



# 纤维芯片：把大规模集成电路装进“头发丝”

■本报见习记者 江庆龄

说起芯片,人们脑海中一般会浮现科技感十足的片状结构。

能否把它做成柔软的纤维状结构?“我们在大约 10 年前萌生了这个想法,觉得很有趣,就开始做了。”中国科学院院士、复旦大学教授彭慧胜说。

经过多年攻关,彭慧胜和复旦大学教授陈培宁领衔的科研团队利用自主设计的多层旋叠架构,在弹性高分子纤维内实现了大规模集成电路。为便于理解,团队给它取了个别名“纤维芯片”。1 月 22 日,这项跳出以往集成电路框架的研究成果发表于《自然》。

“有趣”之余,纤维芯片也很有用。它既有良好的信息处理能力,又有高度柔软、适应拉伸扭曲等复杂形变、可编织等独特优势,有望为发展脑机接口、电子织物、虚拟现实等新兴产业提供有力支撑。

## 引领纤维器件领域

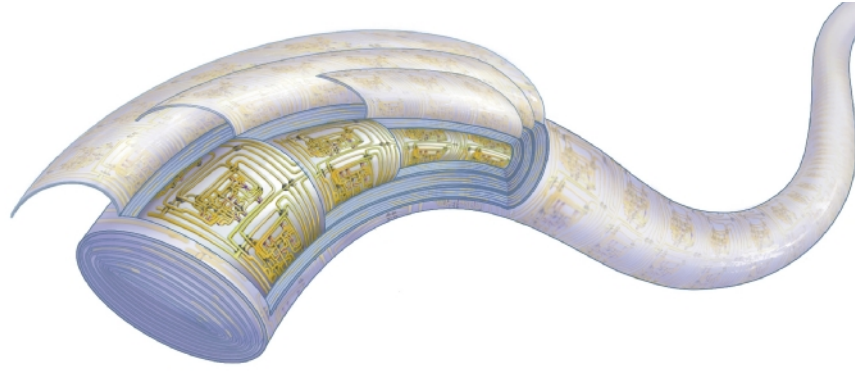
纤维器件是我国具有领先优势的领域之一,并引发国际学术界和产业界关注。而提出这一概念的,正是彭慧胜团队。

自 2008 年成功研制“纤维变色器件”以来,彭慧胜团队在纤维器件领域持续深耕,迄今已创建出 30 多种具有发电、储能、发光、显示、生物传感等功能的新型纤维器件。其中,发光纤维器件、纤维锂离子电池、显示织物 3 项研究成果及相关技术,已初步实现转化应用。

在攻关纤维器件的过程中,团队逐渐意识到,要想让纤维器件走向大众、实现大规模应用,必须将不同功能的纤维器件集成,形成纤维电子系统,并赋予信息交互功能。这一路径与智能手机、计算机等各类电子设备的发展历程相似,其中,具有信息处理功能的芯片是核心部件,也是当前该领域的“无人区”。

2015 年,团队开始布局相关研究,也取得了一些阶段性成果,但离真正实现芯片功能仍相去甚远。

2020 年,新一轮尝试开启。随着复旦大学博士后施翔,博士研究生王臻、陈珂等人的陆续加入,一支着眼于“解决难题”的团队凝聚起来。此后 5 年,团队一边苦练基本功,一边同复旦大学校内集成电路、生物医学工程等团队合



纤维芯片结构示意图。

研究团队供图

作,在学科交叉处寻求突破点。

功夫不负有心人,团队最终啃下了纤维芯片这块“硬骨头”,发展出在柔软的纤维里构建高密度集成电路的方法,并基于此制备出纤维芯片。

纤维芯片的电子元件(如晶体管)集成密度达 10 万个/厘米,通过晶体管与电阻、电容等元件的高效互连,可实现数字、模拟电路运算等功能,以及与典型医疗植入芯片相当的电脉冲调制功能。

基于纤维芯片,研究团队在一根没有头发丝粗的纤维上实现了供电、传感、显示、信号处理等功能的一体化集成,为纤维系统开辟了全新集成路径。

此外,与传统硬质芯片相比,纤维芯片还具有优异的柔性,可耐受弯曲、拉伸、扭曲等复杂形变,甚至在经过上百次水洗、置于 100 摄氏度高温环境、卡车碾轧后,仍能保持性能稳定。

“纤维芯片架构和制备方法具有普适性。比如,可集成有机电化学晶体管,完成神经运算任务。”陈培宁补充说。

## 在“空白”上绘制新路径

对团队来说,研制纤维芯片的最困难之处在于,已有经验可能是“弯路”,必须跳出现有体系的思维定式,寻找一条新路径。

一方面,以往纤维电子器件集成的方法不再适用。长期以来,纤维系统普遍依赖连接硬质芯片电路,不仅系统内电路连接复杂、不稳定,而且与纤维柔性、透气性、轻量化、穿戴舒适性等应用要求存在根本矛盾。

