

先进制造与新材料动态

ADVANCED MANUFACTURING AND MATERIALS NEWSLETTER

监测快报

2026 第1期
(总第479期)

本期要目

- 世经论坛发布 2025 前沿技术与创新专题报告
- 英发布材料 4.0 国家框架
- 欧出台新措施聚焦塑料回收
- 韩发布化工技术创新路线图 2030
- 美 DARPA “水晶宫计划”探索物质生长方式
- 美战争部投资 1850 万美元扩大锗和硅光学材料产能
- 全球最小的完全可编程自主机器人
- 已知材料中最坚硬的有机晶体

中国科学院武汉文献情报中心

目 录

专 题

世经论坛发布 2025 前沿技术与创新专题报告 1

战略规划

英发布材料 4.0 国家框架 5

欧出台新措施聚焦塑料回收 6

韩发布化工技术创新路线图 2030 8

美 NIST 新建制造业及基础设施 AI 中心 9

项目资助

美 DARPA “水晶宫计划” 探索物质生长方式 10

美战争部投资 1850 万美元扩大锗和硅光学材料产能 11

行业观察

英机构揭示软性塑料包装回收难题 12

欧发布先进材料技术创新报告 12

研究进展

高效绿色工艺从海矿中提取关键金属 15

全球最小的完全可编程自主机器人 16

新型光刻平台突破 3D 纳米制造速度与尺度瓶颈 17

已知材料中最坚硬的有机晶体 18

单晶正极退化机制研究助力电池性能提升 18

块体形状记忆陶瓷-金属基复合材料的固态 3D 打印 19

澳实现硅基量子处理器重大突破 20

世经论坛发布 2025 前沿技术与创新专题报告

2025 年 12 月 22 日，世界经济论坛发布年度《前沿技术与创新》专题报告。该报告是在论坛全年产出的各类技术研究成果、全球峰会共识及创新生态网络资源的基础上，进行系统梳理与深度整合而形成的年度核心成果总结，集中荟萃了 2025 年全球最具影响力的科技发展突破¹。报告重点聚焦从“潜力蓝图”走向“落地应用”的关键技术，同时明确了面向未来发展亟需的前瞻性决策方向。

（1）十大新兴技术驱动社会产业变革

2025 年 6 月 24 日，世界经济论坛与《前沿》（*Frontiers*）期刊联合发布《2025 年十大新兴技术报告》，聚焦 10 项有望重塑行业形态与社会格局的创新成果。报告基于专家提名及前瞻评估，筛选出 2025 年十大新兴技术，具体包括结构电池复合材料、渗透发电系统、先进核能技术、工程化活体疗法、治疗神经退行性疾病的 GLP-1 类药物、自主生化传感、绿色固氮、纳米酶、协同感知、生成式水印。每项技术均从五个维度深入剖析其科学进展、战略影响力及生态系统成熟度。这些研究成果为全球领导者提供了前瞻视野，助力其驾驭变革性技术，推动可持续增长、增强抗风险能力，并实现包容性创新。

（2）技术融合重塑行业价值链体系

2025 年 6 月 3 日，世界经济论坛与凯捷咨询公司联合发布《技术融合报告》，为全球行业领导者提供了一套适配融合创新时代的战略工具——“3C 框架”。该框架通过技术组合（combination）、价值链融合（convergence）、效益复合（compounding）三个阶段层层递进、反馈循环，将传统“单点技术视角”升级为“系统思维视角”。报告依托对 2000 名全球高管的调研数据与专家洞见，聚焦 AI、全场景计算、工程生物学、

¹ From quantum to climate: the frontier tech stories that defined 2025.
<https://www.weforum.org/stories/2025/12/the-top-frontier-tech-stories-from-2025/>

空间智能、机器人、先进材料、下一代能源、量子技术八大核心领域，提炼出 23 组高潜力技术组合，这些技术组合的协同价值远超单一技术。报告强调，技术融合已成为重塑行业的必然趋势，各类组织需构建跨领域能力、平衡技术组合、搭建生态伙伴关系并建立伦理治理框架，方能把握机遇成为融合时代引领者。

（3）科技初创企业塑造未来产业格局

2025 年 6 月 23 日，世界经济论坛“技术先锋计划”迎来 25 周年里程碑，该计划专注扶持以创新技术赋能美好未来建设的初创企业，为其成长发展提供全方位支持。自 2000 年启动以来，该计划已累计认证超 1200 家优质企业，许多企业已成为行业变革的引领者，包括谷歌、PayPal 等。2025 年，世界经济论坛从 28 个国家中筛选出 100 家初创企业加入该计划，其中美国入选 29 家，中国和印度各入选 10 家。这一批入选企业深度聚焦 AI、机器人、量子计算、太空经济、下一代能源、循环经济等突破性技术，深刻反映了全球创新生态的最新演变趋势。

（4）十大新兴技术破解地球生态危机

受人类活动影响，维系地球稳定运转的九大“地球边界”，已有七项超出临界阈值。2025 年 10 月 15 日，世界经济论坛与《前沿》期刊联合发布《守护地球健康的十大新兴技术解决方案》，深度阐述创新技术如何推动地球生态回归边界阈值内的平衡状态。报告遴选出精准发酵、绿氨制备、自动化厨余废弃物升级利用、甲烷捕获与利用、绿色混凝土、新一代双向充电技术、高时效高精度地球观测、模块化地热能、再生海水淡化以及土壤健康技术融合等十项突破性技术，针对性破解全球最紧迫的环境挑战。这些技术方案不仅彰显出科技守护地球生态健康的变革性潜力，更有望为人类开辟通往更具可持续性、韧性与公平性未来的可行路径。

