



在微观世界突破极限,去“无人区”点亮星光

■本报记者 张楠

看似普通的金属里,藏着一个由无数微小“积木”搭建的微观世界,这些“积木”就是晶粒。在发丝万分之一粗细的微观战场,中国科学家正用纳米“积木”重塑金属命运。

在中国科学院金属研究所研究员李秀艳的带领下,该所极限尺寸纳米金属团队凭借“金属极小晶粒尺寸效应”的突破性发现,将铜、镍等金属晶粒压缩至头发丝直径的万分之一,让晶粒在纳米尺度下“驯服”能量、重塑结构,甚至赋予金属前所未有的性能。

因在相关研究中取得重大突破,该团队荣获中国科学院 2024 年度杰出科技成就奖。他们通过自主研发的极端变形技术,将金属晶粒细化至 10 纳米以下,并发现了临界尺寸下晶界自发弛豫机制及由此形成的受限晶体结构。

从高温合金的抗蠕变到受限晶体的超扩散行为,这些发现不仅在材料科学领域具有重要学术价值,还为新型高温合金、铝合金及耐磨轧辊等部件的研发提供了新途径,为航空航天、高端制造等领域打开了通往未来的大门。

而这一切,始于一场对“不可能”的执着追问——当晶粒小到极限,金属究竟是混沌失序,还是孕育着改变世界的秩序?

晶界弛豫:从“不可能”到“颠覆性突破”

金属材料的晶粒尺寸与晶界稳定性的关系一直是学界关注的焦点。那么,晶粒究竟能有多小?

传统理论认为,晶粒尺寸越小,晶界能量越高,材料结构越不稳定。因而晶界被视为高温合金抗蠕变的“短板”,制约着纳米金属材料的研发与应用。

李秀艳从加入团队起,就决心打破这一桎梏。团队通过自主研发的低温表面纳米化设备,成功突破传统金属晶粒尺寸极限,将多种金属的晶粒细化至 40 纳米以下。在铜的研究中,他们发现了当时还没有被清晰认知的晶界弛豫现象——当晶粒尺寸达到小于 70 纳米这一拐点,材料稳定性大幅提升,甚至晶粒越小,稳定性越高。

在揭示机理前,学界普遍认为是材料杂质产生了该现象。“即使你仔细分析材料里有什么、没有什么,仍被质疑是因为杂质含量低,没



极限尺寸纳米金属团队研讨工作。受访者供图

有测出来所致。”但是根据以往观察到的一些数据,李秀艳和中国科学院院士卢柯坚信,这个拐点与杂质无关。

于是,李秀艳全身心投入到破解谜团中,有时甚至走路、睡觉都在想。一次她送女儿上学,因为想得太专注,差点儿把孩子丢了。

转机出现在某日下班时,李秀艳灵光一闪:杂质通常在材料表面,何不进行一组对比实验,把杂质分别附着在晶粒尺寸 40 纳米(团队当时能做的最小尺寸)和 70 纳米的材料表面,如果是杂质的原因,两者受到的影响应该一样。但对比结果表明,40 纳米材料非常稳定,而处于临界点的 70 纳米材料却不稳定,说明现象的原因不在于杂质。

“想到这个论证办法的那一刻非常开心。那种喜悦比后来发《科学》更让人回味。”李秀艳感慨。

在后继研究中,团队终于发现,晶界弛豫态纯铜的变形机制是由全位错转变为不全位错,使晶界迁移速率大幅下降,提高了材料受力下的稳定性。而且晶粒尺寸越小,弛豫越充分,稳定性也就越高。(下转第 2 版)



突破存取极限 世界最快闪存存在中国“破晓”

■本报见习记者 江庆龄

你是否遇到过这样的时刻——刚写了一半的文章,还没来得及保存,电脑突然自动关机。等重新启动时,只能对着空白文档懊恼地叹气,提醒自己下次及时保存。

要是关机时能够自动保存就好了!复旦大学教授周鹏、青年研究员刘春森团队研制的“破晓(PoX)”皮秒闪存器件,有望在不远的将来解除这个困扰。

该团队颠覆现有闪存技术路径,突破了信息存取速度极限,能够满足人工智能(AI)对极高算力和能效的要求,助力 AI 大模型极速运行。4 月 16 日,相关研究发表于《自然》。

十年求索,一路繁花

无论电脑还是手机,都有“运行内存”和“机身内存”两套存储系统,前者操作速度快,但容量小,一旦断电,数据就全部清空,学术界称之为“易失性存储器”;后者容量大,即便突然拔掉电源也无需担心数据丢失问题,但运行速度极慢。它们有一个学名,叫作“非易失性存储器”。

