

# 先进制造与新材料动态

ADVANCED MANUFACTURING AND MATERIALS NEWSLETTER

监测快报

2024 第12期  
(总第442期)

## 本期要目

- 澳大利亚推动资源产业高值化绿色化发展
- 英加合作开展量子研究推动国家量子战略目标
- 美 NextFlex 发布项目征集促进混合电子产品商业化
- 铜和碳原子组成最细金属线
- 利用 AI 造出最强铁基超导磁体
- 新型计算机视觉方法加快电子材料筛选速度
- 无疲劳铁电材料

中国科学院武汉文献情报中心

# 目 录

## 专 题

澳大利亚推动资源产业高值化绿色化发展 ..... 1

## 项目资助

美 LIFT 启动高超音速和极端环境测试中心建设工作..... 4

英加合作开展量子研究推动国家量子战略目标 ..... 4

美 DOC 推动太空级太阳能电池发展 ..... 5

美 NextFlex 发布项目征集促进混合电子产品商业化..... 6

## 研究进展

铜和碳原子组成最细金属线 ..... 8

利用 AI 造出最强铁基超导磁体..... 8

可在低温下控制许多量子比特的超导电路 ..... 9

Diraq 利用代工厂硅芯片实现高量子比特保真度..... 10

新型计算机视觉方法加快电子材料筛选速度 ..... 11

低功耗高速高密度的铁电存储器件 ..... 12

高韧性和延展性的珍珠层水泥复合材料 ..... 13

无疲劳铁电材料 ..... 14

### 澳大利亚推动资源产业高值化绿色化发展

编者按：5月15日，澳大利亚政府发布了2024至2025年度预算，提出建立发展关键矿物下游加工和制造的新主权能力，推动钢铁、氧化铝和铝等支柱产业绿色化发展，打造可靠、有竞争力和多样化的供应链，全面提升澳大利亚资源及下游产业全球竞争力。

#### 一、全面绘制澳大利亚自然资源地图<sup>1</sup>

澳大利亚将在未来十年向资源评估计划（Resourcing Australia's Prosperity）提供5.66亿澳元，重点关注关键矿产储量，这些矿产对高科技制造业和绿色能源转型至关重要。从7月1日开始，澳大利亚地球科学局将主持调查工作，以确定关键矿物的潜在矿藏。这项措施将免费提供公开的数据和信息，有助于确定资源勘探和潜在新发现的高度前景区域。这项投资还将巩固澳大利亚作为关键矿产、战略材料和其他资源的全球领导者和供应商的地位。

#### 二、强化关键矿产生产能力，支撑价值链向下游延伸<sup>2</sup>

**提供税收优惠。**一是政府将在未来十年内提供70亿澳元关键矿产生产税收激励（CMiPTI）。关键矿产生产税收激励将于2027年7月1日起正式施行。政府将提前就最终资格标准、行政安排和立法进行咨询。二是为澳大利亚关键矿产清单上的所有31种关键矿产加工行业提供10%税收抵免。

**调查关键矿物公用设施需求。**政府将向关键矿产国家生产力计划（Critical Minerals National Productivity Initiative）提供1020万澳元，强化联邦政府与各州和地区合作，确定关键矿物加工的公用设施需求，支

<sup>1</sup> Investments to map Australian resources that will power our future prosperity.

<https://www.industry.gov.au/news/investments-map-australian-resources-will-power-our-future-prosperity>

<sup>2</sup> Investments to capitalise on Australia's critical minerals and the global clean energy transition.

