

2026 年 8 月 17 日-2026 年 8 月 23 日

索引：

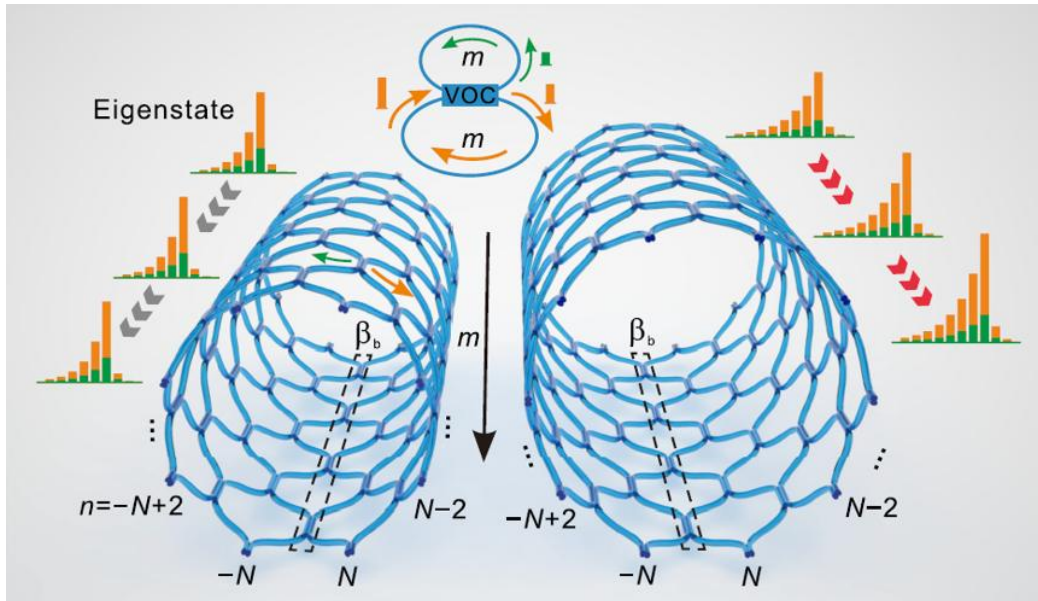
- 1、非厄米反常标度调控
- 2、无规则非厄米趋肤局域化与输运的观测
- 3、双层扭转光栅超表面的双偏振热发射
- 4、受限多体系统中热光子的超弹道传输
- 5、多相弱拓扑绝缘体中任意位置可调的准角态
- 6、拓扑引导的极化激元凝聚体涡旋

1、非厄米反常标度调控

非厄米趋肤效应 (NHSE) 可使系统全部本征态聚集于边界，突破传统拓扑物理中的体一边对应关系，并在光场汇聚、稳健信号传输、增强传感及光子器件设计等方面展现出应用潜力。由于实际系统尺寸有限，NHSE 引起的反常标度行为尤为重要：随着系统尺寸变化，其能谱和本征态局域特性会发生非平凡演化，产生实—复能谱转变、无标度局域化，甚至驱动非厄米拓扑相变。然而，这些现象尚缺乏实验验证，非线性与相互作用对反常标度的影响也鲜有研究，主要受限于对非厄米性和非线性的精确协同调控。由耦合光纤环构成的时间光子晶格具有可编程耦合、完整光场探测及可控非线性等优势，为研究非厄米性、非线性与反常标度之间的相互作用提供了理想平台。

近日，东南大学薛鹏教授和米兰理工大学 Stefano Longhi 教授研究团队，首次在实验中观测到非厄米趋肤效应中的反常标度行为，并实现了对非厄米非线性调控。研究人员利用高度可重构的时间光子晶格，追踪不同系统尺寸下全部本征态的实时演化，直接揭示了反常标度引起的能谱重构与本征态局域化转变，并验证了其在拓扑平庸和非平庸系统中的普适性。在此基础上，研究进一步引入 Kerr 非线性，探索非线性与非厄米趋肤效应的相互作用。实验表明，弱 Kerr 非线性能够加速或减缓反常标度过程，而强非线性则可将其完全抑制，从而实现对有限尺寸系统中非厄米反常局域化的主动控制。该成果为研究非线性乃至多体非厄米物理提供了实验平台，并为紧凑型非线性光子器件及非厄米拓扑技术的发展奠定了基础。