（5）农业科技革命赋能全球粮食供应

气候变化、资源退化、人口结构变迁与地缘政治动荡多重因素交织，

给全球粮食供给带来了前所未有的压力。2025 年 11 月 6 日，世界经济论坛发布《塑造农业深度技术革命》报告，聚焦通过提升产量、减少损耗来重塑全球农业未来的前沿技术，明确了推动这一转型的七大极具潜力的深度技术领域，具体包括生成式 AI、计算机视觉、边缘物联网、卫星遥感技术、机器人技术（含无人机）、CRISPR 及纳米技术。报告进一步聚焦突破性应用案例，梳理出以生态系统建设推动案例规模化落地的实操路径，明确变革性技术领域、各技术融合方向及农业应用价值，并探讨政府、产业界与科研界的三方协同机制，助力农业深度技术发展，为全球农业筑牢未来韧性。

（6）量子技术驱动各行业创新变革

量子技术正加速从理论研究迈向实践应用，成为各行业创造价值的实用工具。2025 年，世界经济论坛联合埃森哲咨询公司发布 4 份量子技术专项报告，聚焦量子技术在信息与通信技术（ICT）、先进制造、金融服务等领域的应用场景与落地进展。针对不同行业痛点，报告提出定制化解决方案：为 ICT 领域构建混合量子安全体系，为制造业与供应链提供从试点到推广的全周期战略路线图，为金融服务明确六大发展支柱。同时，报告为企业领导者提供针对性战略指引，强调组建专职团队、加大战略投资及推动量子与 AI 融合的重要性，助力企业把握量子经济机遇、构筑核心竞争优势，推动量子技术从实验室走向产业应用，实现价值落地转化。

（7）太空创新开拓地球发展新机遇

太空技术正加速迭代升级，太空经济规模预计 2035 年将达到 1.8 万亿美元。2025 年 1 月 20 日至 24 日，世界经济论坛第 55 届达沃斯年会召开，重点探讨有望革新全球能源生产模式、推动可持续发展进程，并提升人类地外资源开发能力的前沿天基技术。会上披露多项突破性创新成果：天基太阳能发电机通过精准定向微波束将电能传输至地球接收站；先进地球观测系统提供全球超 50% 的气候监测数据，成为感知地球环境

的关键支撑；搭载 AI 视觉驱动机械臂的太空碎片清除系统，单台设备每年预计可清理 5-10 个大型太空碎片。

（8）空间技术引发下一轮技术变革浪潮

空间智能是《技术融合报告》重点聚焦的核心领域之一，空间计算作为驱动空间智能发展的关键技术，有望从根本上改变人类与技术的交互方式。这种以三维空间为核心、持续迭代演进的计算范式，深度融合 AI、计算机视觉、扩展现实等前沿技术，可将虚拟内容与沉浸式体验无缝嵌入物理现实场景，打破虚拟与现实的传统边界。无论是工业场景的数字孪生全场景模拟，还是消费端的虚实融合沉浸式交互，空间技术正为各领域的创新发展开辟全新路径。

（9）技术发展成果惠及全球福祉

技术创新若无法实现普惠共享，其价值与意义将大打折扣。在技术发展突飞猛进的当下，各类机构与各国政府需肩负重任，将伦理准则与公平普惠置于发展议程的核心位置。2025 年 6 月 24 日至 26 日，达沃斯世界经济论坛在天津召开，各界领袖聚焦前沿技术的合理应用，深入探讨如何平衡效益最大化与风险最小化。技术信任度是另一项关键议题，不同地区对前沿技术的信任度存在显著差异，其中中国消费者对 AI 和自动驾驶技术的信任度和接受度明显高于美国、日本等国。

（吴文涛）

英发布材料 4.0 国家框架

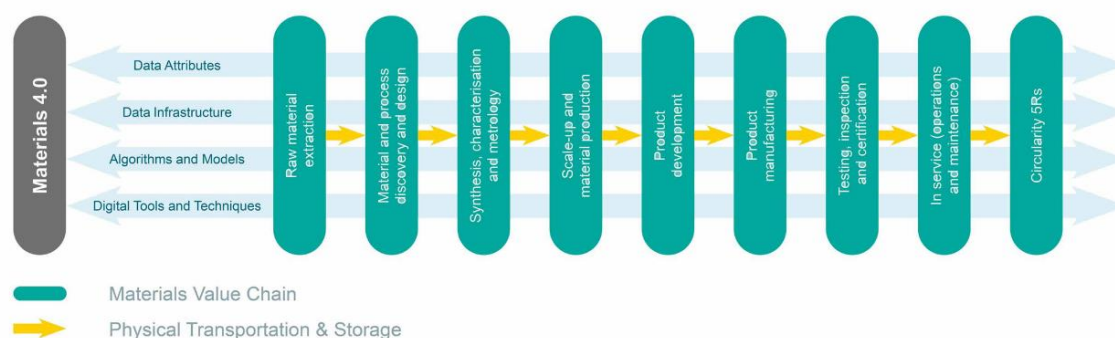
2025 年 12 月 18 日，英国亨利·罗伊斯研究所发布《材料 4.0 国家框架》，首次为数字化材料生态系统提出一套通用的定义和结构体系。材料 4.0 是材料创新的数字化支柱，通过系统、全面地引入材料 4.0 的工具与实践，有望加速并变革英国乃至全球的材料创新进程²。

