

2026年5月11日-2026年5月17日

索引:

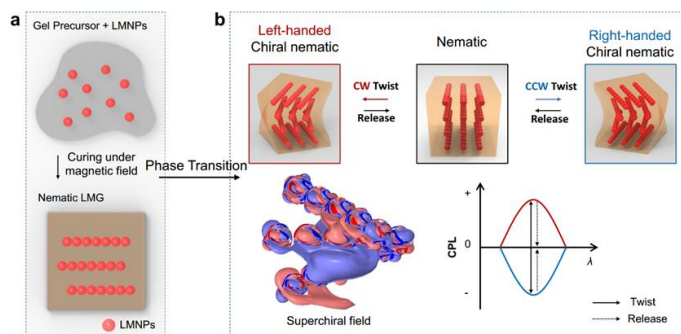
- 1、凝胶中发光磁性超结构实现的可逆三维手性连续体
- 2、具有 $0.03^{\circ} \text{C} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ 极低热阻的相变热界面材料
- 3、纳米级金属岛阵列中的非局域响应：分段熵和反常热传输
- 4、基于轨道力矩与自旋重取向的低能耗无场转换
- 5、动态晶格无序主导的二维杂化钙钛矿中的无势垒界面电荷转移

1、凝胶中发光磁性超结构实现的可逆三维手性连续体

手性作为一种无法与镜像重合的几何属性，广泛存在于化学、物理与材料科学之中，并与对称性破缺、拓扑性质以及光学响应密切相关。相比传统仅区分左手性与右手性的离散结构，能够在左旋、无手性与右旋之间连续变化的“手性连续体”被认为对高分辨率手性探测、动态偏振调控以及新型手性器件具有重要意义。然而，在三维固态材料中实现这种连续且可逆的手性调控始终面临巨大挑战。一方面，天然分子的手性通常由固定电子结构决定，仅对应离散对映体；另一方面，已有纳米组装体系虽然能够在一定程度上实现手性切换，但往往局限于二维结构、单一手性范围内的小幅调节，或依赖液体环境而缺乏长期稳定性。因此，如何在稳定的三维固态体系中实现从左手性到右手性的连续可逆调控，并兼顾结构稳定性与精细调节能力，成为当前手性材料研究中的关键问题。

近日，中国科学院国家纳米科学中心的唐智勇院士、巩建晓研究员联合研究团队提出了一种基于“发光磁性凝胶”的解耦式设计策略，通过磁场诱导的纳米超结构组装与后续宏观机械扭转相结合，实现了真正意义上的三维可逆手性连续体。研究首先制备了兼具磁响应与荧光发射特性的发光磁性纳米颗粒，并利用四极磁场诱导其形成长程有序的向列型超结构，再通过原位聚合将其固定于弹性凝胶中。由于四极磁场整体上不存在单向性，所得结构在初始状态下保持无手性特征。当对凝胶施加扭转时，宏观机械变形被转化为纳米链间极微小但连续的角度重构，从而驱动体系由无手性的向列相逐渐过渡为左旋或右旋的手性向列相。研究进一步观察到，体系能够产生连续可调的圆偏振发光响应，其手性方向与强度均可随扭转方向和角度实时变化，并在多次循环后保持稳定。该工作不仅证明了宏观机械形变能够精确调控纳米尺度的手性排列，也展示了液晶式长程有序结构在放大微弱手性响应方面的重要作用，为可重构手性光学器件、动态偏振调控、柔性光电子与智能响应材料提供了新的设计思路。

该研究发表于《Nature Communications》。（刘梦洋）

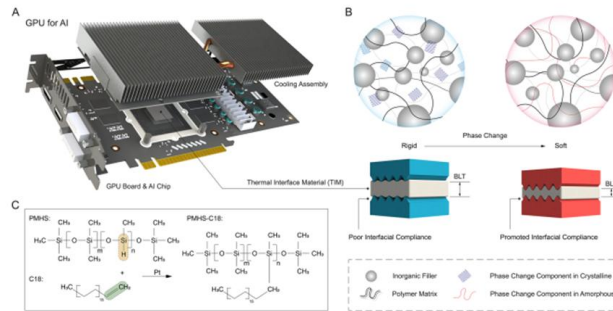


文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-73140-x>

2、具有 $0.03^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{W}^{-1}$ 极低热阻的相变热界面材料