另一方面,产业广泛应用的硅基衬底加工工艺无法直接“套用”于柔软、有弹性的高分子纤维材料。“我们尝试了很多晶体管和材料体系,这些体系在不同文献中都有报道,却唯独在我们的基底上做不出来。”王臻回忆道。

经过一次次试错、一次次头脑风暴,一些“卡点”问题逐渐浮现。纤维表面积有限、弹性高分子表面在微观尺度上极不平整、光刻过程中用到多种极性溶剂易腐蚀弹性高分子、电路层难以承受纤维复杂变形引起的应变集中……

找到问题后,团队一一破解:改用纤维内部空间,提出多层旋叠架构的设计思想,即构建多层集成电路,形成螺旋式旋叠结构;采用等离子刻蚀方法,对弹性高分子表面进行平整化处理,将其粗糙度降至 1 纳米以下;在弹性衬底上设计一层致密的聚对二甲苯膜层,在有效抵御溶剂侵蚀的同时,与弹性高分子衬底形成“硬-软模量异质结构”,减小纤维复杂变形过程中的电路层应变……

“我刚接触课题时,对集成电路或芯片没什么概念,几乎是一片空白。”陈珂说,“空白带来的好处可能是,不受集成电路领域一些根深蒂固想法的影响,敢‘打开脑洞’,尝试以往没试过的方法。”

## 为新兴领域变革发展提供有力支撑

值得一提的是,纤维芯片的制备方法,可与目前芯片产业中成熟的刻光制造工艺有效兼容,有望降低后续产业化

落地的难度。目前,研究团队已经通过研制原型装置、设计标准化制备流程,初步验证了纤维芯片规模制备的可行性。

“基于纤维芯片的集成方法,使纤维系统摆脱了对外部信息处理设备的依赖,有望在一些新兴领域产生独特应用。”陈培宁说。

在脑机接口领域,利用纤维芯片技术,有望在一根头发丝粗细的纤维内,集成“传感-信号处理-刺激输出”闭环功能系统,为脑科学和脑神经疾病诊断与治疗提供新工具。团队初步验证,在直径 50 微米的超细纤维上,可同时集成几种纤维器件,包括高密度传感-刺激电极阵列与信号预处理电路。该系统具有与脑组织相当的柔性和良好的生物安全性,采集的神经信号的信噪比与商用外部信号预处理设备相当。

电子织物被认为是可穿戴设备的终极发展形态,其核心挑战在于如何实现全柔性的织物系统。有了纤维芯片,无需外接处理器,就可以直接编织构建柔软、透气的全柔性电子织物系统。“借助纤维芯片内置的有源驱动电路,可在织物中实现动态像素显示。未来,或许一件衣服就能实现电脑和手机的交互功能。”陈培宁说。

在虚拟现实领域,目前触觉接口高度依赖块状硬质信号处理模块,导致与皮肤柔性表面贴合度不足,难以实现精准细致的信号采集与输出。采用纤维芯片的智能触觉手套,兼具高柔性及透气性,可集成高密度传感与刺激阵列,精准模拟不同物体的力学触感,适用于远程手术组织硬度感知、虚拟道具交互等场景。

不过,研究团队强调,纤维芯片并不是为了替代传统硅基集成电路,而是希望能借助其优势为集成电路发展提供新的思考和路径。

“围绕纤维芯片,未来还有很多工作要做。”陈培宁表示,团队将继续加强与不同学科的合作,进一步提升器件集成密度,提升信息处理性能,满足更复杂应用场景的需求。在规模化制备和应用方面,团队已建立了自主知识产权体系,希望能与上下游产业界协同,实现更高质量应用。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09974-0>

# 中央纪委国家监委驻中国科学院纪检监察组与中国科学院党组召开 2025 年年终专题会商会议

本报讯 1 月 19 日,中央纪委国家监委驻中国科学院纪检监察组与中国科学院党组在京召开 2025 年年终专题会商会议。驻院纪检监察组组长、党组成员孙也刚出席会议并讲话。中国科学院院长、党组书记侯建国主持会议并讲话。副院长、党组副书记吴朝晖等领导班子成员出席会议。

侯建国代表中国科学院党组通报了 2025 年落实全面从严治党主体责任、深入推进党风廉政建设和反腐败工作情况,以及 2024 年专题会商会议议定事项落实情况,介绍了 2026 年全面从严治党重点工作初步考虑。