<https://www.industry.gov.au/news/investments-capitalise-australias-critical-minerals-and-global-clean-energy-transition>

持中小型矿业公司进行关键矿物深加工。这些设施还将支持企业通过回收和再利用废物和采矿副产品来促进循环经济。政府将与各州和地区合作，将初步提案推进到详细的经济可行性研究，以支持澳大利亚关键矿产沿着价值链向下游延伸。

**提供项目资助。**关键矿产设施计划和澳大利亚北部基础设施计划将支持关键矿产行业建设主权能力，包括向 Arafura 稀土公司在 Nolans 稀土项目提供约 8.4 亿澳元，为昆士兰州阿尔法高纯氧化铝（HPA）项目提供 4 亿澳元，修订了之前批准的 Renascor Resources 在南澳大利亚 Siviour Graphite 项目的 1.85 亿澳元融资等。澳大利亚贸易委员会关键矿产招商说明书（Critical Mineral Prospectus）还展示了超过 52 个关键矿产项目的投资机会。

**支持贸易伙伴关系。**政府将在未来三年内向矿产贸易促进计划提供 580 万澳元，帮助发展贸易伙伴关系，提高澳大利亚在可持续生产的关键矿产和下游产品在国际市场上的竞争力。

**防止“外来干扰”。**政府在未来 3 年向试点项目提供 100 万澳元，以加强澳大利亚关键矿产部门检测、预防和减轻“外国干扰”的能力。

### **三、推动钢铁、氧化铝和铝等支柱产业绿色化发展<sup>3</sup>**

政府将支持澳大利亚金属绿色化生产作为未来澳大利亚制造国家利益框架（Future Made in Australia National Interest Framework）下的优先事项。澳大利亚的钢铁、氧化铝和铝是经济的支柱。埃森哲 2023 年的一份报告显示，到 2040 年，“绿化”这些金属可以为经济带来高达 1220 亿澳元的提振。这也将是全球应对气候变化斗争中的重要战场。这些金属的生产目前约占全球能源系统（直接和间接）排放量的 13%，减少可再生能源投资的障碍可以加快净零转型。本次预算提出如下措施推动钢铁、氧化铝和铝等支柱产业绿色化发展。

**加快“绿色金属”创新。**政府将在未来 10 年通过未来澳大利亚制造

---

<sup>3</sup> Investments to position Australia as a world leader in green metals production.  
<https://www.industry.gov.au/news/investments-position-australia-world-leader-green-metals-production>

创新基金（Future Made in Australia Innovation Fund）向绿色金属创新提供 17 亿澳元资助，支持创新、商业化、试点项目和早期开发。这包括加速与金属绿色生产相关的新颖、创新和一流技术和设施的拨款，如离网能源解决方案等。澳大利亚可再生能源署（ARENA）将负责管理未来澳大利亚制造创新基金。

**夯实行业基础。**未来 6 年提供 1810 万澳元，用于绿色金属基础计划（Green Metals Foundational Initiatives），主要举措包括：建立绿色金属产学研合作网络，加强对澳大利亚在全球绿色金属市场竞争力的监测，制定金属的循环经济选择，例如加强废金属的使用等。目前澳大利亚政府正在就绿色金属行业蓬勃发展的障碍和机遇展开咨询。

**支持绿色金属生产。**联邦政府各部门将与财政部就加快脱碳的更多举措进行磋商，并将澳大利亚定位为绿色金属生产的世界领导者。

**保证绿色金属溯源。**气候变化、能源、环境和水利部将扩大原产地保证计划，将绿色金属纳入其中。该计划测量并证明了绿色产品在制造过程中的排放强度和使用的能源。

**扩大氢能使用规模。**政府将投资 20 亿澳元扩大氢能领先地位，并引入氢能生产税收抵免。这将迅速扩大可再生能源行业的规模，并降低绿色金属生产投入的早期成本。

（黄 健）

## 项目资助

### 美 LIFT 启动高超音速和极端环境测试中心建设工作

“制造业美国”先进轻质材料制造业创新研究所（LIFT）宣布，在国防部 2023 财年 150 万美元预算资金资助下，将启动在密歇根州塞尔弗里奇空军国民警卫队基地或附近建立新的高超音速和极端环境测试中心（HEET）的可行性研究<sup>4</sup>。

研制在 5 马赫或更高速度下飞行的高超音速飞行器和反高超音速飞行器是国防部的首要任务之一，了解材料能否在高超音速下正常服役对进一步开发这些飞行器，并最大限度地提高有效性至关重要。为了在极端条件下测试此类材料的能力，需要打造高超音速和极端环境测试设施。

