法均落后美国。中国在量子通信领域处于世界领先，但在量子传感方面落后美国。

三、美中产业基础对比的重要发现

1. 当前评估美国私营部门在量子技术商业应用方面取得的成功还为时过早。大多数量子技术处于早期阶段，预计在今后的几年内不会出现明确的应用，最终的应用仍然是高度不确定的。目前，尚未发现美国在生产能力、供应链、商业融资或技术能力方面存在任何关键的差距或直接的漏洞，但由于尚无可供评估的商用量子产品，无法预测未来是否存在差距或漏洞。

2. 美中两国的研发重点存在差异，美国更关注量子计算，而中国更关注量子通信，量子计算紧随其后。

3. 一些美国量子技术公司依赖少数供应商的高质量组件，尤其是激光器和光学元件。这些供应商大多位于欧洲，少数在日本。尚未发现美国对战略竞争对手的任何关键性依赖。高质量大尺寸蓝宝石晶圆有可能成为一种关键量子材料，而俄罗斯是为数不多的提供者之一。量子技术没有单一的供应链，不同的技术方案需要的组件可能完全不同，因此，多条供应链之间几乎没有重叠且依赖关系也

大相径庭。

4. 现阶段对量子计算和通信技术实行出口管制将减缓科学进步。开放的科学研究是技术进步的主要驱动力，量子计算和通信技术成熟度水平很低，且许多领先人才并不服务于美国，因此该领域的进步需要高度国际化的合作和努力，而出口管制会阻碍这种合作。目前，尚未发现量子计算或量子通信技术直接用于国防，也无法预测哪种技术方案将最终成功。

5. 在量子计算领域，中国在囚禁离子方向落后于美国。在量子通信领域，美国国防部比较关注量子存储器，而对量子密钥分发关注度较低。

6. 量子技术能力正在迅速变化，量子技术应用时间表是高度不确定的，主要表现为：（1）短中期来看，量子技术的领先国地位可能发生多重变化，不一定限于美中之间；（2）多种技术方案正在研发中，最佳技术方案可能重塑量子技术的领先秩序；（3）目前大多数量子技术尤其是嘈杂中型量子（NISQ）计算机尚无明确的近期应用，因此商业需求有限；（4）一些美国公司正致力于开发具有挑战性的共性技术（如拓扑、量子纠错）以大幅提高硬件性能。这些共性技术的突破会大幅缩短量子计算商用的时间，但硬件能力的发展可能比目前预期的要慢。

四、对美国政策制定者的建议

1. 继续在量子技术领域提供广泛的政府研发支持，平衡政产学研投入的技术方向

鉴于量子技术处于成熟度水平的早期阶段，以及最终应用和最佳技术路径的高度不确定性，决策者应继续为多样化的量子技术组合提供资金。在规划总体投资组合时，决策者应了解产业活动，并确保政府的所有战略优先事项都得到私营部门和公共部门的支持。

例如，美国私营部门的大部分投资目前都集中于量子计算，那么决策者应确保对量子通信和量子传感的政府资助力度。考虑到量子通信技术可能会推动量子计算和量子传感网络的发展，建议美国政府即使不打算部署量子密钥分发等，也应当继续支持这些技术的基础研究。

2. 保护美国主要量子技术公司的量子技术项目。

一些关键公司推动了众多量子技术的进步，尤其在量子计算和量子传感领域。美国政府应该监测这些商业项目的重要进展或挑战。如果取得了重大进展，政府需要帮助公司保护技术，防止技术盗窃或泄露给战略竞争对手。美国政府应酌情与公司分享安全威胁信息，帮助它们增强防御能力，或者引导它们解决特定的技术泄露风险。

3. 监测量子初创企业的财务状况和所有权

鉴于量子技术目前还没有任何明确的近期商业应用，在可预见的未来，量子技术领域的初创企业将不会有明确的收入来源。规模较大的初创企业主要依靠风险投资，而且大部分风投资金只会流向少数几家公司，如果技术不可行，风险投资将很快会枯竭。关键量子公司的财务风险可能会极大地扰乱美国新生的量子产业，政策制定者应该对初创企业的财务状况进行监测。同时，美国政府应该监测国外公司对本土小型量子技术公司的收购动向，以防先进技术外流进而失去技术领先地位。

