

新材料监测快报

MATERIALS NEWSLETTER

2024.06

本期要目

- 英发布国家材料创新战略进展报告
- 新加坡机构成立低碳解决方案企业实验室
- 美 NIST 启动面向增材制造的先进信息学及人工智能项目
- 美 DOE 强化关键矿物和材料供应链建设
- 欧制造-EIT 发布 2025 年度提案征集
- 超长石墨烯纳米带制备迎来突破
- 我国学者研制出最薄光学晶体

中国新材料产业技术创新平台

目 录

专 题

英发布国家材料创新战略进展报告	1
-----------------------	---

战略规划

新加坡机构成立低碳解决方案企业实验室	8
--------------------------	---

项目资助

美 NIST 启动面向增材制造的先进信息学及人工智能项目	9
美联邦机构合作征集农业机器人项目提案	10
美发布增材制造标准化路线图缺项工作进展报告	11
美 DOE 强化关键矿物和材料供应链建设	11
欧制造-EIT 发布 2025 年度提案征集	13

研究进展

低成本高效回收锂工艺	14
动态声学优化制冷机实现快速冷却	15
常压下制备钻石	16
“纳米缝合”技术使工程复合材料更轻更坚韧	17
超灵敏纤维尖端传感器检测单个纳米粒子	18
软硬件协同设计为计算化学开发基础模型	19
超长石墨烯纳米带制备迎来突破	19
我国学者研制出最薄光学晶体	20

英发布国家材料创新战略进展报告

编者按：4月23日，英国亨利·罗伊斯研究所发布《国家材料创新战略进展报告》，阐述了“国家材料创新战略”的起草进展情况，为该战略的正式出台奠定了基础¹。该报告概括了来自各战略相关行业的1200余名材料创新人员共同确定的材料发展挑战，发布了新的计量经济学数据，为最终国家战略关键建议的实施提供支撑。该报告揭示了六大核心材料主题，本期专题对这六大主题的技术要点做了编译。

核心主题一、能源材料

高效可持续地生产、存储、传输和利用能源是当今社会的关键挑战。加速探索、发现和整合“清洁能源”材料将扩大加速向低碳经济转型的机遇。

潜在方向	重点创新领域举例
电化学能量储存 材料：从电网规模到家用规模的电池	• 水基电化学技术 • 优化的电解质（包括凝胶电解质） • 无毒/在化学上更安全的电解质（如有机硅液体） • 高导电性、低孔隙率的双极板 • 用于快速充电的高容量的固态电池材料 • 利用现有基础设施制造可打印的固态电池 • 热管理：界面、冷却填料 • 用于交通运输的混合动力系统（电池/氢）
电化学能量生成 材料：燃料电池、电解槽、超级电容器	• 高效燃料电池、电解槽、阴离子和质子交换膜 • 使用寿命长、成本低的电极和电解质材料，用于高效固体氧化物电解槽 • 用于高效率新型燃料电池的新材料，如氨等新燃料 • 对环境有毒物质具有耐受性的下一代材料，可降低整体系统成本 • 耐用的膜电极组件 • 无水质子传导膜（用于改善低湿度条件下的性能） • 用于燃料电池水管理的纳米工程材料 • 纳米工程高导电性和高电容材料 • 低温、高离子导电性电解质 • 热稳定和高机械强度的固体氧化物和聚合物电解质

¹ National Materials Innovation Strategy Interim Report Lays Foundation for Success of UK's Materials Sector.
<https://www.royce.ac.uk/news/national-materials-innovation-strategy-interim-report/>

	•改进的冷却机制（如冷却回路纳米流体） •超级电容器热管理的低成本且可控的微结构（如纤维素纳米纤维材料） •低成本、更可持续的燃料电池和电解槽催化剂，包括铂替代品和/或催化剂优化（如在不影响性能条件下，降低铂使用量的纳米工程技术） •更高效的微生物电解池（MEC）电极 •应用大数据方法预测系统退化
热交换、存储应用和废热回收材料	•用于热（能）储存的相变材料 •高热容储能材料 •热电转换器件 •更高效率的热能转换器件 •用于废热回收的双聚物系统
能量收集材料，包括光伏和压电技术	•用于航空航天轻量化太阳能光伏 •用于建筑的结构太阳能光伏 •光伏集成玻璃 •在钢/金属基底上持续发电的光伏系统 •光伏器件互连、基底、热管理 •太阳能电池透明度 •提高电网逆变器效率 •有机光伏材料 •集成到建筑中的压电合成材料
高压输电材料	•用于能源网络的低电阻导体（如高温陶瓷超导体） •高导电线圈和电线 •热管理：界面、冷却填料 •高压开关设备 •高性能电介质 •非温室气体断路器（SF6 替代品）
可回收、低稀土元素的磁性材料	•可回收的永磁体 •减少磁性材料中的稀土元素含量
先进核燃料	•先进燃料（如三结构各向同性燃料 TRISO 等带外壳的颗粒燃料的开发和制造；高含量低浓缩铀燃料的浓缩）