目前该计划处于初始阶段，主要任务包括：确定关键生态系统和利益相关方，测试能力差距分析和需求清单，定义差异化的能力、规范和测试标准，定义数据和数据库管理、网络安全和访问策略，基础设施和地点选择，制定技术产业化计划和过渡战略，制定人才和劳动力发展计划，制定短期、中期和长期路线图，制定 HEET 第一阶段目标及时间节点等。

（黄 健）

### 英加合作开展量子研究推动国家量子战略目标

6 月 18 日，英国科研与创新署（UKRI）宣布，英国和加拿大将通过英国科学技术设施理事会（STFC）、英国工程与自然科学研究理事会（EPSRC）和加拿大自然科学与工程研究理事会（NSERC），共同出资 400 万英镑，资助两国研究人员联合开展为期两年的量子科学研究。本次资助将主要合作开展以下工作：用于基础科学和应用科学的量子传感器和探测器；包括地面和天基应用在内的量子通信等<sup>5</sup>。

<sup>4</sup> LIFT, DOD, State Launch Hypersonics And Extreme Environment Test Lab At Selfridge.

<https://mitechnews.com/industry-40/lift-dod-state-launch-hypersonics-and-extreme-environment-test-lab-at-selfridge/>

<sup>5</sup> UK-Canada quantum for science research collaborations.

在涉及到推进加拿大国家量子战略的具体任务方面，包括：①通过国家安全量子通信网络和后加密倡议，确保量子世界中加拿大人的隐私和网络安全；②使加拿大政府和关键行业成为新量子传感技术的开发者和早期采用者等。

在涉及到推进英国国家量子战略的具体使命方面，包括：①到 2035 年，英国将大规模部署世界上最先进的量子网络，开创未来量子互联网的先河；②到 2030 年，每个英国国家医疗服务系统信托基金都将受益于量子传感解决方案，通过早期诊断和治疗帮助慢性病患者活得更健康、更长寿；③到 2030 年，移动互联网量子传感器将释放出新的态势感知能力，并广泛应用于交通、电信、能源和国防部门等的关键基础设施。

（蒿巧利）

## 美 DOC 推动太空级太阳能电池发展

6 月 11 日，美国商务部（DOC）和火箭实验室（Rocket Lab）签署了一份不具约束力的初步条款备忘录（PMT）<sup>6</sup>，这是 DOC 根据《芯片与科学法案》（CHIPS）签署的第十份 PMT。DOC 将提供高达 2390 万美元的直接资助，用于为航天器和卫星提供更强大和更有韧性的太空级太阳能电池供应。该项目计划在未来三年内使 Rocket Lab 的化合物半导体产量增加 50%，从而满足美国日益增长的国家安全需求和商业需求。

Rocket Lab 还将与新墨西哥州新空间公司（NSNM）合作，将在未来三年内捐款 200 万美元，允许 NSNM 使用其设备、服务和人员，并提供实习职位，推进 NSNM 的两项核心项目：新空间点火器和通往恒星之路计划。

### 【快报延伸】

Rocket Lab 总部位于新墨西哥州，是美国两家专门生产高效抗辐射

---

<https://www.ukri.org/opportunity/uk-canada-quantum-for-science-research-collaborations/>

<sup>6</sup> Biden-Harris Administration Announces Preliminary Terms with Rocket Lab to Expand Production of Compound Semiconductors that Power Spacecrafts and Satellites.