材料 4.0 被定义为材料领域向数字化赋能转型的总体概念，其基础是一个材料信息学框架，整合了材料建模、大数据、人工智能与机器学习、计算模拟、制造信息学及生命周期仿真等多方面能力。材料 4.0 已成为能源方案、未来医疗、结构创新、先进表面技术、下一代电子电信与传感器、包装与特种聚合物等众多领域的核心跨领域主题。

材料 4.0 框架设计灵活，可广泛适配功能聚合物、复合材料和基础钢材等多种材料类型；覆盖材料价值链的各个环节，涵盖材料设计、制造、回收与处置全流程；能够高效处理各类材料数据，包括材料发现阶段的实验数据、运行过程中的原位分析数据等；同时囊括实现材料 4.0 所需的各类核心技术。材料 4.0 总体框架如下图所示，通过数据属性、基础设施、算法模型和数字工具四大数字化核心能力赋能并重塑材料的全生命周期，为每个环节提供支持。材料全生命周期对应九步价值链，涵盖原材料提取→材料与工艺研发设计→合成、表征与计量→放大与材料生产→产品开发→产品制造→测试、检验与认证→在役使用与维护→循环利用（5R 原则）³。该框架借助相应基础设施、算法与数字工具，推动材料价值链各环节间数据的无缝流动，这有望加速材料创新应用、降低对稀缺原材料的依赖、促进清洁低废制造、支持循环经济减少环境影响，最终提升国家经济竞争力与产业韧性。

² Royce launches National Framework to Accelerate the Materials 4.0 Revolution.
<https://www.royce.ac.uk/news/royce-launches-national-framework-to-accelerate-the-materials-4-0-revolution/>

³ 编者注：5R 是指 Rethink（反思对待废弃物和习惯的做法）、Refuse（拒绝产生废弃物）、Reduce、Reuse 和 Recycle。



材料 4.0 总体框架

为展示材料 4.0 的实际潜力，报告重点列举了五项拟作为典范发展的战略应用，包括风力涡轮叶片复合材料、电池材料、可持续包装、涂层与涂料用功能性聚合物，以及核用钢材等。

报告指出，当前发展重心过于集中在算法、建模与发现工具上，而数据本体、材料数据属性及数字基础设施等关键基础仍较为薄弱。因此，报告提出两项优先任务，一是制定并实施实用的数据标准与基础设施方案，以弥补短板，并与英国在算法和数字工具上的现有投资形成配套；二是推动跨行业学习与互操作性建设，材料 4.0 相关挑战与解决方案往往涉及到各种不同的材料类别及工业领域。下一阶段将制定具体实施路线图，内容包括明确数据详细定义、推出一系列基于真实工业场景的测试案例等。

（冯瑞华）

欧出台新措施聚焦塑料回收

2025 年 12 月 23 日，欧盟委员会公布首批试点行动，加速向循环经济转型，重点聚焦塑料行业。这些措施将优化塑料回收利用，释放单一市场潜力，增强欧盟经济安全、战略自主权、竞争力和环境可持续性⁴。

欧盟委员会联合研究中心数据显示，到 2050 年，循环解决方案可使该行业气候相关排放量减少 45%，实现能源使用脱碳化，每年改善 180

⁴ New package of measures to boost circular economy and strengthen Europe's plastic recycling. https://europa.eu/newsroom/ecpc-failover/pdf/ip-25-3151_en.pdf

亿欧元贸易差额。然而，塑料回收行业面临多重压力，如再生材料市场碎片化问题突出、能源成本高、原生塑料价格波动大以及第三国不公平竞争冲击等，导致欧盟回收企业产能利用率下降、财务亏损加剧，威胁循环经济目标实现及产业竞争力。

为应对上述挑战，欧盟委员会采取两步走策略。第一步，针对部分行业压力，推出短期行动，重点支持塑料行业循环化发展，鼓励投资与创新。第二步，2026 年将提出《循环经济法案》，完善二次原材料单一市场运作机制。试点行动将重点聚焦以下四个方面。

（1）克服市场碎片化 欧盟委员会提出实施法案，制定全欧盟统一的塑料废弃物终止标准，明确再生材料何时可重新视为可再利用材料，建立再生塑料单一市场，简化回收企业行政程序，确保高质量再生料稳定供应。同时，就 PET 一次性塑料饮料瓶的再生含量向成员国提交实施法案表决，为塑料化学回收企业创造新机遇，提升法律确定性，释放化学回收投资潜力。此外，计划重启并强化“循环塑料联盟”，使其成为塑料价值链协作平台，共同应对关键挑战。

（2）确保公平竞争 欧盟委员会正在为原生塑料和再生塑料制定独立海关编码，支持海关及市场监管机构执行法规。同时，还将对欧盟及全球原生塑料与再生塑料市场实施监测，为制定贸易措施提供依据，并于 2026 年评估这些措施。

（3）鼓励投资与创新 欧盟委员会将加强支持循环经济项目，与各国银行及欧洲投资银行合作，设立竞争力协调工具试点项目，支持跨区域循环经济中心建设，推动智能专业化发展和跨境合作。

（4）评估《一次性塑料制品指令》实施成效 欧盟委员会启动公开咨询及证据征集程序，评估《一次性塑料制品指令》实施成效，面向所有利益相关方开放。

（蒿巧利）

韩发布化工技术创新路线图 2030

2025 年 12 月 23 日，韩国产业通商资源部（MOTIR）宣布成立“化工产业创新联盟”，并发布《K-化学新一代技术创新路线图 2030》，旨在到 2030 年将韩国化工产业的全球排名从第五位提升至第四位，实现核心材料附加值达 45%，并借助 AI 开发新型环保材料^{5,6}。