核心主题二、软质材料

这是一类在常温下易于发生应力形变的材料，包括液体、聚合物、泡沫、凝胶、胶体和颗粒材料等。当前，塑料垃圾已成为一项全球性的挑战；全氟和多氟烷基物质（PFAS）被广泛使用，但分解非常缓慢。开发和生产可持续的软质材料就成为当前的优先事项之一。

潜在方向	重点创新领域举例
可持续包装材料	•在聚合物/弹性体中设计循环利用 •纸张及混杂废纸的循环利用 •高价值产品的可生物降解包装 •用于生产和回收软质材料的酶

	• 延长易腐产品保质期的活性包装材料
高性能应用的可持续弹性体材料	• 受生物启发的弹性体 • 液态硅橡胶 • 可回收的重型轮胎 • 可回收的输送带 • 耐受极端环境（如低温）的弹性体 • 扩展弹性体应用（如用于 3D 打印）
可持续纺织材料	• 纯素产品 • 抗污纺织品 • 可生物降解的 • 相变纺织品 • 高性能（蒸汽控制）、高强度 • 具有嵌入式性能的新纤维（减少涂料使用）
用于机器人和触觉技术的软材料	• 推动介电弹性体的商业化应用 • 基于铁磁流体和电流变流体的致动器 • 刺激响应型有机材料
全氟和多氟烷基物质（PFAS）的替代材料	• 替代材料，具有相同性能，但没有相关风险 • 建立政策框架，要求产品成分透明（如在所有相关商品上提供无 PFAS 标签）

核心主题三、生物相容性材料

慢性病的增加、人口老龄化、微创手术普及、医美手术需求增长等推动了对生物相容性材料的需求。此外，还涉及农业应用。

潜在方向	重点创新领域举例
软组织/伤口修复和手术用材料	• 生物合成材料 • 组织支架 • 抗感染、检测和治疗
软植入物的生物活性材料	• 电子/离子通信路径 • 植入物的生物相容性涂层/表面 • 形状记忆材料（如支架、牙科） • 抗感染、检测和治疗 • 用于软植入物的 3D 打印材料 • 智能植入物——失效检测和自修复 • 用于生物电子学的软有机材料
硬植入物的生物相容材料	• 骨再生/置换/支撑材料 • 关节植入物 • 用于抗金属离子敏感性的植入物材料（如生物相容性陶瓷） • 固态生物电界面 • 抗感染、检测和治疗 • 用于硬植入物的 3D 打印材料 • 智能植入物——失效检测和自修复
可穿戴设备的生物活	• 可穿戴设备的生物相容性涂层/表面

性材料	•抗感染、检测和治疗（增强型纺织品）
用于药物传递和营养物传递的材料	•释放物质的材料（用于药物和营养物质） •智能传递——药物控制 •智能土壤

核心主题四、可持续结构部件材料

从国防、交通和航空航天，到建筑及能源应用，结构材料的创新至关重要，其总体目标通常是平衡可持续性、成本和性能。

潜在方向	重点创新领域举例
可持续结构系统的材料，涉及从金属到复合材料系统	•可持续的、具有高比强度/刚度的材料 •可持续的、高性能胶粘剂和树脂，用于可拆卸的高强度材料（用于航空航天、海洋、汽车和建筑行业） •外部热绝缘复合系统（ETICS） •无机防火绝缘板 •绝缘材料 •砖结构的装饰板（美观和功能） •具有更高强度的低熔点玻璃 •可持续/可回收的轻质工程组件（如风力涡轮机叶片） •耐高温材料（陶瓷基体），承受更高的工作温度，减少高效率陆基燃气轮机和交通应用等的冷却需求 •生物基轻质材料 •自修复结构材料 •高阻尼材料，用于交通运输减振（如飞机），以及设备和机械（各种规模） •减少废弃物/可持续组件制造 •用于增材制造的新型原料，如连续纤维、纳米颗粒、陶瓷或功能填料 •绿色合金（包括钢和铝） •在各个行业实行合金等级标准化，以实现多重用途 •耐腐蚀钢 •改进的材料和数字创新（变得更智能）用于增材制造 •改进的退化和腐蚀模型，包括普通腐蚀、蠕变、氧化、应力腐蚀开裂和疲劳
极端环境专用结构材料——温度、辐射、多重极端条件（如核裂变和聚变反应堆、燃气轮机）	•辐照环境用结构材料，包括高纯度、低活化钢和耐辐照屏蔽材料 •用于高温环境新型冷却剂的合金、陶瓷和结构材料 •高温超导体 •先进慢化剂（如下一代石墨慢化剂） •等离子体用的磁场材料（如稳定约束的等离子体材料） •燃气轮机高温结构材料
氢气存储、传感和运输材料	•用于交通运输的成本效益的压缩气体储存（如能达到 700 大气压的先进纤维增强复合材料压力容器） •用于低温的材料（如低温储氢技术，在 <20K 低温运行系统的低温容器） •基于材料的储氢技术（包括吸附剂、化学储氢材料和金属氢化物），如多孔配位聚合物/金属有机框架、共价有机框架和其他多孔晶体纳米材料