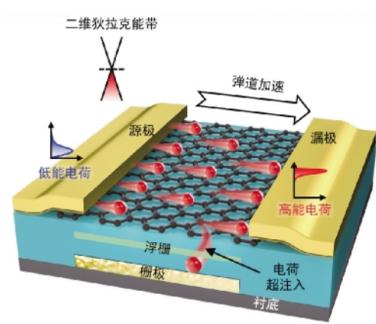
长久以来,为了能够同时满足操作速度和存储容量的要求,易失性存储器与非易失性存储器需要配合工作——由易失性存储器负责文档编辑、图片处理等工作,再由非易失性存储器保存修改后的信息。

人们早已习惯了这一运行模式。随着信息存储技术发展,越来越多的宝贵经验得以保留,为信息时代的繁荣奠定了基础。

然而,在“大数据”驱动的 AI 时代,现有分级存储架构已无法满足计算芯片对极高算力和能效的需求。

“针对 AI 计算的算力与能效的要求,信息存取速度直接决定算力上限,而非易失性存储技术是实现超低功耗的关键。因此,破局点在于解决集成电路领域最关键的基础科学问题,即信息的非易失存取速度极限。”刘春森告诉《中国科学报》。

二维材料因其独特的物理性质,兼具导体、半导体和绝缘体特性,在微缩集成电路、提升稳



电荷超注入皮秒闪存器件工作机制。复旦大学供图

定性及开发新型存储器方面潜力巨大。

早在 10 年前,周鹏团队就开始布局,着手突破现有存储技术瓶颈,研发兼具现有两类存储器优势的第三类存储技术。2015 年,刘春森来到复旦大学攻读博士学位,师从周鹏,开始尝试用二维半导体材料制作存储器。

“这项成果是我们团队的‘十年之约’。”刘春森说,“过去 10 年,团队聚焦信息存取速度极限,深耕以闪存为代表的非易失性存储技术,不断实现运行速度的提升。”

2018 年,团队设计出由多重二维材料堆叠构成的半浮栅结构晶体管,并构筑得到了二维半导体非易失性存储原型器件,写入速度比当时的 U 盘快 1 万倍,破解了“写入速度”与“非易失性”难以兼得的难题。

此后,团队进一步优化存储器结构,不断提升闪存速度,2021 年、2023 年、2024 年相继取得突破性进展。

其中,2024 年,团队在国际上首次实现了大规模 1Kb 纳秒超快闪存阵列集成验证,并证明其超快特性可延伸至 10 纳秒。这一超小尺寸器件具备 20 纳秒超快编程,10 年非易失,10 万次循环寿命和多态存储性能,单一器件循环

寿命达 800 万次。

这次,团队从底层机制进行创新,研制的“破晓”皮秒闪存器件擦写速度达亚 1 纳秒(400 皮秒),即每秒可以工作 25 亿次,与计算机芯片的工作速度(每秒 10 亿~30 亿次)相当。此外,器件的工作电压低于 5 伏,未来有望进一步降低,在能效方面极具优势。

“破晓”是目前世界最快的半导体电荷存储器件,性能超越同技术节点下最快的易失性存储 SRAM 技术。”回顾过去 10 年,周鹏感慨,“在取得这项颠覆性成果的过程中,我们在沿途采摘了很多不同的鲜花。”

打破常规,突破边界

随着研究不断深入,团队逐渐意识到,在现有框架下,闪存速度很难实现颠覆性突破。2020 年,基于前期积累,团队决心打破现有体系,从物理第一性原理出发,突破闪存存取的速度边界。

2023 年 6 月,复旦大学 2022 级博士研究生向昱桐接下这个课题;3 个月后,2023 级博士研究生王亮也参与到这项工作中。

对两位“00 后”而言,最大的挑战在于转变思维方式。“我们要做一个全新架构,没办法参考已有理论,因此很容易陷入原有思维,跳不出传统闪存技术的框架。”他们坦言。

为了测试闪存速度,二人着实费了一番工夫。“实验室之前的设备只能支持测量纳秒级别的闪存,而‘破晓’的速度达到 400 皮秒,我们想了很多办法才研制出能够满足高速测试要求的设备。”向昱桐表示。

经过不断摸索,团队在脑海中逐渐搭建起一套全新的存储器理论框架,最终“破晓”惊艳亮相。

“我们首先通过构建准二维泊松模型,理论预测了无极限超注入的新路径。”刘春森解释,“传统硅闪存电荷注入存在峰值,这是限制其速度加快的根本原因。我们结合二维狄拉克能带结构与弹道输运特性,实现沟道电荷向存储层的超注入,表现为无限注入。”(下转第 2 版)

