

# 与 AI 算力赛跑,他们“种”出光通信新材料

■本报记者 冯丽妃

随着人工智能(AI)大模型快速迭代,算力集群指数级扩张,芯片内部正上演着一场速度与功耗的“交通革命”。

随着传输速率不断提升,传统铜电互连在带宽、损耗和功耗上日益受限。面对日益拥挤的“数据交通”,科学家正在加速推动“以光代电、光电协同”技术落地,为数据铺设“光速公路”。然而,电信号上路需要关键的“转换枢纽”——电光调制器。硅虽然适合构建光波导和大规模光子集成电路,但本征电光效应弱,难以高效调制,成为硅基光子芯片的性能瓶颈。

面对这一痛点,清华大学材料学院副教授李干团队与合作者在 4 英寸硅晶圆上成功“种”出高品质钛酸钡薄膜,为解决这一难题提供了关键“材料底座”。相关成果近日以封面文章形式发表于《工程－变革性材料》创刊号。

## 硅上“种”出高性能薄膜

在光互连领域,硅作为一种极具优势的波导材料,光学折射率对比度大,拥有成熟的半导体制造工艺。但硅有一个难以回避的“先天缺陷”——几乎不具备本征的线性电光效应。

为突破这一瓶颈,科学家一直在寻找能与硅光子平台融合的高性能“电光材料”,铌酸锂就是其中的代表。凭借优异的电光和光学性能,铌酸锂近年来已成为集成光子领域的重要材料。不过,其电光系数相对有限,异质集成和微纳加工也较为复杂,这些因素在一定程度上限制了该材料向更高集成度、更低功耗方向进一步发展。

在诸多候选材料中,钛酸钡凭借更强的线性电光效应脱颖而出,其部分电光系数相比铌酸锂高出几个数量级甚至更多,为实现低电压、低功耗的高速电光调制提供了新的可能。然而,要把钛酸钡高质量地“嫁接”到硅晶圆上并不容易。

受晶体结构、界面化学等因素影响,传统外延方法往往难以兼顾生长速度与晶体质量。如何让钛酸钡在硅上既“长得快”又“长得好”,一直是该领域面临的难题。日前,美国、瑞士等国家的部分企业已掌握高质量硅基钛酸钡

技术,但相关材料和技术对我国供应受限,国内自主制备需求十分迫切。

“高质量钙钛矿氧化物的生长通常需要一定的氧化环境,但硅表面又极易被氧化,形成非晶层,从而破坏后续外延所需要的晶格连续性。”论文第一作者、清华大学博士生田孝栋对《中国科学报》说。

研究初期,团队围绕硅表面处理、缓冲层厚度、衬底温度等参数进行了大量繁琐的尝试。“这个过程并不是简单地找到一个‘能够生长’的条件,而是需要通过原位反射高能电子衍射仪反复观察和调整,逐步找到稳定的工艺窗口。”田孝栋表示。

最终,团队通过自主改造并搭建的国内首台全流程混合分子束外延设备,成功在 4 英寸硅晶圆上实现了钛酸钡/钛酸锆的连续外延生长。与传统分子束外延技术较低的生长速率相比,新工艺将速率提升至百纳米每小时量级,同时保持高质量的逐层外延生长。测试表明,制备出的薄膜有效电光系数达到了 248 皮米/伏,居里温度被提升至 200 摄氏度以上,在高温环境下依然保持稳定性能。这意味着我国在这一领域打破了国外的技术垄断,实现了全流程国产自主可控。

## 推动“光进铜退”向芯片迈进

“一种材料真正产生影响,不仅需要优异的本征性能,还需要解决大尺寸制备、工艺稳定性以及与现有技术平台兼容等一系列工程问题。”论文通讯作者李干说,此项成果旨在推动钛酸钡从实验室高性能电光材料向晶圆级集成和实际光子器件应用迈进,推动光互连“光进铜退”的发展。

