

先进制造与新材料动态

ADVANCED MANUFACTURING AND MATERIALS NEWSLETTER

监测快报

2025 第6期
(总第460期)

本期要目

- 美 DARPA 资助大大缩短行波管生产周期
- 韩拟设立产业基金扶持尖端战略产业
- 首次制备出大面积二维金属材料
- 首次发现光子晶体极化激元凝聚态中的超固体
- 铁基多核催化剂实现近完美水氧化效率
- 单量子比特传感助力量子材料研究

中国科学院武汉文献情报中心

目 录

项目资助

美 DARPA 资助大大缩短行波管生产周期..... 1

韩拟设立产业基金扶持尖端战略产业 1

研究进展

高灵敏类人触觉传感器 3

首次制备出大面积二维金属材料 4

首次发现光子晶体极化激元凝聚态中的超固体 5

铁基多核催化剂实现近完美水氧化效率 6

一种新型人造肌肉 6

铁电晶体体光伏效应助力能量收集技术新突破 7

AI 助力金属增材制造加工技术 8

高密度聚乙烯回收质量控制技术突破助力循环经济 9

单量子比特传感助力量子材料研究 10

探究超导转变温度上限 10

项目资助

美 DARPA 资助大大缩短行波管生产周期

行波管（traveling-wave tubes, TWT）是一种真空管，对于许多高性能应用至关重要，如深空任务、卫星和电子战等，它们能够在各种带宽上有效放大高频信号，确保可靠的远程通信和雷达功能。然而，由于行波管设计复杂且可靠运行所需精度高，其生产周期通常需要 12-18 个月。

在美国国防部先进研究计划局（DARPA）企业创新研究资金资助下，深度技术硬件制造初创公司 Elve 开发了一种名为“分层增材多材料制造-数字化”（Layered Additive Multi-Material Manufacturing – Digitized, LAM3D）的行波管制造新方法，将行波管的生产时间从一年多缩短至几个星期¹。

LAM3D 工艺将增材制造技术与先进的检测和对准功能相结合，以前所未有的速度和精度制造行波管电路，实现了快速原型制造和量产。Elve 展示了在 Q 波段（33-50 GHz）、V 波段（40-75 GHz）和 E 波段（60-90 GHz）频率上，在两小时内生成和优化行波管设计的能力。在上述工作的基础上，Elve 提升了其 LAM3D 技术水平，制造适用于频率高于 200 GHz 的电路，将行波管性能界限推向射频应用的新高度。

（万 勇）

韩拟设立产业基金扶持尖端战略产业

3 月 5 日，韩国政府审议通过了《提升未来产业竞争力的高科技战略产业基金设立方案（暂定名）》，旨在强化高科技战略产业竞争力²。韩国政府认为，美国特朗普政府上台后，全球不确定性加剧，高科技战略产业已成为全球各国经济安全的核心支柱，各国正围绕这些产业展开激

¹ Accelerating critical component manufacturing: From years to weeks.

<https://www.darpa.mil/news/2025/accelerating-critical-component>

² A 50 Trillion KRW High-Tech Strategic Industry Fund to be Established.

<https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=6109>

烈竞争以抢占制高点，韩国必须加大对尖端战略产业的支持力度。

该基金总规模暂定为 50 万亿韩元，由韩国开发银行负责运营，将为《国家尖端战略产业竞争力强化及保护特别法》（Act on Special Measures for Strengthening the Competitiveness of, and Protecting National High-tech Strategic Industries）界定的尖端战略产业、《税收特例限制法》（Act on Restriction on Special Cases Concerning Taxation）界定的国家战略技术产业、总统令指定的其他未来战略及经济安全必需产业等提供广泛支持，包括但不限于半导体、二次电池、生物技术、人工智能、机器人等高科技战略产业。

该基金不仅面向大型企业，还将惠及构成高科技战略产业生态系统主体的中小企业。在支持方式上也将突破既有模式：针对金融机构以往投入不足的超长期基础设施和技术开发领域进行集中投资；根据企业需求提供多元化支持，包括基于国债利率的超低息贷款，以及通过设立“特殊目的公司”（SPC）进行股权投资等。如在建设晶圆厂等大型工艺设施时，与受支持企业共同设立 SPC，基金或基金投资的子基金持有一定比例股权，但原则上不行使表决权。