迄今最高分辨率

“野生稻—栽培稻泛基因组图谱”问世

本报讯(见习记者江庆龄)中国科学院分子植物科学卓越创新中心韩斌院士、赵强研究员团队,首次完成了 145 份亚洲栽培稻及普通野生稻的高精度基因组组装,绘制了迄今分辨率最高的“野生稻—栽培稻泛基因组图谱”,系统挖掘了普通野生稻广泛的遗传多样性,全面解析了亚洲栽培稻各类群的进化及驯化路线,为水稻基因组辅助育种提供了前所未有的遗传资源,也为培育抗病耐逆、适应气候变化的优质水稻品种奠定了坚实的科学基础。4 月 16 日,相关研究发表于《自然》。

面对全球人口增长和气候变化加剧的双重压力,如何将野生稻历经万年锤炼的“生存智慧”注入现代品种,培育出兼具高产潜力与抗病耐逆特性的“超级水稻”,已成为破解粮食安全全局的重大课题。然而,依赖单一参考基因组的传统研究模式仅能捕捉水稻遗传多样性的冰山一角。目前急需构建一个高质量、大规模的野生稻泛基因组,深度解析其广泛的多样性,全面挖掘其耐逆、抗病等优良性状。

研究团队整合具有代表性的 129 份普通野生稻和 16 份亚洲栽培稻资源,进行高质量的基因组测序和从头组装,构建了一个可以覆盖野

生稻和栽培稻全面遗传景观的泛基因组图谱。

研究团队表示,这一参考基因组级别的栽培稻—野生稻泛基因组在原有公认的单个参考基因组的基础上新增了 38.7 亿个碱基对,包含 69531 个基因,其中近 20% 为野生稻特有,这些基因证实与抗病防御、环境适应性等性状密切相关。

基因组分析结果发现,野生稻中的抗病基因丰度和多样性均明显高于栽培稻,已精准定位到 1184 个野生稻中拷贝数高于栽培稻的抗病基因位点,其中包含两个已验证的抗稻瘟病基因。这些发现进一步证实了野生稻堪称作物改良的“战略资源库”,可以为培育抗病耐逆的水稻品种提供直接的基因来源。

研究团队进一步证实了所有亚洲栽培稻的驯化位点均来源于矮秆祖先 Or-III a,为亚洲栽培稻单起源假说提供了关键证据。团队同时发现,南亚各栽培稻类群之间存在广泛的基因交流,并由此定义了一个新的栽培稻亚群 in-tro-indica,绘制了一幅全面的水稻进化和驯化路线图。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41586-025-08883-6>

神舟二十号计划 近日择机实施发射

据中国载人航天工程办公室消息,4 月 16 日,神舟二十号载人飞船与长征二号 F 遥二十运载火箭组合体已转运至发射区。目前,发射场设施设备状态良好,后续将按计划开展发射前的各项功能检查、联合测试等工作,并于近日择机实施发射。

本报见习记者赵宇彤报道
图片来源:视觉中国



郭爱克遗体告别仪式举行

将一生献给科学事业的“果蝇”院士走了

■本报见习记者 江庆龄

“在实验室,父亲是严谨的科学家,回家却是会偷偷塞给孩子糖吃的爷爷。母亲总笑着说,父亲把温柔都给了实验室的果蝇,可我却知道,在书桌的最深处,父亲始终珍藏着我儿时的照片。”4 月 15 日,在郭爱克遗体告别仪式上,国际著名神经科学家和生物物理学家、中国科学院院士郭爱克的儿子郭晓峰深情地说。

4 月 10 日是郭爱克亲友和学生心中的至暗时刻。当天下午,郭爱克走了,倒在了他最爱的科学之路上,留下的是书房里半打开的笔记本和床头未写完的学术论文。

4 月 16 日,来自五湖四海的人们齐聚上海龙华殡仪馆,共同送别敬爱的郭爱克院士。在这些送别的人中,有与郭爱克并肩工作多年的同仁,有在郭爱克悉心指导下成长为科技界栋梁的学生,也有那些只与郭爱克有过短暂交流却深受其人格魅力影响的年轻人。

当天 10 点,郭爱克遗体告别仪式正式开始。他安详地躺在鲜花和翠柏之中,身上覆盖着鲜红的中国共产党党旗。人们有序地将手中的鲜花轻放在花丛之上。在这宁静而肃穆的会场上,不时可以听到低沉的抽泣声,每个人心中都充满了无尽的哀思与怀念。