<https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/06/biden-harris-administration-announces-preliminary-terms-rocket-lab>

半导体化合物的公司之一，也是太空动力供应商 SolAero Technologies Corp.的母公司。Rocket Lab 生产的太空级太阳能电池为美国重要的太空项目提供动力，如导弹感知系统和科学探索任务，包括詹姆斯·韦伯太空望远镜、美国国家航空航天局的阿尔忒弥斯月球探测和火星着陆器等。美国的天基防御系统也依赖于太阳能。同时，美国正扩大其在太空的技术存在，例如低地球轨道（LEO）卫星，这意味着美国需要更多的太空级太阳能电池来实现行业发展和转型。

（董金鑫）

## 美 NextFlex 发布项目征集促进混合电子产品商业化

6月3日，“制造业美国”（Manufacturing USA）框架下的柔性混合电子制造业创新研究所（NextFlex）发布了第九轮项目征集，总投资预计将超过1100万美元，使NextFlex成立以来推进混合电子产品方面的预期总投资达到1.43亿美元<sup>7,8</sup>。

本轮项目征集将以过去八轮项目研发成果为基础，以相对宽泛的研究主题覆盖多样化的项目提案，特别强调柔性混合电子对美国高优先级制造领域以及电子制造业中重要领域的影响作用。NextFlex将为前五个领域获选的研究机构提供最高50万美元以及最长18个月的资助，为第六个领域获选的研究机构提供最高40万美元以及最长12个月的资助。

具体资助的重点领域包括以下：

### （1）高分辨率多层电子封装和器件的制造

该领域旨在开发和评估多层先进封装和混合电子器件的制造方法。主题包括但不限于：用于异质集成的高分辨率直写互连技术、3D混合电子器件的增材制造、多层混合电子产品的高产量制造工艺以及高频射频（RF）/毫米波设备。

---

<sup>7</sup> PROJECT CALL 9.0.

<https://www.nextflex.us/project-call-9-0/>

<sup>8</sup> Project Call 9.0 Guidebook.

[https://www.nextflex.us/wp-content/uploads/2024/06/NextFlex\\_PC9.0-Guidebook-v1.1.pdf](https://www.nextflex.us/wp-content/uploads/2024/06/NextFlex_PC9.0-Guidebook-v1.1.pdf)

## (2) 功率电子器件的热管理

该领域旨在评估先进半导体封装和电子元件/器件中用于热管理的增材和混合电子制造方法。主题包括但不限于：具有附加主动冷却方案的大功率模块、具有高效无源冷却结构的混合电子设备，以及用于热管理的材料解决方案。

## (3) 适用于极端条件的可靠混合电子设备

该领域旨在进一步推进混合电子互连和/或组件在极端环境中的演示和评估。极端条件包括但不限于：高温或低温和湿度、热冲击、高振动、高重力/冲击、真空、电离辐射、高应变速率变形、腐蚀性化学暴露和高颗粒物环境。主题包括但不限于：用于空间应用的混合电子器件的评估、用于高冲击和高应变的电子器件、高温油墨的美国国内制造等。

## (4) 保形和结构集成的混合电子器件

该领域寻求解决与集成到复杂三维表面上的增材电子产品相关的挑战，包括机械/电子设计、多层刀具路径生成、高保真打印和后处理、多物理验证和模拟以及可靠性和性能测试。主题包括但不限于：印刷模块至模块互连线束的更换、用于在复杂三维几何图形上打印的改进软件工具以及用于 3D RF 器件的可打印电介质材料。

## (5) 提高电子制造业环境可持续性的增材工艺

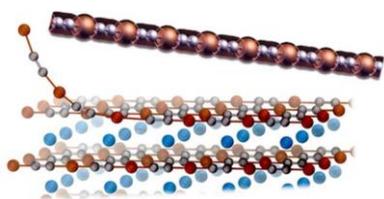
该领域旨在进一步解决混合电子制造的环境可持续性问题，并探索其潜在影响，以及成熟过渡和/或商业化技术方案。主题包括但不限于：评估 PCB 制造的增材工艺，例如，嵌入式印刷无源器件、印刷焊料掩模和保形涂层等；电子产品的自动返工和维修，以减少电子废物的产生；环保型电子密封剂和二次成型材料。

## (6) 开放主题“新项目领导”

本领域旨在鼓励没有参与 NextFlex 项目的组织加入，并提出与 NextFlex 路线图保持一致的、涉及制造业突破或技术演示的主题。

(董金鑫)