韩国政府将发行“高科技战略产业基金债券”为该基金筹集资金，还将加快完成《韩国开发银行法》修订案及《高科技战略产业基金债券国家担保协议》的起草工作，并提交国会审议。

（黄 健）

高灵敏类人触觉传感器

高度集成式压力传感器能够提供精准的触觉反馈，对机器人技术发展具有重要意义。然而，即便是当前最先进的机器人，也难以在潮湿、弯曲和磁场等复杂环境中准确检测压力。为此，韩国科学技术院 Jun-Bo Yoon 团队开发了一种高灵敏压力传感器，能够不受外界环境干扰，有望应用于机器人精密触觉传感、医疗可穿戴设备以及下一代增强现实和虚拟现实界面等多个领域³。

研究人员发现压力传感器产生的边缘场是导致其易受外界干扰的主要原因，为解决这一问题，该团队利用专有的微/纳米制造技术，开发了一种电极间距为 900 nm 的纳米间隙压力传感器，成功将边缘场减小至几个百分点以下。该压力传感器不受雨水、弯曲和磁场等外界环境干扰，可实现对压力的精准检测。利用该传感器，研究人员开发了一种人工触觉系统，其性能可媲美默克尔盘（人体皮肤中的一种力学感受器），可用于无线、高精度压力传感。此外，为进一步探索该传感器的潜在应用能力，研究人员还开发了一种力触模板系统，并展示了其高分辨、无干扰获取压力大小和分布情况的优异性能。

上述研究工作发表在 *Nature Communications*（文章标题：Interference-free nanogap pressure sensor array with high spatial resolution for wireless human-machine interfaces applications）。

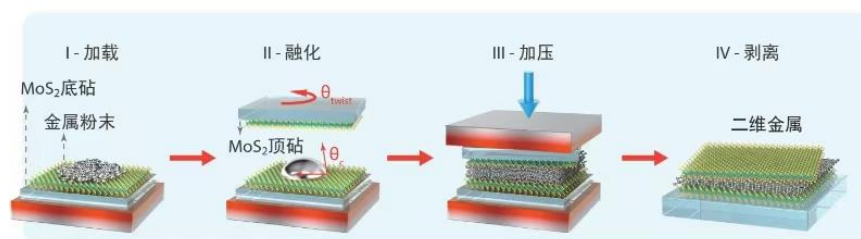
（吴文涛）

³ No More Touch Issues on Rainy Days! KAIST Develops Human-Like Tactile Sensor.
https://news.kaist.ac.kr/newsen/html/news/?mode=V&mng_no=44831&skey=category&sval=research&list_s_date=&list_e_date=&GotoPage=1

首次制备出大面积二维金属材料

自 2004 年单层石墨烯被发现以来，二维材料研发成为材料科学、凝聚态物理等领域的热点之一。二维材料家族不断壮大，但基本局限在范德华层状材料体系。金属是高度对称的非范德华材料，其各向同性且强的金属键使得二维金属的制备颇具挑战。中国科学院物理研究所张广宇、杜罗军研究员团队在国际上首次实现大面积二维金属材料制备，创制出单原子层超薄金属⁴。

研究人员发展了原子级制造的范德华挤压技术，通过将金属熔化并利用单层二硫化钼（MoS₂）作为范德华压砧挤压，实现了原子极限厚度下铋（6.3 Å）、锡（5.8 Å）、铅（7.5 Å）、铟（8.4 Å）和镓（9.2 Å）等二维金属的普适制备。范德华挤压制备的二维金属上下均被单层 MoS₂ 封装，具有优异的环境稳定性（在超 1 年的测试中无性能退化）和非成键的界面，利于器件制备以探索二维金属的本征特性。电学测量表明，单层铋的电导率随着温度的降低近线性增加，表现出经典金属行为，室温电导率可达 $\sim 9.0 \times 10^6$ S/m，比块体铋的室温电导率（ $\sim 7.8 \times 10^5$ S/m）高出一个数量级。并且，单层铋展现出明显的 P 型电场效应，其电阻可被栅电压调控达 35%（块体金属通常小于 1%），为低功耗全金属晶体管和高频器件阐明了可能。



范德华挤压技术制备二维金属的过程示意图

上述研究工作发表在 *Nature*（文章标题：Realization of 2D metals at the ångström thickness limit）。