4. 监测量子产业关键要素的国际流动，如关键组件和材料、专业技能人才，以及量子技术产品

许多量子技术的高质量组件来自国外。尽管尚未发现任何关键的供应链环节依赖于战略竞争对手，但未来存在不确定性。政策制定者应该尝试监测不同技术方案的多条供应链，以期在未来快速赢得战略优势。量子信息是一个高度国际化的技术合作领域，此次评估发现一些研究是与中国学者（尤其是军事大学的学者）合作完成

的，存在技术泄露风险。美国和中国作为量子信息方面的全球领导者，双方的合作研究可以产生积极的政治和科学成果，不建议限制这种合作，但是应该监测科技泄漏的风险。

5. 当前不需要对量子计算机或量子通信系统实施出口管制

出口管制将过早地限制科学思想的交流，从而减缓技术进步。广泛的领域专家有助于早期原型试验，可以加速发现国防应用机会。此外，出口管制可能会威胁到美国小型初创企业的财务状况，而这些企业正在推进量子技术的发展。鉴于目前量子产品应用的不确定性，现阶段无法判断并针对威胁美国国家安全的特定量子计算和通信技术制定出口管制措施。但是，美国政府应该要求本土制造商向政府报告其量子计算和通信设备在海外的销售情况，以帮助政府监测他们的部署状况。未来，一旦技术更接近于有效应用，例如破译密码，商务部和国务院的决策者就应该考虑出口管制的必要性。

6. 定期评估快速变化的量子产业基础

全球量子产业基础发展迅速，但“杀手级应用”尚未出现。确定比较基线是评估新兴领域产业基础的难题：如果对量子技术领域发展缺乏长期跟踪或无法从其成功应用中吸取经验教训，很难在一个时间点合理评估其实力。政策制定者应定期评估量子产业基础的状况，以确定其发展态势，进而采取相应的举措。除了跟踪美国和盟国的产业基础外，决策者还应跟踪非盟国在最终产品和战略应用方面的进展情况，例如，中国已经在量子通信领域展示了一些超越美国的能力。

（执笔：于杰平 王丽）

前沿研究

韩国和新加坡合作开发直接化学吸附辅助纳米转移印刷技术提高芯片产量

基于纳米转移的印刷——一种使用聚合物模具通过压力或“冲压”将金属印刷到基板上的工艺——近年来因其简单、成本效益和高产量而成为一种有前途的技术。然而，该技术使用化学粘合剂层，会导致负面影响，例如大规模印刷时的表面缺陷和性能下降，以及对人体健康的危害。由于这些原因，使该技术的大规模采用以及电、光器件工艺应用受到了限制。

韩国机械与材料研究所（KIMM）和新加坡南洋理工大学（NTU Singapore）的研究人员已经开发出一种基于纳米级低熔点效应的直接化学吸附辅助纳米转移印刷技术来制造高度均匀和可扩展的半导体晶圆，为提升芯片产量提供一种解决方案¹⁻²。

KIMM 和 NTU 的研究团队结合无化学物质印刷技术与金属辅助化学蚀刻技术，通过在低温（160°C）下将金（Au）纳米结构层转移到硅（Si）基板上形成具有高度均匀和可扩展纳米线的晶片，该晶片可以控制具体制造过程中的 Au 厚度。

¹ http://portal.nstl.gov.cn/STMonitor/home/bianyi_recordshow.htm?id=108986&parentPageId=1648004134095&serverId=14

² Zhao ZJ, Shin SH, Lee SY, et al. Direct Chemisorption-Assisted Nanotransfer Printing with Wafer-Scale Uniformity and Controllability[J]. ACS Nano, 2022, 16(1):378–385. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.1c06781>

