



突破二维材料晶体管集成度瓶颈，“无极”来了

■本报见习记者 江庆龄

在复旦大学集成电路与系统国家重点实验室的净化间里，身穿实验服的科研人员正向《中国科学报》记者展示手中的芯片。

二十几块金黄色的芯片整齐排列在透明的托盘上，看起来平平无奇，其中却隐藏着大玄机。每块芯片都集成了 5900 个基于二维半导体材料的晶体管，这是目前国际上二维逻辑功能最大规模的验证记录，较此前最高纪录 115 个晶体管，一举提高了 51 倍。

复旦大学教授周鹏、研究员包文中联合团队突破了二维半导体电子学集成度瓶颈，完成了从材料到架构再到流片的全链条自主研发，成功研制出全球首款基于二维半导体材料的 32 位 RISC-V 架构微处理器。团队将之命名为“无极”(WUJI)，寓意从无到有，没有极限。

在 32 位输入指令的控制下，“无极”可以实现最大为 42 亿的数据间的加减运算，支持 GB 级数据存取和访问，以及最长达 10 亿条精简指令集的程序编写。4 月 2 日，相关成果发表于《自然》。

让晶体管“最终形态”走出实验室

“说起这项研究成果，要追溯到 10 年前。”包文中回忆道。2015 年 7 月，包文中加入复旦大学微电子学院，一头扎进晶圆级二维半导体的可控生长及其实际应用研究中。

这一年，距离二维材料石墨烯的发现过去了 11 年，二硫化钼(MoS₂)等二维半导体材料也开始进入科学家的视野。

所谓二维(2D)，是指材料只在平面延展。厚度仅一到几个原子层，这一“超薄”特性使此类材料展现出非常独特的电子和光学性质，在纳米电子学、光电子学、柔性器件、传感器等领域具有潜在的应用价值。

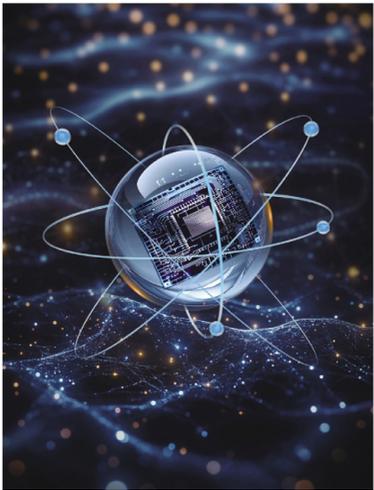
MoS₂ 则是最热门的二维半导体材料之一，由于具有天然带隙且带隙类型可调节，其在晶体管和光电器件制造中独具优势。

包文中指出：“在纳米尺度下，硅材料并不是最好的沟道材料。面对摩尔定律逼近物理极限这一全球性挑战，二维半导体是目前国际公认的破局关键，可以认为是晶体管的‘最终形态’。”

然而，单个晶体管和能够使用的集成电路之间仍隔着万水千山。好比一位小提琴演奏家的独奏水平非常高，而几十个同样优秀的人组成一支交响乐团，需要排练很长时间才能奏出悦耳的曲子。倘若人数增加到上万人甚至上亿人，难度就呈指数级增长了。

因此，尽管 MoS₂ 做成的单个晶体管的“个人能力”已广受认可，但由于遭遇工艺精度与规模均匀性的协同良率控制等瓶颈，此前最高集成度仅停留在数百晶体管量级，始终未能跨越功能性微处理器的技术门槛。

“二维半导体到底能不能做成芯片，性能怎么样？我们就是想解答学术界和产业界的



研究艺术效果图。 复旦大学供图

这个疑惑。”周鹏告诉《中国科学报》。

开辟芯片研制的新路

2021 年，课题交到了复旦大学博士研究生敖明睿和周秀诚的手上。此前，团队已经在工艺上积累了丰富的经验，并利用化学气相沉积法，在工业界主流 12 英寸晶圆上实现了 MoS₂ 均匀和单层材料的快速生长。

所谓工欲善其事，必先利其器。工业界 7 纳米、2 纳米级别的集成电路，离不开尖端的光刻机等设备。团队的目标是一个面向工业生产的集成电路系统，但所用大多为科研级的仪器，在硬件不够给力的情况下，他们只能主动适应，不断从试错中积累经验。

同时，二维半导体材料极薄的特点，给加工带来了极大的挑战。包文中用雕塑进行类比——如果说硅材料是一块大理石，可以用斧头和凿子把它雕塑成人像，二维半导体则是一块豆腐，轻轻一碰就会把人像的胳膊或腿碰坏了，必须用特殊设备加工。