### 铜和碳原子组成最细金属线



CuC<sub>2</sub> 结构示意图

瑞士洛桑联邦理工学院（EPFL）计算发现，铜原子和碳原子组成的直线链可能是最细的金属纳米线<sup>9</sup>。

研究人员利用计算工具，探究了 78 万多种三维晶体的结构特性，遴选出 800 种一维材料清单，再从中选择了 14 种最佳候选材料。尽管这些化合物尚未合成为实际的线材，但模拟表明是可行的。其中，金属线 CuC<sub>2</sub> 是由两个碳原子和一个铜原子组成的直线链，这是迄今为止发现的最细的金属纳米线，可在 0 K 稳定存在。

研究发现，可从 NaCuC<sub>2</sub>、KCuC<sub>2</sub> 和 RbCuC<sub>2</sub> 三种不同的晶体中，剥离得到金属线 CuC<sub>2</sub>。而且，这些链可以弯曲，并保持金属特性，这将使其有望用于柔性电子产品。此外，研究还发现了半金属 Sb<sub>2</sub>Te<sub>2</sub> 与 Ag<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>，以及常见化合物 TaSe<sub>3</sub> 等。

上述研究工作发表在 *ACS Nano* (文章标题: Searching for the Thinnest Metallic Wire)。

(万 勇)

### 利用 AI 造出最强铁基超导磁体

日本东京农工大学 Akiyasu Yamamoto 团队通过人工智能（AI）技术，制备出世界上已知最强的铁基超导磁体，有望推动新一代磁共振成像、电气化运输技术等的发展<sup>10,11</sup>。

<sup>9</sup> A chain of copper and carbon atoms may be the thinnest metallic wire.

<https://www.nccr-marvel.ch/highlights/thinnest-metallic-wire>

<sup>10</sup> Scientists create world's strongest iron-based superconducting magnet using AI.

<https://www.kcl.ac.uk/news/scientists-create-worlds-strongest-iron-based-superconducting-magnet-using-ai>

<sup>11</sup> 世界最高性能の鉄系高温超伝導磁石の開発に成功 ～研究者と AI がタッグを組み、材料合成プロセスを探索～.

[https://www.tuat.ac.jp/outline/disclosure/pressrelease/2024/20240605\\_01.html](https://www.tuat.ac.jp/outline/disclosure/pressrelease/2024/20240605_01.html)

研究人员利用机器学习系统 BOXVIA 开发了一个框架，能够更快速地在实验室中创建出超导磁体。通过改变制造过程中的热量、时间等与超导磁体性能有关的参数，对 BOXVIA 进行训练，得到超导磁体最优设计，大大缩短了时间。同时，开发的超导磁体与不使用 BOXVIA 的超导磁体具有不同的微观结构，其磁体结构中的铁基晶体更大。该研究有望克服当前超导磁体中铌锡合金线圈体积大等不足，为更小、更轻设备的研制打开了大门。

上述研究工作发表在 *NPG Asia Materials*（文章标题：Superstrength permanent magnets with iron-based superconductors by data- and researcher-driven process design）。

（尹 伟）

## 可在低温下控制许多量子比特的超导电路

日本横滨国立大学、东北大学和 NEC 公司联合提出并成功演示了一种可以通过单根电缆使用微波多路复用技术控制多个量子比特的超导电路，有望将每根电缆的微波信号密度提高约 1000 倍，显著增加可控量子比特数量，推动量子计算机发展<sup>12</sup>。

实用量子计算机需要在低温下控制多达一百万个量子比特。控制量子比特的微波信号在室温下产生，并通过不同电缆单独传输到低温下的量子比特。室温和低温之间需要众多电缆，将可控量子比特的数量限制在大约 1000 个，远达不到实用量子计算机的要求。

研究人员提出一种基于绝热量子通量参变器（AQFP）逻辑的新型低温量子比特控制器（QC）。AQFP 逻辑利用量子通量参变器的特性，能够在极低功耗下运行，每个约瑟夫森结的功耗仅为约 7 皮瓦特（10 mK 级制冷能力下的巨大优势）。新型 QC 通过使用微波多路复用技术，能够在单个同轴电缆上产生多个频率的微波信号，从而控制多个量子比特，