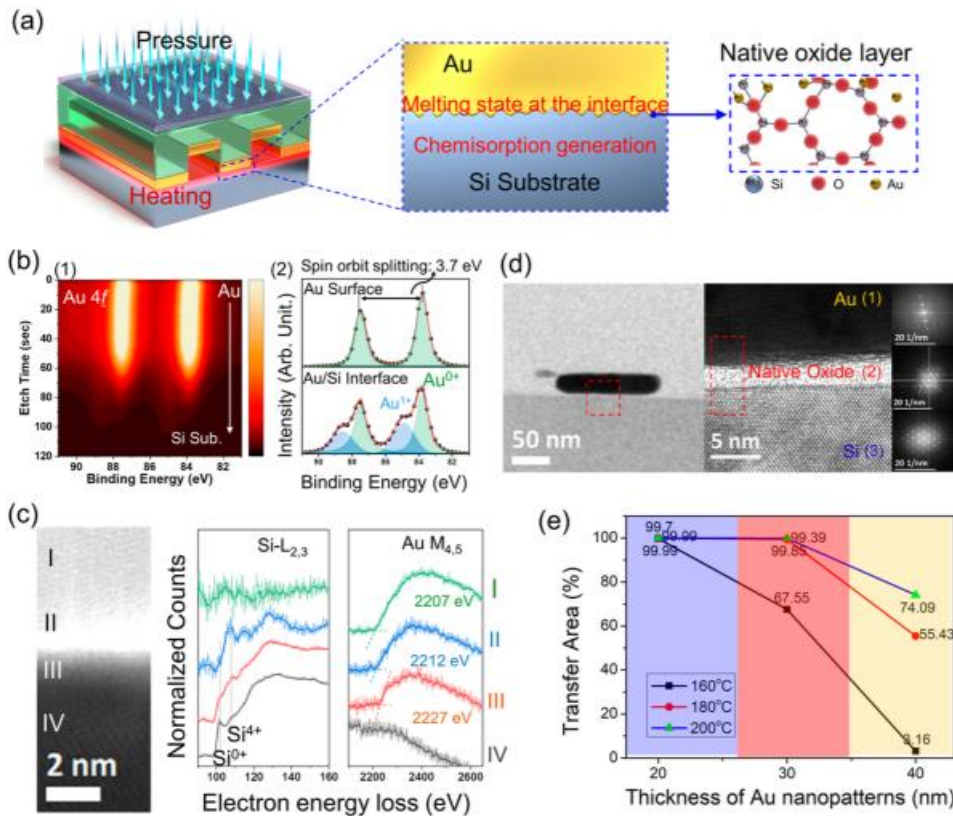


图 1 无化学物质的纳米转移印刷技术的机理

该方法解决了金属辅助化学蚀刻遇到的主要瓶颈（需要使用大规模均匀金属催化剂纳米图案），还实现了具有极高长宽比的晶圆级、均匀和可控的纳米结构。通过在 6 英寸硅晶圆上制作 100 个光电探测器，研究人员进一步证明了所制备器件的优良均匀性和高性能，突显了该技术在商业大规模生产中的巨大潜力。

（执笔：沈湘）

清华大学首次制备出亚 1 纳米栅极长度的晶体管

过去几十年，晶体管的栅极尺寸在摩尔定律的推动下不断微缩。但近年来，随着晶体管的物理尺寸进入纳米尺度，造成电子迁移率降低、漏电流增大、静态功耗增大等短沟道效应越来越严重。在新一代电子设备开发中，超小尺寸的晶体管备受关注。为进一步缩短栅极长度，开发新材料非常重要。虽然已经报道了原子薄二硫化钼

(MoS₂) 晶体管，但栅长小于 1 nm 的器件制造一直是一个挑战。

清华大学集成电路学院任天令教授带领团队在小尺寸晶体管研究方面取得突破，首次制备出亚 1 nm 栅极长度的晶体管，其具有良好的电学性能¹⁻²。研究团队巧妙利用石墨烯薄膜的单原子层厚度和优异的导电性能，将其作为栅极，通过石墨烯侧向电场来控制垂直的二硫化钼 (MoS₂) 沟道的开关，从而实现等效的物理栅长为 0.34 nm。