“二维半导体的生产工艺是环环相扣的，不仅前一个步骤会影响后一个步骤，后一个步骤也会影响前面的步骤。”包文中说。

这几年，敖明睿和周秀诚日复一日做实验，耐心打磨细节，一点点调参数、控制实验室环境、优化工艺步骤。

“我们曾在某一个步骤停了很长时间，最后分析才发现是前面某一个工艺有问题导致的。所以每完成一步工艺，我们都要做相应的测试，

如果有问题就及时调整。”周秀诚补充说。

值得一提的是，结合团队以往积累的大量材料和工艺数据以及复旦大学在人工智能(AI)方面的布局，团队开发了 AI 驱动的一贯式协同工艺优化技术，通过“原子级界面精准调控+全流程 AI 算法优化”双引擎，实现了从材料生长到集成工艺的精准控制。“利用 AI 算法推荐的组合，我们能够更高效地在实验室里把芯片做出来。”包文中表示。

于是，在成员们的共同努力以及新技术的支持下，团队最终破解了二维材料-接触-栅介质-后道工艺的精确耦合调控难题，并利用原子级精度的加工和表征技术，验证了规模化的数字电路。

“这并不是一个颠覆性的整体变化。就像建造一栋办公楼，地基和主体都和原来一样，只是中间有几层被用作商场而不是办公室，需要专门设计。”包文中介绍，“无极”的集成工艺中有 70% 左右可直接沿用现有硅基产线成熟技术，其余核心的二维特色工艺，则结合了团队自主设计的专用工艺设备和体系，包含 20 余项工艺发明专利。

一个个测试数据都表明，“无极”的集成工艺优化和规模化电路程度，均达到国际同期最优水平。包文中自信地说：“我们利用国产半导体设备和开源 RISC-V 架构，不依赖先进的 EUV 光刻机，而是融合了自主研发的二维半导体全套集成工艺，为开辟一条我国全新的芯片自主研发之路奠定了基础。”

二维半导体不会取代硅

“正如地铁出现以后，公交车依然有价值，二维半导体芯片和硅基芯片是互补的关系。”周鹏表示，“‘无极’采用微米级工艺，其功耗和纳米级芯片功耗相当，如果采用更好的光刻机设备，功耗将进一步降低，将来在对低功耗有更高要求的设备上更具优势。”

周鹏同时强调：“‘无极’只是概念验证原型，整体性能和目前的商用芯片仍存在一定距离，当前并不具备市场优势。”

目前，团队正为“无极”的转化落地努力。一方面，他们将进一步提升二维电子器件的性能和集成度，突破当前晶体管集成度瓶颈，使其在更多应用场景中具备更强的竞争力。另一方面，在产业化进程中，团队加强与现有硅基产线技术的结合，推动核心二维特色工艺的产业化应用，并与相关企业和机构合作，使其尽快在实际产品中发挥作用。

包文中表示，过去几十年间，集成电路的发展为二维半导体芯片的产业化发展积累了丰富经验，“有理由相信，二维半导体芯片性能可以在较短时间内追上硅基芯片，最终形成和硅基芯片长期共存、应用互补的局面”。

相关论文信息：
<http://doi.org/10.1038/s41586-025-08759-9>

科学家在人脑深处发现意识体验关键“门控”

本报讯(记者崔雪芹)北京师范大学教授张鸣沙团队、李小俚团队与中国人民解放军总医院副主任医师赵虎林团队合作，揭示了位于人脑深部的丘脑高阶核团在人类意识体验产生中的关键作用。该成果直接在丘脑和前额叶中同时记录立体定向脑电图信号，发现了作为“门控”的丘脑高阶核团通过丘脑-前额叶环路调控人类意识体验的新机制。4 月 4 日，相关研究发表于《科学》。

“该研究不仅在理论上加深了对人类意识的神经基础和原理的理解，也对当前意识研究领域以大脑皮层为中心的主流观点提出极大挑战，有望助力意识障碍患者的临床研究。”论文通讯作者张鸣沙告诉《中国科学报》。该成果被审稿人评价为“里程碑式的、原创和有影响力的研究”，以及“令人激动的发现”。

基于数十年的实验研究，研究者发现了诸多与意识体验相关的脑活动，并据此提出了不同的意识体验理论来理解和预测人类意识体验的本质与原理。虽然这些理论为意识体验产生的神经基础提供了重要见解，但不同理论关于意识体验的解释和预测存在巨大差异，亟须进一步实

