

2026 年 10 月 12 日-2026 年 10 月 18 日

索引:

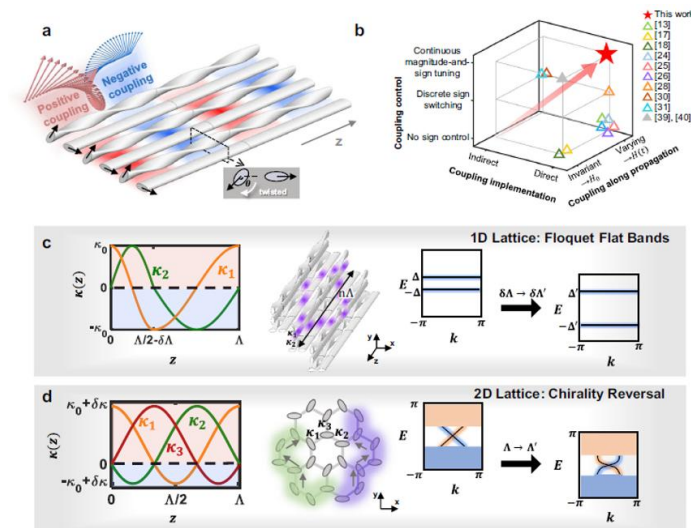
- 1、扭转光子晶格中的偏振调控 Floquet 工程
- 2、太赫兹 6G 互连硅拓扑材料中的光子 Klein 隧穿
- 3、基于等离激元超表面微流控的快速表型抗生素药敏检测
- 4、由表面声瑞利波揭示的二维反铁磁半导体中的反常自旋-晶格耦合
- 5、原子尺度玻璃的热导达到量子极限的 40%
- 6、可动异质界面的鲁棒高热导

1、扭转光子晶格中的偏振调控 Floquet 工程

Floquet 工程利用周期性调制改变波动系统的有效能带与传播行为，是研究人工规范场、拓扑物态及量子信息处理的重要手段。在光子晶格中，相邻波导的耦合系数决定光场如何在不同通道之间转移，其大小和正负符号是调节传播动力学的关键。然而，现有 Floquet 光子平台多依赖波导弯曲、间距改变或分步驱动等方式调控耦合，在单个驱动周期内同时实现耦合幅值和符号的连续控制仍较困难。因此，如何以紧凑的结构获得更灵活的耦合调控，成为拓展 Floquet 光子学研究的重要问题。

近日，北京大学胡小永教授、首都师范大学张岩教授、香港科技大学陈子亭教授及南京大学张若洋副教授等合作，提出了一种基于扭转光波导阵列的紧凑型 Floquet 调控平台，通过几何扭转改变相邻波导之间的相对偏振角，实现耦合系数大小及正负符号的连续调节。研究团队采用高精度 3D 打印技术制备扭转波导阵列，在一维光子晶格中实验实现了覆盖整个布里渊区的 Floquet 平带，并通过调节正、负耦合区段的扭转速率，改变系统的准能量，实现周期为 $n\lambda$ 的光场振荡及自成像现象。此外，研究人员实验验证了二维局域结构中的多方向耦合效应，并进一步从理论上预测了二维蜂窝晶格中拓扑边缘态的手性反转。相比依赖辅助结构或额外调制的传统 Floquet 光子平台，该方法能够在紧凑结构中沿传播方向连续调控耦合系数的幅值与符号，为不同维度、材料体系及光谱范围内的 Floquet 工程和拓扑光场调控提供了新的研究思路。

