



总第 8930 期
2026 年 2 月 3 日
星期二 今日 4 版

中国科学院主管 中国科学报社出版
国内统一连续出版物号 CN 11-0084 代号 1-82
主办:中国科学院 中国工程院 国家自然科学基金委员会 中国科学技术协会

新浪微博 <http://weibo.com/kexuebao>



科学网 www.science.net.cn

“破界”之材！“中国牌”无机半导体来了

■本报记者 王昊昊

刚则易碎、柔则失“性”，这是有关材料的一道经典难题。尤其在半导体领域，卓越的电学、光学性能总与机械脆性相伴，如同鱼与熊掌，难以兼得。

10 多年前，一块砸不碎、摔不烂的材料，让中国科学院上海硅酸盐研究所（以下简称上海硅酸盐所）研究员史迅科研团队的实验短暂遇阻。但这个技术障碍，意外叩开了材料科学领域一扇全新的大门。

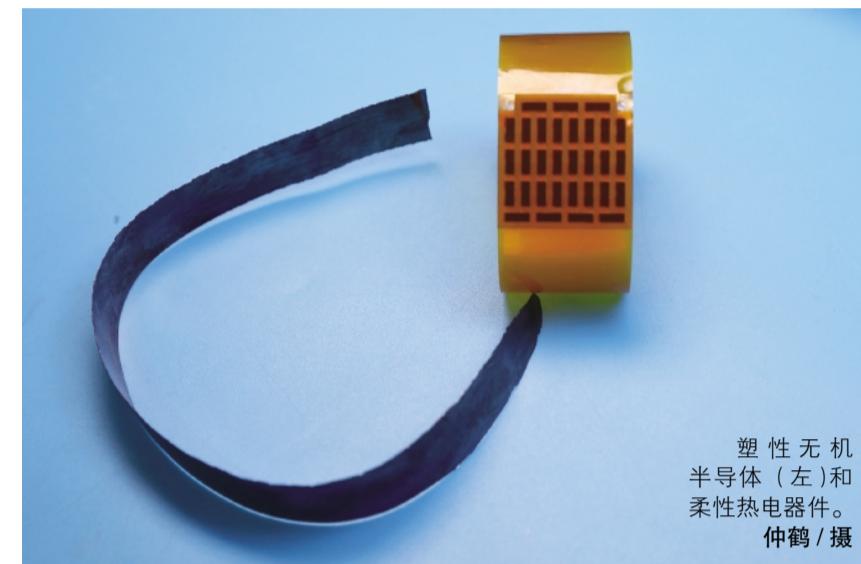
10 多年过去，他们在国际上率先发现塑性无机半导体，实现该领域“从 0 到 1”的突破，创造出“中国牌”无机半导体，打破了金属与无机非金属的传统边界，并初步开展产业应用研究。近日，史迅团队凭借“塑性无机半导体”系列原始创新，荣获 2025 年度中国科学院杰出科技成就奖基础研究奖。史迅为成果第一完成人，中国科学院院士、上海硅酸盐所研究员陈立东是第二完成人。

**打破“刚”的特性
5 年没有放弃“顽固”材料**

2013 年，史迅、陈立东团队联合开展热电半导体材料相关研究。“实验过程中，一名研究生发现有种常规的热电陶瓷材料怎么都砸不碎，也摔不烂。”史迅说。这个技术难题让研究生很苦恼，因为如果该材料无法粉碎与烧结，就没法开展后续研究。

为了不耽误科研进度，研究人员通常会考虑换材料，但史迅没有这么做。“我总对一些稀奇古怪的材料、现象感兴趣。常规陶瓷材料是脆的，为什么这个材料如此反常？”他立马来了兴趣。在上海硅酸盐所读博时，史迅就师从陈立东，因此在察觉到这其中或许存在有趣的科学问题后，便和陈立东多次探讨，带着系列疑问开启相关研究。

彼时，柔性电子引起广泛关注并迅速发展，被认为有可能带来一场电子技术革命。但无机非金属材料尤其是半导体均为脆性材料，在大弯曲、大变形以及拉伸状况下，极易发生断裂进而导致器件失效。而有机半导体电学性能可调范围较小，无法满足半导体工业蓬勃发