“光进铜退”并非新概念,过去二十多年,这个过程一直在持续。论文共同通讯作者、清华大学新型陶瓷材料国家重点实验室助理研究员邓晨光介绍,早期光纤主要负责长距离骨干网络传输,后来逐渐进入数据中心,承担服务器、交换机及机架之间的大带宽数据传输。“可以说,在中长距离场景中,光已在相当程度上实现了‘替铜’。”

随着 AI 算力集群的快速扩张,数



创刊号封面。  
图片来源:《工程－变革性材料》

据中心光接口正从 800 吉比特每秒向 1.6 太比特每秒乃至 3.2 太比特每秒演进,铜互连在更短距离上也开始面临信号衰减、功耗和带宽密度等限制。因此,光互连正在从“机架之间”进一步向“机架内部”乃至“芯片附近”推进。近年来受到广泛关注的共封装光学(CPO),就是把光子引擎直接放到交换芯片附近,尽可能缩短高速电信号需要经过的铜互连距离。

“现阶段并不是‘光已经完全取代铜’,而更像光和铜的分界线正在不断向芯片内部移动。”邓晨光说,铜在成本、成熟度及超短距离连接上仍具优势,但随着 AI 集群规模提升,越来越多原本由铜承担的高速互连有望逐步转向光。

随着光互连越来越接近芯片领域,用更低的电压和能耗将高速电信号高效加载到光信号上变得越来越重要。这也是钛酸钡的用武之地,随着高质量、晶圆级制造的实现,并与成熟硅平台进一步集成,它有望为光互连持续向芯片内部延伸奠定新的材料基础。

## 夯实技术底座,抢占先机

日前,我国在“以光代铜”和光通信的全球竞赛中处于什么水平?对此,

李干表示,我国已是全球光通信产业最重要的参与者之一,拥有非常完整的产业链。在传统光通信领域,我国在光纤光缆、光通信设备及光模块的大规模制造方面具有明显优势。特别是在光纤光缆领域已居世界前列。而在面向 AI 数据中心的高速光模块领域,国内企业已在 800G、1.6T 等产品的研发和量产方面也已进入全球第一梯队。

李干表示,“以光代铜”并不是单一技术的竞争,而是一整套从材料、光芯片和调制器,到光模块、先进封装和系统架构的全链条竞赛。随着光互连不断向芯片内部延伸,全球在高性能光源、高端光芯片、硅光核心器件,以及 CPO、芯片级光互连等前沿方向,仍处于快速竞争阶段,我国在部分核心技术和产业生态上仍有继续突破的空间。

“未来光互连的突破,关键在于单一的材料或器件创新,而在于打通‘材料—器件—封装—系统’的完整技术链条。”邓晨光也表示,当前光互连虽然发展很快,但距离真正实现大规模、低功耗的芯片级光互连还有很多关键问题需要解决,如功耗问题、光电集成和封装、热管理和可靠性,以及新材料如何融入现有半导体制造体系等。

在此过程中,材料作为底层技术的重要性日益凸显。李干表示,光互连进一步向芯片内部推进以后,竞争的重点会逐渐从“能不能用光传输”转变为“能不能以更低的功耗、更小的尺寸和更高的集成密度实现高速电光调制”。目前,硅、铌酸锂、钛酸钡及Ⅲ~Ⅴ族材料等不同技术路线都在这一方向展开探索。此次,研究团队解决了高质量钛酸钡晶圆级制备的关键问题,下一步将重点攻克器件集成、工艺兼容、热稳定性等工程难题,推动钛酸钡真正融入现有半导体制造体系。

“光互连已经不再是传统意义上的单一‘光通信’问题,而是快速发展为一个高度交叉的研究领域,越来越需要能够贯通材料、器件和工程应用的复合型人才。这既是一个竞争非常激烈的领域,也是年轻科研人员有机会参与并做出原创性工作的领域。”李干说。