相关工作发表在《Nature Communications》上。（刘帅）

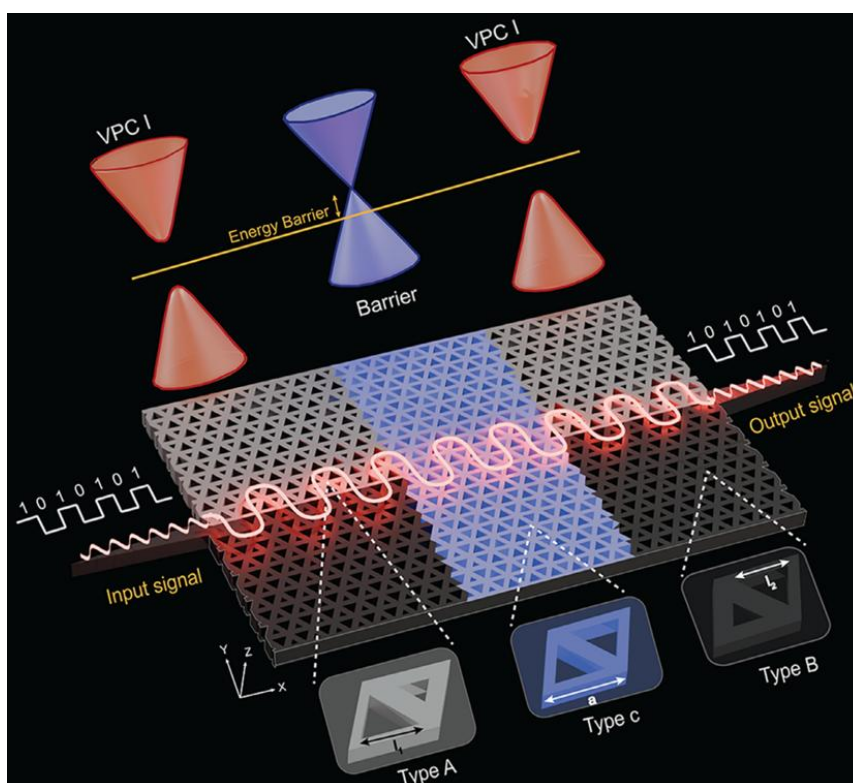


文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-78660-0>

2、太赫兹 6G 互连硅拓扑材料中的光子 Klein 隧穿

随着高速通信与光子集成技术的发展,如何在复杂结构中实现低损耗、抗散射且稳定的光传输,成为下一代集成光路的重要问题。拓扑光子学通过构造受保护的界面态,可有效抑制缺陷和无序引起的背向散射,为鲁棒光传输提供了新的途径。然而,已有研究主要关注光沿拓扑界面的传播,对于界面中存在局域势垒等空间非均匀结构时的输运行为仍缺乏系统认识。Klein 隧穿可使具有狄拉克色散的波穿越势垒,并已在多种经典波体系中得到研究。谷光子晶体能够支持具有狄拉克特征的谷极化界面态,因此是研究这一现象的理想平台,但此前太赫兹拓扑体系中的势垒大多由结构预先固定,其适用范围及在复杂器件中的稳定性尚不明确。近日,印度 JNCASR 的 Abhishek Kumar 助理教授、法国里尔大学的 Guillaume Ducournau 教授和新加坡 A*STAR 微电子研究所的 Prakash Pitchappa 研究科学家联合研究团队,在兼容 CMOS 工艺的硅谷光子晶体中,通过调节三角形空气孔的几何尺寸,在谷极化界面通道内构造可控局域势垒,并建立几何结构与等效势垒强度之间的对应关系。结果表明,当势垒强度低于最近邻耦合尺度时,界面态仍保持接近无势垒情况下的高透射,而势垒继续增强后透射会明显下降。动量空间分析进一步表明,太赫兹波经过两个连续势垒后仍可保持超过 98% 的谷赝自旋。该研究还在多势垒、Ω 形弯曲通道和片上功率分束器中验证了这一机制,并实现最高 100 Gbit/s 的太赫兹数据传输。该成果将克莱因隧穿推进到可设计的拓扑光子器件层面,为兼具鲁棒性与高速传输能力的太赫兹 6G 集成互连提供了新的设计思路。

该研究发表于《Advanced Materials》。(刘梦洋)



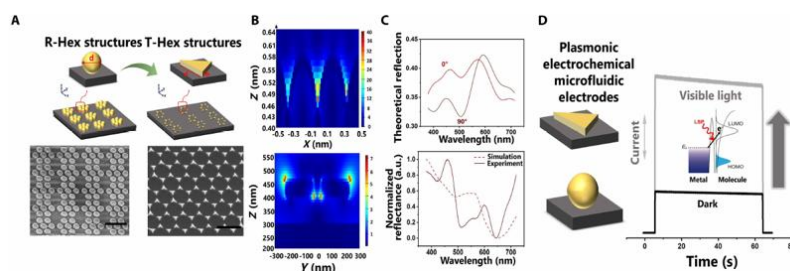
文章链接: <https://doi.org/10.1002/adma.75322>