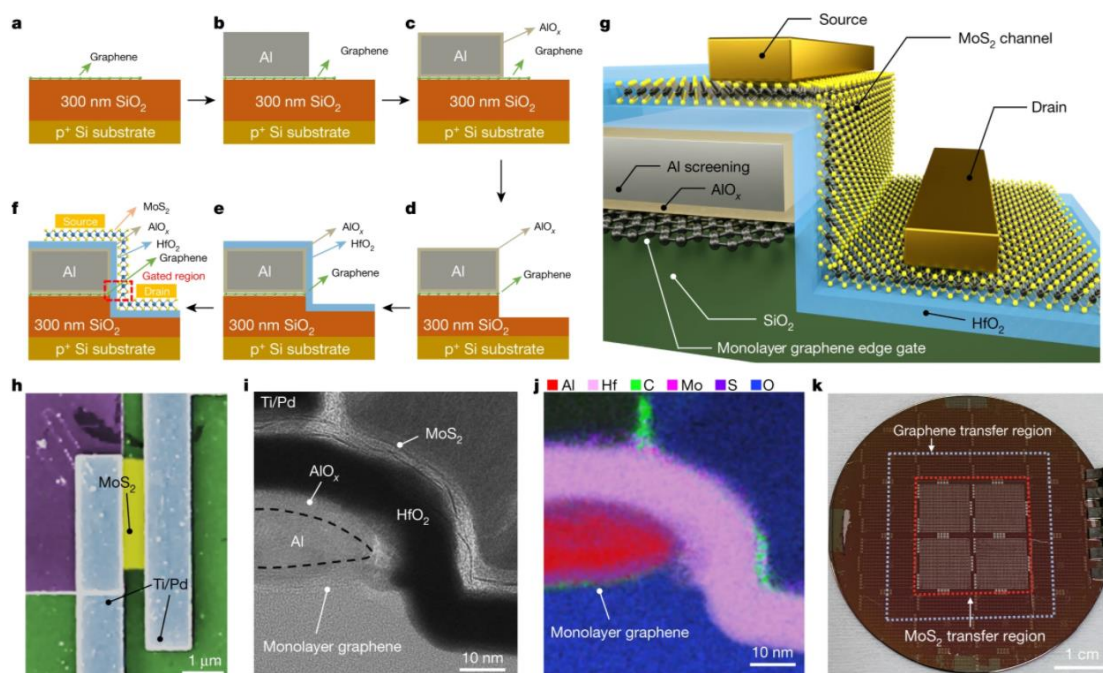


图 1 1 nm 以下栅长晶体管的制备过程

该方法使用化学气相沉积法生长大面积石墨烯和二硫化钼薄膜，在 2 英寸晶圆上制造侧壁晶体管。这些器件具有良好的电学性能，开/关比率高达 1.02×10^5 ，亚阈值摆幅下降至 117 mV/dec。

(执笔：沈湘)

¹ http://portal.nstl.gov.cn/STMonitor/home/bianyiy_recordshow.htm?id=109100&parentPageId=1648098908801&serverId=14Fan

² Wu F, Tian H, Shen Y, et al. Vertical MoS₂ transistors with sub-1-nm gate lengths[J]. Nature, 2022, 603: 259–264. <https://www.nature.com/articles/s41586-021-04315-3>

英国伯明翰大学研发首个实用量子重力传感器探测地下结构

重力传感已成为工程和气候研究等地球物理应用的一种工具，包括监测含水层和大地测量的时间变化。然而，由于去除振动噪声所需的测量时间较长，使用重力制图法来测绘米级地下特征是不现实的。