	• 具有高体积密度和重量密度的固态材料，以增加玻璃微容器、微孔和纳孔介质的容量，以及储氢容器安全性和充装时间要求 • 高灵敏度、高选择性的氢气传感器（如厚膜、微加工点接触氢气传感器）
低碳建筑材料，包括混凝土	• 可持续水泥，保持机械和热力学性能、耐火性、可加工性和耐久性 • 替代水泥途径（如地质聚合物） • 支持和加速创新解决方案的新监管/测试框架

核心主题五、表面增强与防护材料

各类表面不断受到磨损、腐蚀、紫外线辐射、温度等有害因素的影响，需要涂覆涂层以增强耐久性。

潜在方向	重点创新领域举例
表面防护与增强材料	• 防腐保护——多种表面 • 隔热层 • 利用涂层延长极端环境中的使用寿命（如储氢） • 抗冲击涂层（用于风/汽轮机叶片） • 蒸气敞开及密闭涂层和表面 • 红外反射涂层 • 疏水和超疏表面 • 自清洁表面 • 平滑处理 • 抗菌表面 • 防污建筑涂层
摩擦学/表面工程材料（耐磨涂层和润滑）	• 自润滑材料 • 空气动力学表面
通过改进的降解和腐蚀模型强化材料设计	• 表面退化及腐蚀的建模和测试，用于开发更高性能的材料

核心主题六、电子/电信/传感和计算技术材料

随着对数字设备设施的数量和需求的日益增长，降低能耗的同时提高算力成为行业的重要优先事项。用于光的产生、操纵、控制和检测的材料创新也是一个充满机遇的领域。

潜在方向	重点创新领域举例
功率电子材料	• 硅替代品 • 复合半导体 • 超宽禁带材料（如氧化镓、金刚石）设计、制造和优化 • 场效应晶体管 • 用于半导体的高纯度金属、合金和陶瓷
有机电子材料	• 在有机电路中嵌入微生物产能 • 高效 OLED 和半导体的电子传输材料

	•用于增强电子设备中金属-有机界面的电子注入材料
用于计算优化的材料 (包括量子神经形态计算)	•高算力低能耗材料(包括高效数字信号处理) •在环境温度下运行的量子材料系统 •负电容二维材料,以减少/优化功耗 •用于 ICT 的室温和高温超导体 •提升拓扑绝缘体质量(如用于优化的存储器和自旋电子应用) •合金掺杂,在晶圆上实现更精确的沉积 •用于神经形态技术的材料
数据存储材料	•通过自旋电子、磁和光子等技术,开发高密度、高能效的数据存储材料 •低能耗固态存储材料
通信材料(包括射频和光学)	•用于更高效射频电路的材料(降低尺寸、成本和功耗) •开发太赫兹通信和传感材料(6G 高速数据传输) •开发新光纤,提高数据容量 •可规模化生产的微型 LED •开发用于高能传输的电感谐振耦合线圈 •减少电磁干扰的电磁涂层
用于先进电子传感器和仪器的材料(包括机器人、触觉技术和物联网)	•用于半导体存储器的介电原子层沉积和检测材料 •等离子体材料,减少辐射损耗和能量耗散,提高可调性 •用于更高效激光和微波激光器二极管的材料 •开发用于生物光子激光二极管的特定波长材料 •智能、高性能的压电材料 •具有新型传感性能的低维混合/异质结构纳米材料 •用于改善声子控制的材料 •用于成像和诊断的生物光子激光器新材料 •用于可穿戴健康设备的柔性传感电子

此外,报告还简述了六项在各个行业都普遍受到关注的跨领域主题,如下表所示。

跨领域主题	具体关注点
可持续发展与循环经济	•可持续性 •回收 •再利用 •恢复 •多用途/少组件——简化设计 •统一的生命周期分析 •受限物质的替代
材料 4.0、数字化线程与人工智能	•利用大数据和人工智能加速材料发现及应用 •改进建模技术 •数字孪生 •数字护照 •实验室自动化

	•数据存储与共享
技能	•技能提供 •新技能 •提升技能水平
关键矿物/材料	•供应链韧性 with 主权
制造与规模化	•快速测试设施和流程（与标准和法规相连接） •中等规模设施，用于制造试验和/或资格认证
政策、法规与标准	•将可持续性纳入法规 •通用标准和工具，如生命周期分析 •快速认证

战略规划

新加坡机构成立低碳解决方案企业实验室

4月26日，在新加坡产业调整基金——产业合作项目（IAF-ICP）倡议下，埃克森美孚、南洋理工大学和新加坡科学技术局（A*STAR）联合成立低碳解决方案企业实验室。未来五年内，通过开展联合研究，开发有助于降低碳排放、提高资源利用率的解决方案，帮助打造更具可持续性的未来²。

新成立的低碳解决方案企业实验室，将耗资 6000 万新元，推动五个领域的技术研究：①将生物质转化为低排放燃料，用于航空、航海和化工行业，这些燃料可能更具成本效益和效率；②利用副产品工业盐水（如海水淡化盐水）进行碳捕获和利用，生产替代性建筑材料，将工业副产品流转化为有用材料；③将甲烷转化为低碳氢气和固碳材料：开发新的工艺技术，利用天然气生产氢气，同时确定碳的潜在用途和新用途；④为工业副产品开发高效的碳捕获和碳酸盐化技术：生产用于建筑和基础设施的固体碳酸盐；⑤碳在混凝土中的大规模应用：生产和验证含碳材料的混凝土，以便大规模部署，实现建筑和施工应用的耐用性和可持续性。上述五项研究计划预计将产生多项技术披露、专利和原型。此外，新的企业实验室还将为新加坡培养本土碳循环经济专家。

