

先进制造与新材料动态

ADVANCED MANUFACTURING AND MATERIALS NEWSLETTER

监测快报

2023 第 18 期
(总第 424 期)

本期要目

- 美 DOE 推动固态与液流电池制造
- 英向尖端制造项目投资 5000 万英镑
- 美 NSF 向 4 个物理前沿中心投资 7600 万美元
- 美 NSF 等资助半导体未来研发
- 英 660 万英镑强化关键材料供应
- 新型磁性材料有望助力量子计算机实现常温运行

目 录

项目资助

美 DOE 推动固态与液流电池制造..... 1

英 ATI 拟资助民用空天领域相关技术研发..... 2

美 DOE 推动清洁制造技术开发、应用和示范..... 3

英向尖端制造项目投资 5000 万英镑..... 3

美 NSF 向 4 个物理前沿中心投资 7600 万美元..... 4

美 NSF 等资助半导体未来研发..... 6

美 NIST 就实施关键和新兴技术国家标准战略征求意见..... 7

美 DOE 推出交互式地图展示清洁能源投资..... 8

英 660 万英镑强化关键材料供应..... 8

研究进展

新型磁性材料有望助力量子计算机实现常温运行..... 10

可适应高温和低温极端情况的聚合物..... 10

日本东北大学研发新一代相变存储材料..... 11

利用人工智能寻找不含关键元素的新型磁性材料..... 12

碳掺杂金属氧化物纳米薄膜超快速精确分离分子..... 13

项目资助

美 DOE 推动固态与液流电池制造

美国能源部（DOE）能源效率与可再生能源办公室拟向 5 个项目资助 1600 万美元，以提升美国国内固态和液流电池的制造能力，加快从创新研究到规模扩大和商业化的过渡¹。这 5 个项目主要研究内容如下。

（1）创新型固态电池制造能力

旨在解决美国国内固态电池大规模生产面临的主要障碍，重点领域包括：将基础固态电解质研究转化为大规模/大批量制造研发与推广；扩大大型固态电池的精密加工与生产；验证固态电池的规模化等。

领衔机构	主要研究内容
1 橡树岭国家实验室	开发可规模化的工艺，利用 $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ ($x \geq 0.6$, NMC) 阴极和氧化物基电解质制造固态电池。将当前用于制造和烧结固态电池氧化电解质的间歇式工艺转变为连续工艺，并把阴极、电解质和阳极集成到完整的电池中，且从当前的纽扣电池 ($\leq 10 \text{ mAh}$) 放大到 $\geq 1 \text{ Ah}$ 、 $\geq 350 \text{ Wh/kg}$ 和 500 次循环
2 国家可再生能源实验室	通过新颖的干法电极制工艺推进下一代固态电池技术。将先进建模、先进表征、新材料配方、新型高通量加工、独特三维电池架构与可商业化的、低故障率的制造工艺相结合，制备出高能量 ($>400 \text{ Wh/kg}$)、大面积 ($>100 \text{ cm}^2$) 的全固态电池
3 阿贡国家实验室	探索精细化的制备方法，全面了解基于浆料和干法工艺，并实施卷对卷工艺，实现固态电池离子电导率、特定区域电阻、机械性能和稳定性等的提升

（2）创新型液流电池制造能力

旨在解决美国液流电池生产固有的技术和制造挑战，重点领域包括：

¹ Department of Energy Announces \$16 Million to Boost Domestic Capabilities in Solid-State and Flow Battery Manufacturing. <https://www.energy.gov/eere/ammto/articles/departments-energy-announces-16-million-boost-domestic-capabilities-solid-state>

推进新型或改进的电池/反应器设计与配置的制造；制定制造和加工基准等。

领衔机构	主要研究内容
太平洋西北国家实验室	开发标准化的氧化还原液流电池电解质和堆栈，目标是通过实施标准化设计和工艺来降低氧化还原液流电池组件与系统的制造成本
橡树岭国家实验室	开发一种新颖的氧化还原液流电池架构，特别是同轴捆绑微管，功率达到>10 kWh，实现材料加工标准化，并形成电池制造协议

（万 勇）

英 ATI 拟资助民用空天领域相关技术研发

9月11日，英国航空航天技术研究所（Aerospace Technology Institute，ATI）计划开始征收项目意向书，研究计划将由英国商业贸易部、英国创新机构（Innovate UK）和 ATI 共同管理²。