该路线图提出以三大支柱为核心，推进研发创新和基础设施建设，确保核心材料和工艺技术的自主可控，包括推动产业向高附加值转型、绿色环保方向转型，以及加强对全球环境法规的应对能力等。路线图采用一体化团队协作模式，通过贯穿化工产业从原材料供给、材料研发到应用落地与最终需求相应的完整价值链，打破以往分散的研发体系局限，积极与半导体、未来出行等下游需求产业开展合作。政府还将支持从材料设计到制造的全流程中利用 AI 开展技术开发与基础设施建设，推动化工产业实现制造智能化转型。

路线图由 80 余位专家历时 6 个月制定，共确定 217 项关键技术，将根据市场潜力和技术成熟度分类支持，包括短期集约型、长期管理型、市场开发型和绩效扩散型。对于市场大、技术成熟度高的技术，将给予商业化研发支持；市场大但技术尚需突破的，则提供挑战型研发支持；针对市场规模小但具备高增长潜力的技术，政府将支持新技术抢占式研发与专利分析；对技术成熟的领域，则重点提供基础设施支持，以实现规模效应与流程效率提升。政府将于 2026 年第一季度启动大规模研发项目，涵盖 9 个领域方向，包括 AI 半导体封装材料、柔性可穿戴显示器材料、电动汽车电子及内饰材料、下一代锂电池电解液、航空航天结构部件复合材料、高压直流电缆包覆材料、船舶环保涂料、LCP（液晶聚合物）基多功能高端工程塑料、AI 优化石化工艺与节能减碳等。

（冯瑞华）

⁵ Korea Launches “K-Chemistry Roadmap 2030” to Drive a New Leap Forward for Korea’s Chemical Industry.
<https://english.motir.go.kr/eng/article/EATCLdfa319ada/2465/view>

⁶ 화학산업의 새로운 제도약을 위한 「K-화학 로드맵 2030」 나왔다.
<https://www.motir.go.kr/kor/article/ATCL3f49a5a8c/171378/view>

美 NIST 新建制造业及基础设施 AI 中心

美国国家标准与技术研究院（NIST）拟出资 2000 万美元，与非营利机构 MITRE 公司合作新建两个人工智能（AI）中心，旨在推动 AI 技术解决方案的应用，加强美国制造业和关键基础设施的网络安全。此次合作是 NIST 实施其“21 世纪美国技术领导力战略”的重要举措，加速关键及新兴技术从开发到应用的进程⁷。

新成立的两个中心分别为“美国制造业生产力 AI 经济安全中心”和“保护美国关键基础设施免受网络威胁 AI 经济安全中心”。这两个中心将致力于开发和推广 AI 驱动工具或“智能体”，并开展必要的技术评估与前沿研究，有效维持美国在 AI 创新领域的领先地位，应对对手使用 AI 构成的威胁，并降低依赖不安全 AI 所带来的风险。

此外，未来几个月内，NIST 拟通过“制造业美国”正式设立“制造业韧性 AI 研究所”，五年内预计投入高达 7000 万美元的资助，并至少获得等额的非联邦资金⁸。该研究所将汇集 AI、制造业和供应链网络等领域专业人员，提升制造业韧性。

（陈安邦）

⁷ NIST Launches Centers for AI in Manufacturing and Critical Infrastructure.

<https://www.nist.gov/news-events/news/2025/12/nist-launches-centers-ai-manufacturing-and-critical-infrastructure>

⁸ 相关内容可参见 2024 年第 15 期《先进制造与新材料动态监测快报》。

美 DARPA “水晶宫计划” 探索物质生长方式

当前，半导体行业已基本掌握了硅等相对简单材料的生长技术，但未来与国防相关的微系统（如先进雷达、自主空中平台）依赖于由多种元素组成、排列更为复杂的晶体结构材料。现有的材料生长工具往往依赖于对温度、压力等环境的宏观全局控制，而驱动材料生长的过程却发生在纳米尺度的局部区域。全局控制与局部物理之间的这种不匹配问题正变得愈发严重。

2025 年 12 月 5 日，美国国防部先进研究计划局（DARPA）发布“水晶宫计划”（Crystal Palace）项目征集公告，拟通过开发具有局部和通用控制能力的新工具及技术，快速开发出具备一定单晶品质且尺寸合适的复杂无机新材料，革新用于下一代微系统的单晶无机材料生产方式，实现材料的大规模快速生长⁹。

该计划并非专注于计算发现或器件集成，而是特别关注在与微系统相关的基底上直接生长复杂无机材料，即无金属基底、无材料转移技术、无体相生长。该计划实施周期为 36 个月，分两个阶段推进，每个阶段均为期 18 个月。在第一阶段，参与机构需验证能够在至少两英寸的尺度上控制至少一种复杂材料的组成、结构和单晶均匀性。在第二阶段，参与机构需证明其生长技术并非一次性解决方案，而是具有广泛的适用性。到项目结束时，各团队需展示 4 种不同的复杂材料，每种材料的元素组成或结构复杂性递增，并能以均匀单晶的形式大规模生长。

（陈安邦）

⁹ Crystal Palace.
<https://www.darpa.mil/research/programs/crystal-palace>

美战争部投资 1850 万美元扩大锗和硅光学材料产能

2025 年 12 月 22 日，美国战争部宣布，根据《国防生产法》第三篇相关条款，已于 2025 年 9 月 26 日向 Lattice Materials 公司投资 1850 万美元，此次投资公告因政府停摆而推迟发布。该笔资金来源于 2022 年《乌克兰追加补充拨款法案》，同时也契合 2025 年 3 月 20 日发布的第 14241 号行政令——《提高美国矿产产能的紧急措施》中扩大关键矿产加工品及下游衍生产品产能的战略目标。此项投资将用于提升 Lattice Materials 公司在蒙大拿州博兹曼工厂的锗和硅晶体生产能力，这对于光学供应链至关重要，项目落地后将缩短交付周期并提高多个关键平台的战备水平¹⁰。