随着人工智能（AI）、高性能计算以及数据中心技术的快速发展，电子器件功耗持续攀升，散热问题已成为制约芯片性能与可靠性的关键瓶颈。尤其是在 GPU、光通信模块以及高功率半导体器件中，大量热量会在极小空间内迅速积聚，导致器件降频、寿命缩短甚至失效。作为连接热源与散热器之间的“热桥”，热界面材料（TIM）在电子热管理中发挥着至关重要的作用。理想的 TIM 不仅需要具备高热导率，还必须同时降低界面接触热阻和键合层厚度（BLT）。然而，传统高填料 TIM 虽然具有较高热导率，却往往因材料刚性较大而难以与界面充分贴合；而导热硅脂等软材料虽然界面适配性较好，却容易出现“pump-out”等失效问题，长期稳定性不足。近年来，相变型热界面材料因能够在工作温度下实现软化、提升界面贴合能力而受到广泛关注，但传统相变组分与硅氧烷基体之间兼容性较差，容易发生渗漏和热老化，限制了其在 AI 时代高可靠性电子器件中的应用。

近日，中国科学院深圳先进技术研究院曾小亮副研究员与 Yunsong Pang 助理研究员提出了一种面向 AI 电子器件的新型相变热界面材料（PC-TIM），通过将十八烷基接枝到聚甲基氢硅氧烷（PMHS）链上，再与 PDMS 及铝填料复合，实现了兼具超低热阻与高稳定性的热界面材料。该材料的总热阻低至 $0.03^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{W}^{-1}$ ，达到当前聚合物基 TIM 中的领先水平，同时泄漏率低于 0.3 wt.%，显著优于传统相变 TIM。研究表明，该材料通过“跨尺度协同优化”实现高效导热：在宏观尺度上，相变过程促进聚合物链与填料网络重构，从而减小 BLT；在微观尺度上，材料软化后可更充分填充界面粗糙区域，降低接触热阻；在原子尺度上，相变后聚合物链的润湿性增强，并改善界面声子态匹配，从而提升跨界热输运效率。研究团队进一步在 LED、光通信模块、MOSFET 以及 AI GPU 平台中验证了该材料的实际散热性能。其中，在 RTX 4060 GPU 测试中，PC-TIM 相比原始导热材料可进一步降低约 5°C 工作温度，并在 1000 次热循环后仍保持稳定性能。该工作为下一代 AI 芯片与高功率电子器件热管理提供了一种兼具高性能、可靠性与产业化潜力的新方案。相关内容发表于《Advanced Functional Materials》上。（张琰炯）

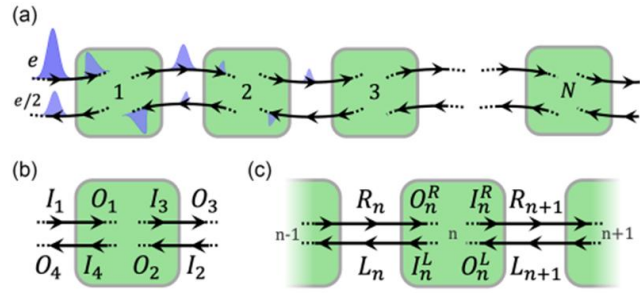


文章链接: <https://doi.org/10.1002/adfm.202600063>

3、纳米级金属岛阵列中的非局域响应：分段熵和反常热传输

近年来，随着量子计算、拓扑量子态以及强关联电子体系研究的不断深入，人们逐渐意识到，传统电子器件中的“金属电极”并不仅仅是简单的导线或接触端。当金属岛尺寸缩小至微米甚至纳米尺度时，其有限电容带来的库仑阻塞效应会显著改变电子与热输运行为，从而催生出丰富的新奇量子现象。例如，在量子霍尔边缘态与纳米金属岛耦合体系中，研究人员已经观察到电荷 Kondo 效应、分数量子熵以及热库仑阻塞等现象，这些行为与非阿贝尔任意子、多通道 Kondo 物理等前沿理论密切相关。尤其是在低温条件下，电子热流不再仅仅由传统电导决定，而会受到电荷模与中性模分离、长程关联以及拓扑涨落的共同影响。然而，目前绝大多数研究仍局限于单个或少数几个金属岛体系，对于由大量纳米金属岛组成的“人工量子阵列”是否会涌现出新的集体行为，人们仍缺乏系统认识。特别是，如何在人工量子材料中实现非局域热输运、分数化熵以及异常热传导等新型量子效应，已成为凝聚态物理与介观物理领域的重要研究方向。

