

2026年4月20日-2026年4月26日

索引:

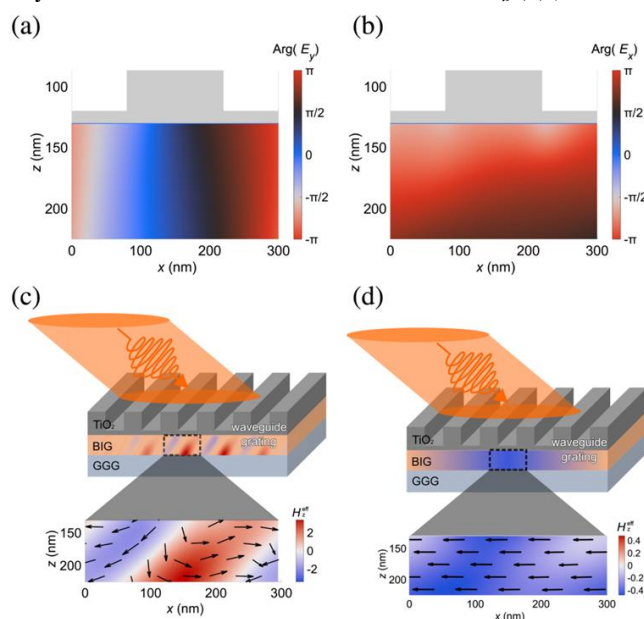
- 1、磁光子纳米结构中高波数动力学的选择性超快光学激发
- 2、可编程三维光子神经网络芯片
- 3、抑制声致迁移与温升以实现高功率稳健声学器件
- 4、采用拓扑边界棘轮机制的赛道计算系统
- 5、用于多场解耦调控的可编程电热四功能超材料
- 6、一种用于解析复杂皮肤机械信号的仿生超材料界面
- 7、通过有效散热实现超亮、高效、稳定的绿色量子点发光二极管
- 8、受银耳启发的褶皱 1T-MoS₂@BN 实现高效热管理和微波吸收

1、磁光子纳米结构中高波数动力学的选择性超快光学激发

在超快光学磁学 (optomagnonics) 领域, 利用飞秒激光激发和调控自旋动力学为实现高速数据存储与信息处理提供了重要途径。然而, 传统光学激发受到衍射极限的根本限制, 使得激发区域尺度较大, 只能产生长波长磁静自旋波。这类自旋波波矢分布宽、易发生退相干, 难以满足器件微型化与高频操作的需求。相比之下, 短波长自旋波由于具有更高频率和更优传播特性, 在器件微型化和高速操作中更具优势, 因此实现其高效光激发具有重要意义。近年来, 有研究尝试通过光吸收在材料内部产生空间不均匀激发, 从而实现短波长自旋波的激发。然而, 这类方法通常依赖于材料的强吸收特性, 不仅限制了泵浦波长的选择, 也降低了系统的可调控性。因此, 发展一种不依赖吸收、基于非热效应的光学激发机制成为一个重要方向。在这一背景下, 纳米光子学提供了一种新思路。通过引入纳米结构, 可以在亚微米尺度上调控光场分布, 从而实现对自旋的空间选择性作用, 并显著改变所激发自旋动力学的谱分布特性。

近日, 莫斯科国立罗蒙诺索夫大学的 Vladimir I. Belotelov 教授课题组提出并实验实现了一种基于磁光波导光栅结构 (magnetophotonic waveguide structure, MPWS) 的新方法, 通过调控逆法拉第效应 (inverse Faraday effect, IFE) 在空间上的分布, 实现了对短波长自旋波的选择性非热激发。在该结构中, 圆偏振飞秒激光耦合到光栅中的导模, 在磁性薄膜内部形成具有亚微米周期的光场相位调制。这种调制导致 IFE 产生的等效磁场在空间上呈现出符号交替变化的分布, 从而形成周期性的光学激发力矩。这种空间调制的 IFE 可以直接引入特定波矢成分, 使激发的自旋波具有确定的波长, 而不再受光斑尺寸限制。实验结果表明, 在导模共振条件下, 系统中出现明显的高频自旋动力学分量, 对应波长约为 300

