

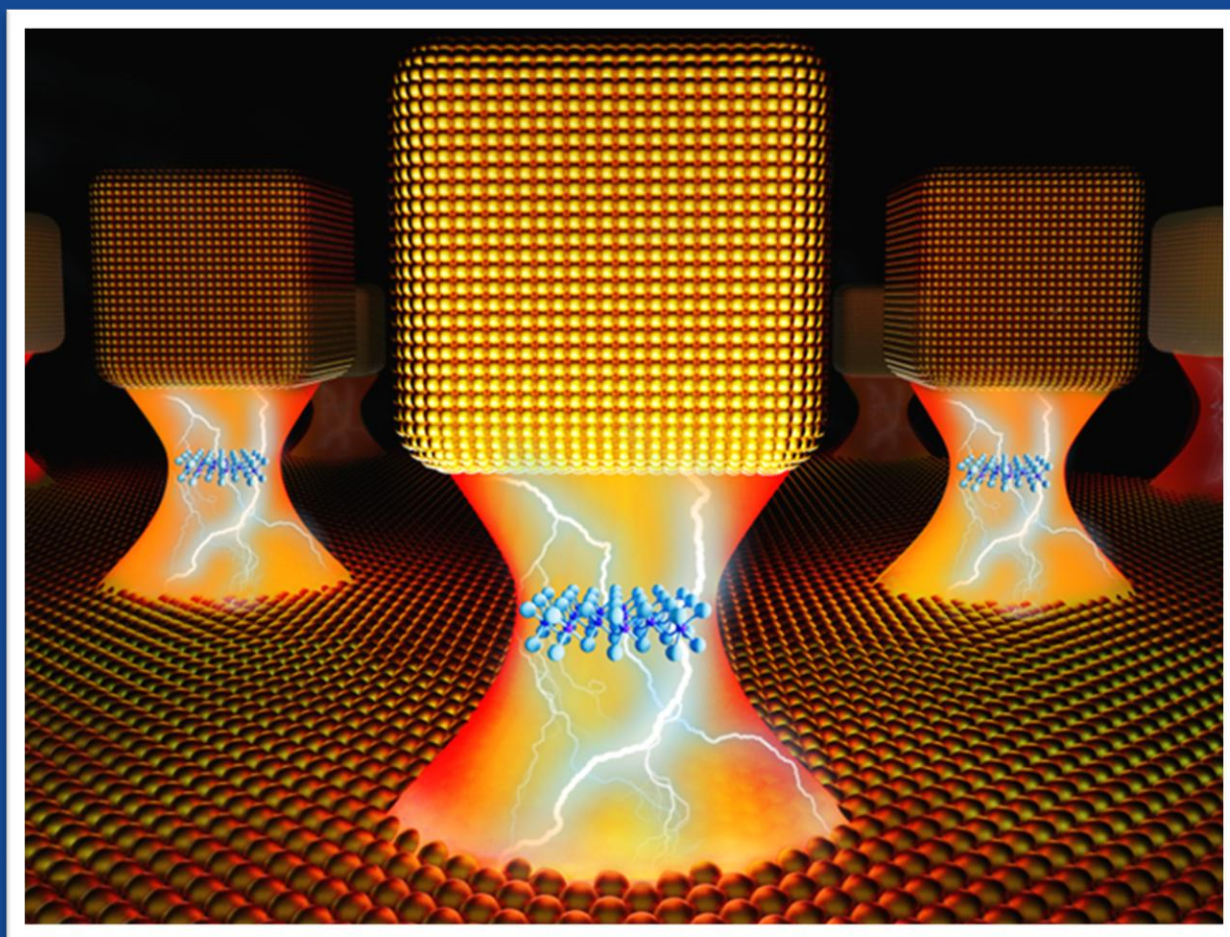
简报

EPISKL

State Key Laboratory of Extreme Photonics and Instrumentation



2025年第2期
总第55期
2025年7月



上图：光电融合等离子激元纳腔

极端光学技术与仪器全国重点实验室

目录

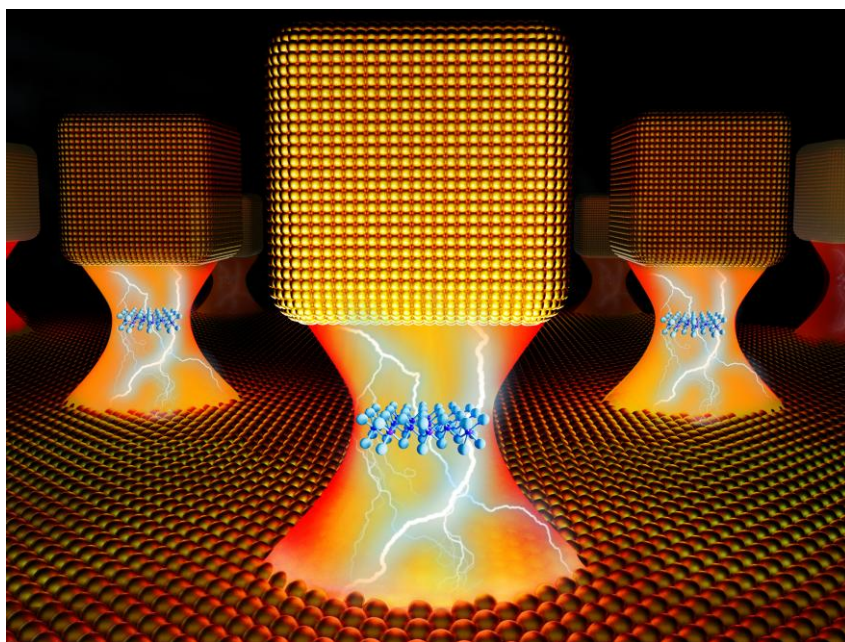
科研进展 ：王攀、童利民 光电融合等离激元纳腔.....	1
科研进展 ：刘峰 莫尔腔量子电动力学.....	3
科研进展 ：刘旭、匡翠方 基于空域-频域联合优化的图像干涉结构光照明显微成像术.....	4
科研进展 ：刘旭、匡翠方 基于圆采样函数与叠加瞳移矩阵的部分相干成像空间像快速计算方法.....	5
科研进展 ：刘东 通过各向异性空间相干工程将斐索干涉仪的中频噪声基底突破至亚纳米量级.....	6
科研进展 ：徐之海、冯华君、李奇 国际首个基于旋转衍射的高光谱相机随“天问二号”成功发射.....	7
科研进展 ：戴道铤 超紧凑单片全集成片上光谱仪.....	8
科研进展 ：戴道铤 片上可重构矢量结构光合成.....	9
科研进展 ：戴道铤 面向下一代 PON 系统的低损耗和绝热光发射芯片.....	10
科研进展 ：戴道铤 可编程复数矩阵向量计算处理器.....	11