3、基于等离激元超表面微流控的快速表型抗生素药敏检测

抗生素敏感性检测是指导细菌感染精准治疗、遏制抗生素耐药性发展的重要手段。传统表型药敏检测主要依赖细菌培养、菌落分离和生长抑制分析，通常需要 2 至 3 天才能获得结果，难以及时满足临床用药决策的需求。近年来，基于核酸扩增、微流控芯片和电化学传感的快速检测技术取得了重要进展，但仍面临检测灵敏度不足、复杂生物样本干扰较强以及对预培养步骤依赖较大等问题。特别是，表型药敏检测需要直接反映细菌在抗生素作用下的真实生理响应，而传统电化学检测方法往往受到界面电子转移效率及氧化还原反应动力学的限制。因此，如何通过微纳结构设计增强电化学信号、加速生物氧化还原反应，并实现临床样本中病原菌的快速鉴定与表型药敏检测，成为感染性疾病即时诊断领域的重要研究方向。

近日，加拿大麦吉尔大学 Sara Mahshid 副教授领衔的联合研究团队，开发了一种集成等离激元超表面的微流控装置——PhenEXA。该装置将无需光刻等复杂微纳加工工艺的等离激元超表面与微流控技术相结合，旨在弥补电化学抗生素敏感性检测（AST）在临床转化应用方面的不足。这种集成设计能够有效限制检测介质的空间分布，提高电子转移效率，减少信号损耗，增强电化学信号，并显著降低干扰。此外，该技术无需进行过夜细菌培养扩增，在保持高检测灵敏度的同时，减少了所需样本量，实现了直接基于原始样本的表型抗生素敏感性检测，从而显著缩短了诊断流程。这些优势共同表明，PhenEXA 平台在分布式、按需即时检测领域具有潜在的应用价值。

相关工作发表在《Science Advances》上。（刘帅）



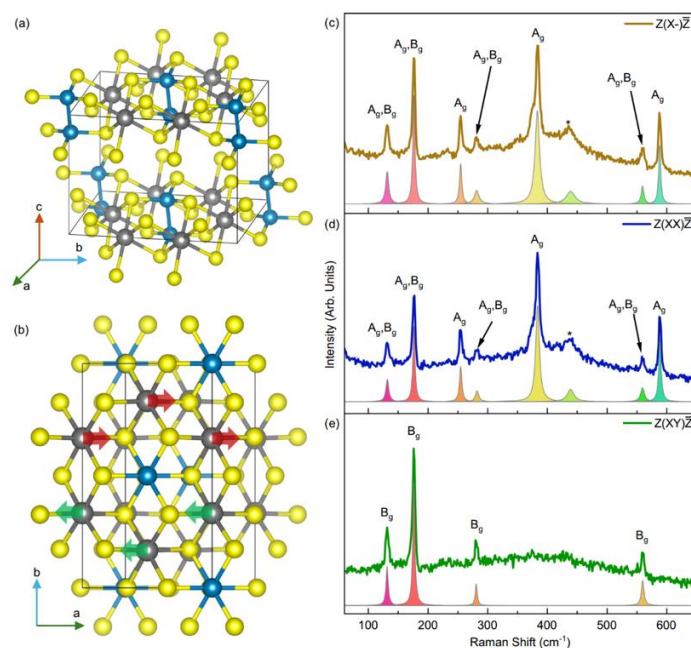
文章链接: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aec7686>

4、由表面声瑞利波揭示的二维反铁磁半导体中的反常自旋-晶格耦合

二维范德瓦耳磁性材料为研究自旋与晶格自由度之间的相互作用提供了重要平台，其中自旋-声子耦合不仅影响磁各向异性和交换作用，也决定了磁有序状态下材料的弹性与动力学性质。以往相关研究主要依赖拉曼光谱观测光学声子在磁相变附近的频移、劈裂或线宽变化，但光学声子主要反映原子尺度的局域键长和短程交换关联，难以直接表征长程磁有序对宏观弹性性质的影响。相比之下，长波长声学声子对应整体应变场，其传播特性直接受到体模量和剪切模量等弹性常数控制，因此能够从连续介质尺度揭示磁有序引起的磁弹性重整化。然而，由于二维材料样品尺寸较小且声学激发能量较低，传统中子散射和超声技术难以进行有效测量，使二维磁体中长波声学声子对磁相变的响应长期缺乏直接实验研究。