nm 的短波长自旋波，其波矢达到 105 rad/cm 量级，已进入交换相互作用主导的区域，远超传统光激发所能实现的范围，表现出更高的群速度和更优的传播特性。此外，通过改变光栅周期或调节入射光参数，该方法还可以实现对不同波长自旋波的选择性激发。该工作首次实现了通过光学手段在亚衍射尺度上构造符号变化的逆法拉第效应分布，突破了传统光激发自旋动力学的空间限制，并将光诱导磁作用的空间尺度推进至亚微米范围。这一研究不仅为理解光-自旋耦合提供了新的物理机制，也为发展纳米尺度、高频率的光控自旋器件提供了重要思路。相关内容发表于《Physical Review Letters》上。（侯玥盈）



文章链接: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/d7g3-qv99>

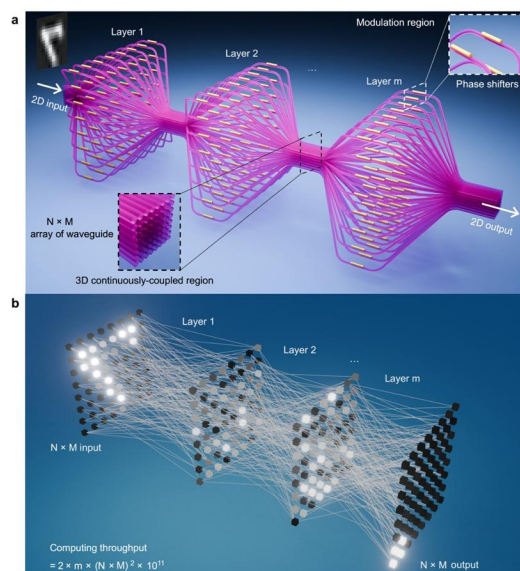
2、可编程三维光子神经网络芯片

随着人工智能任务规模与复杂度的持续提升，传统基于微电子的计算架构在功耗、带宽与并行能力方面逐渐逼近瓶颈，促使新型计算范式的探索不断加速。光子计算因其在波长、偏振与时间维度上的天然并行性，被认为能够突破现有电子体系的性能限制。然而，现有集成光子神经网络多依赖二维平面结构，其器件尺寸随网络规模呈平方增长，同时受限于单维输入接口，难以高效处理二维甚至更高维数据，导致空间并行能力受限。尽管自由空间光学系统能够利用三维光场实现大规模并行处理，但其体积庞大、对准要求严苛且难以实现精细调控，限制了集成化应用。因此，在芯片尺度上实现兼具三维互连、高密度集成与可编程能力的光子神经网络，成为推动光子计算迈向实用化的重要挑战。

近日，华中科技大学的张新亮教授、董建绩教授和上海交通大学的唐豪教授、徐晓芸助理研究员联合团队，提出了一种基于灯笼形可编程多层光子网络（LAMP）的三维光子神经网络芯片，通过体积化波导互连结构实现二维信息的原生并行处理。该架构在传播方向上级联多个功能层，每一层由三维连续耦合区域与相位调制单元交替构成，使光场在多路径干涉中完成通道间的混合与权重调控，从而实现类神经网络的矩阵运算。相较于传统二维光子网络，其三维互连方式有效突破了平面结构的尺度限制，使通道密度随网络规模呈线性扩展，显著提升了计算吞吐能力。实验中构建的八层 8×8 通道系统在理论上实现超过 6000 TOPS 的计算

能力，并在手写数字识别与光学图像生成任务中分别获得约 93% 的分类准确率和 94% 的重构保真度，验证了其在复杂光学推理任务中的有效性。同时，该系统支持片上可编程调控与原生二维输入输出，避免了数据串行化带来的效率损失，为高维信息处理提供了新的实现路径。该研究展示了一种融合三维空间并行性与可编程控制能力的光子计算架构，为构建高性能、可扩展的光子智能处理器提供了重要技术基础。