IAF-ICP 倡议是新加坡研究、创新与企业（RIE）2025 计划暨新加坡五年期研究与创新活动战略路线图下的一项资助计划。RIE 2025 计划旨在强化科学基础，扩大创新和企业生态系统，推动技术转化和加强企业创新能力。目前新加坡已成立 20 多家企业实验室，为企业利用新加坡的科学基础来应对现实世界挑战提供便利。

² NTU Singapore, ExxonMobil And A*STAR Launch S\$60 Million Corporate Lab For Low Carbon Solutions.
<https://www.a-star.edu.sg/News/astarNews/news/press-releases/ntu-exxonmobil-astar-launch-60million-corporate-lab-for-low-carbon-solutions>

项目资助

美 NIST 启动面向增材制造的先进信息学及人工智能项目

4 月，美国国家标准与技术研究院（NIST）启动了“面向增材制造的先进信息学及人工智能”（Advanced Informatics and Artificial Intelligence for Additive Manufacturing, AI2AM）项目，旨在推动先进信息学（包括产品定义、数字孪生、机器学习和高级分析等）和人工智能技术在增材制造领域的应用，增强增材制造设计、工艺规划和制造，减少零件制造和鉴定中的未知因素，从而缩短交付周期，实现增材制造零件“天生合格”和“一次性合格”。该项目提出了以下六个主要目标³。

（1）增强正确设计和制造的预测分析能力，减少试错

为了开发改进的预测分析能力，项目将：①开发新的方法和标准，通过“核查、验证、不确定性量化方法”（Verification, Validation, Uncertainty Quantification, VVUQ）量化增材制造模型和模拟的保真度；②开发利用人工智能和机器学习工具并在其应用中建立信任的新方法和最佳实践。

（2）制定最佳实践、指南和案例研究以满足网络安全指南，降低新工艺配置的间接采用成本

项目将探讨如何采用各个领域的当前最佳实践来支持专门针对增材制造的 VVUQ，包括过程物理、传感器配置和参数组合的大量变化所带来的独特挑战。

（3）测试和验证新兴人工智能和机器学习技术在设计到产品全过程中的应用

预测分析越来越多地通过人工智能和机器学习技术实现。项目将探索神经网络和大型语言模型等方法，建立训练数据和管理意外偏见的最佳实践。在为增材制造应用程序训练各种模型时（包括开发数据驱动的设计规则等），探索使用增材制造衍生的知识本体来引入和维护上下文。

³ Advanced Informatics and Artificial Intelligence for Additive Manufacturing.
<https://www.nist.gov/programs-projects/advanced-informatics-and-artificial-intelligence-additive-manufacturing>

（4）开发先进、全面的数字孪生和相关分析，减少与增材制造零件鉴定和验收相关的不确定性和未知因素

为实现“一次性合格”目标，项目将开发实现增材制造流程和零件的稳健数字孪生所需的方法、模型。具体举措包括：①开发方法和模型，将处于不同成熟阶段的零件与多尺度零件规范相关联，以促进现场工艺和品质保证；②开发特定领域和应用程序的数字孪生模型，将特定验收要求集成到设计和过程规划中；③开发创建融合数字孪生所需的方法和模型，定制零件和工艺，以及使用这些数字孪生建立合格阈值的方法。

（5）推广增材制造技术及解决方案

开发方法、模型和最佳实践来提高增材制造技术及解决方案的吸引力，以催熟增材制造能力，从而满足不同产业部门的需求。

（6）打造可行、稳健的供应链

项目将：①定义和开发实现供应链集成的敏捷、多尺度数字孪生所需的方法和模型；②定义和发展确保供应链完整性的方法和最佳实践。

美联邦机构合作征集农业机器人项目提案

美国国家科学基金会（NSF）会同美国农业部国家食品和农业研究所（USDA NIFA）正在合作征集项目提案，以开发有可能彻底改变农业实践的农业机器人⁴。NSF 将根据 NSF 标准和程序来管理和实施提案的审查，USDA 将派观察员参加提案讨论。此举将促进 NSF 和 USDA 之间的跨学科研究，以应对农业挑战并提高可持续性。当前美国面临着农业和粮食生产挑战，如对粮食需求的增加和对精准农业实践的需求等，农业机器人在提高生产力、减少环境影响和提高食品体系韧性方面有着巨大的前景，在应对上述挑战过程中可以发挥关键作用。

⁴ NSF and USDA join forces to boost innovation in agricultural robotics.
<https://new.nsf.gov/news/nsf-usda-join-forces-boost-innovation-agricultural>