相关工作发表在《Physical Review Letters》上。（刘帅）

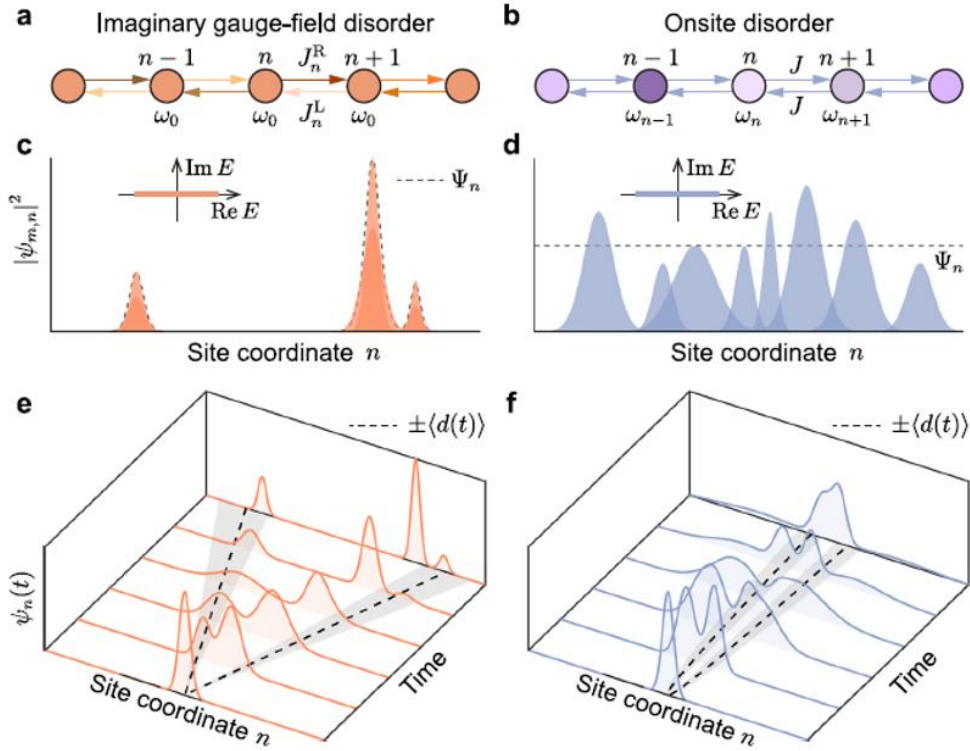


文章链接: <https://doi.org/10.1103/39t1-94yh>

2、无规则非厄米趋肤局域化与运输的观测

波局域化是贯穿凝聚态、光学与声学等领域的普遍现象，对波和粒子的运输具有重要影响。典型的安德森局域化源于静态无序对周期结构的破坏，使本征态呈指数局域并显著抑制运输；即使局域长度趋于无穷，系统通常也只能表现出次弹道运输。近年来，包含增益、损耗或有效非互易耦合的非厄米系统拓展了局域化研究，其中非厄米趋肤效应可使大量体态聚集于边界，突破传统体边对应关系。在无序非厄米系统中，即使所有本征态均呈指数局域，具有随机寿命的局域模仍可能支持跳跃式传播和普适的次弹道扩散。然而，谱局域化通常被认为必然伴随动力学局域或运输受限。因此，弹道运输能否与完全谱局域化共存，成为非厄米波动物理中的一个关键开放问题。