相关论文信息: <https://doi.org/10.2738/ENGTM.2026.0010>



错坚河冰崩发生点和下游传输侵蚀通道。  
中国科学院青藏高原研究所供图

点推进冰崩监测与判别及其数据库建设,开展高海拔冰崩灾害及其链式发展与传输关键指标调查、动态监测与有效预警,强化冰崩及其灾害链的科学判断与区域综合应对能力,提升风险评估准确性与应急韧性。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2026.101571>

染既集中在少数地区,也集中在雨季和极端降雨等少数关键时段。未来污染治理可重点关注全球南方国家高排放流域、主要河流,以及雨季和极端降雨事件前后的污染拦截与管理,而不应仅依据全年平均排放量来配置治理资源。

气候变化可能进一步改变全球极端降雨、洪水和季风过程,短期水文事件对陆地塑料向河流和海洋输送的影响也可能随之变化。厘清这种“脉冲式”污染输送机制,有助于提高全球海洋塑料污染预测的准确性,并为更具针对性的塑料污染治理提供科学依据。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1126/science.aeb4487>

# 2026 浦江创新论坛举行

本报讯(记者江庆龄)9月11日至14日,以“共享创新 共塑未来:新一轮科技革命背景下的全球科技共同体使命”为主题的2026浦江创新论坛在上海举行。本届论坛由科学技术部与上海市人民政府共同主办,举行了一系列发布与启动仪式。

上海市与联合国教科文组织就合作发起全球创新城市联盟达成共识,拟共同搭建这一汇聚全球城市智慧的新平台,旨在推动城市间创新协同,共创开放、包容、可持续的未来。

上海(长三角)国际科技创新中心建设阶段成果以视频形式发布。上海发挥龙头带动作用,苏浙皖各展所长,三省一市共享资源、共建平台、共育生态、共推改革,国际科技创新中心建设从单城突破迈向长三角区域协同一体化发展的新阶段。

国家自然科学基金长三角基础研究联合基金重大专项正式启动。该专项由国家自然科学基金委员会与长三角三省一市共同设立,遵循“统

一出资、联合出题、共同管理、同题共答”机制。长三角三省一市拟各出资5000万元/年,国家自然科学基金委员会按照1:4比例匹配,共同组建每年2.5亿元的资金池。从2027年至2031年为期5年的合作期内,总经费将达到12.5亿元。

长三角科学数据共享服务平台启动共建。该平台将汇聚三省一市科技数据资源,为上海(长三角)国际科技创新中心建设贡献强大的数据力量,让科学数据在区域内自由流动、高效利用。

2025年度世界一流科技期刊目录发布。该目录由中国科学技术信息研究所联合相关研究机构,经多维度综合评估遴选产生,旨在强化一流科技期刊作为学术成果传播重要载体、科研基础条件平台和前沿思想策源地、科学精神扩音器的作用,提升中国科技期刊的国际影响力。

自2008年创设以来,浦江创新论坛已连续举办19届。

# 我国实现一体化算力统筹监测

据新华社电 记者9月13日从2026中国算力大会上获悉,中国算力平台实现全国一体化算力统筹监测,我国算力“一张网、一盘棋、一体化”发展格局基本形成。

近年来,我国算力基础设施建设规模持续扩大、布局不断优化,同时也面临算力布局分散、资源底数不清、动态监测滞后、跨域协同不足等挑战。在工业和信息化部指导下,全行业系统推进算力态势感知自动化监测体系建设。

中国算力平台是国家级综合性算力服务平台,目前已汇聚注册企业用户超万家,上架算力产品2000余项,接入各类大模型超300个,为广大开发者提供算力调用服务,累计沉淀数十亿条算力监测大数据。

中国信息通信研究院总工程师何宝宏介绍,中国算力平台有序推动

了全国31个省份平台对接入网,建成统一规范、协同高效的全国算力态势感知监测体系,有效破除地域壁垒、打通数据孤岛,实现全国算力底数可摸清、态势可感知、运行可监测,推动算力建设从粗放式规模扩张向集约高效、全域协同跨越式升级。