降低供应链脆弱性、扩大关键矿产本土产能是战争部的核心优先事项之一，这项投资将确保军用侦察、监视及瞄准系统所需锗基与硅基光学元件的稳定供应。作为美国领先的国防红外光学元件制造商，Lattice Materials 公司将利用这笔资金提升其光学级锗和硅晶体产能，并建立利用再生废料提炼金属锗的技术能力，实现战争部相关应用的产能提升。

（郭文娟）

¹⁰ Department of War Invests \$18.5 Million to Expand Germanium and Silicon Optics Production.
<https://www.war.gov/News/Releases/Release/Article/4366365/department-of-war-invests-185-million-to-expand-germanium-and-silicon-optics-pr/>

英机构揭示软性塑料包装回收难题

由英国亨利·罗伊斯研究所支持的“日常软性塑料包装回收联盟”发布简报指出，薯片袋、面包袋等日常软性塑料仍是英国最难回收的垃圾类别。柔性塑料占消费类塑料包装总量的 1/4 以上，但每年仅约 7% 得到回收，其余大多被焚烧、出口或填埋¹¹。

为探究原因，塑料产业链各环节的研究人员与从业者，联合亨利·罗伊斯研究所可持续材料创新中心成员，在曼彻斯特大学召开研讨会。会议聚焦英国如何成为柔性塑料包装回收领域的全球领导者，指出四大障碍：一是英国回收基础设施不足，柔性塑料家庭回收服务可能先于分拣回收设施到位；二是包装设计难以回收，多层塑料难以处理；三是终端市场疲软，焚烧或海外处理成本低于本土回收；四是数据缺失，无法追踪塑料包装的丢弃流向。

会议达成三项优先事项：一是制定更强有力的智能立法，支持本土回收而非出口或焚烧；二是投资创新，包括新型分拣回收技术和食品级再生塑料研发；三是完善终端市场体系，使柔性塑料回收兼具经济效益与环境价值。

首届大会已确立议程方向，后续会议将聚焦切实可行的解决方案，分享现有成功案例及其推广路径。

（蒿巧利）

欧发布先进材料技术创新报告

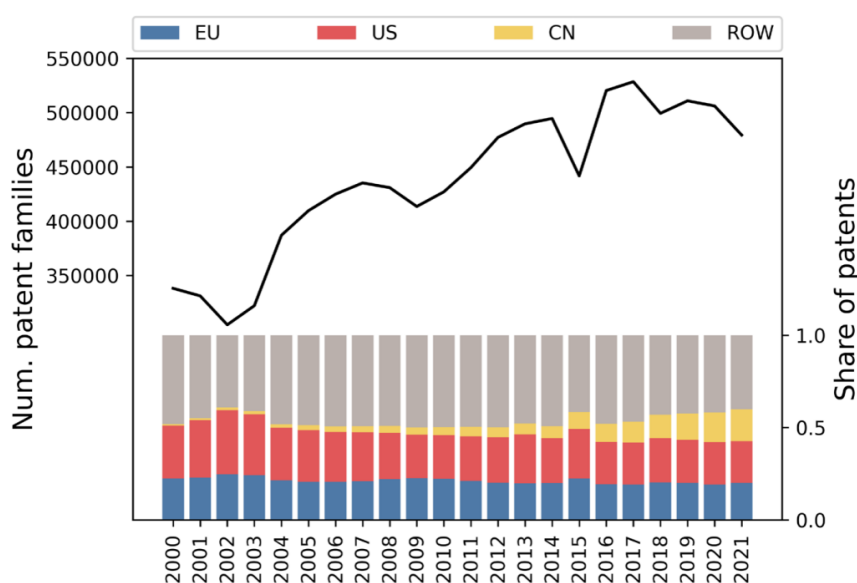
2025 年 12 月 3 日，欧盟联合研究中心（JRC）发布《创新之路：欧盟技术视角下的经济复杂性分析—先进材料》报告，旨在为欧盟政策制定提供科学支持，助力《先进材料法案》等政策落地，强化欧盟在全球

¹¹ Flexible Plastic Packaging Assembly Identifies Key Recycling Challenges.
<https://www.royce.ac.uk/news/flexible-plastic-packaging-assembly-identifies-key-recycling-challenges/>

创新领域的领导地位、提升经济竞争力与战略自主性¹²。

（1）科技创新格局

2000-2021 年，全球专利申请量增长 40%，欧盟、美国和中国合计占据全球 50%以上专利份额，共同主导全球技术创新格局。作为传统创新强国，欧盟在机械工程、纺织、固定建筑等传统制造技术领域仍保持领先，但相对竞争力逐步弱化。2000 年，欧盟专利占比 22%，2020 年降至 19%，而中国同期从低位快速增加至 16%，在电力、物理等领域专利占比从几乎为零分别增至 25%和 20%。