近日，宾夕法尼亚州立大学的 Yun Jing 教授和米兰理工大学 Stefano Longhi 教授团队，实验观测了一种不同于安德森局域化和非厄米趋肤效应的新型局域化机制——无规则非厄米趋肤局域化（ENHSL）。该现象出现在拓扑相变点附近的无序全局互易非厄米晶格中，其本征态在体内形成宏观且高度不规则的局域峰，峰值位置随无序实现随机变化，并呈现由对称随机游走统计支配的亚指数衰减。研究利用可调电声反馈构建有源声学晶格，实现具有涨落虚规范场的无序 Hatano - Nelson 模型，并结合格林函数谱学与时间分辨测量，同时重构系统的能谱、本征态及波包演化。实验发现，尽管系统具有强烈的谱局域化，其系综平均运输仍保持弹道特征。波包倾向于传播至光锥范围内随机游走势景达到最大偏移的位置，该位置服从 Lévy 反正弦分布。这一结果揭示了无序非厄米系统中的普适随机运输机制，打破了强无序和本征态局域化必然抑制弹道运输的传统认识。相关工作发表在《Nature Communications》上。（刘帅）



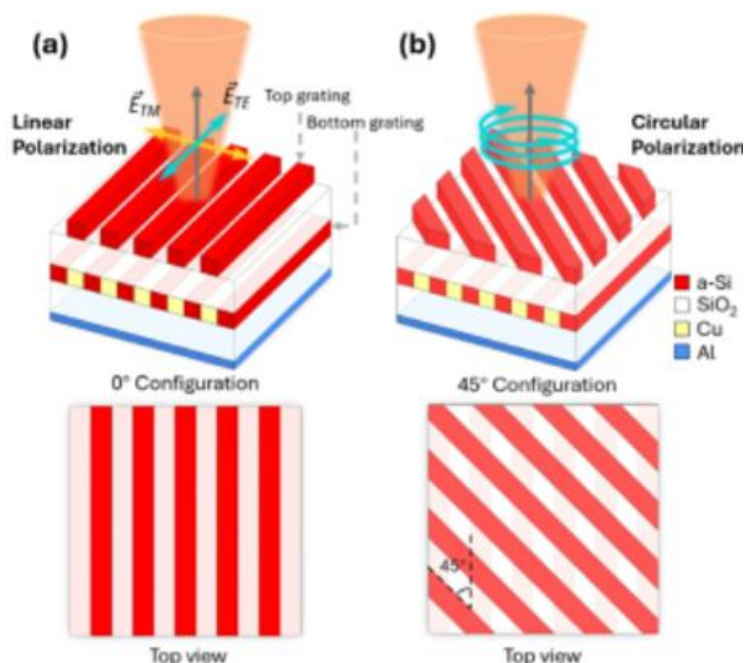
文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-76908-3>

3、双层扭转光栅超表面的双偏振热发射

热辐射是自然界中最普遍的能量传递方式之一，但由于热源内部载流子涨落具有随机性，传统热辐射通常表现出宽光谱、宽角度和低偏振度等特点。随着红外成像、遥感探测、气体与手性分子传感以及辐射热管理等技术的发展，人们越来越希望像操控激光一样，对热辐射的频谱、方向、相位和偏振进行精准调控。相比昂贵且功耗较高的量子级联激光器，热辐射源具有结构简单、无需复杂激励等优势，因此如何提高热辐射的偏振度与相干性，成为热光子学的重要研究方向。超构表面凭借亚波长尺度的结构设计能力，可以突破传统材料本征光学性质的限制，实现对热辐射的灵活调控。然而，现有偏振热辐射器件往往需要重新设计单元结构才能改变偏振状态，不仅增加了器件设计和加工难度，也限制了其进一步实现动态、可重构功能。如何通过更加简单的结构参数实现热辐射偏振态的连续调控，并兼顾窄带、高偏振和器件集成能力，是当前热超构表面领域值得关注的问题。近日，美国佐治亚理工学院张卓敏教授研究团队提出了一种基于双层扭转光栅超构表面（twisted-grating metasurface）的新型偏振热辐射调控方案：将两层亚波长一维非晶硅光栅叠加，并通过改变上下光栅之间的面内旋转角度，在不改变基本单元结构的情况下直接调节热辐射偏振态。研究人员设计并制备了 0° 和 45° 两种结构，其中 0° 构型能够产生明显的线偏振热辐射，而 45° 构型则实现由线偏振向圆偏振热辐射的转换；同时利用偏振红外辐射计测量完整 Stokes 参数，对器件偏振特性进行了系统表征。实验结果显示， 45° 构型在 $5.6 \mu\text{m}$ 处对左旋和右旋圆偏振热辐射的发射率分别达到约 90% 和 69%，展现出良好的窄带偏振发射能力。研究进一步表明，上层光栅在体系中发挥类似四分之一波片的作用，通过旋转角度改变两层光栅之间的偏振转换关系，从而实现热辐射偏振态调控。