该研究发表于《Nature Communications》。（刘梦洋）



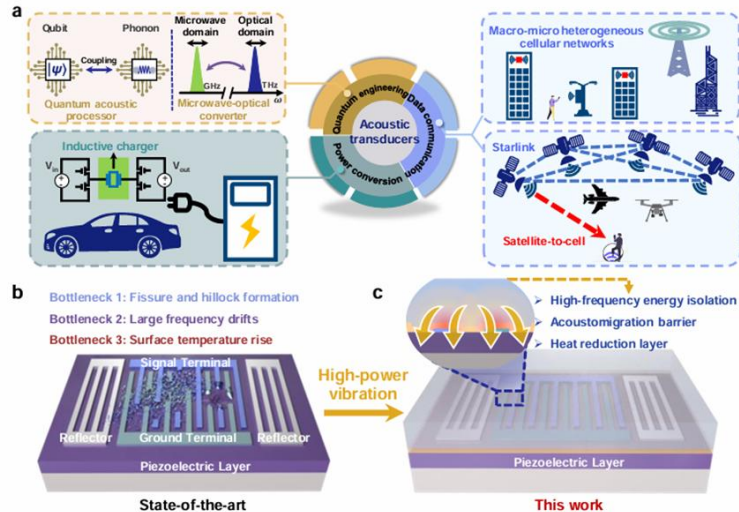
文章链接：<https://doi.org/10.1038/s41467-026-72316-9>

3、抑制声致迁移与温升以实现高功率稳健声学器件

声学作为一种新兴技术平台，已广泛应用于量子工程、无线通信和能量传输等领域。声波器件能够在芯片尺度内高效约束 GHz 频机械能，支持量子信息处理、射频通信及高功率链路等关键应用。然而，高能量密度同时带来严重热不稳定问题，易引发热失控和器件失效。相比体声波器件，表面声波（SAW）器件具有更好的集成性和应用灵活性，但其功率提升受限于多种机制，包括声致迁移、热弹性失稳、机械应力积累及电迁移等，这些效应会导致电极迁移、频率漂移及结构损伤。现有器件在高功率下还存在散热效率低的问题，主要源于压电层导热性能有限。为实现高功率稳定运行，需要通过结构与材料协同设计，抑制缺陷形成、增强多方向散热，并引入温度补偿机制，从而突破传统声学器件的性能瓶颈。

近日，香港科技大学杨岩松教授团队，提出分层声波（LAW）结构，由压电腔与 SiO₂ 隔离层夹置于高声速基底与准无限硅覆盖层之间，通过电-热-力协同设计实现性能优化。SiO₂ 层提供电隔离并缓解界面应力，上覆厚硅层同时承担应力重分布、热扩散及热膨胀补偿三重功能，从而在不降低机电耦合的情况下显著提升温度稳定性与散热能力。该结构通过边界工程实现声能约束与多方向散热，避免传统多层结构的性能折衷。在器件级测试中，LAW 器件温升降低约 70%，功率密度阈值提升至 45.61 dBm/mm²（约提高 12.7 倍），并在低温下进一步提升至 49.45 dBm/mm²。该工作实现了声学器件从小信号向大信号工作的突破，并为高功率声学器件设计提供了通用范式。

相关工作发表在《Nature Communications》上。（刘帅）



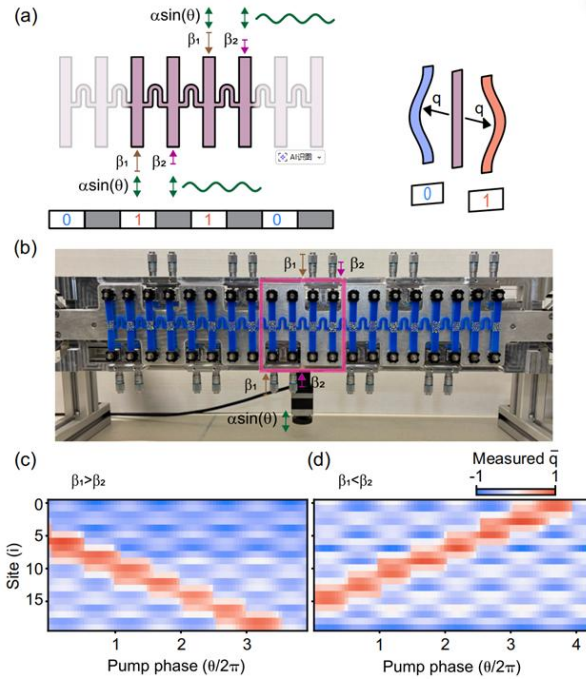
文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-72102-7>