英国伯明翰大学研究团队研发出世界上首个实用的量子重力梯度传感器克服了以上问题，能够在实验室条件以外探测地下结构¹⁻²。

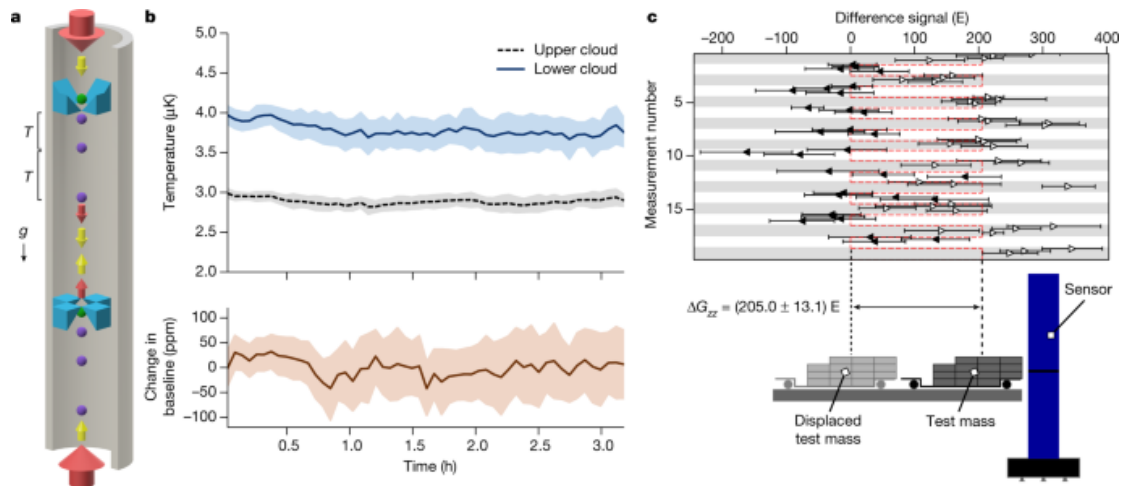


图 1 量子重力梯度传感器的测量原理示意图

该量子重力梯度传感器的工作原理是基于原子干涉术，利用量子物理学原理探测微重力的变化。以原子的量子态理论和原子受激 Raman 跃迁理论为基础，超冷的铷原子在重力的影响下下落，被激光束照亮，通过激光与原子相互作用，利用冷原子来反演重力的作用³。由于原子所处叠加态的干涉相位与运动路径中受到的重力加速度相关，检测原子的内态便可以获得重力加速度的信息，从而能非常精确地表明了当地重力场的强度和梯度。

¹ http://portal.nstl.gov.cn/STMonitor/qbwnew/bianyi_recordshow.htm?id=108453&parentPageId=1648021305872&serverId=14

² Stray B, Lamb A, Kaushik A, et al. Quantum sensing for gravity cartography[J]. Nature, 2022, 602:590–594. <https://www.nature.com/articles/s41586-021-04315-3>

³ <http://www.elecfans.com/d/1125640.html>

但原子干涉术，与所有量子技术一样，对环境干扰非常敏感，特别是振动。振动、仪器倾斜以及磁场、热场的环境干扰，使量子理论转化到商业应用，面临着巨大的挑战。伯明翰大学研究团队最大的技术成就是使仪器具有足够的适应性，能够在道路或现场实际使用，而不是仅在实验室里。

研究人员表示，该仪器在投放市场之前，必须做得更小、更灵活和更灵敏¹。

(执笔：沈湘)

美国加州大学伯克利分校采用 MEMS 焦平面开关阵列显著提高固态激光雷达分辨率

由人工智能驱动的自治系统将对人类社会产生变革性影响。直接测量物体坐标、形状和速度的 3D 传感器在自动驾驶车辆、无人机和机器人中的应用越来越多。由于光的波长较短，激光雷达系统可以在黑暗中工作，并提供高分辨率和高精度。带有单光子雪崩光电二极管阵列的小尺寸激光雷达已经开始在智能手机和其他消费电子产品中使用；但由于泛光照明，它们的射程有限。准直激光束扫描激光雷达的射程要长得多，但通常需要笨重的扫描仪，难以集成。近年来，能够在在大视场上高速工作、具有高分辨率和低功耗的集成光束扫描仪得到了深入研究，这是固态激光雷达的关键要求。其中两种常见的结构是光学相控阵（OPA）和焦平面开关阵列（FPSA）。

美国加州大学伯克利分校的研究团队将 128×128 像素的 FPSA 和 MEMS 单片集成到 $10 \times 11 \text{ mm}^2$ 的硅光子芯片上，实现了 16,384 像素的调频连续波（FMCW）成像激光雷达²⁻³。这是目前 FPSA（最高

¹ http://k.sina.com.cn/article_5044281310_12ca99fde02001rlvr.html

² http://portal.nsl.gov.cn/STMonitor/home/bianyiy_recordshow.htm?id=109101&parentPageId=1648108683310&serverId=14

³ Zhang XS, Kwon K, Henriksson J, et al. A large-scale microelectromechanical-systems-based silicon photonics

像素为 512) 上的最高像素¹。该系统采用 5mm 焦距的复合透镜, 可在 $70^\circ \times 70^\circ$ 视场角内、以 0.05° 的发散角和微秒级切换速度, 将激光束随机定向到 16,384 个不同方向。将 FPSA 光操纵技术与 FMCW 测距方法相结合, 可实现更清晰的 3D 成像与传感。