美发布增材制造标准化路线图缺项工作进展报告

4月23日，“制造业美国”增材制造创新研究所（America Makes）与美国国家标准学会（ANSI）发布了关于标准制定组织和其他机构在过去九个月内针对《美国增材制造标准化路线图 3.0》中所列缺项的工作进展报告⁵。报告提供了关于标准、研究和符合性评估活动最新情况，同时记录了对现有缺项的建议以及未来需要考虑的其他缺项。

2023年7月发布的《美国增材制造标准化路线图 3.0》总共确定了141个标准缺项（即解决实际应用问题上缺失的标准），其中包含60个新标准缺项，并在设计、材料、工艺控制、后处理、零件材料特性、资格和认证、无损评估、维护和修理以及数据等增材制造全生命周期领域提供了相应建议。

美 DOE 强化关键矿物和材料供应链建设

4月23日，美国能源部（DOE）宣布向稀土和其他关键矿物及材料分离与精炼项目提供1750万美元资助，减少从煤基资源中生产稀土和其他关键矿物对环境的影响，并降低其生产成本⁶。美国国内拥有2500多亿吨煤炭储量、40多亿吨废煤和约20亿吨煤灰，受资助的项目将提高稀土和其他关键矿物及材料分离和精炼技术的可行性，从而利用这些非常规资源加强美国国内关键矿产和材料供应链。

（1）开发从煤基资源中获得稀土金属和关键矿物的先进技术

肯塔基大学研究基金会共获得约630万美元，其中DOE投资500万美元。该项目将把混合稀土元素溶液引入由高级溶剂萃取、草酸沉淀

⁵ Gaps Progress Report Available: America Makes and ANSI Publish Standardization Roadmap for Additive Manufacturing.
<https://www.americamakes.us/gaps-progress-report-available-america-makes-and-ansi-publish-standardization-roadmap-for-additive-manufacturing/>

⁶ Biden-Harris Administration Invests Over \$17 Million To Build Domestic Supply Chain for Critical Minerals and Materials.
<https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-invests-over-17-million-build-domestic-supply-chain-critical>

和焙烧组成的工艺回路，以获得单稀土元素的氧化物。然后通过离子液体低温技术和等离子体技术将稀土氧化物转化为稀土金属。含有锂、锰、钴和镍的水溶液将在单独的工艺回路中进行处理，以获得这些金属的高纯度化合物。

（2）建立稀土氧化物分离还原的生产设施

西弗吉尼亚大学研究公司共获得约 620 万美元，其中 DOE 投资 500 万美元。该项目旨在生产单独分离的高纯度稀土氧化物，并进一步加工成稀土金属。原料将从一个酸性矿山排水处理厂中获得，通过配套的回收设施，预计每年将生产 21 吨稀土元素和关键矿物及材料。

（3）建立从煤炭资源中提取关键矿物的联盟

宾夕法尼亚州立大学共获得约 620 万美元，其中 DOE 投资 500 万美元。该项目计划建立稀土元素、关键矿物的美国国内供应链；依托酸性矿山排水处理厂，生产纯度超过 90% 的混合稀土氧化物和关键矿物及材料的浓缩物。在此基础上，进一步分离出 99.9% 以上的纯稀土元素，并使用低温金属热工艺将其还原为金属。该项目还将生产碳酸锂、镍、钴、锰和钛等关键材料，并将进行技术经济和生命周期分析。

（4）开发提取高纯度镨和铽的生产工艺

Microbeam Technologies 公司共获得约 310 万美元，其中 DOE 投资 250 万美元。该项目计划在实验室规模上验证生产工艺的可行性，以从褐煤矿石中提取高纯度镨和铽。具体目标包括：①设计建造实验室规模的系统；②使用中试设施中的混合稀土氧化物/盐浓缩物作为输入对系统进行调试和参数测试；③从混合稀土浓缩物中生产高纯度的镨和铽金属用于产品测试；④对该工艺的商业化潜力进行技术和经济分析。

欧制造-EIT 发布 2025 年度提案征集

4 月 29 日，欧盟制造创新与技术研究院（制造-EIT）发布 2025 年度提案征集，包含四大领域：创新、教育、硕博课程和区域创新方案⁷。

（1）关注创新

该领域包括：①应对行业挑战的创新解决方案，旨在解决五个领域（即工业元宇宙、可再生能源、循环经济、净零工业和人工智能数据）中的五项关键工业挑战：复杂系统集成、能源成本管理、实现制造业中的循环、数据驱动的产品开发以及复杂机械与价值链的决策支持等；②推动制造业实现更具韧性和以人为本的转型升级，旨在通过技术和数字化提高制造系统灵活性和供应链韧性，增强制造业工作环境的吸引力，解决制造业转型的关键需求。

（2）重视教育

面向未来的可持续制造业。提案应涵盖可再生能源整合、循环经济实施、净零战略等三个主题。主题一侧重于为制造业劳动力提供专门技能，将可再生能源整合到制造业运营中；主题二侧重于设计和管理生产流程以提高资源效率、减少废物、加强材料循环流动；主题三侧重于开发和应用工艺优化和数据分析监测等技术，减少碳足迹和可持续资源使用。