4、采用拓扑边界棘轮机制的赛道计算系统

存储与计算的分离，即所谓的冯·诺依曼瓶颈，是现代计算机架构中的一个主要低效来源。据估计，在当代人工智能训练中，这一瓶颈可能占据高达 90% 的能耗成本。为克服这一限制，人们致力于发展将存储与计算相结合的新型器件，其中赛道式存储器是重要方向之一。在这类器件中，信息通常被编码在磁畴或斯格明子中，并可通过注入电流或外加场进行输运和操控。然而，对于中性、非磁性系统而言，这种与外场直接耦合的机制并不存在。拓扑泵浦虽然为可控信息输运提供了一种思路，但传统拓扑泵通常输运的是线性激发，而这类激发往往寿命较短，难以承担非易失信息存储的功能。因此，如何在中性系统中实现对持久存储信息的可控输运，仍是一个亟待解决的问题。

近日，荷兰阿姆斯特丹 AMOLF 研究所 Marc Serra-Garcia 教授与德国康斯坦茨大学 Oded Zilberberg 教授团队在弹性超材料中实验实现了一种基于拓扑边界棘轮机制的赛道计算系统。该系统将数字信息编码在弹性梁的双稳态屈曲畴中，并通过外部循环加载实现量子化的信息传输。其物理机制源于拓扑边界模：相邻屈曲畴对应于 Bogoliubov 激发的不同拓扑泵，其界面处因此出现局域的拓扑边界模式。随着循环加载的进行，瞬间压力会使这些边界模式发生软化并最终失稳，从而驱动畴壁以离散步长向前移动。进一步，研究团队证明，信息传播方向可以通过调节屈曲梁的机械约束实现反转，并基于该机制数值展示了由畴壁运动构成的弹性逻辑电路。该体系的核心可由具有低阶非线性的紧束缚模型描述，因此不仅为中性系统中的赛道式存储提供了一种新的实验路径，也为机械计算、零功耗传感以及非线性拓扑信息处理提供了新的设计思路。

相关内容发表于《PHYSICAL REVIEW LETTERS》上。（金梦成）



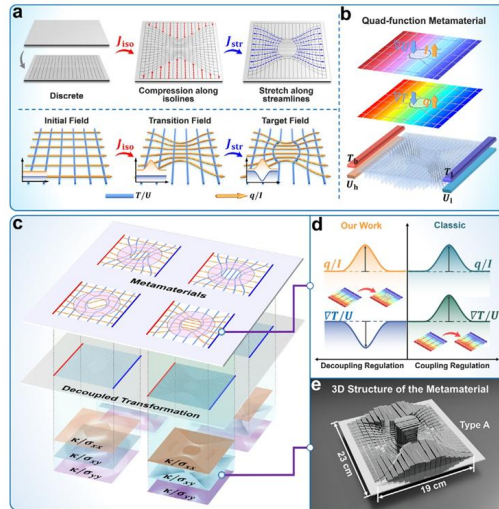
文章链接：<https://doi.org/10.1103/jw9p-s3kk>