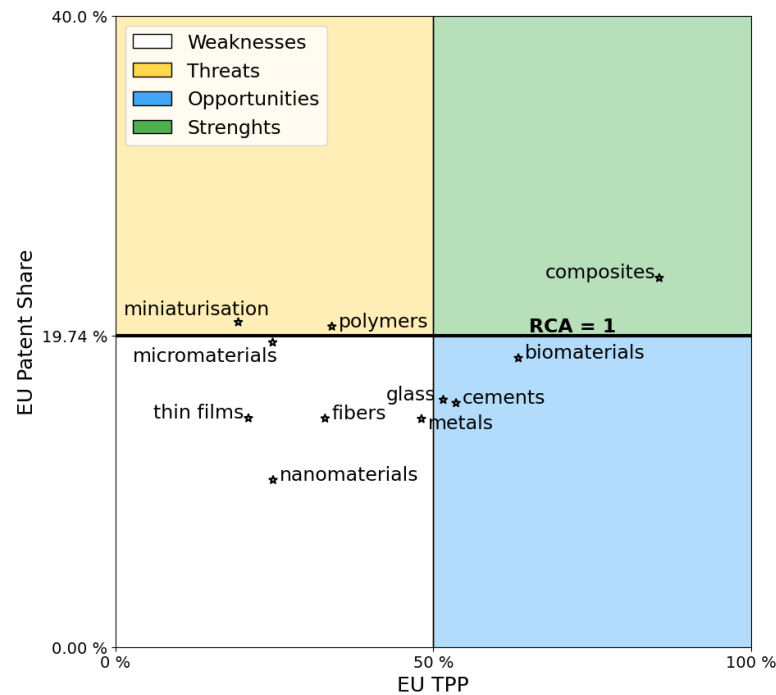
全球专利同族数量

（2）细分领域态势

报告分析了纳米材料、生物材料、复合材料等 11 类先进材料的发展态势，发现欧盟在各个领域表现呈现显著分化。在复合材料方面，欧盟不仅当前拥有显著的比较优势，未来也具备强劲的发展潜力，是少数位于“优势”象限的类别。然而，在同样具有当前优势的聚合物和微型化领域，其未来潜力评级已亮起“威胁”警示，表明竞争力可能面临下滑风险。报告特别指出，生物材料、玻璃和水泥是欧盟最具希望的增长点，

¹² What opportunities does Europe have to lead in advanced materials.
https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/what-opportunities-does-europe-have-lead-advanced-materials-2025-12-18_en

被划入“机遇”象限。尽管欧盟在这些领域目前的专业化水平尚未达到全球领先阈值，但其未来形成比较优势的概率超过 50%，其中生物材料在绝大多数成员国中均显示出强劲潜力。与此同时，纳米材料、微材料、薄膜等多个类别则被归为当前的“弱势”领域。



欧盟先进材料领域专利占比与技术进步概率

(3) 成员国技术布局

欧盟内部的创新格局呈现出显著的地区异质性，构成了欧盟多层次、互补性的技术生态。核心国家仍是创新主力：德国和法国在复合材料、金属、玻璃等领域保持着强大的专利产出和比较优势，其技术实力为欧盟整体竞争力提供了关键支撑；意大利在生物材料、纤维及复合材料等多个类别中表现活跃。

其他成员国在特定细分领域形成了鲜明的专业化优势：西班牙在复合材料与生物材料领域突出；瑞典在纤维与金属领域潜力强劲；以葡萄牙、罗马尼亚、芬兰为代表的一批国家在生物材料、水泥等领域展现出高活跃度与增长潜力，成为欧盟在该领域不可忽视的新兴力量。

(董金鑫)

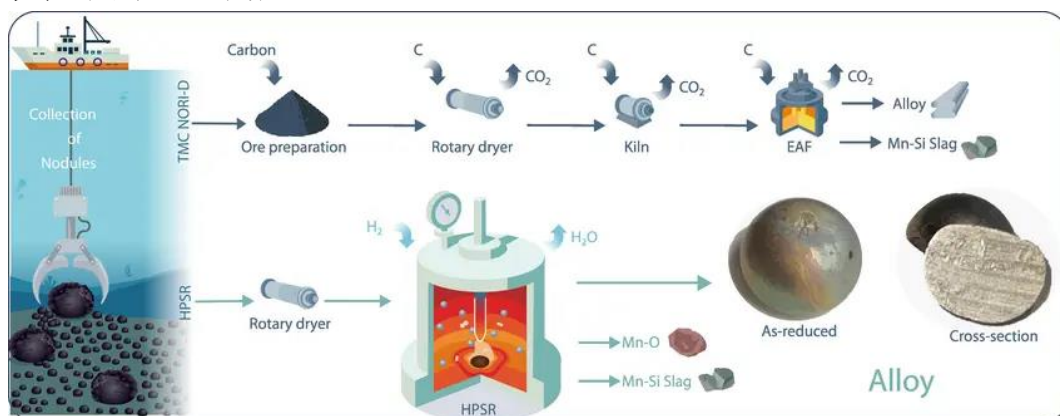
研究进展

高效绿色工艺从海矿中提取关键金属

随着全球能源转型推进，工业、交通等领域电气化进程加快，铜、镍、钴的全球需求量预计将大幅提升，这些金属是电机、电网及锂电池的关键材料。传统陆地采矿需砍伐大量森林、产生数十亿吨废料，钴矿开采还存在童工等社会问题，且矿石中目标金属含量低。深海锰结核富含铜、镍、钴及锰，为这类关键金属的获取提供了替代路径，成为可持续采矿的研究焦点。

德国马普可持续材料研究所 Ubaid Manzoor 团队开发出氢等离子体熔炼还原工艺（HPSR），能够从深海锰结核高效绿色提取铜、镍和钴¹³。

该提取工艺首先将深海锰结核干燥，放入电弧炉中熔化，冷却后可直接回收近乎纯净的铜；随后通入氢等离子体作为还原剂，生成含镍、钴等元素的合金，同时产出可用于电池的锰氧化物，且合金成分可通过还原时长调控。该工艺具有显著优势，在使用绿氢和可再生能源电力时，二氧化碳排放量较传统煤基还原法减少 90% 以上，能耗降低近 20%，且流程步骤更精简。相较于加拿大 TMC 公司的碳基还原方案，该工艺更具可持续性，且深海采矿无需砍伐森林，废料量大幅减少，还能避免陆地采矿中的童工问题。



TMC 公司工艺与 HPSR 工艺对比

¹³ Climate-friendly metals from deep-sea ores.