工业和信息化部总工程师钟志红表示,接下来将加快构建“枢纽—区域—边缘”多层次、梯次化算力架构,持续完善中国算力平台功能;搭建高速互联、超低时延、韧性强健的算力传输通道,按需部署城域毫秒接入;推动算力设施、算电协同等领域创新,加快算力标准体系建设指南编制;降低用算成本和应用门槛,推动分行业凝练高价值场景等。

2026中国算力大会以“共织算力网 智启新未来”为主题,于9月11日至13日在河北廊坊举行。(周圆)



近日,农业农村部南京农业机械化研究所联合相关企业共同研发的我国首台纯电动小型履带式收割机正式投入使用。该装备专为西南丘陵山区作业场景量身打造,最大可应对25度坡地爬坡转弯,作业效率是人工收获8倍以上。

该装备采用轻量化电动底盘,原地就能掉头转向,在梯田边角、狭小地块可灵活穿行。此外,机具搭载远程遥控功能,操作人员站在田埂就能完成全套收割脱粒作业,真正实现“人机分离”,有效规避陡坡地块作业时侧翻、滑坠的安全风险。该装备纯电续航可达5小时,快充只需两小时,亩收水稻能降本不到1元。

图为纯电动小型履带式收割机在重庆梯田收割水稻。

本报记者李晨报道 中国农业科学院供图

# 瑞士雪崩追责诉讼令科学家不安



本报讯 2017年8月23日清晨,瑞士阿尔卑斯山脉海拔3369米的岑加洛峰东北坡发生大规模滑坡,并引发雪崩,造成8名徒步者遇难。据《科学》报道,近日,4名官员和1名科学家因涉嫌过失致人死亡而受审。他们被指控未能预见雪崩风险,也未采取防护措施关闭岑加洛峰下方的徒步路线。

最终,地方法院裁定所有被告无罪。但此次审判令研究山地灾害的科学家感到不安。他们担心,随着气候变化导致冰川和山体越来越不稳定,未来可能因未能预警类似风险而承担责任。

“如果被告被判有罪,那就意味着地质学家可能要为山区发生的任何类似事件负责。”德国亚琛工业大学的地质学家Florian Amann表示。

事故发生时,岑加洛峰约有310万立方米的岩石坠落,引发了一场岩石雪崩和泥石流,并沿山谷奔涌了3.2公里。当雪崩警报响起时,山谷中的村庄已疏散完毕,但仍有约30栋建筑被摧毁。

遇难者家属、媒体和检察官质疑:专家是否可以预测灾害发生的时间和性质,从而避免人员死亡?岑加洛峰陡峭的北向岩壁此前容易发生落石,这很可能是由于高山永久冻土融化所致。自2009年以来,科学家一直通过雷达干涉测量和热成像等遥

# 研究揭示错坚河冰崩灾害链过程与诱发机制

本报讯(记者冯丽妃)8月26日发生在尼泊尔境内的错坚河冰崩及其灾害链,给中尼双方造成重大人员伤亡和财产损失,是喜马拉雅山地区有记录以来最具破坏性的极端灾害事件之一。近日,第二次青藏科考队综合分析了此次冰崩及其灾害链的发生发展过程与主要诱发因素,为极高风险冰川的早期识别和跨国协同监测预警及应对提供了科学依据。相关研究成果发表于《创新》。中国科学院青藏高原研究所大科学中心特别研究助理张太刚为第一作者,中国科学院院士姚檀栋为通讯作者。

研究指出,气候变暖背景下,喜马拉雅山地区的冰冻圈灾害正呈现频次增加与链式放大的复合态势。尼泊尔错坚河冰崩及其灾害链过程表明,崩塌冰体快速下落后裹挟冰川谷地水碛物,在短时间内经