科研进展 ：戴道铤 多模硅光延迟线：突破延迟密度极限.....	12
科研进展 ：刘旭、崔玉栋 接近噪声极限的实时正交光谱干涉技术.....	13
科研进展 ：崔玉栋 超快光学时域变换技术.....	14
科研进展 ：杨怡豪、陈红胜 光子三维反铁磁拓扑绝缘体.....	15
科研进展 ：林时胜 用水连接量子点的光电探测器.....	16
科研进展 ：林晓、陈红胜 基于光学增益的逆切伦科夫辐射.....	17
科研进展 ：杨宗银 用塑料打造全球最便宜光谱仪.....	18
实验室短讯 ：实验室与波长光电共建联合实验室.....	19
实验室短讯 ：实验室携手永新光学开展“光联未来·昭启星河”科普与科技助学活动..	20
学术交流 ：实验室成功举办 3 期极端光学技术系列论坛讲座.....	21



科研进展 光电融合等离子激元纳腔

近年来,随着纳米加工制备技术的快速发展,研究者们基于金属表面等离子激元或介电纳米结构已经成功将光场局域能力推进到原子尺度新极限,具有极小模式体积、极高局域光学态密度和极大光场梯度等独特优势,极大地增强了原子尺度光与物质相互作用的强度和效率。为了进一步推动相关基础前沿研究以及实现功能器件应用,亟需发展该尺度下光与物质相互作用的主动调控能力。在众多调控手段中,电调控方法具有结构简单、响应速度快、易于集成等优点,有望通过光电协同作用产生更丰富的物理效应以及发展新型纳米光电子器件应用。然而,到目前为止,在极端光场局域结构中同时融合电学功能仍存在巨大挑战。