（物理所）

⁴ 范德华挤压技术实现二维金属的普适制备.
https://iop.cas.cn/xwzx/kydt/202503/t20250312_7552540.html

首次发现光子晶体极化激元凝聚态中的超固体

超固体是一种特殊的物质相态，其组成粒子排列成晶体结构，但能够无摩擦地流动。这要求粒子在共享一个宏观全局相位的同时，能够通过自发的空间自组织来降低总能量。早在 50 多年前，人们就曾推测出超固体物质相的存在，但一直未有令人信服的实验证据。意大利罗马纳米技术研究所 Dimitrios Trypogeorgos 团队首次在光子晶体极化激元凝聚态中证明了超固体物质相的存在，开辟了一条超越传统超冷原子系统的超固体研究新途径⁵。

研究人员以分子束外延生长的砷化铝镓（AlGaAs）半导体作为研究对象，在其上刻蚀出特殊的脊状图案。当用激光照射半导体时，光子会与半导体中的电子相互作用，配对形成极化激元，半导体上的脊状图案能够限制这些粒子的运动方式和能量水平，从而凝聚成超固体相态。该超固体相态在光子晶体波导中实现，且是基于拓扑非平凡连续谱束缚态中凝聚的激子极化激元，损耗极低，这一结果为在非平衡驱动耗散背景下实现超固体相态提供了新的证据。此外，研究人员还测量了极化子态的密度调制，表明平移对称性被打破，精度可达千分之几，并通过波函数相位实现对超固体局部相干性的测量。

上述研究工作发表在 *Nature*（文章标题：Emerging supersolidity in photonic-crystal polariton condensates）。

（吴文涛）

⁵ Svolta nella fisica quantistica: la supersolidità nei condensati di polaritoni di cristalli fotonici.
<https://www.cnr.it/it/nota-stampa/n-13348>

铁基多核催化剂实现近完美水氧化效率

当前，可再生能源技术中的水氧化过程依赖钌等贵金属催化剂，面临成本高昂与资源稀缺双重限制。东京科学大学联合大阪大学团队开发出五核铁基电聚合催化剂（poly-Fe₅-PCz），以廉价铁元素替代贵金属，实现 99% 的法拉第效率和百小时级的稳定性。该突破为规模化绿色制氢与能源存储提供了可持续技术路径⁶。

研究人员通过溴化、亲核取代和 Suzuki 偶联反应合成 Fe₅-PCz(ClO₄)₃ 配合物，并采用循环伏安法（扫描速率 50 mV/s）进行电化学聚合生成聚合物载体。该方法通过多核铁配合物替代传统钌基材料，结合聚合物三维网络结构将电化学阻抗降低 40%，同时在水介质环境（pH 7）中连续运行 100 小时的性能衰减率低于 1%。实验结果显示，该催化剂在玻碳电极上氧析出效率达 99%。

上述研究工作发表在 *Nature Communications*（文章标题：Iron-Complex-Based Catalytic System for High-Performance Water Oxidation in Aqueous Media）。

（董金鑫）

一种新型人造肌肉

执行器负责将电脉冲转换为机械运动，是自动控制系统中的核心部件。然而传统执行器多为坚硬的机械部件，无法满足医疗和仿生应用领域对执行器力量、弹性和柔软性的需求。瑞士联邦材料科学与技术研究院 Dorina M. Opris 领导的研究团队利用 3D 打印技术制造出既柔软又具有弹性的“人造肌肉”——介电弹性执行器（DEA）⁷。

该 DEA 由两种不同类型的硅基材料构成：一种是导电的电极材料，另一种是绝缘的电介质。这两种材料层层堆叠，类似于交错的手指。当

⁶ A Sustainable Iron Catalyst for Water Oxidation in Renewable Energy.
<https://www.isct.ac.jp/en/news/niag7tzt4lht>

⁷ Muscles from the printer.
<https://www.empa.ch/web/s604/manufhaptics-muskeln-aus-dem-3d-drucker>

在电极上施加电压时，执行器会收缩，模拟肌肉的运动；而当电压移除时，执行器则恢复到初始状态。这种新型介电弹性执行器不仅柔软且富有弹性，还具备轻便、静音等特点，并且能够根据需求进行形状定制，在医疗、机器人等需要精准控制运动的领域具有广阔应用前景。