<https://www.mpg.de/25794327/1127-eifo-sustainable-metals-from-deep-sea-mining-152925-x>

上述研究工作发表在 *Science Advances*（文章标题：Low-waste, single-step, sustainable extraction of critical metals from deep-sea polymetallic nodules）。

（吴文涛）

全球最小的完全可编程自主机器人

电子设备微型化持续推进，但亚毫米级微型自主机器人的研发停滞近 40 年。当尺寸缩小至微生物级别时，重力和惯性不再起主导作用，粘滞力与表面张力成为主要影响因素，传统机械肢体易损坏且无法适配微观环境。传统的微型机器人大多依赖外部磁场、声场或激光操控，缺乏机载计算与自主决策能力，难以实现真正的独立运行。

美国宾夕法尼亚大学和密歇根大学的联合研究团队研制出世界上最小的完全可编程自主机器人——微型游泳机器，尺寸约 200×300×50 微米，能够独立感知并响应周围环境，可运行数月，每台仅需一美分¹⁴。

研发团队设计出无活动部件的推进系统，通过电极产生电场驱动周围离子，进而带动水分子，产生力量推动机器人前进，实现每秒一个体长的运动及群体协同；同时集成超低功耗微型计算机，以 75 纳瓦功率搭载处理器、内存与传感器，通过重构编程语言压缩指令，适配微观尺度的空间限制。此外，机器人采用 LED 光脉冲供能与编程，具备 1/3 °C 精度的温度感知能力，可自主调整运动轨迹，通过类似蜜蜂“摇摆舞”的摆动编码传递数据，无需外部操控即可完成“感知-决策-行动”闭环，能在液体环境中连续运行数月，可应用于细胞健康监测、微尺度制造等。

上述研究工作发表在 *Science Robotics*（文章标题：Microscopic robots that sense, think, act, and compute）和 *PNAS*（文章标题：Electrokinetic propulsion for electronically integrated microscopic robots）。

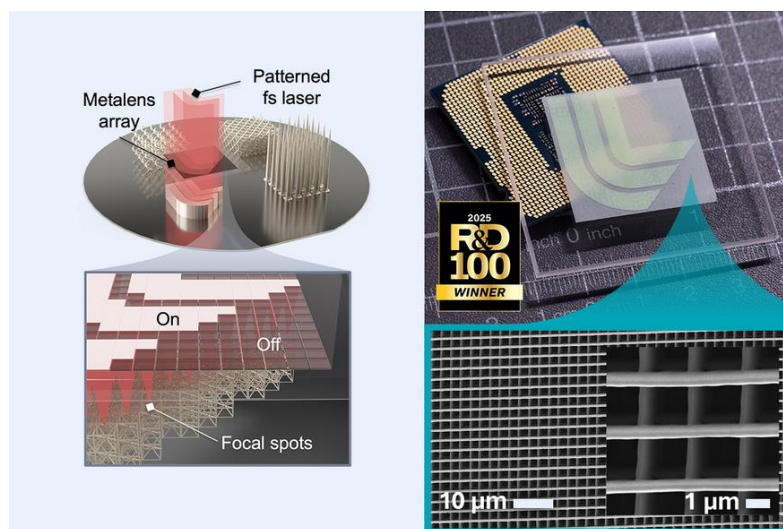
（吴文涛）

¹⁴ Penn and Michigan Create World's Smallest Programmable, Autonomous Robots.
<https://www.seas.upenn.edu/stories/penn-and-umich-create-worlds-smallest-programmable-autonomous-robots/>

新型光刻平台突破 3D 纳米制造速度与尺度瓶颈

传统双光子光刻技术依赖显微镜物镜，打印区域局限于数百微米范围且效率低下；加之需通过拼接方式拓展尺寸，易引入累计误差，最终制约其规模化产业应用。美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室和斯坦福大学的联合研究团队开发出金属透镜阵列双光子光刻平台，实现厘米级区域并行打印，推动双光子光刻技术从实验室研究迈向晶圆级量产¹⁵。

研究人员采用高数值孔径超透镜的平铺阵列替代显微镜物镜，将飞秒激光分割为 12 万余个协调焦点，同步在厘米级区域打印。集成空间光调制器实时调节各焦点强度，可开关光束、灰度控制线宽并编排光束逐层形成复杂图案。该方法避免了早期多光束方案的邻近效应，无需拼接即可无缝打印，制备的 3D 结构最小特征尺寸达 113 nm，加工效率较商用系统提升千倍以上，可实现 1-3 cm 级精准打印，还能制造随机结构及多种微器件。



金属透镜阵列双光子光刻平台

上述研究工作发表在 *Nature*（文章标题：3D nanolithography with metalens arrays and spatially adaptive illumination）。

（董金鑫）

¹⁵ LLNL researchers break speed and scale barriers in 3D nanofabrication with new meta-optics platform.
<https://www.llnl.gov/article/53806/llnl-researchers-break-speed-scale-barriers-3d-nanofabrication-new-meta-optics-platform>