值得注意的是，该结构仅需改变两层光栅的相对扭转角度，未来若与 MEMS 机械驱动结合，有望进一步实现动态、可重构的热超构表面。该成果为窄带偏振热光源提供了简洁的新型结构方案，也为偏振红外成像、化学与手性分子传感以及辐射热管理等应用拓展了新的技术路径。

相关内容发表于《ACS Photonics》上。（张琰炯）



文章链接: <https://doi.org/10.1021/acsphotonics.6c00978>

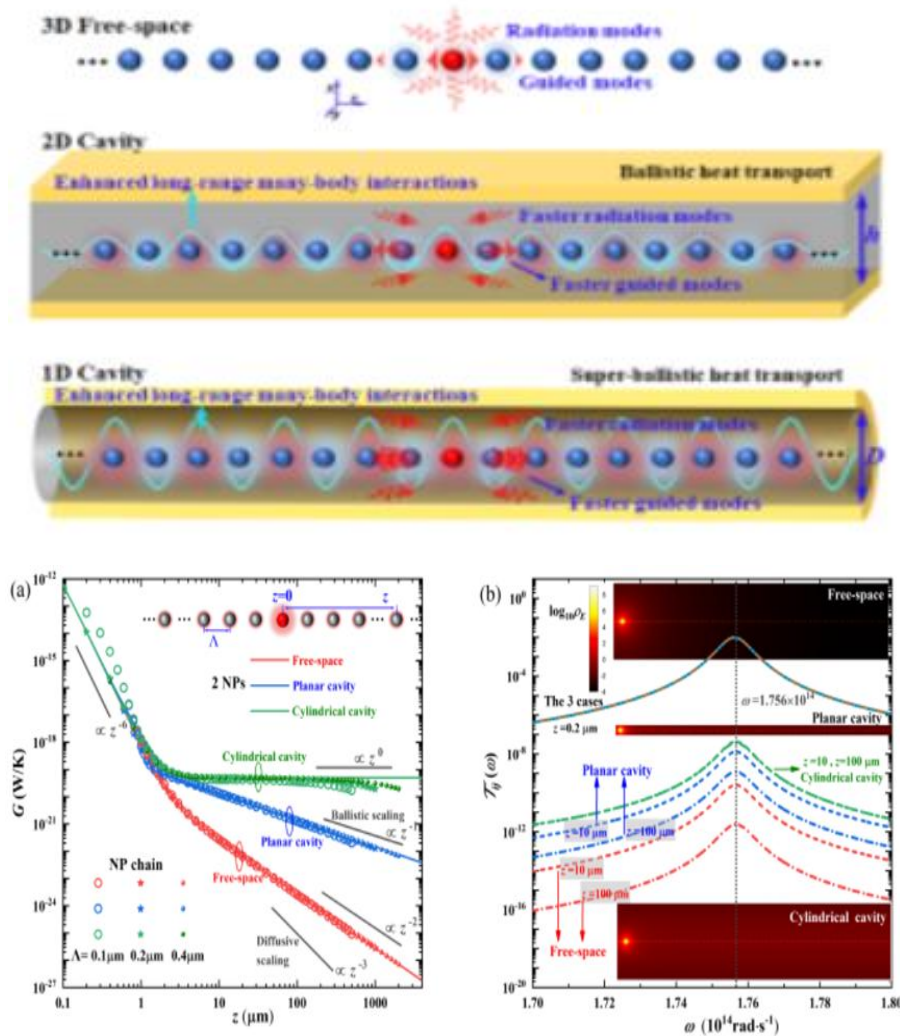
4、受限多体系统中热光子的超弹道传输

在传统认知中，弹道输运被视为能量传递的终极极限——当系统尺寸小于能量载体的平均自由程时，载流子无需散射即可自由传播，热导率随系统长度线性增长（ $k \sim L$ ）。然而，近年来人们在电子、光子、声子等体系中陆续观察到超越这一极限的“超弹道”输运现象。在低维系统中，由于散射相空间被压缩，载流子可以传播更远的距离，从而出现超扩散甚至弹道输运行为。不过，能否在稳态光热输运中实现持续稳定的超弹道传输，此前尚缺乏明确的理论预言。

近日，山东大学董健、刘林华教授团队与哈尔滨工业大学能源科学与工程学院赵军明教授、法国巴黎萨克雷大学 Philippe Ben-Abdallah 教授合作，首次在理论上预言了受限腔体中热光子的超弹道输运现象。研究团队构建了 SiC 纳米颗粒（半径 25 nm）周期链模型，分别置于自由空间（3D）、平面腔（2D，间隙 1 μm ）和圆柱腔（1D，内径 7 μm ）中。