项目提案必须符合英国航空航天技术战略目标和优先事项，并保持和提高英国在民用空天领域的全球竞争地位。资助重点领域包括：①零碳排放飞机技术，如电池、氢气和燃料电池技术等；②超高能效飞机技术，减少二氧化碳排放、氮氧化物和噪音；③交叉赋能技术，延伸到飞机的生命周期，从设计、制造、组装、运行到生命周期结束。本次资助范围将**不包含**仅用于国防、太空或其他工业部门的技术（军民两用技术除外），以及基础研究、早期技术或实验开发。

（黄 健）

² ATI Programme strategic batch: EOI September 2023. <https://apply-for-innovation-funding.service.gov.uk/competition/1702/overview/2ed9186d-0e4e-4446-aaf9-6e317bd4be2b#summary>

美 DOE 推动清洁制造技术开发、应用和示范

美国能源部（DOE）能源效率与可再生能源办公室为 31 个项目提供了 6100 万美元资助，以加快美国国内制造业的研发和示范³。这 31 个项目主要分布在以下三大主题。

（1）下一代材料与制造

该主题领域共 20 个项目，重点是研发具有成本效益的制造工艺和性能卓越的新型材料，如提高导电性的金属基材料系统（680 万美元）、恶劣环境材料（1580 万美元）和用于航空结构开发的人工智能/机器学习（500 万美元）等。

（2）安全和可持续材料

该主题领域共 4 个项目，总资助金额 1080 万美元。选定的项目专门针对循环供应链的区域试点示范，其中包括创新材料回收、报废处理和回收等。

（3）能源技术制造

该主题领域共 7 个项目，重点关注清洁能源技术制造创新，以提高性能和解决技术障碍。具体包括：用于美国国内电动汽车电池制造的先进阴极活性材料加工技术的开发、推广及示范（1760 万美元）；建筑物规模化除湿技术（500 万美元）等。

（黄 健）

英向尖端制造项目投资 5000 万英镑

英国将向 30 个尖端制造项目投资超过 5000 万英镑资金，促进英国清洁、绿色技术的创新，巩固英国作为世界上最佳制造基地的地位，帮助创造就业机会和推动经济增长⁴。

英国将通过先进动力中心（APC）向 12 个项目提供 1100 万英镑资

³ U.S. Department of Energy Invests \$61 Million to Fund 31 Applied Research, Development and Demonstration Projects to Advance Clean Manufacturing. <https://www.energy.gov/eere/articles/us-department-energy-invests-61-million-fund-31-applied-research-development-and>

⁴ Over £50 million awarded to cutting edge manufacturing projects. <https://www.gov.uk/government/news/over-50-million-awarded-to-cutting-edge-manufacturing-projects>

助，加上企业投入的匹配资金，项目将在 12 个月内获得 2270 万英镑资助，加快电动摩托车、公共汽车、汽车等的产品开发。受资助的项目包括：White Motorcycle Concepts 将开发可供应急服务使用的快速充电摩托车；Dolphin N2 将制造由农场可再生氢能驱动的拖拉机；Wrightbus 将加速开发零排放氢燃料电池客车。

英国将通过联网和自动驾驶汽车中心（CCAV）为 43 家英国公司的 13 个项目提供 1850 万英镑的研发资助，以推动自动驾驶技术、产品和服务的研发及推广。受资助的项目包括：Wayve 将验证人工智能在自动驾驶技术中的安全性，确保安全自动驾驶；日产汽车将进一步发展自动驾驶能力；Zero Point Motion 将开发革命性的汽车传感器，改善自动驾驶汽车的空间定位。

英国还将通过法拉第研究所投资 1900 万英镑用于电池研究项目。受资助的项目包括：Nextrode 将专注于开发制造电极的新方法，以降低电池成本并提高性能；NEXGENNA 将提高钠离子电池的性能，这项技术在可持续性、安全性和成本方面具有显著优势。

（黄 健）

美 NSF 向 4 个物理前沿中心投资 7600 万美元

美国国家科学基金会（NSF）将通过物理学前沿中心计划向 4 个物理前沿中心提供 7600 万美元的资助⁵，每个中心将在 6 年内获得 1400 万至 2500 万美元的资助，旨在解决物理学研究中最具挑战性也可能是最有价值的前沿问题。在研究之外，这些中心不仅将为本科生、研究生和博士后研究人员提供大量的培训和指导机会，帮助建立美国科学人才队伍，培养下一代物理学领军人物，还将通过多种手段激励初中和高中生追求科学事业。