上述研究工作发表在 *Advanced Materials Technologies*（文章标题：Rapid Manufacturing of High-Permittivity Dielectric Elastomer Actuator Fibers）。

（黄 健）

铁电晶体体光伏效应助力能量收集技术新突破

芬兰奥卢大学 Yang Bai 团队在多功能能量收集领域取得重大突破，通过增强铁电晶体（ $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTi}_3$ ）中的体光伏效应（bulk photovoltaic effect, BPVE），为能量收集技术开辟新途径。研究发现，对氧化物钙钛矿晶体施加交流电场极化，可使基于 BPVE 的设备电输出提高 35%，使 BPVE 基能量收集更接近实际应用，为突破传统太阳能电池效率限制提供了新方法，为开发更高效的 BPVE 电池铺平了道路，有助于实现未来光子学、计算、传感和能量收集设备的多功能性⁸。

与依赖半导体 p-n 结的传统光伏电池不同，BPVE 无需 p-n 结即可发电，理论上可突破肖克利-奎伊瑟效率极限。通过优化材料内微观畴（microscopic domains）的排列，研究团队在开发更高效能量收集技术方面迈出了关键一步。研究证明，堆叠的畴结构可以将基于 BPVE 的电池输出功率提高 35%。畴是亚微米级区域，包含自发极化的方向，可以通过施加外部电场来切换。BPVE 设备通过施加交流极化电场实现了更好的电力输出。与传统直流电场相比，这一过程能更有效地调整晶体内部的微观结构（畴）。移除电场后，晶体畴会保持较好的排列状态，有助于减少电荷载流子的重组，从而提高能量转换效率。

⁸ Breakthrough in multifunctional solar cells.
<https://www.oulu.fi/en/news/breakthrough-multifunctional-solar-cells>

该技术已在无滤光片颜色传感器、神经形态计算的组件和物联网设备的多源能量收集器中进行实践应用，研究人员还将继续寻找既有良好光吸收又有强自发极化的材料，以实现更高的输出电压。

上述研究工作发表在 *Advanced Electronic Materials*（文章标题：Study on Influence of AC Poling on Bulk Photovoltaic Effect in $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ Single Crystals）。

（冯瑞华）

AI 助力金属增材制造加工技术

Ti-6Al-4V 等钛合金凭借其低密度和高强度等特性，成为航空航天部件增材制造的理想材料之一。美国约翰霍普金斯大学 Steven Storck 团队利用人工智能（AI）技术，探索了可以提高 Ti-6Al-4V 等钛合金生产速度和强度的激光粉末床熔融（L-PBF）加工技术。⁹

以往认为某些加工参数对所有材料都是“禁区”，会导致最终产品质量不佳。然而，通过 AI 探索发现，新的加工区域不仅可以加快打印速度，还能够保持甚至提高材料的强度和延展性，并可以根据特定需求选择最佳加工设置。

研究人员正在整合 AI 驱动的仿真，以更好地预测增材制造材料在极端环境中的性能。通过开发机器学习模型，可预测 Ti-6Al-4V 的孔隙率、强度和延展性与加工条件的关系，从而确定定制 Ti-6Al-4V 特性的新方法。合作机构美国国家航空航天局空间技术研究所专注开发先进的计算模型，以加速材料鉴定和认证，目标是减少为太空应用设计、测试和验证新材料所需的时间。

研究结果显示，通过改变功率、速度和扫描间距，可显著扩大生产致密材料（孔隙率<0.1%）的加工窗口；通过调整加工条件，可实现 980-1095 MPa 的屈服强度和 4.6%-13.5%的伸长率；存在一种独特的高密度

⁹ AI Reveals New Way to Strengthen Titanium Alloys and Speed Up Manufacturing.
<https://www.jhuapl.edu/news/news-releases/250306-ai-additive-manufacturing-titanium>

加工区域，与高激光功率、高激光速度和扫描间距相关；存在具有更高机械性能和沉积率的新加工区域。

上述研究工作发表在 *Additive Manufacturing*（文章标题：Machine learning enabled discovery of new L-PBF processing domains for Ti-6Al-4V）。