近日，以色列特拉维夫大学 Eran Sela 副教授课题组联合美国杜克大学 Gleb Finkelstein 教授团队，提出并系统研究了一维纳米金属岛阵列中的非局域量子响应行为，揭示了由多个浮置金属岛耦合形成的“人工量子物质”中存在全新的热输运与热力学性质。研究人员构建了由量子霍尔边缘态连接的纳米金属岛链模型，发现当金属岛充电能远大于温度时，体系会出现长程关联的电流涨落，使整个阵列表现出显著的非局域行为。最引人注目的是，在量子霍尔填充因子 $\nu = 1$ 条件下，研究团队理论预测该体系能够在“没有温度梯度”的情况下维持有限热流，即阵列内部几乎保持恒温，但热量依然持续传输，表现出类似“无限热导率”的异常热输运特征。此外，研究人员进一步发现，当利用量子点接触（QPC）切断阵列时，体系熵会发生随金属岛数量增长的分数量子化变化，其熵变满足 $\Delta S = 1/2 k_B \log(N+1)$ 的标度关系。这意味着局域扰动会引发整个阵列的整体量子响应，展现出强烈的非局域关联特征。论文还指出，该结果可推广至 $Zn+1$ parafermion 等更高阶拓扑准粒子体系。该工作不仅为理解热库仑阻塞、分数量子熵以及量子热输运提供了全新的理论框架，也为未来设计基于量子霍尔边缘态的热逻辑器件、拓扑量子线路以及人工关联量子材料开辟了新的研究方向。相关内容发表于《Physical Review Letters》上。（张琰炯）



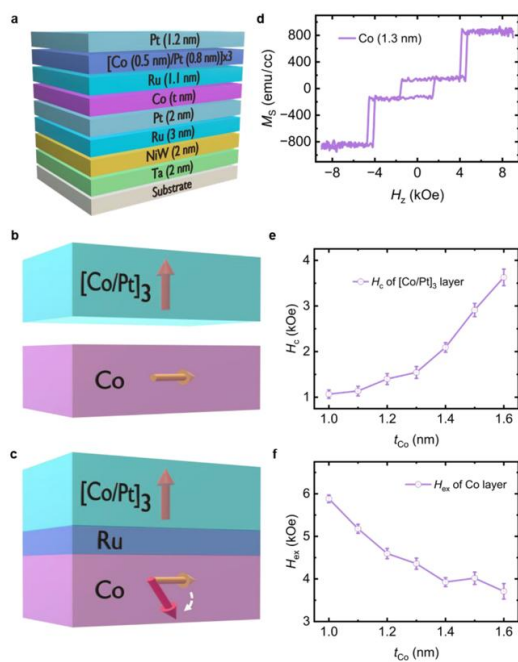
文章链接: <https://doi.org/10.1103/y9qj-g447>

4、基于轨道力矩与自旋重取向的低能耗无场转换

随着自旋电子学器件向低功耗和高集成度发展,基于自旋轨道力矩的磁化转换机制受到广泛关注。具有垂直磁各向异性的体系因热稳定性高、器件尺寸小而适用于磁随机存储器等应用,但传统方案通常需要额外的面内磁场来打破转换对称性,这会增加功耗并限制器件集成。为实现无场转换,研究者提出了层间交换耦合、倾斜磁各向异性以及合成反铁磁结构等多种方法。另一方面,轨道霍尔效应所产生的轨道角动量输运为提升转换效率提供了新的思路。相比传统仅利用电子自旋的自旋霍尔效应,轨道力矩能够进一步利用电子轨道自由度,从而有望实现更加高效的磁矩调控。然而,轨道力矩在室温无场转换中的实验实现与器件应用仍相对有限。

近日,新加坡南洋理工大学的 S. N. Piramanayagam 副教授研究团队构建了 Co/Ru/[Co/Pt]₃ 合成反铁磁异质结构,通过调控 Co 层厚度与 Ru 层交换耦合,实现了由自旋重取向诱导的无场磁化转换。研究发现,在特定厚度范围内,底部 Co 层会形成倾斜磁化态,从而产生面内磁矩分量并打破体系对称性,使器件无需外加磁场即可实现确定性转换。其中,Co 厚度为 1.3 nm 时获得最高约 96% 的无场转换比例。进一步地,研究通过增加 Ru 轨道霍尔层厚度增强轨道力矩贡献,使阻尼型力矩效率相比传统 Pt 自旋霍尔体系提高约 1.9 倍,同时降低了转换临界电流密度。角分辨异常霍尔测试与微磁模拟进一步证明,自旋重取向是无场转换的核心来源,而 Ru 层提供的轨道霍尔效应则显著增强了整体驱动效率。该工作表明,轨道角动量输运与合成反铁磁结构的协同设计,为新一代低功耗自旋存储与逻辑器件提供了新的实现路径。