5、用于多场解耦调控的可编程电热四功能超材料

多功能超材料近年来成为调控多物理场行为的重要平台，其通过人工结构设计实现对电磁、声学及热传导等过程的精细操控，在隐身、能量管理及信息处理等领域展现出广泛前景。然而，当这一理念扩展至电-热耦合系统时，问题变得更加复杂：电流-电压与温度-热流之间的内禀耦合，使得不同物理场往往呈现协同而非独立响应，严重限制了多功能调控能力。现有研究虽通过各向异性结构、层状设计或可调单元在一定程度上实现局域调控，但通常只能兼顾一至两种功能，且不同物理场之间仍存在性能折衷。如何在统一结构中实现多场的独立调控与协同设计，成为推动多功能超材料进一步发展的关键科学问题。

近日，中国科学技术大学的赵刚教授、何立群副教授，浙江大学的李鹰研究员联合团队，提出一种基于场线引导的坐标变换策略，构建了电热四功能超材料，实现对电压、电流、温度与热流的同时调控。其核心思想是将预设的场线轨迹映射为具体的材料与几何分布，通过沿流线方向与等势（等温）方向的两步变换，实现电场与热场响应的解耦。在这一框架下，单一结构可同时实现隐身、能量汇聚及场旋转等多种功能，并通过边界条件旋转实现功能切换，而无需改变内部结构。实验上，研究通过金属 3D 打印制备多种器件原型，系统验证了其在电学与热学中的一致表现，且结果与理论和数值模拟高度吻合。此外，该方法基于几何结构而非特定材料参数，具有良好的普适性与可扩展性，可推广至其他满足拉普拉斯型方程的扩散或波动系统，如声学与力学领域，从而为多物理场统一调控提供了一种通用设计范式。

该研究发表于《Advanced Materials》。（刘梦洋）

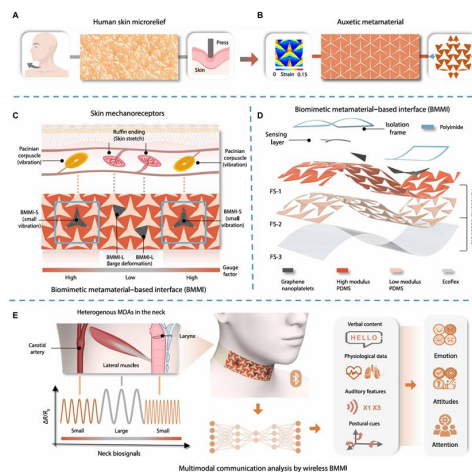


文章链接: <https://doi.org/10.1002/adma.202522718>

6、一种用于解析复杂皮肤机械信号的仿生超材料界面

人体皮肤作为一种动态的生物力学界面，能够反映与体内生理变化相关的广泛机械形变。这些形变在皮肤表面呈现出时空分布特征，编码了丰富的生物信息，使人们能够以非侵入方式获取反映生理状态与行为的关键指标。近年来的研究主要集中于对单一类型生物力学形变的捕捉与分析，例如通过跟踪手部运动实现快速手势识别，或通过检测微弱的动脉压力变化评估心脏功能。然而，这些方法忽视了皮肤相邻区域中机械信号的异质性及其空间分布特征，从而限制了对皮肤活动所蕴含的完整生理信息的解码能力，也阻碍了对人体动态行为及肢体语言的全面理解与自动解析。

近日，剑桥大学 Luigi G. Occhipinti 团队，将异质的机械信号集合定义为机械皮肤活动（MDA），并提出了一种仿生超材料界面（BMMI）。该界面基于工程化的负泊松比超材料基底，能够再现天然皮肤的微观纹理结构及机械感受器分布。BMMI 能够从相邻皮肤区域中选择性地捕获多种 MDA 信号，同时实现信号增强与噪声抑制，并可通过简单调节以适应不同应用场景。结合定制算法，无线 BMMI 设备能够对 MDA 进行准确且稳健的解码，从而支持多模态通信接口，并在健康监测与人机交互等领域展现出广阔的应用前景。（刘帅）相关工作发表在《Science Advances》上。