已知材料中最坚硬的有机晶体

阿联酋纽约大学阿布扎比分校 Panče Naumov 团队利用黏液酸（半乳酸）制备出一种有机晶体，其杨氏模量最高可达约 50 GPa，是已知最坚硬的有机晶体。该材料的强度来源于分子间致密的氢键网络，关键力学性能已接近金属铝¹⁶。

研究显示，大多数有机晶体的杨氏模量在 10-25 GPa 之间，只有约 8% 的化合物超过 25 GPa，被视为高刚性材料。该团队在黏液酸晶体(100)面上测得杨氏模量约为 50 GPa，计算模型进一步预测其理论数值可达 68.5 GPa，与金属铝（约 70 GPa）处于同一量级，其他可测晶面的杨氏模量也接近 30 GPa。该晶体表现出优异的硬度与刚性，实现了轻质与高强的结合。

这一发现突破了有机晶体普遍力学性能较弱的传统认知。其卓越性能归因于分子通过氢键形成的紧密堆积网络，使这种常见化合物在单一材料体系中同时具备超高刚度、高硬度和低密度的特性，在有机材料中极为罕见。这类超硬晶体在航空航天和精密电子等领域具有广阔的应用前景，尤其适用于对材料高强度与轻量化有双重需求的场景。

（冯瑞华）

单晶正极退化机制研究助力电池性能提升

锂离子电池多晶富镍正极长期存在开裂问题，单晶晶粒富镍正极因沿用多晶设计思路未能达到预期性能，制约了电动车电池安全与寿命提升。美国阿贡国家实验室和芝加哥大学的联合研究团队揭示了单晶晶粒正极性能衰减核心机制，为优化电池设计提供理论支撑¹⁷。

研究人员采用多尺度同步辐射 X 射线技术与高分辨率透射电子显微镜，发现单晶晶粒正极性能衰减主导机制为反应异质性，粒子内反应

¹⁶ Stiffest organic crystals reported to date discovered in well-known material.
<https://www.chemistryworld.com/news/stiffest-organic-crystals-reported-to-date-discovered-in-well-known-material/4022725.article>

¹⁷ Research upturns assumptions about battery failure.
<https://pme.uchicago.edu/news/research-upturns-assumptions-about-battery-failure>

速率差异引发应变致开裂，区别于多晶材料的晶界扩张开裂。通过构建无锰镍钴电池与无钴镍锰电池验证，发现锰对单晶晶粒正极机械损伤更大，钴可延长电池寿命，颠覆了多晶正极中钴致开裂、需锰缓解锂镍紊乱的认知。

上述研究工作发表在 *Nature Nanotechnology* (文章标题: Nanoscopic Strain Evolution in Single Crystal Battery Positive Electrodes)。

(董金鑫)

块体形状记忆陶瓷-金属基复合材料的固态 3D 打印

美国弗吉尼亚理工大学 Yu Hang 领导的研究团队采用增材搅拌摩擦沉积先进制造技术，成功将形状记忆陶瓷颗粒嵌入金属中，研发出一种坚固、无缺陷的材料，能在应力下发生相变以耗散能量。该材料克服了传统陶瓷脆性难题，可实现全密度、大尺寸固态 3D 打印，为国防、基础设施、航空航天及高性能运动装备等领域的实际应用开辟了可能性¹⁸。

研究团队将微小的形状记忆陶瓷颗粒均匀混入金属，然后将混合物送入增材搅拌摩擦沉积设备，通过高速旋转原材料使其熔合，而无需完全熔化。最终得到的金属基复合材料包含均匀分布的陶瓷，这些陶瓷能够发生相变而不破坏整体结构。该研究首次借助可规模化的固态 3D 打印工艺，成功制备出了块体形状记忆陶瓷-金属基复合材料，且该材料首次在可见的块状尺度上实现了应力诱导相变，有望填补学术创新与工业应用之间的鸿沟。

上述研究工作发表在 *Materials Science and Engineering: R: Reports* (文章标题: Solid-state additive manufacturing of shape-memory ceramic reinforced composites)。

(郭文娟)

¹⁸ A researcher's long quest leads to a smart composite breakthrough.
<https://news.vt.edu/articles/2026/01/eng-mse-long-quest-smart-composite-breakthrough.html>

澳实现硅基量子处理器重大突破

硅基量子计算机因与经典计算技术兼容、硅材料研究基础深厚而备受关注。然而，传统量子系统在增加量子比特数量时质量易下降，限制了其商业化应用。澳大利亚硅量子计算公司（SQC）开发出一款多量子比特、多寄存器的硅基量子处理器，量子保真度达 99.99%，且量子比特数量增加时质量持续提升。这一成果不仅在硅基量子计算领域占据领先地位，还为构建容错型商业规模系统奠定了坚实基础¹⁹。

SQC 拥有全球最精密的半导体制造工艺，能够在纯硅晶圆上以 0.13 nm 的原子级精度精确排列磷原子，具有显著的材料和精密工程优势。公司还在 Grover 算法等基准量子算法上处于世界领先水平，成功实现多寄存器协同，为百万量子比特规模化发展奠定基础。

SQC 的技术突破在商业化应用方面展现出巨大潜力。公司已进入美国 DARPA 量子基准计划 B 阶段，其量子机器学习系统使澳大利亚电信公司 Telstra 模型训练时间大幅缩短，澳大利亚国防部也采购了相关机架式系统部署于数据中心环境。

上述研究工作发表在 *Nature*（文章标题：An 11-qubit atom processor in silicon）。

（蒿巧利）

¹⁹ SQC Study Shows Silicon-Based Quantum Processor Can Scale Without Loss of Fidelity.
<https://www.sqc.com.au/news/sqc-establishes-leadership-in-silicon-modality>

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研究部

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