---

<sup>12</sup> Successful demonstration of a superconducting circuit for qubit control within large-scale quantum computer systems.  
[https://www.nec.com/en/press/202406/global\\_20240603\\_02.html](https://www.nec.com/en/press/202406/global_20240603_02.html)

显著减少所需的电缆数量。与传统方法相比，新型 QC 不仅功耗极低（低了几个数量级），还大大提高了系统的可扩展性。

上述研究工作发表在 *npj Quantum Information*（文章标题：Microwave-multiplexed qubit controller using adiabatic superconductor logic）。

（蒿巧利）

## Diraq 利用代工厂硅芯片实现高量子比特保真度

6月12日，澳大利亚硅量子计算公司 Diraq 宣布，利用由比利时微电子研究中心（IMEC）使用行业标准互补金属氧化物半导体（CMOS）材料在 300 毫米硅晶圆上制造的量子比特，实现了 99.9% 的单量子比特保真度，达到了现有硅芯片代工厂制造的强有力、全尺寸、具有纠错功能的量子计算机处理器所需的精度水平，这也是迄今为止使用标准 CMOS 材料和工艺在 300 毫米代工环境中制造的硅自旋量子比特的最高单量子比特保真度<sup>13</sup>。

Diraq 公司以现有硅芯片制造工艺（即 CMOS）为基础，努力将量子计算产品以更快的速度和更低的成本推向市场。通过 20 多年的研究，公司产生了 11 个专利族，获得了超过 1.35 亿美元的资金支持。过去十年以来，公司开发了先进的硅量子比特控制和测量技术，包括实时反馈、优化量子比特的初始化、控制电压脉冲整形，以及包括门集断层扫描和随机基准测试在内的先进分析工具，确保了本次器件中量子比特保真度的高精度测量。

（蒿巧利）

---

<sup>13</sup> Diraq achieves record accuracy for device manufactured by existing semiconductor infrastructure. <https://www.diraq.com/newsdesk/diraq-produces-device-using-semiconductor-infrastructure>

## 新型计算机视觉方法加快电子材料筛选速度

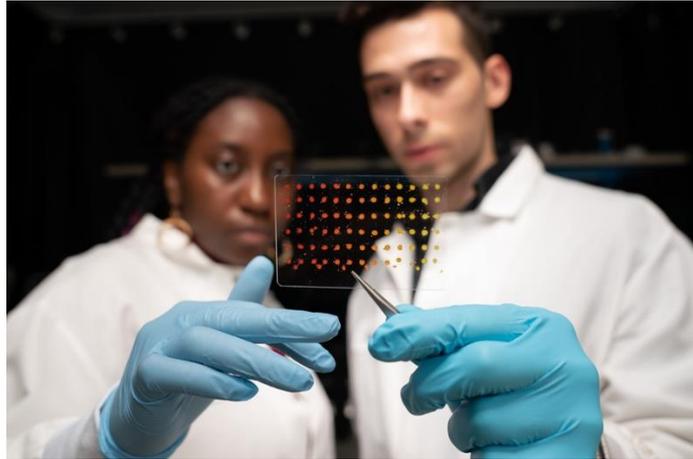
为了加速寻找先进的功能材料，科学家们利用人工智能从数以亿计的化学配方中找出有前途的材料。美国麻省理工学院开发的一种新型计算机视觉技术可大大加快新合成电子材料的表征速度。该技术可自动分析印刷半导体样品的图像，并快速估算出每个样品的两个关键电子特性：带隙和稳定性<sup>14</sup>。

研究人员开发了两种新的计算机视觉算法来自动解读电子材料的图像：一种用于评估带隙，另一种用于确定稳定性。第一种算法旨在处理来自高精细高光谱图像的视觉数据。第二种算法分析标准 RGB 图像，并根据材料颜色随时间的视觉变化评估材料的稳定性。研究人员运用这两种新算法，对大约 70 种打印半导体样品的带隙和稳定性进行了表征。