（冯瑞华）

高密度聚乙烯回收质量控制技术突破助力循环经济

在全球环保意识增强的背景下，塑料回收的重要性日益凸显。然而，高密度聚乙烯（HDPE）的回收质量控制面临诸多挑战。为此，英国亨利·罗伊斯研究所可持续材料创新中心 Michael Shaver 教授团队开发出一种新的 HDPE 回收质量评估方法，通过流变学模拟技术，实现了对 HDPE 回收过程中降解情况的高效、准确检测，突破了传统检测手段的局限性，这项新方法为塑料回收行业带来了全新的质量评估标准，能够显著提升制造商再生塑料的使用率，进而提高资源利用效率，减少塑料垃圾的填埋与焚烧，降低碳排放¹⁰。

研究团队采用流变学技术，模拟 HDPE 在高温和应力下的行为，分析其在回收过程中的分子结构变化，开发出新的降解指标 Vdeg。该指标基于流变学数据，能够量化 HDPE 的降解程度，实现对不同等级 HDPE 及再生塑料与原生塑料质量的快速比较。与传统检测方法相比，新的流变学模拟方法仅需少量样品，即可快速、准确地评估 HDPE 质量，为工业生产中的实时质量控制提供了可能。

上述研究工作发表在 *Nature Communications*（文章标题：Defining quality by quantifying degradation in the mechanical recycling of polyethylene）。

（蒿巧利）

¹⁰ Royce Research Spotlight: Quality Control Innovation in Plastic Recycling for a Circular Economy.
<https://www.royce.ac.uk/news/plastic-recycling-circular-economy-mar25/>

单量子比特传感助力量子材料研究

量子材料在现代科技发展中的重要地位，其独特的物理特性为计算、存储和传感等领域带来了新的机遇。科学家们一直在探索更好理解和利用这些材料的方法，以推动技术进步。美国橡树岭国家实验室 Benjamin J. Lawrie 团队开发出一种新的测量方法，利用单量子比特传感技术来探测磁性材料中的自旋波动，为从传统计算到量子计算等领域的技术进步提供了新的可能性¹¹。

研究人员使用了一种称为扫描氮空位中心显微镜的仪器，这种显微镜利用钻石中的氮空位中心作为量子传感器。氮空位中心是一种原子级缺陷，能够响应静态和变化的磁场，使科学家能够在单自旋水平上检测信号，从而研究纳米尺度的结构。研究人员将这种量子传感器放置在磁性薄膜表面，通过改变样品温度来诱导相变，测量了薄膜在不同磁性状态之间转变时的自旋波动。这些测量揭示了在相变附近，局部自旋波动如何与全局相互作用相关联。这种对纳米尺度上自旋相互作用的理解，可能会带来新的基于自旋的信息处理技术，并加深对广泛量子材料类别的认识。

上述研究工作发表在 *Nano Letters*（文章标题：Nanoscale Magnetic Ordering Dynamics in a High Curie Temperature Ferromagnet）。

（蒿巧利）

探究超导转变温度上限

英国伦敦玛丽皇后大学 Kostya Trachenko 教授团队通过理论推导发现，超导温度的上限与电子质量、电子电荷、普朗克常数以及电子质量与质子质量的比值相关¹²。

研究显示，这些常数共同决定了原子在固体中可以振动的最高频率，

¹¹ Single-qubit sensing puts new spin on quantum materials discovery.
<https://www.ornl.gov/news/single-qubit-sensing-puts-new-spin-quantum-materials-discovery>

¹² The quest for room-temperature superconductors.
<https://www.qmul.ac.uk/media/news/2025/science-and-engineering/se/the-quest-for-room-temperature-superconductors.html>

进而限制了超导临界温度。将这些常数带入方程后，发现超导温度的理论上限在 100-1000 K 之间。通过 Eliashberg 函数优化，在数值上验证了这一结论，得到的超导温度上限约为 600 K。尽管该研究证明了室温超导在理论上是可能的，但实际实现仍面临巨大挑战。

上述研究工作发表在 *Journal of Physics: Condensed Matter*（文章标题：Upper bounds on the highest phonon frequency and superconducting temperature from fundamental physical constants）。

（尹 伟）

中国科学院武汉文献情报中心

先进制造与新材料情报研究



微信扫一扫，关注我们

编辑：中国科学院武汉文献情报中心战略情报部

地址：湖北省武汉市武昌区小洪山西 25 号

电话：027-8719 9180

传真：027-8719 9202

邮箱：[amto at whlib.ac.cn](mailto:amto@whlib.ac.cn)