历多阶段转化,并在吉隆口岸以下瞬间致灾,呈现出连锁放大效应。厘清该灾害过程与内在机理,不仅关乎科学解释的准确性,更决定了重大工程区、重点口岸区、重要人口密集区高风险冰川的识别、重点高危冰川的监测及跨境协同应对的方式等。

根据冰崩体剖面估算,此次直接崩塌的冰崩体的体积超过70×10<sup>6</sup>立方米。冰崩体崩塌后裹挟冰川谷地水碛物,不断增大物质量,将下游河道宽度由170米拓宽至700米。地震台站已记录到了此次冰崩及其灾害链引发的5.2级地震。冰崩发生时间为10时52分15秒,从灾害发生时间和经过吉隆口岸时间(10时59分)推算,冰崩体速度接近190千米/小时,呈现出“高位启动、低位放大、链式传导、瞬时成灾”的显著特征。

研究指出,此次冰崩与气候变暖影

响下冰裂隙扩张、从冰面向冰内和冰床排水加剧直接相关。青藏高原的平均升温幅度是全球的两倍,在极高海拔区甚至达到3倍。距离冰崩点31千米处的自动气象站观测数据显示,冰崩发生前十几天内,该地区平均气温维持在7.4℃左右。最高气温超过16℃,最低气温始终保持在0℃以上。这加速了冰面融化和冰面融水向冰内和冰床的输送,增强了对基岩的润滑作用。8月12日至24日期间的卫星影像分析表明,冰崩体的流速达到约每天0.4米,较正常冰川运动速度高出一个量级,成为基岩润滑作用增强和冰崩发生的临界征兆。

研究团队表示,错坚河冰崩及其灾害链事件是气候变暖背景下全球冰冻圈灾害频率和强度不断增加的新证据,给人类生存环境带来严峻挑战。未来应重

# 全球河流每年向海洋输送 26 万吨微塑料

本报讯(记者崔雪芹)北京大学城市与环境学院教授王学军、研究员刘茂甸团队,利用观测数据构建河流微塑料传输模型,首次在全球尺度上系统量化了河流微塑料向海洋的输送规模,并揭示降雨、洪水等水文气象事件对微塑料入海过程的重要影响。9月11日,相关研究成果发表于《科学》。

研究团队基于河流微塑料观测,构建高时空分辨率模型,并刻画了全球河流微塑料入海的空间格局和时间动态。研究估算,全球河流2022年向海洋输送约26万吨微塑料。全球输送量最高的20条河流贡献了约一半的河流微塑料入海量。

研究还发现,微塑料输送并非全年均

匀发生。在全球多数流域,随着降雨和径流增加,河流中的微塑料浓度往往随之升高;换言之,降雨“富集”了河流中的微塑料。暴雨和洪水不仅增加了河流水量,还会将此前积存在城市地表、土壤和河岸环境中的塑料颗粒快速冲入河流,形成短时间内集中的“脉冲式”输送。

在全球微塑料入海量较高的主要河流中,雨季平均贡献了约70%的全年入海量。研究人员认为,这意味着采用年平均或月平均水文条件的模型,可能低估了短期极端水文事件对塑料入海的贡献。

暴雨和洪水期间,一方面河流水量及流速增加会调动河网中沉积的微塑料;另一方面,陆地上积累的塑料也可

能被降雨带来的地表径流集中冲入河网,继而输送至海洋。因此,少数高流量事件即可贡献全年相当大比例的微塑料输送量。

进一步分析显示,降雨对不同地区河流微塑料浓度的影响存在差异。在一些塑料使用量快速增长、废弃物和污水处理基础设施相对不足的地区,降雨可能更容易推高河流微塑料浓度;而在部分基础设施较为完善的地区,降雨则可能主要起稀释作用。研究同时发现,植被覆盖度越高,河流微塑料浓度通常越低,城市化地表可能更有利于塑料随地表径流汇入河流。

这一研究表明,全球河流微塑料污