制造业的数字化创新。提案应涵盖工业元宇宙和制造业中的人工智能和数据分析等两个主题。主题一侧重于加强与采用沉浸式解决方案，如增强现实（AR）、虚拟现实（VR）和数字孪生等技术，以提高制造业运营的安全性、效率和协作能力；主题二侧重于为制造业劳动力配备机器学习和强化学习方面的技能和能力，强调原理、算法在各个领域的应用。

（3）关注硕博课程

该领域包括暑期学校 2025 和创新计划 2025 两个主题，分别对应硕

⁷ EIT Manufacturing invites submissions to the Call for Proposals 2025.
<https://www.eitmanufacturing.eu/calls/call-for-proposals-2025/>

士生和博士生。主题一将涵盖制造业的绿色化和数字化以及发展可持续能力的创新附加模块；主题二则专注于制造-EIT 重点关注领域的创新（即柔性生产系统、循环经济、数字化解决方案以及人机协同的可持续制造）以及创业活动整合等方面。

（4）聚焦区域创新方案

该领域重点关注先进制造和材料工艺、人工智能、包容性以及制造业劳动力技能培训等四个主题，是“EIT 区域创新方案”（EIT RIS）项目的补充。

研究进展

低成本高效回收锂工艺

从矿场、油田和废旧电池浸出的废液中提取锂，可以有效减少原始资源的消耗和废物的产生。美国橡树岭国家实验室 Jayanthi Kumar 研究团队开发出一种低成本、高效的锂吸收工艺⁸。相较于传统锂提取方法，能够在更宽 pH 范围（5-11）内和更低的温度（140 °C）下工作。

研究人员使用氢氧化铝作为吸附剂，在锂化过程中，氢氧化铝粉末从溶剂中提取锂离子，形成稳定的层状双氢氧化物相（LDH）。然后在脱锂过程中，用热水处理使 LDH 释放锂离子并再生吸附剂。该过程每克吸附剂可捕获 37 毫克锂，约为传统方法的五倍。与传统方法相比，该技术仅需使用三分之一的材料和能源，显著减少了温室气体的排放。

⁸ Chemists invent a more efficient way to extract lithium from mining sites, oil fields, used batteries.
<https://www.ornl.gov/news/chemists-invent-more-efficient-way-extract-lithium-mining-sites-oil-fields-used-batteries>

上述研究工作发表在 *ACS Applied Materials and Interfaces*（文章标题: Integrated Circular Economy Model System for Direct Lithium Extraction: From Minerals to Batteries Utilizing Aluminum Hydroxide）。

动态声学优化制冷机实现快速冷却

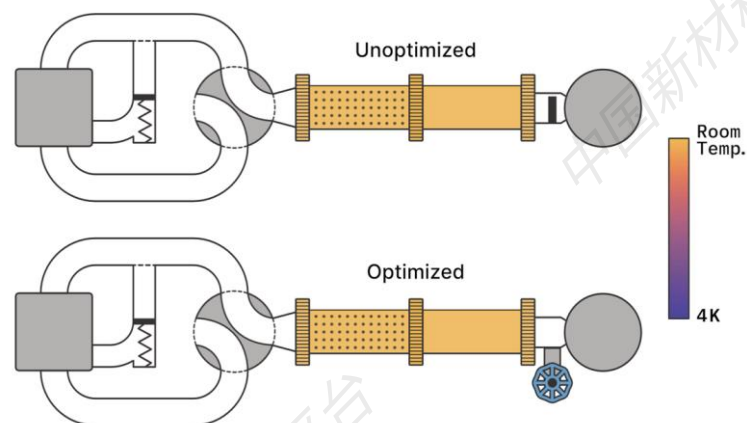
脉冲管制冷机是低温学科的一项关键使能技术，对于设备和传感器的运行至关重要，如稳定量子比特和保持材料的超导特性。尽管脉冲管制冷机性能可靠，但仍然存在严重的低效率问题。

美国国家标准与技术研究院（NIST）和科罗拉多大学博尔德分校对工业冰箱——脉冲管制冷机进行动态声学优化，冷却速度可以提高到原始值的 1.7-3.5 倍⁹。

研究发现，室温下氦气的压力非常高以至于部分氦气通过溢流阀分流，而不是用于冷却。研究人员不断调整一系列阀门，控制从压缩机流向制冷机的氦气量，从而大大提高了制冷机的效率。如果允许阀门在室温下有一个较大的开口，然后随着冷却的进行逐渐关闭阀门，就可以将冷却时间缩短到现在的二分之一到四分之一。

该技术将节省更多的资金、电能和冷却水，可使科学家们用更小的脉冲管制冷机取代大型脉冲管制冷机，可能会对许多领域产生广泛影响，包括量子计算和其他量子研究领域。NIST 正与工业合作伙伴合作，将制冷机商业化，每年可节省约 2700 千瓦特的电能，全球可节省 3000 万美元的电力消耗。

⁹ The Big Quantum Chill: NIST Scientists Modify Common Lab Refrigerator to Cool Faster With Less Energy.
<https://www.nist.gov/news-events/news/2024/04/big-quantum-chill-nist-scientists-modify-common-lab-refrigerator-cool>



脉冲管制冷机工作原理

上述研究工作发表在 *Nature Communications*（文章标题：Dynamic acoustic optimization of pulse tube refrigerators for rapid cooldown）。