通过多体辐射热输运理论和时域耦合模理论分析，他们发现：在自由空间中，热导随距离呈 $G \sim z^{-2}$ 衰减（超扩散）；在平面腔中呈 $G \sim z^{-1}$ 衰减（弹道输运）；而在圆柱腔中，当距离 $z \geq 1 \mu\text{m}$ 时，热导 G 几乎与分离无关，呈现 $G \sim z^0$ 标度——在 Lévy 飞行框架下对应有效指数 $\alpha \leq 0$ ，明确标志着超越传统弹道极限的超弹道输运 regime。进一步的色散分析揭示，超弹道行为的物理根源在于腔引导模式对长程相互作用的协同放大。在圆柱腔中，纳米颗粒的横模与腔引导模在宽频带内发生强耦合（反交叉），使群速度急剧提升，传播长度增强两个量级达数百微米。更重要的是，这种耦合强度随链长增加而增

强——链越长，加速的本征模越多，色散分支越陡。最终，有效热导率 κ_{eff} 随系统长度 L 呈现 $\kappa \sim L^{1.5}$ 的超线性标度。稳态温度分布也显示，长链内部出现平坦温度平台、边界处温度陡降的 Casimir-like regime，进一步证实了长程集体相互作用的主导地位。这一发现为超快光子热输运建立了全新理论框架，也为纳米尺度热管理、信息处理和量子技术开辟了新的可能。

相关内容发表于《Physical Review Letters》。(张琰炯)