针对该领域难题,王攀、童利民教授团队基于单晶镜上纳米立方(nanocube-on-mirror, NCoM)型等离子激元纳腔(具有极端光场局域/增强能力)提出并实现了新型光电融合等离子激元纳腔,利用纳米间隙内极端局域光场、超强电场(或超快隧穿电子)和二维半导体之间的强相互作用成功演示了等离子激元-激子强耦合的电调控(图1)以及激子的电致变色荧光(图2)。具体地,将单层 WSe_2 集成到纳腔间隙内,实现了纳腔等离子激元模式与 WSe_2 中激子之间的强耦合,真空拉比劈裂达108 meV。进一步地,当在间隙施加2.5V偏置电压时(间隙内静电场高达0.5 V/nm),通过控制 WSe_2 中激子的密度成功实现了对等离子激元-激子强耦合的电调控,真空拉比劈裂从108 meV减小到102 meV,该调控展现出优异的可逆性和可重复性。随后,减小间隙厚度并将单层 WS_2 集成到间隙内,利用量子隧穿效应可以将电子和空穴高效地注入到 WS_2 中形成激子,成功实现了单层 WS_2 的电致荧光辐射。得益于纳腔的Purcell增强效应,其外量子效率高达3.5%。另外,通过改变偏压极性以控制电子和空穴的注入效率,实现了 WS_2 中激子态的选择性激发(带电激子或中性激子)。此外,得益于纳腔优异的结构质量和高度均一性,分布在约 $2100\mu\text{m}^2$ 区域内的近千个功能化纳腔中的激子荧光可以同时被激发,整体发光强度分布均匀,并在长时间工作过程中保持稳定,几乎无明显衰减。