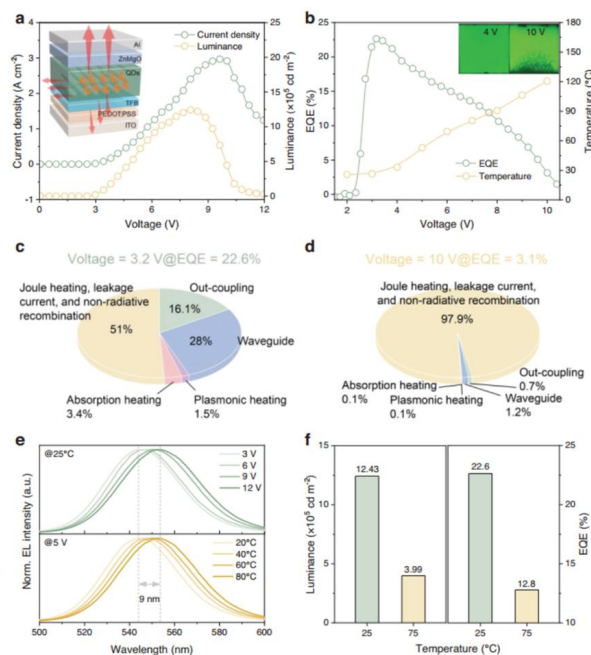


7、通过有效散热实现超亮、高效、稳定的绿色量子点发光二极管

随着新型显示技术和高端照明产业的快速发展,量子点发光二极管(QD-LED)因其色域宽、色纯度高、亮度高、功耗低等优势,被认为是下一代显示器件的重要发展方向。尤其是绿色QD-LED,作为全彩显示体系中的核心组成部分,其性能直接决定着显示系统的色彩表现和稳定性。然而,尽管近年来量子点材料本身的发光效率不断提升,器件在高电压驱动下依然普遍面临效率衰减快、亮度受限和寿命短等关键瓶颈。研究发现,电驱动过程中不可避免产生的热积累是导致器件失效的核心因素。持续升高的工作温度不仅会引发发光效率下降、光谱红移和效率 roll-off,还会造成局域过热甚至器件烧毁。传统研究多将热失效归因于表面配体不稳定,但缺乏系统性的直接证据来揭示热量究竟如何影响载流子输运与复合过程。因此,深入理解热诱导退化机制,并发展高效散热策略,实现高亮度、高效率与长寿命兼具的QD-LED器件,已成为国际显示领域的重要科学问题。

针对这一关键难题,河南大学张枫娟副教授、申怀彬教授联合中国科学技术大学樊逢佳教授等团队,系统揭示了热积累导致QD-LED性能退化的本质机制:器件在高压驱动下产生大量焦耳热和非辐射复合热,局部温度可升高至150℃,促使量子点中载流子发生离域化,并在非复合区域大量积累空穴和电子,最终导致可用于辐射复合的载流子密度下降,限制亮度提升并引发器件失效。在此基础上,团队首次提出采用高热导率碳化硅(SiC)替代传统玻璃作为封装盖板,通过构建高效散热通道显著降低器件热积累。实验表明,SiC封装后器件表面温度由玻璃封装下的131.5℃大幅降低至56.9℃,有效抑制热诱导退化。最终成功制备出创纪录性能的绿色QD-LED:最大亮度达到203.6万 cd m^{-2} ,外量子效率(EQE)达到32.1%,在1000 cd m^{-2} 初始亮度下T95工作寿命超过32000小时,三项指标均刷新绿色QD-LED领域纪录。该工作不仅为高性能量子点发光器件提供了全新的热管理策略,也为其他高热负载电致发光器件的稳定性提升提供了重要理论指导和技术路径。

相关内容发表于《Advanced Materials》上。(张琰炯)