文章链接: <https://doi.org/10.1103/ynqz-j6dv>

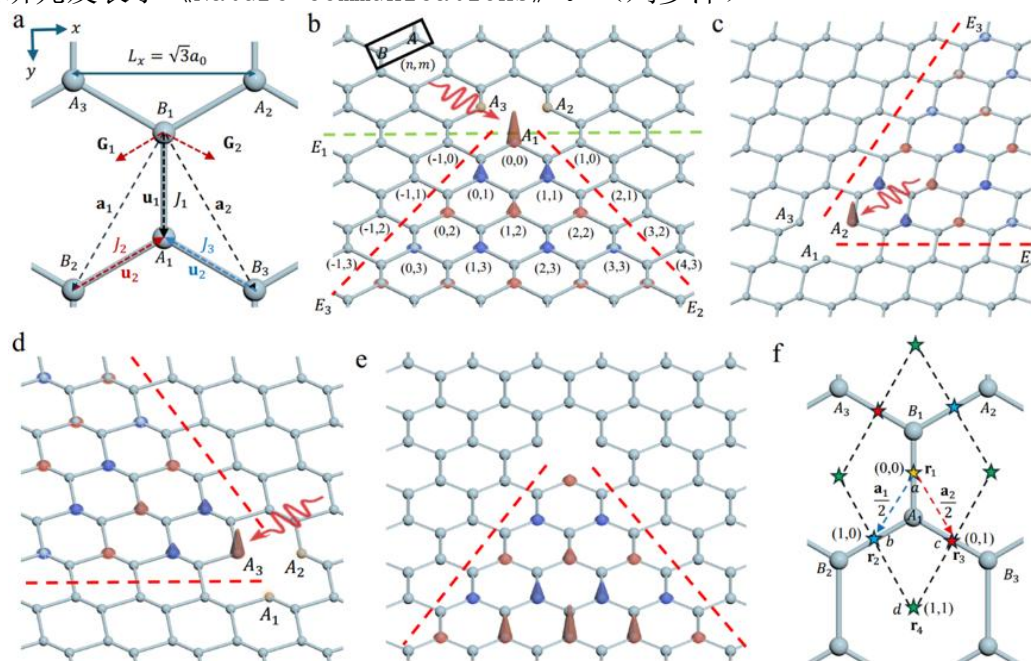
5、多相弱拓扑绝缘体中任意位置可调的准角态

二维体系中的零维拓扑态能够将能量高度局域于亚波长尺度，并凭借拓扑保护表现出对结构扰动的鲁棒性，因此在拓扑纳米腔、激光、光学耦合与开关、非线性调控及量子信息等领域具有重要应用潜力。传统高阶拓扑绝缘体中的零维态通常表现为角态，其产生位置与晶格边界及旋转、镜像等空间对称性紧密相关。现有二维高阶拓扑体系也大多局限于平庸与非平庸两类拓扑相，角态往往同时产生或消失，使零维态的位置和数量缺乏独立调节能力。虽然位错、位旋和涡旋等拓扑缺陷能够在体系内部产生局域态，但其构造仍受到特定对称性或缺陷几何的限制。因此，如何突破传统体边对应关系中对边界形状和空间对称性的依赖，在任意位

置构造可调且具有拓扑保护的零维态，并建立适用于非对称晶格的普适拓扑分类框架，是拓展高阶拓扑物态及可编程拓扑器件功能的重要问题。

近日，浙江大学的谭德志研究员研究团队在二维各向异性蜂窝晶格中提出并实验实现了由多相弱拓扑保护的准角态，使零维拓扑态能够出现在人为设计的空位缺陷或任意形状边界附近。研究引入二维弱拓扑指标对体系的四种拓扑相进行分类，并将不同拓扑相与万尼尔电荷中心的位置建立联系，从而揭示准角态产生的核心条件：缺陷处断裂键上存在万尼尔电荷中心。三种弱拓扑相分别对应三个不同的局域位置，因此通过改变应变方向即可实现零维态位置的切换，而强拓扑相中则不存在此类准角态。研究进一步利用玻璃中的光波导阵列验证了这些局域态及其对无序的鲁棒性，并发现多个准角态之间可以形成由拓扑保护的长程耦合，其耦合关系能够通过应变和缺陷间距调控。该工作将高阶拓扑态从固定几何角点拓展到可自由设计的缺陷和边界，为零维拓扑态的高容量编码、可重构光传输、拓扑开关以及非线性和非厄米拓扑光子学提供了新的设计自由度。