本次资助的四个中心有一个是新成立的，目前 NSF 共支持有 8 个物

⁵ 4 physics research centers set their sights on new frontiers with \$76 million from NSF.
<https://new.nsf.gov/news/4-physics-research-centers-set-their-sights>

理前沿中心。这 4 个中心分别是：

(1) NSF 生命系统物理学前沿中心，位于芝加哥大学

首获资助，作为新的科学领域，旨在研究物质如何能够像生物记忆般存储和检索信息。该中心将探索：生物进化适应机制的物理起源；支配细胞、组织和器官的形状和运动的物理和化学功能的适应性；生物体内的信息处理如何控制生理学。

(2) NSF 物理前沿中心：量子信息与物质研究所，位于美国加州理工学院

旨在将涉及原子和分子的多个物理学领域与量子信息理论的新发展结合起来并加以推进。该中心将研究：基于量子信息物理学创建对量子计算、密码学和其他应用有用的新算法；基于物质量子特性开发测量和传感的新方法；制造具有不寻常特性的新型量子材料。

(3) NSF 物理前沿中心：量子前沿-新兴复杂性的理解与控制，位于科罗拉多大学博尔德分校

旨在推进对光-物质相互作用的控制，以探索规模和复杂性不断增加的量子系统。该中心将：设计和控制由许多相互作用粒子（如超冷原子和分子集合以及复杂材料）组成的量子系统；开发能够精确控制此类奇异量子系统特性的新型光源；寻找新的方法来设计日益复杂的分子的量子态，从而创造出具有潜在应用的新物质形式。

(4) NSF 超冷原子物理前沿中心，位于麻省理工学院

旨在使低温原子和分子的量子纠缠系统具有更强的可控性和可编程性。该中心将进行以下实验：原子和分子量子气体；里德堡原子阵列；半导体中的类原子杂质；光与物质的“强耦合”，有望在测量、传感和网络中得到新的应用。

(蒿巧利)

美 NSF 等资助半导体未来研发

9 月 14 日，美国国家自然科学基金会（NSF）宣布将投资 4560 万美元（包括来自《芯片与科学法案》的资助），支持 24 个研究和教育项目，用于推动半导体新技术和制造以及相关劳动力的快速发展⁶。这些项目由 NSF “未来半导体计划”（Future of Semiconductors, FuSe）资助。该计划是 NSF 与爱立信、IBM、英特尔和三星四家公司之间的公私合作项目。这种公私合作关系将有助于了解研究需求、实现突破、加快技术向市场转化，并通过实践经验培养未来劳动力，同时满足美国对半导体日益增长的需求。

未来的半导体和微电子技术将需要学术界和工业界的科学和工程人才广泛联合起来，采用全面的“协同设计”方法，同时考虑材料、器件和系统的性能、可制造性、可回收性和环境可持续性。本次支持的 24 个研究和教育项目涉及以下三个研究主题。

（1）特定领域计算的合作研究

7 个项目，包括：使用超越-CMOS 材料和器件的神经形态架构实现机器人运动的生物灵感传感运动控制；结合异构集成硅-CMOS 和电化学随机存取存储器，协同设计持续学习边缘计算架构；高级双端 SOT-MRAM 中的高效情景感知人工智能处理；通过异构集成实现光子计算引擎；用于多功能传感器内机器视觉的元光学增强型垂直整合；用于集体计算的可重构铁电子平台；可调整、可重构的 Racetrack-Memory 加速平台等。

（2）通过异质集成实现先进功能和高性能

9 个项目，包括：协同设计基于可持续纳米材料的传感器内部（信息）处理系统；极端多输入多输出无线电单元的光学分解协作阵列；利用硅光子学和数字 CMOS 电路进行深度学习和信号处理实现超宽带频谱感知；用于传感 1 THz 以上频率的电子-光子异构集成技术；面向高性

⁶ NSF and partners invest \$45 million in the future of semiconductors.
<https://new.nsf.gov/news/nsf-partners-invest-45-million-future>

能计算的电力电子器件异构集成；基于硒化铟的后端神经形态加速器；基于二维材料的 CFET 逻辑元件的单片 3D 集成以实现先进的微电子技术；基底倒置多材料集成技术；低损耗电磁和射频系统异构集成的热协同设计等。