常压下制备钻石

韩国基础科学研究所 Rodney Ruoff 团队在 1 个标准大气压下合成出钻石，为金刚石薄膜的制备开辟了一条更低成本的新路径¹⁰。

研究团队改进了反应装置，在 1 个大气压条件下，将由镓、铁、镍和硅组成的液态金属合金暴露在甲烷与氢气环境中，并加热至 1025 °C，培育出直径约为 100 nm 的钻石。而传统制备方法往往是在 5-6 GPa（1 GPa 约为 10000 个大气压）、1300 °C-1600 °C 条件下。研究发现，钻石的生长离不开硅的加入，随着合金中硅的浓度越高，生成的钻石体积就越小，密度就越高。

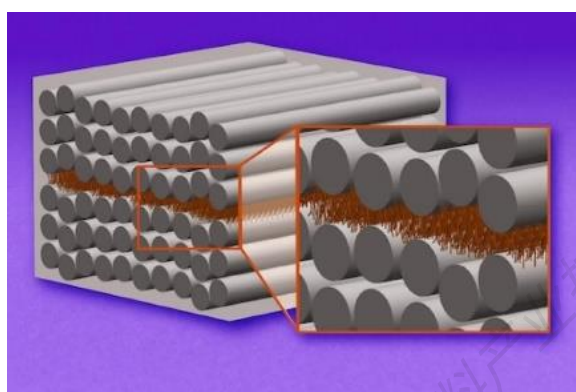
上述研究工作发表在 *Nature*（文章标题：Growth of diamond in liquid metal at 1 atm pressure）。

¹⁰Making Diamonds at Ambient Pressure.
https://www.ibs.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_000000000738/selectBoardArticle.do?nttlId=24718&pageIndex=1&searchCnd=&searchWrd=

“纳米缝合”技术使工程复合材料更轻更坚韧

工程复合材料由嵌入聚合物薄片的高性能纤维制成，在受到冲击或撞击时，裂缝很容易在薄片层之间蔓延并削弱材料的强度，可能会在毫无征兆的情况下突然崩溃。美国麻省理工学院开发出一种名为“纳米缝合”的方法，利用碳纳米管防止裂缝在复合材料层之间蔓延，并防止各材料层剥离或剪切。与使用传统聚合物相比，使用“纳米缝合”技术可将材料的抗裂缝能力提高 60%¹¹。

该复合材料由 20 μm 高的 Z 方向排列的碳纳米管增强，每平方厘米有 500 亿根碳纳米管纤维。在层界面中加入排列整齐的碳纳米管可增强抗裂性，使裂纹从强化层间区域持续偏转到相邻层的层内区域，即碳纳米管将裂纹从层间区域驱赶到层内。碳纳米管不会明显增加层间厚度或层压板重量，并能保持层内超细纤维形态。因此，“纳米缝合”技术能使这个通常比较薄弱的区域变得非常坚固，裂缝不会在这里生长。



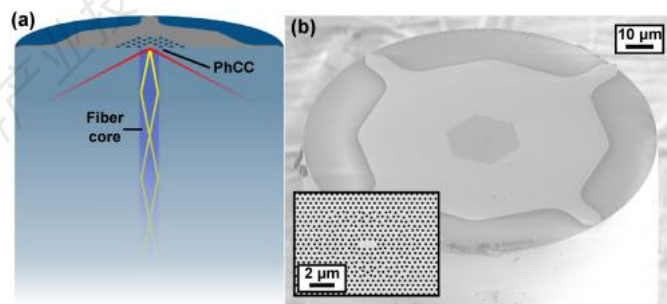
碳纳米管（棕色）增强碳纤维（银色）复合材料微观结构

上述研究工作发表在 *ACS Applied Materials and Interfaces*（文章标题：J-Integral Experimental Reduction Reveals Fracture Toughness Improvements in Thin-Ply Carbon Fiber Laminates with Aligned Carbon Nanotube Interlaminar Reinforcement）。

¹¹ “Nanostitches” enable lighter and tougher composite materials.
https://mrl.mit.edu/article/nanostitches_enable_lighter_tougher_materials

超灵敏纤维尖端传感器检测单个纳米粒子

超细粒子是一种直径小于 100 nm 的粒子，接触或直接吸入超细粒子（可在烟雾、废气甚至打印机墨粉中发现）会对健康造成严重危害。超细纳米粒子的尺寸很小，利用大型昂贵设备进行环境监测并不能解决问题，需要小型、紧凑、精确和廉价的设备，以便在工厂、医院、办公室和学校中更容易地检测出超细粒子。荷兰埃因霍温理工大学利用光子晶体设计了一种新型超灵敏纤维尖端传感器，可以检测直径小至 50 nm 的单个粒子。这种新型传感器未来可用于学校室内空气质量的控制和评估研究¹²。