近日，美国加州大学洛杉矶分校的 Alexander A. Balandin 教授和美国奥本大学的 Fariborz Kargar 助理教授研究团队，以准二维反铁磁半导体 NiPS₃ 为对象，利用布里渊-曼德尔施塔姆散射直接探测剥离薄膜中的瑞利表面声波，并跟踪其跨越奈尔温度时的演化。结果发现，常规拉曼光学声子在磁相变附近仅表现出较弱异常，而瑞利声波却出现显著软化，其相速度在反铁磁有序形成后下降约 6% 至 7%，表明长程磁有序能够显著重整化材料的有效弹性常数。进一步结合第一性原理弹性张量计算和连续介质有限元模拟，研究将这一宏观声速变化与微观交换致伸缩及自旋-剪切耦合联系起来，揭示了局域交换作用如何在长波极限下协同改变晶格刚度。该结果建立了二维反铁磁材料中自旋-声子耦合从原子尺度到连续介质尺度的联系，并为磁控声子器件、磁振子器件以及基于应变调控的自旋电子学提供了新的物理基础。

该研究发表于《Nature Communications》。（刘梦洋）



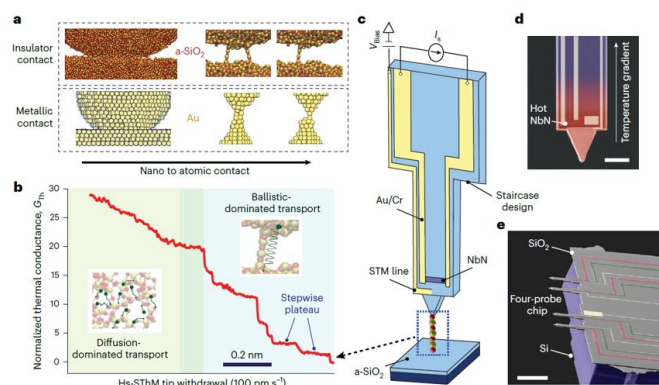
文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-77234-4>

5、原子尺度玻璃的热导达到量子极限的 40%

随着电子器件和量子器件不断向微型化、集成化方向发展,原子尺度下的热量传输机制逐渐成为纳米热管理领域的重要研究课题。在宏观尺度上,热量主要通过扩散方式传递,材料的热输运性能通常受到晶体结构、声子散射及结构无序程度的显著影响。与晶体材料相比,玻璃等非晶材料由于缺乏长程有序结构,原子振动模式复杂,声子传播受到限制,因而通常表现出较低的热导率,被广泛应用于热绝缘领域。然而,当材料尺寸缩小至原子尺度时,传统扩散热输运理论逐渐失效,声子可能以弹道或相干方式传递能量,呈现出与宏观材料截然不同的热输运行为。理论研究表明,一维原子链中的热量可以通过有限数量的声子通道传输,其最大热导受到热导量子极限的约束。然而,受限原子接触结构的不稳定性、极微弱热流的检测难度以及绝缘材料缺乏电学反馈信号等因素,实验上直接测量原子尺度绝缘材料的声子热导仍面临巨大挑战。尤其是对于非晶材料,结构无序是否会在原子极限下继续抑制声子输运,以及决定其热导量子极限接近程度的关键物理因素,仍缺乏明确的实验证据。因此,发展具有高灵敏度和原子尺度分辨能力的热测量技术,对于揭示低维体系中的相干声子输运机制具有重要意义。

针对上述挑战,科罗拉多大学博尔德分校的崔龙基教授团队和西班牙马德里材料科学研究所 J. G. Vilhena 等研究团队自主研制了具有皮瓦级热流分辨能力的高刚度扫描热显微探针(Hs-SThM),通过热反馈控制实现了非晶二氧化硅(α -SiO₂)原子接触的可控制备与热导测量,成功捕捉到材料从纳米接触向单原子接触演化过程中,由扩散主导向弹道主导的热输运转变。实验发现,原子尺度非晶 SiO₂ 链的声子热导达到约 1.2 个热导量子,相当于三个声学通道理论量子极限的 40%,其声子热导比晶体金原子链高约一个数量级。进一步结合非平衡分子动力学模拟和 Landauer - Büttiker 输运理论,研究人员揭示了这一反常现象的物理起源:在原子尺度下,非晶材料的结构无序不再是限制热量传输的根本因素,声子可以通过原子接触实现高效相干传输。相比之下,材料的德拜频率及其所决