验证据验证。近期有新的假设对上述主流理论提出挑战，指出丘脑的高阶核团可能通过丘脑-皮层环路在意识体验的产生中起重要作用，但这种假设难以在人脑中直接验证。

为解决上述问题，研究团队在患者执行一项新颖的视觉意识任务时，利用颅内植入的微型电极同时记录了多个丘脑核团和前额叶皮层的立体定向脑电图数据。结果表明，与腹侧核团和前额叶皮层相比，丘脑板内核和内侧核呈现出更早、更强的意识体验相关活动。在意识体验产生期间，瞬时的丘脑-额叶神经网络同步震荡和跨频耦合均由板内核和内侧核活动的斯塔波相位(2 至 8 赫兹)驱动。在意识体验产生期间，板内核和内侧核与外侧前额叶皮层之间的耦合比与前额叶皮层其他亚区更强。

该研究提供了人脑内电活动的直接证据，支持了丘脑板内核和内侧核核团在意识体验产生时，调节前额叶皮层意识体验相关活动的理论，为解决当前意识理论间的争议提供了重要证据。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1126/science.adr3675>

新型生物制剂可显著改善季节性过敏性鼻炎症状

本报讯(记者张思玮)首都医科大学附属北京同仁医院教授张罗团队研究发现，对于经过常规治疗仍未控制的中重度季节性过敏性鼻炎患者，新型生物制剂司普奇拜单抗可显著改善其临床症状及生活质量。4 月 4 日，相关论文发表于《自然-医学》。用生物制剂治疗过敏性鼻炎的方案，为全球数亿患者提供了新的治疗选择。

根据发病特点，过敏性鼻炎可分为常年性和季节性两种。其中，季节性过敏性鼻炎在我国北方地区尤为突出，主要致敏原为蒿属、杨柳及柏科等风媒花粉，播散高峰期为春季(3 至 5 月)和夏秋季(8 至 10 月)。最新数据显示，我国花粉过敏性鼻炎患者人数已超 1 亿。

司普奇拜单抗是一种靶向白介素 4 受体 α 亚基(IL-4Rα)的人源化单克隆抗体，通过阻断 IL-4 和 IL-13 的信号通路有效抑制 2 型炎症反应。张罗团队在前期的 II 期临床试验“天璇”研究中证实，司普奇拜单抗在治疗中有良好的安全性和耐受性。

基于临床需求，张罗团队开展了名为“天玑”的多中心、随机、双盲、安慰剂对照的 III 期临床试验，在全国 18 个研究中心纳入 108 例中重度季节性过敏性鼻炎患者，以证实新型生物制剂司普奇拜单抗的临床疗效。

结果显示，司普奇拜单抗能有效改善患者的鼻部和眼部症状，在治疗第 4 天即显现出显著疗效，第 14 天达到最佳治疗疗效。进一步研究发现，给予司普奇拜单抗治疗后，患者血清总 IgE(免疫球蛋白 E)、花粉特异性 IgE 水平显著下降，2 型炎症相关基因活跃度也降低。这表明，司普奇拜单抗从全身和局部层面发挥对 2 型炎症相关生物标志物和基因表达网络的调节作用。

据悉，司普奇拜单抗于 2025 年 2 月 7 日获得国家药品监督管理局批准上市，是目前全球唯一获批治疗季节性过敏性鼻炎的 IL-4Rα 单抗药物。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41591-025-03651-5>

14.0 特斯拉大口径高场通用超导磁体研制成功

本报讯(记者张双虎)近日，中国科学院院士、中国科学院电工研究所研究员王秋良团队成功研制出大口径高场通用超导磁体，磁体内孔直径 164 毫米、最高磁场强度 14.0T(特斯拉)。该成果标志着我国在大口径高场通用超导磁体设计与建造技术水平方面迈上新台阶。

大口径高场通用超导磁体是大科学装置、高性能科学仪器、高端医疗装备、工业与特种装备等领域的重要设备。磁体提供的大空间高磁场环境可用于定向凝固/磁拉单晶等大口径新材料制备、生物医学和物理化学研究、磁分离/感应加热等工业装备。这类超导磁体的技术和产品长期被国外垄断，迫切需要解决核心设计与制造等关键科学与技术问题。

科研团队采用铌钛和铌三锡超导线圈组合结构，结合铌钛超导材料的中场高电流密度和脆性铌三锡超导材料的高场高电流密度特性，创新性优化了磁体的电磁结构和工程方案，提高了两种超导材料的磁场贡献率。通过长期技术攻关，团队先后解决了大口