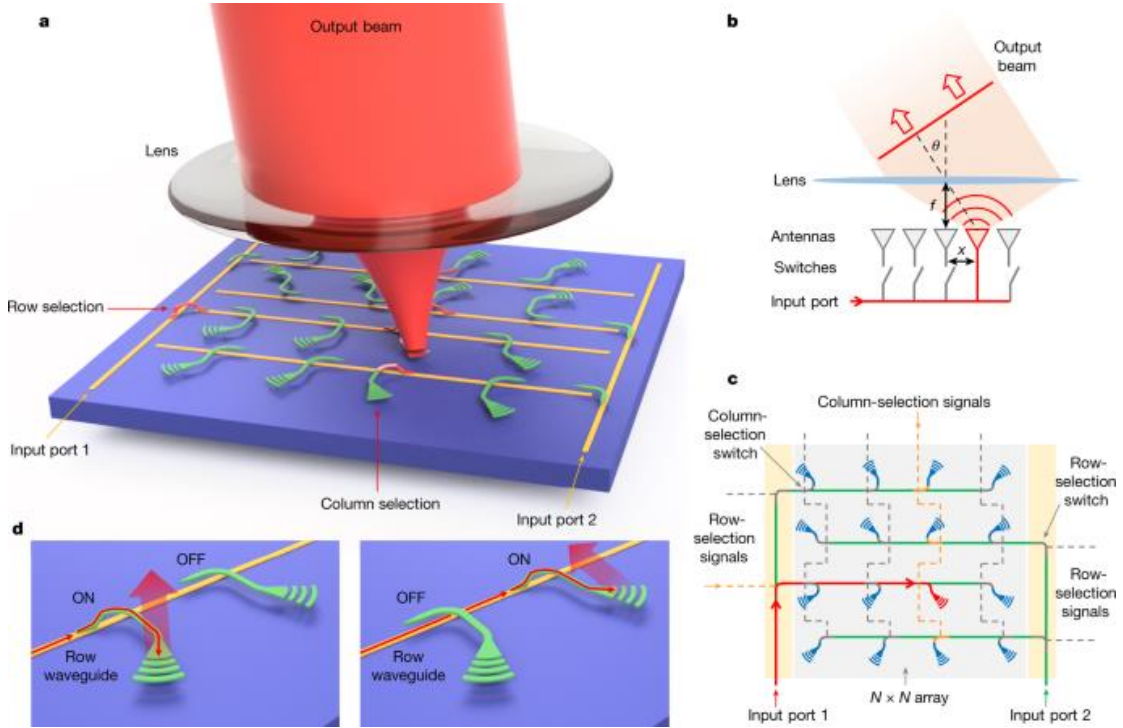


图 1 2D FPSA 的架构和工作原理

研究人员表示, 该设计使用与生产计算机处理器相同的互补金属氧化物半导体 (CMOS) 技术, 可扩展到百万像素尺寸, 因此或可用于自动驾驶汽车、无人机、机器人甚至智能手机, 实现新一代功能强大、成本低廉的 3D 传感器。

(执笔: 沈湘)

LiDAR[J]. Nature, 2022, 603:253–258. <https://www.nature.com/articles/s41586-022-04415-8>

¹ <https://www.d1ev.com/news/jishu/169866>

产业动态

半导体十大行业巨头联合宣布小芯片（chiplet）联盟

小芯片（Chiplet）是当前突破摩尔定律限制的一项重要技术思路。2022年3月2日，ASE、AMD、ARM、Google云、Intel、Meta（Facebook）、微软、高通、三星、台积电联合宣布，成立小芯片行业联盟，共同打造小芯片互连标准、推进开放生态，并制定了标准规范“通用小芯片互连通道（Universal Chiplet Interconnect Express, UCIe）”¹⁻²，即在芯片封装层面确立互联互通的统一标准。

该标准专为小芯片（chiplet）而设置，旨在为小芯片互连制定一个新的开放标准，简化相关流程，并且提高来自不同制造商的小芯片之间的互操作性。该标准下，芯片制造商可以在合适的情况下混合构建芯片。UCIe 标准的目标是像其他连接标准（如 USB、PCIe 和 NVMe）一样普遍和通用，同时为小芯片连接提供卓越的功率和性能指标，将覆盖 x86 和 ARM 生态（但暂不包括英伟达和 RISC-V）。

UCIe 是一个开放的工业标准互连，提供高带宽、低延迟、高功率和高成本效益的芯片封装连接。UCIe 1.0 标准定义了芯片间 I/O 物理层、芯片间协议、软件堆栈等，并利用了 PCIe、CXL 两种成熟的高速互连标准。该标准最初由 Intel 提议并制定，后开放给业界。UCIe 1.0 规范和白皮书在 UCIe 联盟网站³提供下载。UCIe 联盟在官网上公开表示，该联盟需要更多半导体企业的加入，来打造更全面的 Chiplet 生态系统。