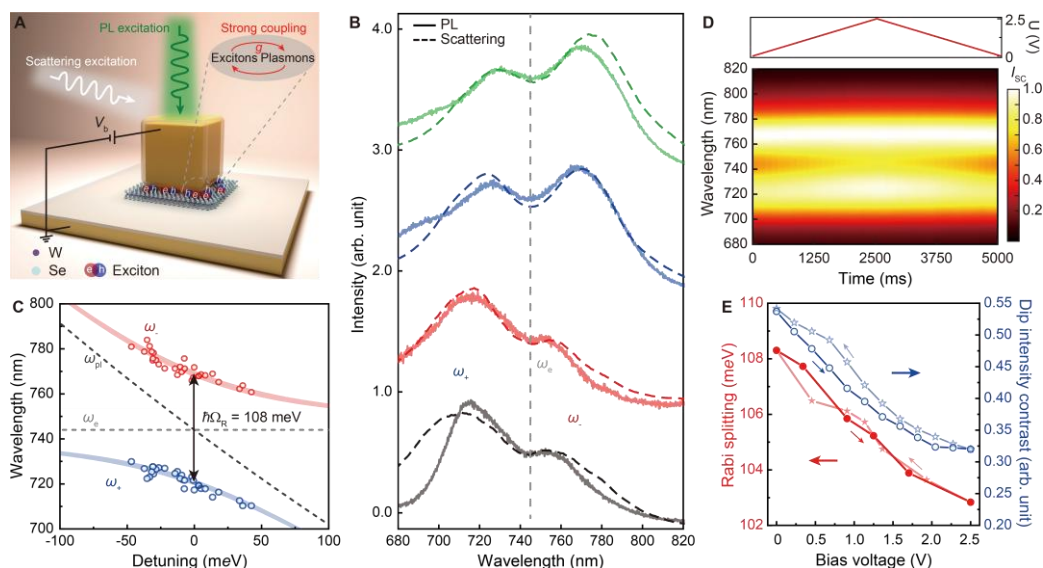


图 1 等离子激元-激子强耦合及其电调控

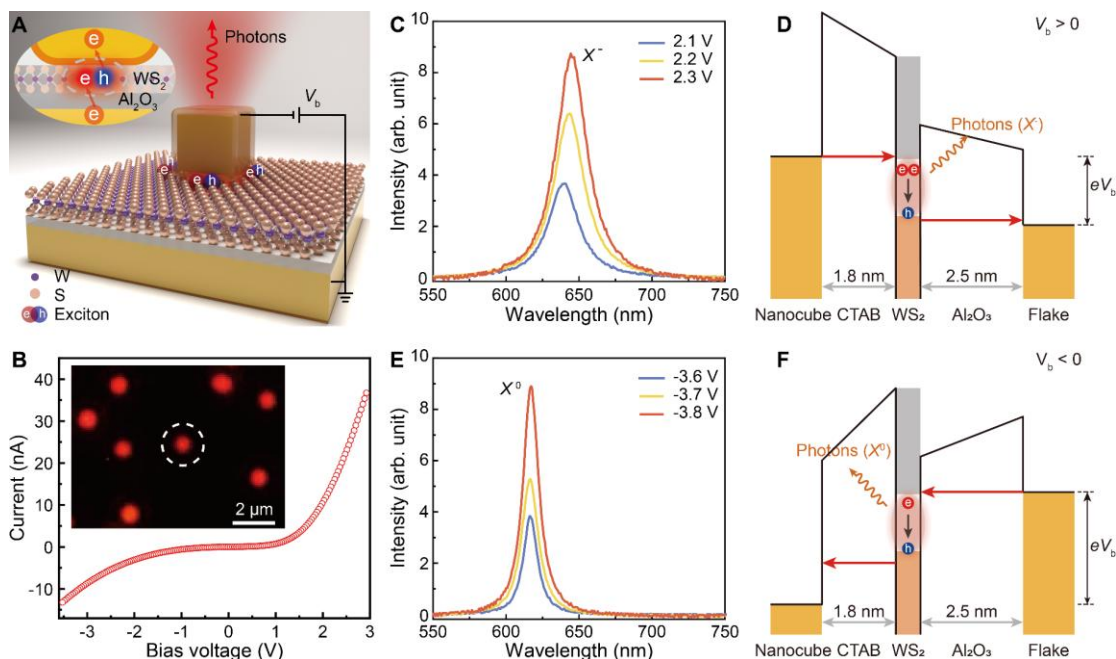
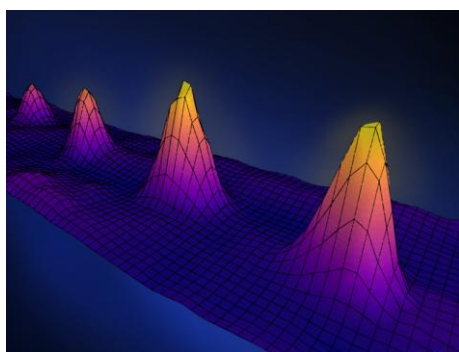


图 2 光电融合等离子激元纳腔（功能化单层 WS₂）的电致变色荧光

该研究将等离子激元前沿研究推进到纳米光电子领域，为极端纳米尺度光学新现象、新效应研究提供新机遇，也为等离子激元器件小型化、集成化提供新思路。相关研究成果于 2025 年 5 月 28 日发表在《Science Advances》杂志上【Junsheng Zheng, *et al.* Active control of excitonic strong coupling and electroluminescence in electrically driven plasmonic nanocavities, *Science Advances* **11**, eadt9808 (2025), DOI: [10.1126/sciadv.adt9808](https://doi.org/10.1126/sciadv.adt9808)】。论文第一作者为博士生郑钧升，共同通讯作者为王攀研究员、童利民教授和英国伦敦国王学院 Anatoly Zayats 教授，合作者包括英国伦敦国王学院 Alexey Krasavin 博士、光电学院李林军研究员、郭欣教授、唐龙华教授和戴道铎教授等。该工作得到了国家自然科学基金、科技部重点研发计划、浙江省自然科学基金和新基石研究员项目等支持。