研究人员使用机器人打印机在单个载玻片上沉积样品，打印出了不同比例的过氧化物晶体（有望成为太阳能电池候选材料），用高光谱相机对载玻片进行扫描，采用一种算法对图像进行视觉“分割”，自动将样品从背景中分离出来。在分离出的样品上运行新的带隙算法，自动计算每个样品的带隙。整个带隙提取过程耗时约六分钟，通常情况下，领域专家需要花费数天时间才能对相同数量的样品进行手动表征。为了测试稳定性，研究人员将相同的载玻片放置在一个密室中，并在其中改变环境条件，如湿度、温度和光照，使用标准 RGB 相机在两个小时内每隔 30 秒钟拍摄一张样品图像。然后，研究人员将第二种算法应用于每个样本随时间变化的图像，以估算每个液滴在不同环境条件下的变色或降解程度，最后得出一个“稳定指数”。与专家人工测量结果的基准估计值相比，该方法的带隙和稳定性结果分别精确了 98.5% 和 96.9%，速度快了 85 倍。因此，这些算法不仅能提高表征速度，还能获得准确的结果。

---

<sup>14</sup> New computer vision method helps speed up screening of electronic materials  
<https://news.mit.edu/2024/new-computer-vision-method-helps-speed-screening-electronic-materials-0611>



自动分析打印样品中的视觉特征

上述研究工作发表在 *Nature Communications*（文章标题：Using scalable computer vision to automate high-throughput semiconductor characterization）。

（冯瑞华）

## 低功耗高速高密度的铁电存储器件

NAND 闪存是最流行的海量数据存储技术之一，然而这种方法依赖电荷阱来存储数据，导致工作电压较高，速度较慢。氧化铪材料可使铁电存储器在低电压下高速运行，但面临着数据存储窗口有限的挑战。

韩国浦项科技大学通过利用氧化铪基铁电材料和创新的器件结构，大大提高了铁电存储器件的数据存储容量，标志着存储器技术取得重大进展，为解决数据中心和人工智能应用中的电源问题做出贡献<sup>15</sup>。

研究团队在铁电材料中掺杂铝，制造出高性能的铁电薄膜，从而提高了氧化铪存储器件的性能。用创新的金属-铁电-金属-铁电-半导体（MFMS）结构取代了传统的金属-铁电-半导体（MFS）结构。研究团队通过调整铁电层的电容成功控制了每层电压，这种有效利用外加电压切换铁电材料的方法提高了设备的性能，降低了能耗。

---

<sup>15</sup> Breakthrough in Next-Generation Memory Technology  
<https://www.postech.ac.kr/eng/breakthrough-in-next-generation-memory-technology/?pageds=1&k=&c=>

传统氧化铪铁电器件的存储窗口通常在 2 V 左右，该器件实现了超过 10 V 的存储窗口，从而实现了四级单元（QLC）技术，即每个单位晶体管可存储 16 级数据（4 位）。该器件还在超过一百万次循环后表现出很高的稳定性，并能在 10 V 或更低的电压下工作，大大低于 NAND 闪存所需的 18 V 电压。

该研究为氧化铪铁电存储器提供了新的研究方向，目标是开发出低功耗、高速和高密度的存储器件，为解决数据中心和人工智能应用中的电源问题做出贡献。

上述研究工作发表在 *Science Advances*（文章标题：Unlocking large memory windows and 16-level data per cell memory operations in hafnia-based ferroelectric transistors）。

（冯瑞华）

## 高韧性和延展性的珍珠层水泥复合材料

受软体动物外壳的砖瓦结构启发，美国普林斯顿大学创造出了一种“珍珠层分离”和“珍珠层槽状”新型水泥复合材料，其抗裂性是标准水泥的 17 倍，延展性是标准水泥的 19 倍<sup>16</sup>。