（3）用于高能效、高性能和可持续半导体系统的新材料

8 个项目，包括：用于下一代半导体器件的 GeSnO₂ 合金；氮化硼和砷化硼的异构集成以提高热性能和电子性能；基于协同设计的电子和光学计算设备的相变材料高通量发现；采用协同设计的材料、拓扑结构和导线结构的互连器件；焦平面阵列用聚合物 SWIR 光电二极管；用于定向自组装的精确特定序列嵌段共聚物——针对图案质量、缩放和制造的平版印刷材料协同设计；用于自旋轨道逻辑的无自旋间隙半导体和有效自旋注入设计；使用多铁氧体自旋电子的超低能耗内存逻辑计算技术等。

（蒿巧利）

美 NIST 就实施关键和新兴技术国家标准战略征求意见

9 月，美国国家标准与技术研究所（NIST）发布了一份信息请求，就如何最好地实施“美国政府关键和新兴技术国家标准战略”（U.S. Government National Standards Strategy for Critical and Emerging Technology, USG NSSCET）征求公众意见⁷。

该战略促进技术上合理标准的制定，帮助美国工业行业能够在公平的竞争环境中进行国际竞争，并支持和完善当前私营部门主导的活动。该战略侧重于关键和新兴技术，包括：通信和网络技术，半导体和微电子，人工智能和机器学习，生物技术，定位、导航和计时服务，数字基础设施和分布式账本技术，清洁能源生产和储存，量子信息技术等。此次意见征求将持续到 11 月 6 日。

（闫泽坤）

⁷ NIST Seeks Input on Implementation of National Standards Strategy for Critical and Emerging Technology.
<https://www.nist.gov/news-events/news/2023/09/nist-seeks-input-implementation-national-standards-strategy-critical-and>

美 DOE 推出交互式地图展示清洁能源投资

9月14日，美国能源部（DOE）发布新的交互式地图，以本地化的细节展示了由“投资美国”议程刺激下清洁能源领域的新工业革命⁸。这个新的互动工具将成为跟踪全美各地正在发生的工业振兴的“利器”。

自拜登就任以来，在全美范围内，各类公司已宣布对至少450个新建或扩建的清洁能源制造设施进行500多项投资，公私部门资助总计超过1600亿美元，包括太阳能，电动汽车组装、配件与充电设备，电池和海上风电制造等。

据统计，相关制造业投资较多的州包括：加利福尼亚州（52项清洁能源投资制造业公告，总额逾50亿美元）、密歇根州（38项，180亿美元）、佐治亚州（31项，320亿美元）、纽约州（30项，10亿美元）、得克萨斯州（37项，20亿美元）、北卡罗来那州（24项，90亿美元）、田纳西州（24项，150亿美元）、俄亥俄州（22项，90亿美元）等。

（闫泽坤）

英 660 万英镑强化关键材料供应

9月，英国创新机构（Innovate UK）宣布投资660万英镑用于磁体关键材料竞赛研究项目，旨在帮助建立更强大的关键材料供应链，这条供应链对英国企业来说是一个巨大的机会⁹。

该竞赛是循环关键材料供应链（CLIMATES）计划的一部分。CLIMATES计划由政府出资1500万英镑用于尖端研究，以加强关键材料的供应。第一届竞赛的获奖者有16个英国创新项目，总共有40个机构获得尖端研发投资，27家是企业（其中22家是中小型企业），13家是大学或研究与技术组织。

⁸ DOE Unveils New Interactive Map Showcasing Clean Energy Investment Announcements Nationwide.

<https://www.energy.gov/articles/doe-unveils-new-interactive-map-showcasing-clean-energy-investment-announcements>

⁹ Projects secure £6.6m to strengthen UK supply of critical materials.

<https://www.ukri.org/news/projects-secure-6-6m-to-strengthen-uk-supply-of-critical-materials/>

表 1 第一阶段可行性研究获奖者

	承担机构	研究主题
1	离子回收公司、伦敦帝国理工学院	从报废移动电话中回收稀土元素
2	Seloxium 公司、牛津大学	从火山凝灰岩中获取稀土元素
3	Altilium 金属公司、埃克塞特大学	从尾矿中回收稀土元素，重新进入英国供应链
4	Nanomox 公司、英国科学与技术设施委员会、绿玫瑰化学公司	磁体废料的增值
5	Materials Nexus 公司、稀有金属（LCM）公司	利用机器学习技术设计具有低稀土元素含量的高性能磁体
6	闪电机器公司、华威大学	从电动汽车中回收稀土元素
7	磁体系统技术公司、Hirst 磁性仪器公司	从电动汽车中回收和再利用磁体
8	Pensana 公司、利兹大学和赫尔大学、北极星汽车公司、Route2 可持续公司	创建低碳、环境可持续和社会公正的稀土磁体价值链
9	Phyona 公司、布鲁内尔大学	从煤矿中生物质提取稀土元素