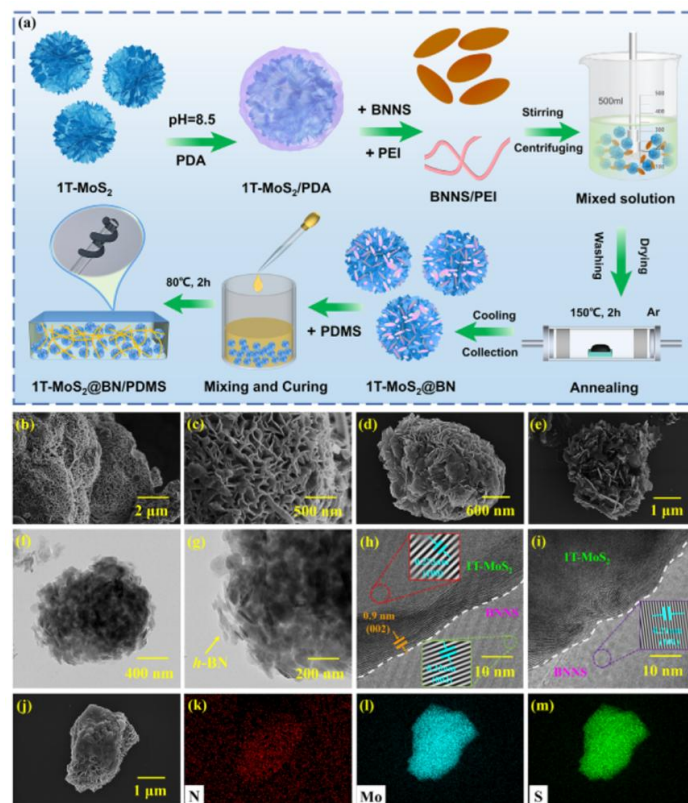


文章链接: <https://doi.org/10.1002/adma.202521047>

8、受银耳启发的褶皱 1T-MoS₂@BN 实现高效热管理和微波吸收

随着 5G 通信、高频芯片和高功率电子器件的快速发展，电子封装正面临前所未有的热管理与电磁兼容双重挑战。尤其是在 5G Wi-Fi 核心工作频段（5.15 - 5.85 GHz）内，器件高频运行带来的电磁串扰日益严重，不仅导致信号衰减和器件失效，也使系统稳定性和可靠性受到严重影响。传统电磁波吸收材料虽然能够有效衰减电磁污染，但往往因增强介电损耗而引发更强的声子散射，导致热传导性能显著下降，形成“吸波增强—导热削弱”的天然矛盾。尤其在多层集成电路封装中，传统“TIM1 - 金属屏蔽层 - TIM2”的结构不仅界面热阻大、散热效率低，还容易因金属反射引发二次电磁干扰。因此，如何在单一材料体系中同时实现高效导热与强电磁波吸收，突破热运输与电磁损耗之间的性能权衡，已成为先进电子封装领域的重要科学问题和关键技术瓶颈。

针对这一难题，山东大学杨家跃教授团队联合南洋理工大学 Roland Yingjie Tay 助理教授等团队，受银耳褶皱形貌启发，创新设计了一种皱褶纳米花状 1T-MoS₂@BN 异质结构，通过静电自组装实现 BN 纳米片与金属相 1T-MoS₂ 的紧密耦合，构建多尺度异质界面网络。其中，1T-MoS₂ 纳米花作为三维骨架，不仅提供丰富缺陷位点和极化中心，增强界面极化与多重散射效应，还作为局域电磁能耗散中心提升导电损耗；而 BN 纳米片则依托其高本征热导率形成连续声子传输通道，显著降低界面热阻，实现快速热扩散。实验结果表明，在 55 vol% 填料含量下，热管理优先组分（1:1.5）实现高达 $5.54\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$ 的热导率，而吸波优先组分（1.5:1）则获得 -48.8 dB 的最小反射损耗和 3.1 GHz 有效吸收带宽。近场测试显示，在 5 - 6 GHz 频段其屏蔽效率超过 20 dB，同时显著降低芯片结温。更重要的是，该材料可直接替代传统多层封装中的 TIM 和金属屏蔽层，实现封装结构简化、厚度减薄及热管理效率提升。该研究为下一代高集成、高频电子器件提供了兼具热管理与电磁防护的一体化新策略，也为多功能封装材料设计开辟了新的方向。相关内容发表于《Advanced Functional Materials》上。（张琰炯）



文章链接: <https://doi.org/10.1002/adfm.75355>
 (来源: 两江科技评论)