孙也刚代表驻院纪检监察组肯定了 2025 年中国科学院党组持续推动全面从严治党、党风廉政建设和反腐败工作取得的进展成效,通报了 2025 年监督检查和审查调查工作情况,并提出了需要重点关注的问题和有关意见建议。他希望中国科学院党组持续深入学习贯彻习近平总书记重要指示批示精神和党中央重大决策部署,不断强化国家战略科技力量主力军使命担当;巩固拓展深入贯彻中央八项规定精神学习教育成果,推进作风建设常态化长效化;强化院机关党建,以铁规矩锻造践行“两个维护”第一方阵,在加快抢占科技制高点中打好头阵;进一步落实管党治党责任,加大力度推进“三不腐”力度,大力弘扬科学家精神,维护风清气正的科研创新生态。

院党组成员围绕会商主题,结合分管工作和驻院纪检监察组通报情

况以及履行“一岗双责”情况逐一发言,提出了整改考虑和重点举措。

侯建国在总结讲话中对全院进一步落实全面从严治党“两个责任”,强化政治监督、正风肃纪、标本兼治,扎实做好 2026 年全面从严治党工作作出部署。一是持续提高政治站位,深入学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想,深刻领悟“两个确立”的决定性意义,坚决做到“两个维护”,不断强化国家战略科技力量主力军的使命感、责任感。二是牢记党的自我革命永远在路上、全面从严治党永远在路上,锲而不舍落实中央八项规定精神,不断强化院机关和院属单位作风建设,健全监督检查和反腐同查同治机制,促进化风成俗,营造良好创新生态。三是坚持和加强党对科技工作的全面领导,强化对院属单位党委书记等“关键少数”的严格要求和督促指导,加强思政引领、凝聚攻坚力量,为改革创新、抢占科技制高点提供坚强政治保证。四是以严的基调强化正风肃纪反腐,切实抓好监督执纪重点工作,提升执纪审查工作效能,对违规违纪问题严肃处理、严肃问责,不断铲除腐败滋生的土壤和条件。

侯建国强调,要根据驻院纪检监察组通报问题及提出的意见建议,认真研提落实举措,细化整改方案,明确责任分工,抓紧推进落实。特别是针对重点问题,要点面结合、一抓到底,以全面从严治党新成效引领保障加快实现高水平科技自立自强、建设科技强国。(柯讯)

# 中国与智利载人深潜科考启航 联合探索阿塔卡马海沟

据新华社电 1 月 19 日,中国-智利阿塔卡马海沟载人深潜联合科考航次从智利瓦尔帕莱索正式启航,两国科考人员将合作探索最大深度超 8000 米的阿塔卡马海沟。启航仪式在停靠于智利中部瓦尔帕莱索港的中国“探索一号”科考船上举行。

本航次由中国科学院深海科学与工程研究所与智利康塞普西翁大学共同组织,主要目标包括探索阿塔卡马海沟生物多样性、化能生态系统、深部流体活动和板块俯冲机制等。该海沟又称秘鲁-智利海沟,位于秘鲁与智利两国西侧海域,长约 5900 公里,是世界上最长的海沟,以表层水体生产力高、底部构造活动活

跃、底栖生物密度大为特点,但科学界对其探索仍十分有限。

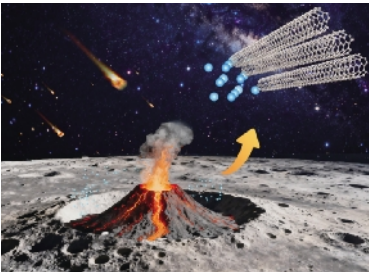
智利康塞普西翁大学千禧海洋研究所所长奥斯瓦尔多·乌略亚告诉新华社记者,这次科考活动将帮助智利了解阿塔卡马海沟地质与生命特点,对探索该国频发的地震和火山成因及海沟生物多样性具有非常重要的意义。

本航次也是由中国主导的国际大科学计划“全球深渊探索计划”框架下的国际联合航次。本航次中,“探索一号”科考船搭载了我国自主研发的“奋斗者”号载人潜水器,它是目前国际上唯一一台具备万米海深作业能力的载人潜水器。(朱雨博)

# 嫦娥六号月球样品中首次发现天然单壁碳纳米管

本报讯(记者甘晓 通讯员张未、李仪)吉林大学科研团队通过对嫦娥六号月球样品的系统分析,在国际上首次发现并确认了天然形成的单壁碳纳米管和石墨碳,揭示了月球表面“高能物理-化学过程”的精细程度,印证了月球背面的地质活动更活跃,为研究月球演化史提供了关键数据。近日,相关研究成果发表于《纳米快报》。