塑性无机半导体 (左) 和
柔性热电器件。
仲鹤 / 摄

展的需求。

“砸不碎、摔不烂，意味着其力学行为不同于类似的材料。”史迅团队对该材料的力学特性展开研究，但过程并不顺利。

几年过去，研究生换了两名，研究还是未见起色。“如果很长时间不出成果，容易打击科研新人的信心，因此两名学生最后去研究简单一些的材料体系了。”但史迅总是不甘心，在“主业”热电材料研究频出成果的同时，他没放弃这个有点像“副业”的方向。

随着新一批学生的加入，研究越来越深入，团队逐渐解析清楚了这一材料。原来，这个“顽固”的材料是硫化银 ($\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$)。2018 年，团队在《自然 - 材料》上发表相关成果，宣布发现首个可弯曲拉伸无机半导体材料 $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ 。

紧接着，团队又于 2020 年在《科学》发表成果，发现硫化铟 (InSe) 单晶材料也砸不碎、摔不烂，甚至可叠成纸飞机的形状。Ag₂S 多晶和 InSe 单晶在块体形态下具有类似金属的良好塑性，可被大幅弯曲、折叠、扭转而不破碎，最大压应变近 80%，弯曲应变超过 20%，拉伸应变超过 15%。

终于，他们叩开了一扇通往新材料世界的大门。团队开辟了塑性无机半导

体这一全新研究方向，实现该领域“从 0 到 1”的突破，打破了金属与无机非金属材料的传统性能边界，让“跨界新材料”的诞生成为可能。

**揭开“柔”的奥秘
从“一枝独秀”到“百花齐放”**

Ag₂S 和 InSe 是特例，还是代表着一类未被发掘的材料家族？能否主动预测和寻找新的塑性半导体材料？

为此，团队迈出“从 1 到 10”的关键一步，建立预测模型，创造性地提出了塑性变形因子这一理论模型。该因子综合了 3 个关键参数，即衡量抗开裂能力的“解理能”、决定滑移难易的“滑移能垒”以及反映材料刚度的“杨氏模量”。3 个参数如同一个材料的塑性体检报告指标，能快速评估其塑性潜能。

有了理论工具，团队借助高通量计算，开启了大规模筛选。他们建立了自动化计算流程，从 3451 种硫族化合物中进行“海选”，面对如何确保计算准确性、建立可靠判据等难题，团队通过反复验证和优化，最终将目标范围大幅缩小至 20 余种重点候选材料。

“这一大规模筛选过程中，主要技

术难点在于如何确保计算模型的准确性、可靠性，并与宏观性能建立有效关联。”团队成员、上海硅酸盐所副研究员高治强介绍，团队建立了标准化的计算方案以确保不同材料数据之间的可比性，并通过在已知塑性材料上进行反复验证，最终发现了多种新型塑性半导体。

随后，团队成功验证了二硫化钼、硒化锡等 7 种新型塑性二维无机半导体。材料家族的“扩编”，证明了塑性并非个例，而是一种可能具有普适性的新特性。

更大的挑战在于改造那些性能优异但本性“脆弱”的经典材料。热电领域“明星材料”碲化铋 (Bi₂Te₃) 性能优越但极易碎，团队通过调控反位缺陷诱导形成高密度、多样化微结构，实现该材料脆性 - 塑性转变。相关成果于 2024 年发表于《科学》。

“我们给 Bi₂Te₃ 做了一场微观织构重构手术。”上海硅酸盐所研究员仇鹏飞说，这些微结构像无数个微小的“缓冲关节”和“能量耗散器”，能有效阻碍裂纹的扩展，并将外部施加的机械应力通过自身可控的滑移或畸变吸收，从而使材料从脆性断裂转变为塑性变形，最终将压缩应变提升至 80%，同时保持优异的热电性能。

塑性无机半导体在室温下具有很好的性能，如何适应其他工作温度条件？

解决材料塑性对温度的依赖问题尤为关键。为此，团队进一步建立了变温塑性模型，预测并验证了硒化铜、硒化银等 8 种塑性无机半导体材料，发现它们在 400 至 500K 温度条件下，仍能表现出优良塑性，像金属一样，通过温加工实现塑性变形与精密成型。

“我们实现了从偶然发现个例到建立普适理论预测模型、设计改造材料的过程，让塑性无机半导体有了可供探索和设计的丰富材料库。”史迅表示。

(下转第 2 版)