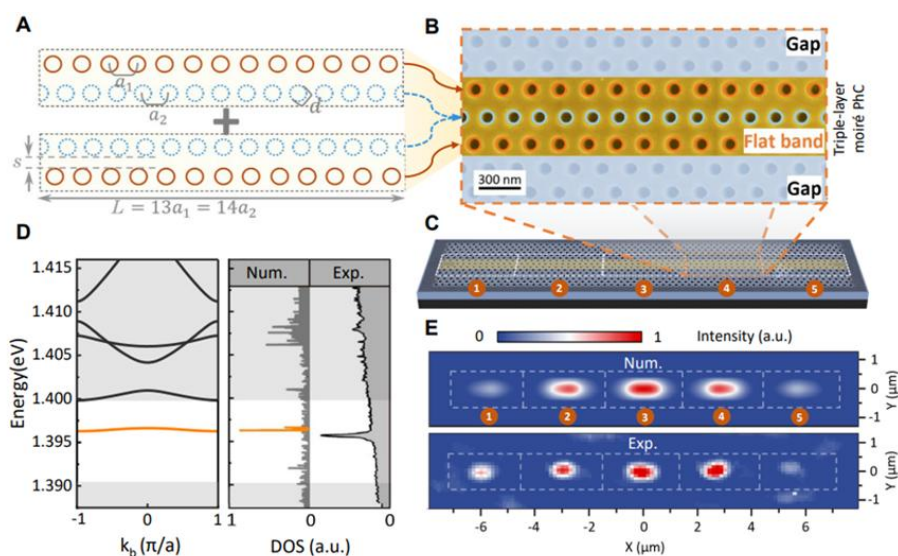
科研进展 莫尔腔量子电动力学

构建集成化量子光源与量子互联网节点，需要高效率、稳定性和空间容忍度兼备的单光子源。半导体量子点因其发射波长可调、单光子纯度高等优点，一直被视为理想的光量子发射器。然而，传统微腔（如光子晶体缺陷腔或法布里-珀罗腔）通过 Purcell 效应提升发射效率，却受限于极小的模式体积与高品质因子难以兼顾：一方面，量子点需精准定位于腔场峰值，制备难度大且成品率低；另一方面，高 Q 腔对加工误差极为敏感，空间容忍度小，难以实现大规模阵列化。



针对上述瓶颈，刘峰课题组与应磊课题组合作，提出并实验验证了一种三层莫尔光子晶体微腔结构，通过两套不同晶格常数叠加产生平带色散，该结构在平带处光子态密度趋近无限高，且局域态密度高度均匀，从根本上突破“高 Q 因子+大模式体积”矛盾。团队将 InGaAs 量子点嵌入该莫尔腔，通过施加磁场调节量子点发射波长与腔模共振，成功实现单光子纯度 0.93 ± 0.09 的量子光源，实现了辐射寿命从 42 ± 1 ps 到 1692 ± 7 ps 的超 40 倍动态调控。

同时，该结构可直接在硅衬底上通过分子束外延生长 III-V 族量子点与莫尔光子晶体，为通信波段单光子源与硅光子平台的大规模兼容奠定基础。



研究成果发表于《Science Advances》【Yu-Tong Wang, Qi-Hang Ye, Jun-Yong Yan *et al.*, Moiré cavity quantum electrodynamics. *Sci. Adv.* 11, eadv8115 (2025). DOI: [10.1126/sciadv.adv8115](https://doi.org/10.1126/sciadv.adv8115)】，该工作的第一作者为浙江大学信电学院博士生王雨桐、物理学院博士生叶启航和信电学院博士生鄢军勇；通讯作者为金潮渊研究员、应磊研究员和刘峰研究员。本工作由浙江大学、伦敦大学学院、天津大学、中科院半导体所、浙江师范大学及安徽大学合作完成，得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金、浙江省自然科学基金及英国工程与物理科学研究委员会等多项科研基金资助。