说起这位同事和好友的生平,中国科学院院士、中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心(神经科学研究所)学术主任蒲慕明数度哽咽。“郭爱克同志是一位令人敬佩的学者、令人爱戴的导师、受人尊敬的长者。他潜心教研、严谨治学,将毕生精力奉献给科学事业。他待人宽厚、豁达谦逊、乐于奉献,关爱学生和青年人才。他关注社会民生、热心公益,深受国内外同行的敬重和爱戴。”

1993 年,53 岁的郭爱克把研究对象转向果蝇,并在中国科学院生物物理研究所(以下简称生物物理所)建立了我国第一个以果蝇为模式生物的学习与记忆实验室。此后的数十年,郭爱克带领团队从果蝇入手,取得了一系列突破性进展。学生后辈们因此亲切地尊称郭爱克为“果蝇”院士。

生物物理所所长刘力至今记得,在实验出现困难时,郭爱克耐心鼓励学生,形容果蝇是长着翅膀的人,具有很高的智慧。他说,只要学会向果蝇提问题,它就能解答很深刻的问题。“先生经常激励青年人,要有勇气做困难的工作,要努力做有利于国家的事。让我们铭记先生生前的教诲,在修身立德与学术精进中砥砺前行。”刘力说。

“感谢各位在父亲攀登科学高峰时与他并肩同行,在他生命垂危时对他悉心照顾,在他生命的最后时刻给予温暖与守候。”郭晓峰再一次说起郭爱克最喜欢的那句话,“真正的科学家不会消失,他们只是跨过了照亮后来者的星光。”

刚刚过去的 2024 年,郭爱克携手他的学生、生物物理所研究员李岩,带领一个充满活力的科研团队,将果蝇送入中国空间站,开展了一系列开创性的太空实验。在遥远的太空中,这些果蝇不仅在失重环境中生存,还成功地成为科研人员提供了宝贵的科学数据。这些数据将为解答生命起源和智力演化等深奥问题积累宝贵经验,进一步拓宽人类对生命奥秘的认知边界。而郭爱克在神经科学前沿领域长期耕耘的成果,也将被历史记录下来,成为照亮后来者探索的未知之境的点点星光。

《心理健康蓝皮书》发布

我国成年人抑郁和焦虑风险随年龄增长而降低

本报讯(记者沈春蕾)4 月 17 日,中国科学院心理研究所与社会科学文献出版社在京联合发布《心理健康蓝皮书:中国国民心理健康发展报告(2023—2024)》(以下简称《心理健康蓝皮书》)。

据悉,《心理健康蓝皮书》编撰团队联合全国 79 家机构,采集了覆盖各年龄段的逾 17 万份问卷,深入剖析了国民心理健康状况,影响因素及服务需求。全书分为总报告、分报告和专题报告 3 个部分,揭示了我国不同人群心理健康现状,影响因素与干预效果,为健全我国心理健康服务体系、提升全民心理健康素养,提供了重要实证依据。

总报告《2024 年国民心理健康状况》影响因素与服务状况》显示,我国成年人的抑郁风险和焦虑风险总体呈随年龄增长而降低的趋势,女

性抑郁风险随年龄增长而下降的趋势更为明显,城市人群的焦虑风险显著高于农村人群。研究分析影响因素发现,已婚人群的抑郁风险最低;工作时间超过 10 小时者抑郁风险较高;每周运动频率越高,抑郁风险越低;女性网络购物频率越高,抑郁风险越高。报告指出,心理咨询服务的便利度和满意度与前两年基本持平;国民心理健康知识水平仍处于较低水平,特别是在子女教育、情绪调节及心理疾病识别等方面亟待提升。

专题报告《中老年人心理健康现状》基于 2021 年 1 月至 2022 年 1 月在全国七大地理区域采集的 17250 人的数据对比研究,发现我国中老年人虽整体情绪健康优于年轻人,但认知功能衰退与消极化趋势显著。报告建议,通过构建积极老龄观的社会支持体系,推动个人心

理韧性提升、认知健康干预与临终关怀服务体系优化,破解老龄化社会心理困境,释放我国 2.96 亿银发群体的人力资本价值。

专题报告《2024 年不同人群短视频使用强度与心理健康状况》揭示,青少年日均短视频使用时间超 90 分钟,大学生近 180 分钟,成年职业人群近 140 分钟;高强度使用短视频与抑郁风险、焦虑风险显著相关。报告建议,增强现实人际支持,发展丰富的情绪调节方式。

专题报告《2024 年我国欠发达地区农村学生心理健康报告》显示,欠发达地区农村学生抑郁风险高于全国平均水平,女生及高年级学生的抑郁风险更高。报告建议,重点加强农村教师心理健康相关培训、建设专业队伍、强化家校协同,全面构建农村学生心理健康支持体系。