超灵敏纤维尖端传感器示意图

光子晶体是一种周期性结构，可以向各个方向反射光线，在晶体中加入一个缺陷形成光子晶体腔(PhCC)，可以让光长时间滞留在晶体中。研究人员将 PhCC 放置在光纤的尖端，当微小颗粒靠近晶体中的 PhCC 时，会通过改变其光子的折射率来扰动空腔，进而改变空腔中被截留光的波长。因此，通过测量波长的变化，可以监测环境中的微小颗粒。该技术为在环境监测和诊断中实时传感单个纳米颗粒和潜在的单个分子开辟了一条道路。

上述研究工作发表在 *Optica* (文章标题: Detecting single nanoparticles using fiber-tip nanophotonics)。

¹² A nanophotonic fiber-tip solution to detect the ultrasmall.
<https://www.tue.nl/en/news-and-events/news-overview/22-04-2024-a-nanophotonic-fiber-tip-solution-to-detect-the-ultrasmall>

软硬件协同设计为计算化学开发基础模型

在计算化学领域，通过精确建模来计算和预测化学品和材料的特性，需要耗费大量的时间和精力，而机器学习技术有望提高相关预测的效率。美国西北太平洋国家实验室、华盛顿大学、人工智能芯片公司 Graphcore 以及 IBM 研究院基于软硬件协同设计，联合开发出一种能够更快训练机器学习模型的方法¹³。

研究团队利用图神经网络的机器学习进行化学结构和性质预测。基于 Graphcore 的智能处理单元（IPU），研究人员建立了一套用于执行图神经网络的优化技术。这套技术利用 Graphcore 系统架构的高带宽本地内存和快速互联，缩短了图神经网络的训练时间。同时，IPU 训练的原子图神经网络支持将定制模型转移到图形处理器和中央处理器上进行学习。研究发现，在 IPU 上对图神经网络进行预训练后，在单个图形处理器上对图神经网络进行微调所需的数据量明显少于不进行预训练的情况。这意味着预训练模型可以以更低的计算成本开展更多研究，为未来潜在的原子基础模型奠定了基础。这种软硬件协同的设计方法，有效扩大了基于图神经网络模型的训练规模。

上述研究工作发表在 *Journal of Chemical Information and Modeling*（文章标题：Acceleration of Graph Neural Network-Based Prediction Models in Chemistry via Co-Design Optimization on Intelligence Processing Units）。

超长石墨烯纳米带制备迎来突破

上海交通大学史志文教授与武汉大学欧阳稳根教授、中国科学院深圳先进技术研究院丁峰研究员、以色列特拉维夫大学 Michael Urbakh 教授等合作，实现了超高质量石墨烯纳米带在氮化硼层间的嵌入式生长，

¹³Co-Designing the Future of Computational Chemistry.
<https://www.pnnl.gov/publications/co-designing-future-computational-chemistry>

形成“原位封装”的石墨烯纳米带结构，并演示了所生长的石墨烯纳米带可用于构建高性能场效应晶体管器件^{14,15}。

研究人员将载有催化剂纳米颗粒的六方氮化硼基底放置在管式炉中，通入甲烷气体，并将温度提升至 800 °C，甲烷分解产生碳原子，在催化剂上不断长出石墨烯纳米带。其长度可达亚毫米级，宽度仅 3-5 nm，且为单手性。测试结果显示，纳米带场效应晶体管展现出优异的性能：载流子迁移率达 $4600 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，开关比可达 10^6 ，是当前超窄石墨烯纳米带的最高纪录。针对生长机制的分子动力学模拟表明，石墨烯纳米带的形成与其在六方氮化硼层间滑移时呈现的结构“超滑”性质——近零摩擦损耗有关。

上述研究工作发表在 *Nature* (文章标题: Graphene nanoribbons grown in hBN stacks for high-performance electronics)。

我国学者研制出最薄光学晶体

光学晶体是激光技术的“心脏”，但传统光学晶体很难在有限厚度内高效产出激光，因此制备更轻薄的光学晶体成为各国科学家竞相研发的焦点。

北京大学王恩哥院士、刘开辉教授团队将首创的晶体设计理论与制备方法相结合，研制出厚度仅有 1-3 μm 的转角菱方氮化硼晶体，这是当前已知最薄的光学晶体，而传统光学晶体厚度在毫米到厘米级。该晶体能效比传统光学晶体提升了 100 倍至 1 万倍¹⁶。

研究团队经过反复组合尝试，将轻巧的氮化硼锁定为最优选择。研究人员创造了一种新的晶体设计方法：把每块菱方氮化硼材料像拧魔方

¹⁴上海交大史志文团队 *Nature* 发文，超高质量石墨烯纳米带助力碳基纳米电子学。

<https://news.sjtu.edu.cn/jdzh/20240328/195254.html>

¹⁵在实验室“种”出世界最长石墨烯纳米带。

<https://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2024/4/379286.shtm>

¹⁶世界上已知的最薄光学晶体来了！

<http://www.news.cn/tech/20240425/ed78c1f740314d00aefe98d43ec1c0f0/c.html>

一样转动特定角度，堆叠而成的光学晶体降低激光穿过的能耗，高效产出所需的激光，为新一代激光技术奠定了理论和材料基础。

在 2024 中关村论坛年会开幕式上，这一晶体作为重大成果发布。上述研究工作发表在 *Physical Review Letters*（文章标题：Twist-phase-matching in two-dimensional materials）。