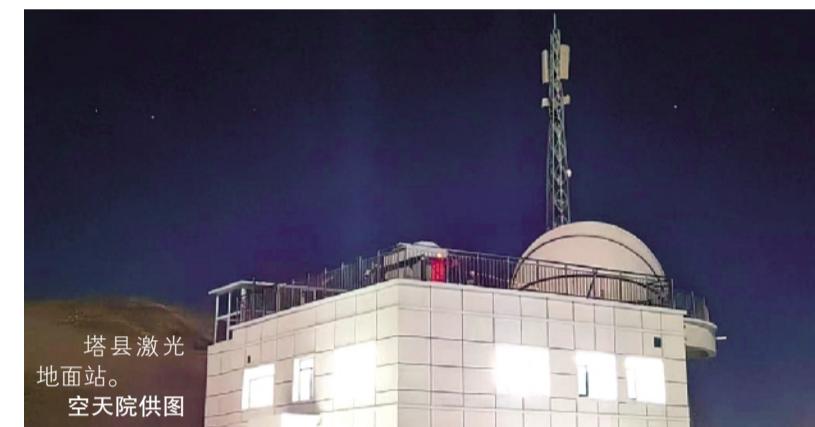
中国科学院召开抢占科技制高点重大科技任务第六次工作推进会

本报讯 1 月 29 日至 30 日，中国科学院召开抢占科技制高点重大科技任务第六次工作推进会。中国科学院院长、党组书记侯建国出席会议并讲话，副院长、党组副书记吴朝晖主持会议，院领导班子其他成员出席会议。科技部三司、十司有关同志应邀出席会议。

会上，科技部十司负责同志介绍了国家重大科技项目监督检查的部署要求和有关情况，各重大科技任务负责人分别报告了近两年主要工作进展、2026 年度预期成果和任务安排，中国科学院重大专项研究局报告了监督检查工作情况，财务与资产管理局报告了资金使用监管情况，主管业务局报告了“里程碑”节点和阶段目标考核情况，各监理专家组报告了年度监理工作情况。与会人员围绕加强重大科技任务组织实施、高质量完成年度目标任务，加快产出高水平科技成果等方面进行了深入交流研讨。

侯建国在讲话中充分肯定了过去两年来重大科技任务组织实施的进展成效，结合国家相关部署要求和院 2026 年度工作会议部署安排，对下一阶段工作提出要求。一是要进一步提高政治站位、强化责任担当，全力以赴抓好重大科技任务组织实施。二是要认真对照任务书和“里程碑”节点目标，抓好年度标志性成果凝练，推动产出更多关键性、原创性、引领性重大科技成果。三是要高度重视监督检查和项目监理等发现的问题，不折不扣抓好整改落实，确保销账闭环，同时认真对照检查、举一反三，建立健全长效机制，坚决避免类似问题再次发生。四是压实压实“两总”责任，加强对重大项目任务部署、组织管理、资金使用等方面的过程管理，抓好各项目之间协同联动，持续提升大团队攻关的组织力战斗力，在全院加快抢占科技制高点中当好标杆、做好表率。(柯讯)

速率超百 G！我国星地激光通信架起“多车道高速桥”



本报讯(记者高雅丽)近日，记者从中国科学院空天信息创新研究院(以下简称空天院)获悉，该院成功开展超百 G 星地激光通信业务化应用实验，通信速率达到 120 吉比特每秒(Gbps)。实验结果表明，通信链路稳定、下传数据质量优良。这标志着我国星地激光通信业务化应用能力迈上一个新台阶。

本次实验利用空天院塔县激光地面站自主研制 500 毫米口径星地激光通信系统与中科院卫星 AIR-SAT-02 卫星，在卫星硬件无变化的情况下，通过卫星在轨软件重构，充分挖掘利用激光通信载荷的硬件潜能，将卫星激光通信载荷的能力从 60Gbps 提升至 120Gbps。这不仅刷新了国内星地激光通信传输速率纪录，还破解了超高速星地激光通信链路难以快速建立、长时间稳定维持和高效可靠传输的难题。实验期间，星地之间成功实现了秒级捕获建链，建链成功率超过 93%，最大连续通信时长 108 秒，获取数据量达 12.656Tb，并成功处理出高质量遥感影像。