表 2 第二阶段后期研发获奖者

	承担机构	研发主题
1	欧洲金属回收公司、Hypromag 公司、海上可再生能源弹射器、Magnomatics 公司、伯明翰大学	海上风力涡轮机的分解和回收
2	离子技术公司、稀有金属（LCM）公司、Ford 技术公司	开发可追溯的循环磁体供应链
3	Medallion 创新公司、CPI 公司、Minviro 公司、西门子过程系统工程公司	从混合精矿中分离稀土元素和其他关键材料的创新技术
4	Benks 全球公司、材料加工研究所	精炼稀土的新工艺方法
5	Minviro 公司、埃克塞特大学、格兰富制造公司、Mkango 稀土英国公司	通过增强和确保强大的可持续性认证，来加强英国稀土磁体供应链的软件工具
6	离子技术公司、英国地质调查局	对英国磁体稀土回收厂的建设 and 供应的可行性研究
7	GSA 公司、林肯大学	从氧化钛废物中回收稀土元素

（冯瑞华）

研究进展

新型磁性材料有望助力量子计算机实现常温运行

量子计算机利用磁铁来提升计算速度，然而磁铁只有在低温条件下才能展现出强磁性。因此，当前量子计算机需在 -459°F (-272.78°C) 的极低温度下工作。此外，高性能磁性材料大多由储量有限的稀土材料制成，不利于量子计算的应用推广。

美国得克萨斯大学埃尔帕索分校 Ahmed El-Gendy 副教授率领的研究团队开发出一种高磁性量子计算材料，磁性是纯铁的 100 倍，有望用于制造可在常温下工作的量子计算机¹⁰。新发现的二茂铁和石墨烯混合物表现出 $3 \times 10^7 \text{ J/m}^3$ 的巨磁晶各向异性，比纯铁高出两个数量级，而且可以在室温下工作。同时，可取代当前磁体中用到的稀土材料。

上述研究工作发表在 *Applied Physics Letters*（文章标题：Room temperature colossal superparamagnetic order in aminoferrocene-graphene molecular magnets）。

（王 轩）

可适应高温和低温极端情况的聚合物

美国佛罗里达州立大学 Hoyong Chung 副教授率领的研究团队研制出可适应极端高温和低温的聚合物，可用于医药、蛋白质合成、保护涂层等领域¹¹。

研究人员合成出两种含有亚砷和酯基的均聚物，其中一种包含有额外成分：亚甲基（ $-\text{CH}_2-$ ）基团，这种微小的结构变化足以使每种聚合物对温度变化做出不同的反应。其中一种聚合物在低温下可溶于水，较高温度下则不溶；另一种聚合物则正好相反。当温度高于或低于每种混

¹⁰ UTEP Physicists Create Powerful Magnets to De-Freeze Quantum Computing.

<https://www.utep.edu/newsfeed/2023/utep-physicists-create-powerful-magnets-to-de-freeze-quantum-computing.html>

¹¹ Two in one: FSU researchers develop polymer that can be adapted to high and low temperature extremes.

<https://news.fsu.edu/news/science-technology/2023/09/07/two-in-one-fsu-researchers-develop-polymer-that-can-be-adapted-to-high-and-low-temperature-extremes/>

合物的临界温度时，无论其中各种成分的浓度如何，都将完全溶解形成溶液。

随着这种新型温度可控聚合物的开发，研究人员还发现了控制临界温度阈值的新机制：一种称为偶极-偶极相互作用的过程，以及两阶段热行为。该研究为设计和合成具有明确及可预测热响应特性的聚合物提供了一种有前途的策略方案。

上述研究工作发表在 *Macromolecules*（文章标题：Uncharged Sulfoxide-Containing Homopolymers with Programmable Thermoresponsive Behaviors）。