由六角形水泥砖和薄聚合物交替层制造的横梁

研究人员将一层层水泥浆片与一种高度可拉伸的聚乙烯硅氧烷聚合物交替使用，制作了三种类型的横梁。第一种类型由水泥浆片和薄聚

---

<sup>16</sup> From seashells to cement, nature inspires tougher building material  
<https://engineering.princeton.edu/news/2024/06/11/seashells-cement-nature-inspires-tougher-building-material>

合物交替层组成。第二种类型使用激光在水泥浆片上刻出六边形凹槽，然后将这些凹槽板与薄聚合物层堆叠在一起。第三种类型是形成了由聚合物层连接的分离六角形片。将这三种类型与固态浇注水泥浆参照梁进行比较。实验表明，参照梁的破坏是脆性的，即梁在达到破坏点时突然完全断裂，没有延展性。而具有交替层的横梁则表现出更高的延展性和抗开裂性。最显著的结果出现在具有完全分离的六角形片材的横梁上，这种片材类似于珍珠层。这些梁的延展性是固态水泥浆梁的 19 倍，断裂韧性是固态水泥浆梁的 17 倍，而强度几乎与固态水泥浆梁相同。

上述研究工作发表在 *Advanced Functional Materials* (文章标题: Tough and Ductile Architected Nacre-Like Cementitious Composites)。

(冯瑞华)

## 无疲劳铁电材料

铁电材料是常见的功能材料，因晶体正负电荷中心不重合，产生电偶极矩，从而具有自发电极化的性质，并能够被外场所调控。然而，以商用最广的锆钛酸铅 ( $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ , PZT) 为代表的传统铁电材料在使用过程中会发生铁电疲劳，即随着极化在外场下翻转次数的增加，电极化减小，导致性能衰减，最终引发器件失效故障。在全球范围内，铁电疲劳失效是各类电子设备发生故障的主要原因之一。

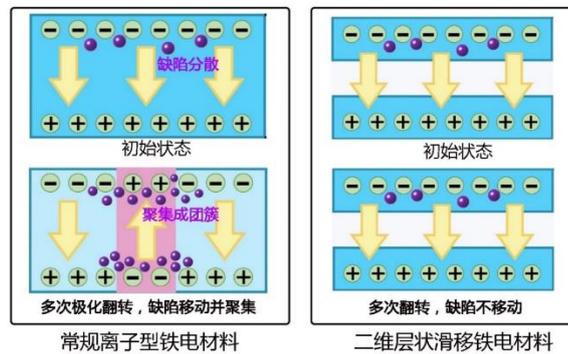
中国科学院宁波材料技术与工程研究所、电子科技大学和复旦大学等团队基于滑移铁电机理，制备出无疲劳二维层状滑移铁电材料，有望实现存储器无限次数擦写<sup>17</sup>。

研究团队以二维材料——双层  $\text{MoS}_2$  为代表性材料，设计出合适的原子堆叠方式，采用化学气相输送 (Chemical Vapor Transport, CVT) 方法制备出双层  $\text{MoS}_2$  铁电器件。在百万次循环电场翻转极化后，铁电极化并未发生衰减，这表明该铁电器件的抗疲劳性能优于传统离子型铁电

---

<sup>17</sup> Science|宁波材料所等单位联合创制无疲劳铁电材料，有望实现存储器无限次数擦写。  
[https://www.nimte.ac.cn/news/progress/202406/t20240604\\_7184093.html](https://www.nimte.ac.cn/news/progress/202406/t20240604_7184093.html)

材料。研究发现，利用新型二维滑移铁电材料制备的铁电存储器无读写次数限制。



常规铁电材料和二维滑移铁电材料疲劳特性对比。左图中，极化翻转畴界移动过程中缺陷会移动并聚集成团簇，阻碍畴界移动，使得极化翻转无法继续进行，最终产生铁电疲劳；极化翻转过程中，右图中，缺陷被牢牢钉扎在层内无法移动，不会聚集和阻碍畴界移动，故无铁电疲劳

上述研究工作发表在 *Science* (文章标题: Developing fatigue-resistant ferroelectrics using interlayer sliding switching)。

(宁波材料所)

**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)