研究人员综合运用多种显微与光谱技术,对嫦娥六号采集的月球背面样品进行了系统表征,不仅首次明确识别出石墨碳,并追溯了可能的形成与演化过程,还在国际上首次证实了无需人工干预、天然形成的单壁碳纳米管的存在。研究表明,这些碳纳米管的形成可能与月球历史上微陨石撞击、火山活动及太阳风辐照等多因素协同作用下的铁催化过程密切相关,展现了自然界在极端条件下合成关键材料的能力。



碳纳米管形成机制示意图。

研究团队供图

该团队通过对比研究嫦娥六号月球背面样品与嫦娥五号月球正面样品,还发现嫦娥六号样品中的碳结构具有更明显的缺陷特征,这可能与月球背面经历的更强烈的微陨石撞击有关。这一发现也揭示了月球正面与背面在物质组成与演化过程中存在新的不对称性。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5c05812>

# 我国科学家首次直接观测到米格达尔效应

本报讯(记者张晴丹)中国科学院大学教授郑阳恒、刘倩团队与多所高校的合作者首次直接观测到米格达尔效应,为轻暗物质探测突破阈值瓶颈提供了关键支撑。近日,相关成果发表于《自然》。

米格达尔效应由苏联物理学家阿尔卡季·米格达尔于 1939 年首次提出:当中性粒子与原子核碰撞时,反冲原子核将部分能量传递给核外电子,使电子有概率获得足够的能量脱离原子束缚,形成“共顶点”的两条带电径迹——核反冲径迹和电子径迹。米格达尔效应被认为是突破轻暗物质探测能量阈值的關鍵理论路径。然而,理论预言提出后的 80 多年间,中性粒子碰撞过程中是否存在米格达尔效应一直未被证实。

研究团队自主研发了“微结构气体探测器+像素读出芯片”超灵敏探

测装置,相当于一台“照相机”,可拍摄“单原子运动释放电子的过程”。利用紧凑型氦-氖聚变反应加速器中子源轰击“照相机”内的气体分子,会同时产生原子核反冲与米格达尔电子,二者形成“共顶点”的独特轨迹。通过分析这一特征,研究团队成功将这种“米格达尔事件”从伽马射线、宇宙射线等背景干扰中区分开来,首次直接证实了利用量子力学预言的米格达尔效应。

研究团队表示,未来他们将进一步优化探测器性能,拓展对不同元素米格达尔效应的观测,为更轻质量的暗物质粒子探测提供数据支持;同时,与暗物质探测实验团队合作,将此次实验结果融入下一代探测器的研发中。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09918-8>

# 美国批量“退群”,科学家深感失望



本报讯 美国总统特朗普近日宣布,美国将退出 66 个国际组织,其中包括 32 个联合国机构。这些机构涉及生物多样性研究、气候科学和环境保护等领域。据《自然》报道,一些受影响的科研机构的研究人员和代表表示,这一决定不会对他们的工作造成严重影响。

美国将退出联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC),该委员会主要负责为各国提供最新气候科学信息。同

时,美国还将退出世界自然保护联盟及生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台(IPBES),这两大机构均向各国政府提供有关生态保护和生物多样性的科学建议。

IPCC 主席、气候科学家 Jim Skea 在一份声明中表示,IPCC 是“科学与政策之间的独特桥梁”,向各国决策者提供“基于科学的、具有可操作性的信息”。声明同时指出,IPCC 将继续“基于成员国政府在全体会议上达成的共识作出决策”。

IPBES 主席、海洋生物学家 David Obura 在一份声明中表示,这一消息“令人深感失望”。不过,IPBES 的报告基于大量开源数据,美国的退出不会影响到其

报告的内容或结论。

美国还将退出国际可再生能源机构及联合国经济和社会事务部,后者负责监督可持续发展目标的数据收集工作。可持续发展目标是一项致力于在 2030 年消除贫困、减少不平等并实现环境可持续性的国际行动计划。据悉,联合国可持续发展目标的相关工作不会受此影响,因为相关数据均来自公开渠道。

在这份退出名单中,部分机构的预算相对较少,这让不少研究人员感到困惑。美国智库大西洋理事会的专家 Carole House 表示,全球网络安全技术论坛(GFCE)便是其中之一,该论坛常

被称为“全球网络安全信息中心”。通过这一平台,包括美国在内的拥有先进网络安全技术的国家,可协助其他国家保护数字基础设施免受攻击。而切断对他国网络安全能力的支持,最终也会损害美国的自身利益。

此前,美国已宣布退出世界卫生组织、联合国科教文组织及《巴黎协定》,且明确反对可持续发展目标。然而,美国仍在一些关键国际组织及与联合国有关的组织中保留席位,如国际货币基金组织、世界贸易组织,以及国际原子能机构。同时,美国仍将继续履行规范濒危物种贸易、保护迁徙动物的相关联合国公约。(李木子)