（万 勇）

日本东北大学研发新一代相变存储材料

日本东北大学 Tomoteru Fukumura 教授率领的研究团队实现了层状镍酸盐中室温电阻率的热可逆转换，揭示了室温电阻率可逆转化机制，有望替代硫族化物，为新一代非易失性相变存储器的开发铺平了道路¹²。

研究人员开发的特殊层状镍酸盐由“岩盐”结构排列的锶、铋和氧原子层组成，与钙钛矿结构中的锶、镍和氧原子分子层交错，可在加热和冷却时在三相之间多次来回切换。同现有硫族化物相比，层状镍酸盐表现出更好的热稳定性和化学稳定性，且能更容易地集成到现有的制造工艺和设备中。

上述研究工作发表在 *Advanced Science*（文章标题：Thermally Reentrant Crystalline Phase Change in Perovskite-Derivative Nickelate Enabling Reversible Switching of Room-Temperature Electrical Resistivity）。

（黄 健）

¹² New Material Offers More Durable, Sustainable Multi-level Non-volatile Phase Change Memory.
http://www.tohoku.ac.jp/en/press/sustainable_multilevel_nonvolatile_phase_change_memory.html

利用人工智能寻找不含关键元素的新型磁性材料

美国艾姆斯国家实验室 Prashant Singh 研究团队开发了一种新的机器学习模型，用于发现不含关键元素的永磁材料，该模型可预测新材料组合的居里温度¹³。居里温度是材料保持磁性的最高温度。该模型研究进一步增强了研究团队利用机器学习和热力学设计新型稀土材料的能力。

高性能磁体对于风能、数据存储、电动汽车和磁制冷等技术至关重要。这些磁体含有关键材料，如钴和稀土元素（钕、镝）。关键材料的需求量大，但供应有限，这促使研究人员想方设法设计出减少关键材料的新型磁性材料。机器学习是人工智能的一种形式，由计算机算法驱动，利用数据和试错算法不断改进其预测结果。研究团队利用居里温度的实验数据和理论建模来训练机器学习算法。寻找居里温度高的化合物对永磁体和其他功能磁性材料的设计至关重要。传统上是通过实验来寻找新材料，这既昂贵又耗时，使用机器学习方法可以节省时间和资源。

研究团队利用实验已知的磁性材料训练机器学习模型。这些材料的相关信息确定了若干电子和原子结构特征与居里温度之间的关系，为计算机寻找潜在候选材料提供了基础。为了测试该模型，研究团队使用了铈、镱和铁的化合物，还合成并表征了合金材料。研究发现，机器学习模型成功地预测了候选材料的居里温度。这一成功是为未来技术应用设计新型永久磁铁的高通量方法迈出的重要的第一步。

上述研究工作发表在 *Chemistry of Materials*（文章标题：Physics-Informed Machine-Learning Prediction of Curie Temperatures and Its Promise for Guiding the Discovery of Functional Magnetic Materials）。

（冯瑞华）

¹³ Researchers use AI to find new magnetic materials without critical elements.
<https://www.ameslab.gov/news/researchers-use-ai-to-find-new-magnetic-materials-without-critical-elements>

碳掺杂金属氧化物纳米薄膜超快速精确分离分子

分离工业中，大多数聚合物膜在高温强溶剂条件下容易老化或塌陷，因此需要一种可以精确地控制孔隙、易于加工、无缺陷的连续膜，且还有拥有出色的化学、机械、热稳定性和高渗透性。

美国纽约州立大学布法罗分校 Miao Yu 研究团队认为增加高密度的纳米孔隙可以显著提高渗透率，而不必将膜减薄到极限¹⁴。研究团队报告一种超快界面工艺，可以制备无机纳米多孔碳掺杂金属氧化物（CDTO）纳米薄膜，该薄膜可用于精确的分子分离。对于给定的孔径，这些纳米薄膜的孔密度比已报道的和商用的有机溶剂纳滤膜高 2-10 倍，也能产生超高的溶剂渗透率，即使后者更厚。由于具有优异的机械、化学和热稳定性，CDTO 纳米膜具有可设计的刚性纳米孔，可在苛刻条件下长期稳定、高效地分离有机物。

上述研究工作发表在 *Science*（文章标题：Carbon-doped metal oxide interfacial nanofilms for ultrafast and precise separation of molecules）。

（冯瑞华）

¹⁴ Novel membrane could reduce energy expenditure in separating molecules for desalination, drug development.
<https://phys.org/news/2023-09-membrane-energy-expenditure-molecules-desalination.html>

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)