大口径高场超导磁体测试现场。 电工所供图

径高场磁体高应力调控设计、密绕高场磁体高精度制造、低电阻超导接头等关键技术问题，掌握了此类通用超导磁体的设计和制造成套技术。

团队研制的 14.0T 大口径高场通用超导磁体，具有完全自主知识产权。经测试，磁体达到预期技术指标，并且运行稳定。

科学突破奖揭晓 单项奖金达 300 万美元



本报讯 近日，科学界奖金数额最高的科学突破奖揭晓。今年共颁发 6 个奖项，涵盖生命科学、基础物理学和数学领域，单项奖金达 300 万美元。

5 位参与研发减肥药物司美格鲁肽的科学家获科学突破奖-生命科学奖。他们分别为加拿大多伦多大学的 Daniel J. Drucker、美国哈佛大学医学院的 Joel Habener、丹麦哥本哈根大学的 Jens Juul Holst、美国洛克菲勒大学的 Svetlana Mojsos、丹麦诺和诺德公司的 Lotte Bjerre Knudsen。他们成功使最初用于治疗糖尿病的药物通过胰高血糖素样肽-1 受体发挥降糖和抑制食欲的作用，产生降糖并抑制食欲的效果。

此外，美国加州大学旧金山分校的 Stephen Hauser 与哈佛大学的 Alberto Ascherio 因揭示多发性硬化症致病机制，也获得了科学突破奖-生命科学奖。Hauser 团队在上世纪 90 年代证实免疫系 B 细胞产生的抗体可能是致病元凶，Ascherio 团队则在 2022 年证

实爱泼斯坦-巴尔病毒感染会显著增加多发性硬化症患病风险。

最后一个科学突破奖-生命科学奖授予美国博德研究所的刘如谦，表彰其开发基于 CRISPR 基因编辑的 DNA 改写技术。该技术已应用于 T 细胞白血病、镰状细胞贫血、β 地中海贫血和高胆固醇治疗临床试验。

科学突破奖-基础物理学奖罕见地授予了欧洲核子研究中心 4 个实验组的 13508 名物理学家。这些研究者在过去 10 年里，通过大型强子对撞机实验进行了多项精确测量，检验并验证了粒子物理标准模型。

科学突破奖-基础物理学奖的另一位得主是标准模型奠基人之一、荷兰乌得勒支大学的 Gerard 't Hooft。他曾因对弱核力研究的贡献获 1999 年诺贝尔物理学奖，并为理解强核力作出重要贡献。

科学突破奖-数学奖授予德国马克斯-普朗克数学研究所的 Dennis Gaitsgory，表彰他对朗兰兹纲领发展的多项贡献。朗兰兹纲领因整合了数论、几何与函数域等，被称为“数学大一统理论”。

据悉，科学突破奖由俄罗斯亿万富翁 Yuri Milner 等人于 2012 年创立。(李木子)

我国生态环境监测网络 加快数智化转型

据新华社电 生态环境部日前印发《国家生态环境监测网络数智化转型方案》，进一步提升技术装备数智化能力，推进建成新一代国家生态环境监测网络。

生态环境部生态环境监测司司长蒋华华说，这标志着生态环境监测数智化转型迈出实质性步伐。在空气和地表水监测方面，通过开展国控站点数智化改造，让自动监测实现“无人运维”，让手工监测实现“智能采样+智能分析”。在生物多样性监测方面，通过实时传输的红外相机、鸟类鸣声记录仪、两栖爬行动物雷达相机等新型智能设备，基本能够实现生物多样性自动化监测，识别准确率达 85% 以上。在声环境监测方面，城市功能区声环境质量监测的仪器设备不仅能监测噪声分贝数，还能识别噪声源。

据悉，方案确立了“两步走”实施路径：2027 年实现国家生态环境监测网络标准化、规范化水平大幅提升，在重点区域率先探索以无人运维、智能采样、黑灯实验室、立体遥测为标志的新一代监测网络；2030 年实现国家生态环境监测网络系统性重塑，数字化、智能化水平整体跃升，天空地海一体化监测全面实现，监测“智慧大脑”基本建成，总体效能满足美丽中国建设支撑需求，技术装备达到世界领先水平。(高敏)



“三峡南极眼”正式发布

4 月 3 日，由三峡大学、中国极地研究中心及上海师范大学联合研制的 3.2 米口径射电/毫米波望远镜“三峡南极眼”正式发布。该望远镜已成功部署于南极中山站并投入运行，标志着我国在南极地区的射电天文观测实现“零的突破”，为探索宇宙奥秘提供了全新视角。

“三峡南极眼”项目自 2023 年启动，历时两年攻关，攻克了极地极端环境适应性改造等关键技术难题。目前，该望远镜已在中山站开展银河系中性氢和氨分子谱线观测研究，未来还将扩展至射电至低频毫米波段信号的多维度探测，为南极亚毫米波望远镜研发积累核心技术。

本报记者李思辉 实习生郝丽报道 受访者供图