为实现海量数据星地超高速传输，团队聚力开展技术攻关，成功突破一系列核心技术瓶颈。一是让信号“收得稳”，通过优化强实时光学畸变校正算法，精准抑制大气湍流引起的高频频扰动，确保了微弱激光信号的稳定跟踪与高效耦合；二是让信号“收得对”，深度应用信号损伤补偿技术，在数字域精准消除高速率信号的非线性畸变，同时通过抗大气湍流高效率激光通信空口协议，确保了数据的低误码率；三是让信号“收得快”，改进非稳态大气信道自适应传输控制策略，有效解决了快衰落信道下的数据吞吐瓶颈，最大化利用信道容量，保障了超高速率传输效率。

arXiv 定投稿新规，需英文撰写、接受 AI 翻译



本报讯 作为知名度最高的预印本平台之一，arXiv 每月都会收到来自全球各地的作者提交的两万余篇科学论文。据《自然》报道，近日，该平台推出一项新规：自 2 月 11 日起，所有投稿都须以英文撰写，或附上完整的英文翻译版本。而在此之前，作者仅需提交英文摘要即可。

arXiv 的工作人员表示，这项英语使用规定将为平台审稿员减轻工作负担，同时维持广泛的读者群。“如果论文不以英文撰写，我们就无法对其进行公正的评审。”arXiv 编辑咨询委员会主席、荷兰阿姆斯特丹大学的 Ralph Wijers 表示。

arXiv 向美国康奈尔大学运营，约 300 名志愿审稿员对提交的论文进行审核，确认“内容恰当时贴合主题”。该平台涵盖 8 个学科领域，收录了近 300 万篇预印本论文，其中绝大多数集中在计算机科学、物理学和数学领域，目前仅有 1% 的投稿使用非英语语言。

新规引发了不少公开反对的声音。有观点认为，规定带来的额外翻译负担，可能会让研究者不愿将博士论文、教材章节等内容以预印本形式公之于众——作者或许会觉得，翻译这类篇幅较长的内容得不偿失。

意大利米兰理工大学的 Angelo Lucia 表示：“这对我们的科研社群而言是一种损失。”几位法国科学家在 arXiv 的政策公告下留言称，他们或许会将稿件转投法国预印本服务器 HAL，该平台支持英语、法语、西班牙语等多种语言

投稿，且不要求作者提供翻译版本。值得注意的是，arXiv 明确规定，只要翻译内容忠实于原文，由人工智能(AI)聊天机器人等工具完成的自动翻译版本均为可接受的形式。

不过，arXiv 的编辑对 AI 的翻译能力存有疑虑。Wijers 说：“我们的建议是，作者必须对翻译结果进行核查。就实际体验而言，AI 翻译的效果尚可，但仍有不少的提升空间。”

目前，大语言模型在生成日常对话文本方面表现出色，但针对其翻译科技论文的能力的相关研究仍较为匮乏。于是，美国斯坦福大学的 James Zou 和 Hannah Kleidermacher 针对 OpenAI 公司 2024 年推出的大语言模型 GPT-4o 展开研究，测试其将英文学术文本翻译成其他语言的能力，结果显示平均正确率达 95%。

Kleidermacher 说：“即便是斯瓦希里语这类小众语言，模型也能准确传达论文的核心科学内容与研究发现。”目前，这项研究尚未经过同行评审。

他们还邀请了 15 名精通多种语言的研究人员，对 GPT-4o 翻译成其母语的文本进行评估。研究人员在对翻译水平之高感到惊讶的同时，也发现了一些常见问题——模型会对部分专业术语进行“过度翻译”，而受访者更希望这些术语保留英文原词。

Wijers 强调，向 arXiv 提交稿件的作者需对论文内容(包括翻译)全权负责，且应对翻译错误保持警惕。他解释称，当大语言模型翻译或润色某段文字时，得到的文本看起来往往十分流畅，但偶尔会曲解原句含义，可能是因为选错近义词而出现明显错误。“不过，AI 技术发展速度极快，现在表现欠佳的地方或许半年后就能得到完善。”(王方)

灭绝与繁盛：封存在“花垣生物群”的双面故事

■本报记者 张楠

山坡上，几个年轻的身影坐在修路时开采出的碎石堆里，身着工装、头戴红色安全头盔，一人抱着一块石片叮叮当当地轻轻敲打，不时停下来细致观察。

2020 年的一次普通机耕道修建，意外揭开了寒武系杷榔组新鲜的泥岩剖面。

中国科学院院士、中国科学院南京地质古生物研究所(以下简称南京古生物所)研究员朱茂炎团队，开展了持续 5 年的野外发掘和系统的化石采集工作，并联合多家单位于 1 月 29 日在《自然》发表了关于寒武系软体化石群“花垣生物群”的重要发现。这项发现填补了寒武系第四期顶级软体化石群缺失的空白，更为科学认识显生宙首次生物大灭绝的规模和影响提供了宝贵证据。