该研究发表于《Nature Communications》。（刘梦洋）

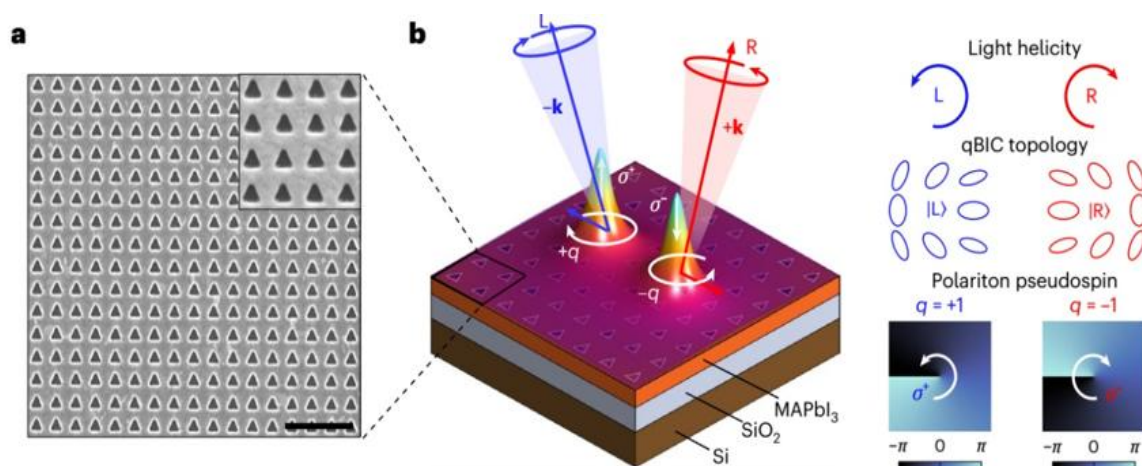


文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-76594-1>

6、拓扑引导的极化激元凝聚体涡旋

涡旋是量子流体、非线性光学等体系中最典型的拓扑激发之一，其相位围绕奇点发生整数倍绕转，并可进一步与拓扑弦、畴壁等缺陷形成复杂的复合拓扑结构。在激子-极化激元凝聚体中，自旋自由度使涡旋呈现更加丰富的半涡旋、旋量涡旋等形态，因此如何精确调控凝聚体的赝自旋纹理以及涡旋的产生、位置和运动轨迹，成为研究拓扑量子流体的重要问题。以往相关调控通常依赖结构化光场、液晶器件、外加磁场或腔体中的偏振劈裂等外部手段，所得涡旋的位置和演化仍容易受到初始激发条件、无序和涨落的影响。近年来，连续谱束缚态及其准束缚态所具有的偏振拓扑和强光场局域能力，为直接利用腔体几何结构塑造极化激元赝自旋提供了新的可能，由此产生了通过结构本身而非额外外场实现稳定拓扑激发的研究需求。

近日，新加坡南洋理工大学的 Cesare Soci 教授研究团队在多晶卤化物钙钛矿薄膜中构筑具有面内反演对称性破缺的准连续谱束缚态超表面，使腔模产生与动量锁定的自旋轨道耦合，并将这一偏振拓扑传递给强耦合形成的激子-极化激元及其凝聚态。实验表明，凝聚体中能够确定性产生一对空间分离、具有相反自旋和相反拓扑电荷的半涡旋。进一步的偏振测量和干涉实验揭示，涡旋并非孤立存在，而是与偏振弦和中心拓扑畴壁共同构成复合拓扑结构：偏振弦限定涡旋可运动的路径，而畴壁阻止涡旋与反涡旋相遇并湮灭。随着激发密度变化，涡旋能够沿这些由几何结构预先规定的路径发生可控位移。该工作将传统依赖外部人工场的极化激元自旋调控转化为由腔体拓扑和几何直接编码的内禀调控方式，并在具有明显结构无序的多晶材料中保持拓扑激发的稳定性，为研究涡旋分子、涡旋晶格以及基于拓扑激发的信息编码和全光逻辑提供了新的可扩展平台。该研究发表于《Nature Materials》。（刘梦洋）



文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41563-026-02693-5>

（来源：两江科技评论）