在 2021 年 5 月，中国计算机互连技术联盟（简称 CCITA）在中

¹ http://portal.nstl.gov.cn/STMonitor/home/bianyiy_recordshow.htm?id=109036&parentPageId=1648003625378&serverId=14

² <https://www.tomshardware.com/news/new-ucie-chiplet-standard-supported-by-intel-amd-and-arm>

³ <https://www.uciexpress.org>

国电子工业标准化技术协会立项了中国小芯片标准——《小芯片接口总线技术要求》，由中科院计算所、工信部电子四院和国内多个芯片厂商合作展开标准制定工作¹。目前相关草案已经进入征求意见的环节²。

（执笔：沈湘）

英特尔公司宣布初始投资超 330 亿欧元的欧洲芯片研发和制造计划

据 2022 年 3 月 15 日官网报道³，英特尔宣布初始投资超过 330 亿欧元的欧洲芯片研发和制造计划，用于在德国建设领先的半导体制造厂，在法国建立新的研发和设计中心，在爱尔兰、意大利、波兰和西班牙扩大研发、制造、晶圆代工服务和后端生产能力。在未来十年内，英特尔将沿着整个半导体价值链向欧盟投资 800 亿欧元用于芯片研发和制造计划。通过这项里程碑式的投资，英特尔计划将其最先进的技术带到欧洲，创建下一代欧洲芯片生态系统，并满足对更平衡、更具弹性的供应链的需求⁴。

在初始阶段，英特尔计划在德国马格德堡基于英特尔最先进的 Angstrom 芯片技术建设两个半导体工厂，目前正在等待欧盟委员会批准。该计划一经批准将立即启动，预计 2023 年上半年开始施工，2027 年将投产。德国位于欧洲的中心，拥有顶尖的人才、一流的基础设施和现有的供应商和客户生态系统，是建立先进芯片制造新中心——“硅结（Silicon Junction）”的理想之地，以成为连接德国和其他地区创新和制造中心的连接点。英特尔计划投资 170 亿欧元，

¹ <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1727246911713892196&wfr=spider&for=pc>

² <https://www.cesa.cn/news.aspx?id=CxZUCjmK9A0=>

³ <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/eu-news-2022-release.html#gs.utzsz2>

⁴ http://portal.nstl.gov.cn/STMonitor/home/bianyiy_recordshow.htm?id=108991&parentPageId=1648004025674&serverId=14

在建设过程中创造 7000 个建筑工作岗位，在英特尔创造 3000 个永久性高科技工作岗位，并在供应商和合作伙伴之间增加数万个工作岗位。

英特尔还将额外支出 120 亿欧元以继续投资其在爱尔兰莱克斯利普的晶圆厂扩张项目，使制造空间扩大一倍并将“Intel 4”工艺技术引入欧洲，扩大代工服务。一旦扩张完成，英特尔在爱尔兰的总投资将超过 300 亿欧元。

此外，英特尔和意大利已经开始谈判，旨在建立欧洲首家最先进的后端制造厂。英特尔拟投资 45 亿欧元，预计在 2025 年至 2027 年期间开始运营，将为其创造约 1500 个工作岗位，并在供应商和合作伙伴之间增加 3500 个工作岗位。此外，英特尔已经收购了与意法半导体公司有重要合作关系的意大利 Tower Semiconductor 公司。

(执笔：沈湘)

印度韦丹塔资源公司将和富士康公司合作建立一家芯片工厂

据 2022 年 2 月 14 日官网报道，印度韦丹塔资源（Vedanta Resources）公司与富士康公司发表合作备忘录，将合作建立一家芯片工厂，以支持印度总理在印度创建半导体制造生态系统的愿景¹。这使富士康公司成为首个响应印度号召、在当地部署芯片生产的大型外国科技制造商。

韦丹塔资源公司在金属、石油和天然气、电信、玻璃和电力等多个行业拥有全球业务。另一方面，总部位于台湾地区的富士康是世界上最大的代工电子产品制造商，也是苹果公司产品的最大组装供应商，最近进入电动汽车和半导体领域。

¹ http://portal.nstl.gov.cn/STMonitor/home/bianyi_recordshow.htm?id=108252&parentPageId=1648004449980&serverId=14&controlType=