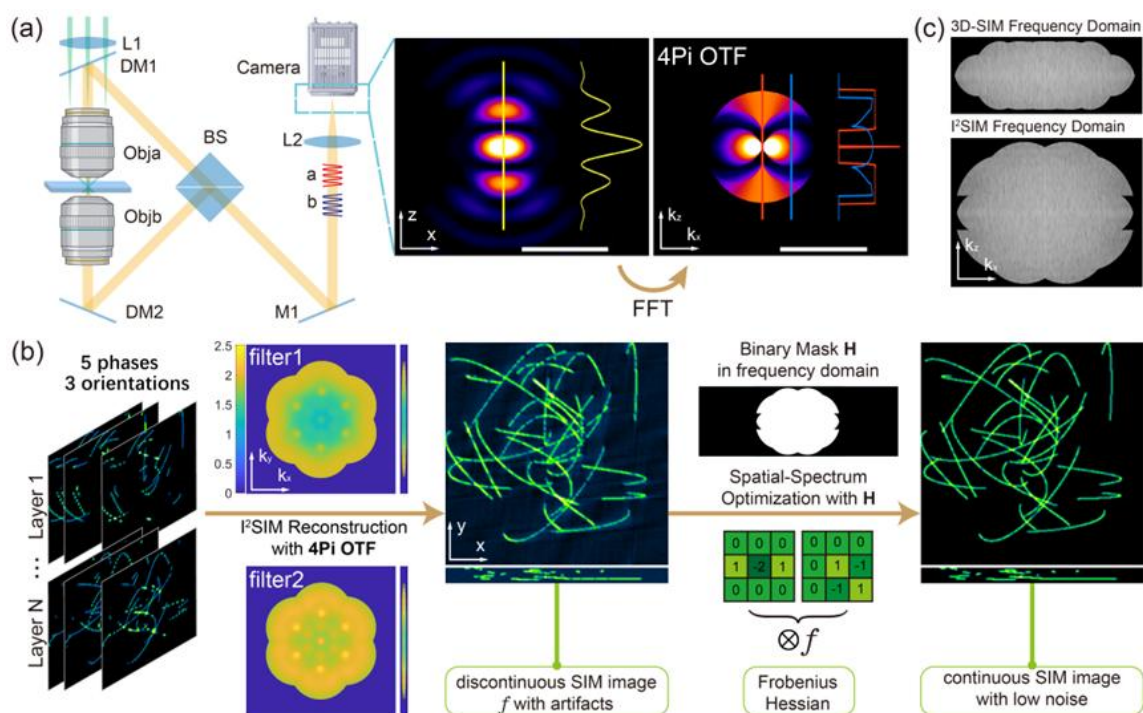
科研进展

基于空域-频域联合优化的图像干涉结构光照明显微成像术

荧光显微镜是细胞与亚细胞结构研究的重要工具，但传统 3D 结构光照明显微成像技术 (3D-SIM) 在解析细胞内轴向结构的时候，受到光学传递函数 (OTF) 扩展不足的影响，轴向分辨率只能达到 300 nm，这限制了对亚细胞精细结构组成的准确测量。

为了解决这一问题，刘旭教授、匡翠方教授团队提出了基于空域-频域联合优化的图像干涉结构光照明显微成像术 (I²SIM)。该方法利用 4Pi 结构同时收集两个物镜的荧光信号，通过荧光干涉效应扩展系统 OTF，使用 3D-SIM 照明实现 100 nm 的横向分辨率和 120 nm 的轴向分辨率，达到近各向同性三维重建；同时，在重建算法上采用空域-频域联合优化算法，频域上引入滤波器抑制边带导致的旁瓣伪影，空域上使用 Frobenius-Hessian 和 Sparse 作为正则项进行优化求解，降低了噪声并且提高样品连续性。仿真结果与生物成像结果均表明，I²SIM 能准确解析如微管、线粒体外膜等亚细胞结构的三维分布，生成近各向同性的立体重建效果。该技术克服了传统 3D-SIM 显微成像技术在轴向性能上的不足，为高精度细胞超分辨成像提供了新方案。同时，通过加快轴向扫描速度并解决细胞活性问题，未来有望推广至活细胞成像及对更多生物结构组成的解析与研究，同时也为探究细胞内分子相互作用提供了技术支持。