该研究发表于《Nature Communications》。(刘梦洋)



文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-72894-8>

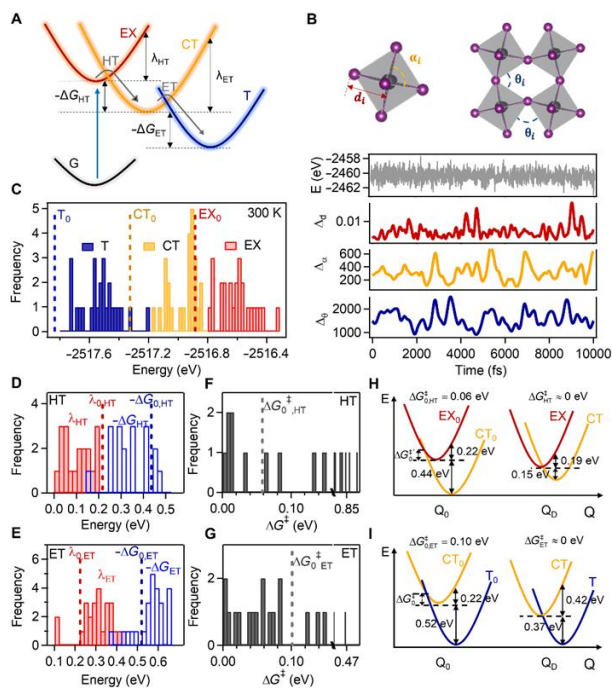
5、动态晶格无序主导的二维杂化钙钛矿中的无势垒界面电荷转移

二维有机-无机杂化钙钛矿因其结构可调、强激子效应以及优异的光电性质，近年来在太阳能电池、发光器件和光催化等领域受到广泛关注。在这类材料中，无机层与有机配体交替排列，表现出明显的量子限域和介电限制效应，因此具有较强的光物质相互作用。对于光电转换过程而言，光激发后的界面电荷转移（charge transfer, CT）过程是决定器件性能的重要因素之一。与此同时，与传统二维半导体相比，二维杂化钙钛矿还具有更加柔软且强非谐的晶格，并伴随着明显的动态晶格无序。此前的研究表明，二维钙钛矿中的动态晶格会与光激发态耦合，形成激子极化子并影响其光学响应与自旋弛豫行为。此外，通过引入噻吩、茈等共轭有机配体，还可以在二维钙钛矿中形成 type-II 能带排列，从而实现无机层与有机配体之间的界面电荷转移。然而，动态晶格无序如何影响二维钙钛矿中的界面电荷转移动力学机制，目前仍然缺乏清晰的理解。

近日，浙江大学朱海明课题组通过自主合成的四噻吩配体二维钙钛矿 $(4Tm)2MA_n-1PbnI_{3n+1}$ ($n=1\sim 4$)，结合飞秒瞬态吸收光谱 (TA) 与第一性原理计算，系统研究了二维杂化钙钛矿中的界面电荷转移动力学。TA 研究表明，在光激发无机层后，体系会经历一个普适的两步电荷转移过程：空穴在亚皮秒时间尺度内从无机层转移至有机配体；随后，电子进一步转移，并在有机配体中形成三重态。且随着无机层厚度减小，空穴转移与电子转移速率均增加。同时，在 80 - 295 K 的温度范围内，电荷转移动力学几乎不随温度变化。这一现象无法用经典 Marcus 电荷转移模型以及量子隧穿模型解释。因此，研究者提出了动态晶格电荷转移模型 (dynamic lattice CT model)。该模型认为，二维杂化钙钛矿中的持续的结构涨落使体系能够不断采样大量瞬态构型，从而使电荷转移始终能够通过瞬态无势垒路径发生。第一性原理计算进一步证明，晶格畸变会产生宽分布的电荷转移构型与能量关系，其中存在大量接近零能垒的电荷转移路径。该工作揭示了动态晶格无序在二维杂化钙钛矿界面电荷转移中的重要作用，突破了传

统动态材料中基于静态能量限制的电荷转移框架，为理解强非简谐材料中的超快载流子动力学提供了新的物理图像。

相关成果发表于《Science Advances》上。（侯玥盈）



文章链接: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aeb8615>

(来源: 两江科技评论)