据外媒报道¹，富士康公司将投资 1.187 亿美元，并将持有合资公司 40% 的股份。Vedanta 董事长 Anil Agarwal 将成为合资公司的董事长。Vedanta 是印度最大的铝生产商，也是石油和天然气的主要供应商，还在电信领域有业务。

两家公司目前正在与印度州政府讨论，以最终确定生产厂的位置。据熟悉富士康计划的人士称，该芯片项目的进展还将取决于印度中央和州政府的补贴以及银行贷款。

(执笔：沈湘)

日本 Novel Crystal Technology 公司首次实现氧化镓 半导体 6 英寸成膜

据官网 2022 年 3 月 1 日报道²，Novel Crystal Technology (NCT) 公司与太阳日酸公司、东京农工大学合作，首次使用卤化物气相外延法 (halide vapor phase epitaxy, HVPE) 在 6 英寸晶圆上成功外延沉积氧化镓 (β -Ga₂O₃)³。以往的技术最大只能在 4 英寸晶圆上成膜，NCT 在世界上首次实现 6 英寸成膜。此为日本新能源与工业技术发展机构 (NEDO) 战略节能技术创新计划的资助研究成果。

氧化镓比碳化硅 (SiC) 或氮化镓 (GaN) 具有更大的带隙能量，由这种材料制成的晶体管和二极管具有优异的功率器件特性，例如高击穿电压、高输出和高效率 (低损耗)。2021 年 6 月 16 日，NCT 公司宣布采用 HVPE 方法成功实现了氧化镓 4 英寸 (100mm) 晶圆量产。

尽管基于 HVPE 方法的原材料成本较低，并且提供了高纯度的

¹ <https://www.republicworld.com/technology-news/other-tech-news/apple-supplier-foxconn-joins-hands-with-vedanta-group-to-make-semiconductors-in-india-articleshow.html>

² <https://www.novelcrystal.co.jp/eng/2022/1107/>

³ http://portal.nstl.gov.cn/STMonitor/home/bianyiy_recordshow.htm?id=109049&parentPageId=1648008992364&serverId=14

沉积，但目前的设备只能制造小直径（2 英寸或 4 英寸）的单晶圆。为了降低 HVPE 方法的外延沉积成本，需要能批量生产大直径（6 英寸或 8 英寸）晶圆的设备。

在 NEDO 的战略节能技术创新项目“大直径、批量生产下一代氧化镓电力器件”中，NCT 公司不仅开发了用于大批量生产氧化镓晶圆和氧化镓薄膜的外延沉积设备，还开发了金属氯化物（HVPE 方法的原材料）的外部供应技术，并建立和评估了 6 英寸单晶圆 HVPE 设备。NCT 公司的最新成果将克服氧化镓外延沉积的高成本问题，并极大地推动大直径晶圆批量生产设备的发展。NCT 公司计划到 2024 年将氧化镓外延沉积的大规模生产设备商业化。

（执笔：沈湘）

奥地利 EVG 公司和以色列 Teramount 公司合作开发 硅光子芯片的封装工艺

据今日半导体 2022 年 3 月 8 日报道¹，奥地利 EVG 集团（半导体、微电子机械系统（MEMS）和纳米技术应用的晶圆键合和光刻设备供应商）和以色列 Teramount of Jerusalem 公司（为数据中心、高级计算、传感器和其他数据通信和电信应用提供将光纤连接到硅芯片的可扩展解决方案）正在合作实施晶圆级光学以解决硅光子学的一个主要障碍，即光纤芯片封装²。此次合作旨在充分利用 EVG 公司的纳米压印光刻（nanoimprint lithography technology）技术以及 Teramount 公司的 PhotonicPlug 技术。

经过此次合作，将利用 EVG 公司的纳米压印光刻技术对用于硅光子芯片的标准 CMOS 晶圆进行后处理，从而制造 Teramount 公司

¹ http://www.semiconductor-today.com/news_items/2022/mar/evg-080322.shtml

² http://portal.nstl.gov.cn/STMonitor/home/bianyiyi_recordshow.htm?id=108691&parentPageId=1648004449980&serverId=14&controlType=

特有的自对准光学系统的反射镜和透镜等光学元件。这使得能够灵活地从芯片中提取光束，并容易连接到大量光纤。此外，它还实现了晶圆级光学检测能力，以增强硅光子学晶圆制造。

(执笔：沈湘)

《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