尘封的“花园”宝藏

截至目前，在湖南省湘西土家族苗族自治州花垣县石栏镇磨子村仁枯坡发现的化石标本，累计已超过 5 万块。团队对早期采集的 8681 件动物化石个体进行鉴定，识别出 153 个动物物种，其中 59% 为新物种。仅从单一采坑的物种数量来看，花垣生物群已超过中国澄江动物群、加拿大布尔吉斯页岩生物群等经典化石采坑。

“更令人惊叹的是其极高的门类多样性与保存质量。”论文第一作者、南京古生物所副研究员曾晗告诉记者，《中国科学报》，花垣生物群涵盖了包括多孔动物、栉水母动物、刺胞动物、节肢动物、腕足动物、半索动物、脊索动物等在内的 16 个动物门类，基本涵盖了现代动物树的主要分支。



杨定华、科学网可视化团队绘制

由于化石以碳质膜和黏土矿物膜形式保存，属于典型的布尔吉斯页岩型特异埋藏，因此这里不仅完整保存了奇虾类等大型动物个体，还保存了多种全身软体的动物，以及它们的肠道、视神经、腹神经索、鳃等精美的软体组织器官结构。用曾晗的话来说，这堪称“精美”。

国际软体化石群研究专家罗伯特·盖恩斯评价，花垣生物群是足以媲美澄江动物群和布尔吉斯页岩生物群的“全球顶级寒武纪特异埋藏化石群”。

花垣，成为化石研究学者的“花园”。

论文通讯作者朱茂炎介绍，花垣生物群的核心科学价值在于其恰好形成于显生宙第一次生物大灭绝——辛斯克事件之后的关键转折期。此次事件发生在 5.13 亿年前，规模与显生宙著名的“五次大灭绝”相当，属一级的生物灭绝率高达 41%-49%，曾一度打断了寒武纪生命大爆发的辉煌进程。

然而，过去对此事件的认识主要基于浅海环境的骨骼化石记录，难以反映全球海洋生态系统的全貌。“花垣生物群作为一个罕见的深水环境软体化石群，提供了全新的视角。”朱茂炎表示。

研究发现，辛斯克事件对浅水和深水生态系统的影响存在显著差异。在华南浅水区，事件前的澄江动物群与事件后的关山生物群之间共有物种很少；而在深水环境，事件前的牛蹄塘生物群与事件后的花垣生物群却共享纳罗虫、原始管虫等优势物种。

这表明，辛斯克事件引发的浅海大范围缺氧等环境恶化，对浅水生物群造成了沉重打击，而外大陆架深水环境则可能成为生命的“避难所”，庇护了许多类群，使其安然度过危机。

此外，花垣生物群犹如一座寒武纪“国际港口”，见证了惊人的生物跨洋扩散事件。其中有地理分布跨越 750 公里的昆明关山虾，更出人意料地包含了马尔虫、头盔虫、西德尼虫、莫里森虫、爬胃虫等多种远在北美洲布尔吉斯页岩生物群的典型生物。

在寒武纪时期，华南与北美板块远隔重洋，这些生态习性各异的动物如何跨越半个地球的距离在此汇聚？研究支持了洋流搬运幼虫实现长距离扩散的假说，揭示了早期动物强大的扩散能力与复杂的生物地理格局。

大数据下的生命转折

为了在全球视野下评估花垣生物群的意义，研究团队构建了涵盖全球 45 个寒武纪软体化石群，包含 3149 种生物种产信息的大数据集。

分析结果显示，辛斯克事件前后，全球海洋动物群落的组成发生了根本性转变。花垣生物群与辛斯克事件之前生物群差异显著，而与年代上较晚的、同样处于深水环境的布尔吉斯页岩生物群显示出更紧密的联系，进一步强化了“深水环境作为灭绝期生物避难所和灭绝后演化创新起源地”的关键角色。

花垣生物群本身也展现了一个结构复杂的深海生态系统。多达 21 个的生态功能群、包括顶级捕食者寄生虫在内的复杂食物网，以及类似现代海洋“生物碳泵”的樽海鞘类浮游被囊动物的存在，共同描绘出一幅寒武纪早期深海生命繁盛的图景。

在当今全球变化背景下，研究古生物大灭绝与生命复苏的过程，对于理解生物多样性演化规律、应对可能面临的生态挑战具有深远的基础科学意义。朱茂炎透露，地方政府已将逐步推进挖掘花垣生物群巨大的科学价值。

相关论文信息：<http://doi.org/10.1038/s41586-025-10030-0>