定的可传输声子频谱范围，对热导起着关键作用。非晶 SiO_2 具有更高的特征振动频率，能够支持更宽频率范围内的声子传输，从而表现出优于金属原子链的导热能力。该研究突破了非晶材料必然表现出低效热传输的传统认识，为理解原子尺度声子相干输运提供了直接实验证据，同时建立了研究绝缘材料原子接触热输运的新型实验平台，为未来声子热二极管、热晶体管及量子热管理器件的设计提供了新的研究思路。相关内容发表于《Nature Nanotechnology》上。（张琰炯）



文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41565-026-02308-9>

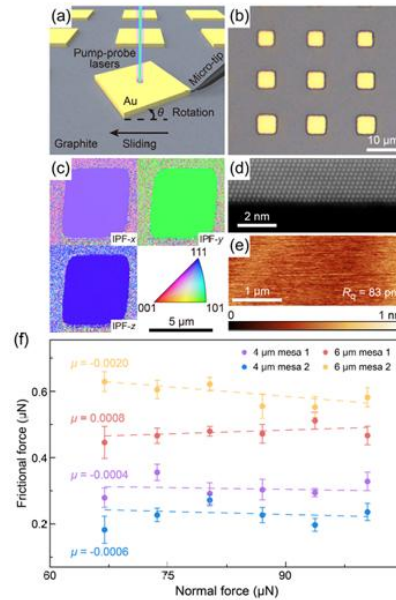
6、可动异质界面的鲁棒高热导

随着微纳机电系统、智能传感器及新型可重构电子器件的快速发展，运动界面中的热量传输与耗散问题日益受到关注。界面热导是决定器件散热效率与运行稳定性的关键因素，其大小不仅取决于界面两侧材料的本征性质，还受到实际接触面积、界面结构及声子耦合等因素的共同影响。传统运动接触界面通常存在表面粗糙、局部接触及摩擦磨损等问题，实际接触面积往往不足名义面积的 1%，导致界面热导普遍低于 $0.1 \text{ MW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ，并可能随持续滑动进一步降低。近年来，结构超滑因其近乎零摩擦、低磨损的独特性质，为实现高效稳定的运动界面热传输提供了新的可能。与此同时，二维材料中的层间旋转与相对滑动也为调控声子输运引入了新的自由度。然而，现有界面热输运研究主要集中于静态接触体系，通常通过比较不同堆叠构型的固定样品分析界面热导变化，难以直接揭示运动过程中界面热输运的演化规律。特别是对于不同材料构成的异质界面，界面旋转、滑动及原子振动模式如何共同影响热量传递，仍缺乏系统的实验验证与微观机制认识。因此，探索兼具低摩擦、高热导和运动稳定性的异质界面，对于理解动态界面声子输运及发展新型微纳热管理技术具有重要意义。

针对上述问题，北京大学宋柏研究员联合清华大学郑泉水院士课题组研究团队以单晶金/石墨 (Au/graphite) 异质界面为研究对象，通过制备原子级平整的金微米台面，结合精密机械操控与频域热反射 (FDTR) 技术，实现了界面原位旋转、滑动及热导的定量测量。研究发现，该超滑异质界面的热导高达约 $30 \text{ MW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ，较传统运动接触界面提高两个数量级以上，并且在 -50° 至 70° 的旋转范围内基本保持不变。经过 3000 次往复滑动后，界面热导仍维持稳定，表现出优异的抗运动扰动能力。进一步结合机器学习势驱动的非平衡分子动力学模拟与第一性原理计算，研究人员揭示了高效稳定热传输的微观机制：一方面，结构超滑能够维持原子尺度的充分接触，避免传统粗糙界面中接触面积不足及磨损造成的热阻增加；另一方面，界面热传输主要由对堆叠构型不敏感的面外声子振动贡献，因此

即使发生相对旋转或滑动，界面热导仍能保持稳定。该研究突破了传统运动接触界面难以兼顾低摩擦与高效导热的限制，为理解动态异质界面中的声子输运机制提供了新的实验证据，也为扭转电子学、滑移电子学及高可靠性微纳器件的热管理设计提供了新的思路。

相关内容发表于《Physical Review X》上。(张琰炯)



文章链接: <https://doi.org/10.1103/yzn5-723b>

(来源: 两江科技评论)