研究结果发表在《LASER&PHOTONICS REVIEWS》期刊上【E. He, Y. Sun, H. Zhu, X. Yang, L. Yin, Y. Han, C. Kuang, X. Liu, Boosting High-Fidelity Isotropic Super-Resolution via Image Interference Structured Illumination Microscopy with Spatial-Spectral Optimization. *Laser Photonics Rev* 2025, 2500178. DOI: [10.1002/lpor.202500178](https://doi.org/10.1002/lpor.202500178)】。



(a)(左)系统示意图,(中)4Pi PSF,(右)4Pi OTF; (b)重建算法流程; (c)3D-SIM 和 I²SIM 重建 OTF 对比

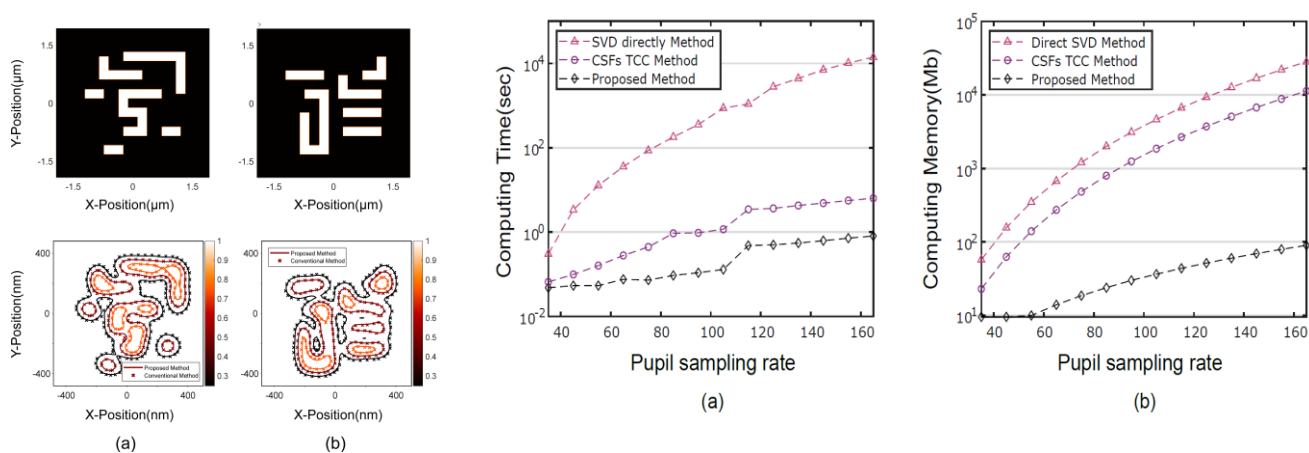
科研进展

基于圆采样函数与叠加瞳移矩阵的部分相干成像空间像快速计算方法

相干系统求和算法被广泛应用于计算部分相干系统的空间像。然而，当处理霍普金斯模型的大型传输交叉系数矩阵时，由于需要对该矩阵进行奇异值分解得到相干系统求和算法的核函数，该过程面临着巨大的内存和计算工作量挑战。

为解决这一难题，刘旭教授、匡翠方教授团队提出了一种快速计算方法，通过引入圆采样函数对叠加瞳移矩阵进行分解，从而获得维度显著降低的交叉传输系数投影矩阵。通过对该投影矩阵进行奇异值分解，并与空间域圆采样函数结合，可以得到与交叉传输系数矩阵奇异值分解结果等效的解析的相干系统核函数。这一创新方法避免了直接存储和计算大型交叉传输系数矩阵，大幅降低了计算工作量和内存消耗。同时，由于消除了离散傅里叶变换的需求，该方法缓解了采样率和范围限制，为其仿真的结果提供了更大的自由度。这种高效性和灵活性为光学和光子学领域的研究与应用开辟了新途径，有望推动部分相干显微系统成像和光刻仿真等领域的进步。

研究结果发表在《IEEE transactions on computational imaging》期刊上【Y. Zhao, Y. Xu, C. Kuang and X. Liu, A Analytical Kernel-Based Stacked Pupil Shift Matrix Decomposition Method for Partially Coherent Imaging, *IEEE Transactions on Computational Imaging*, vol. 11, pp. 779-789, 2025, DOI: [10.1109/TCL.2025.3568249](https://doi.org/10.1109/TCL.2025.3568249)】。



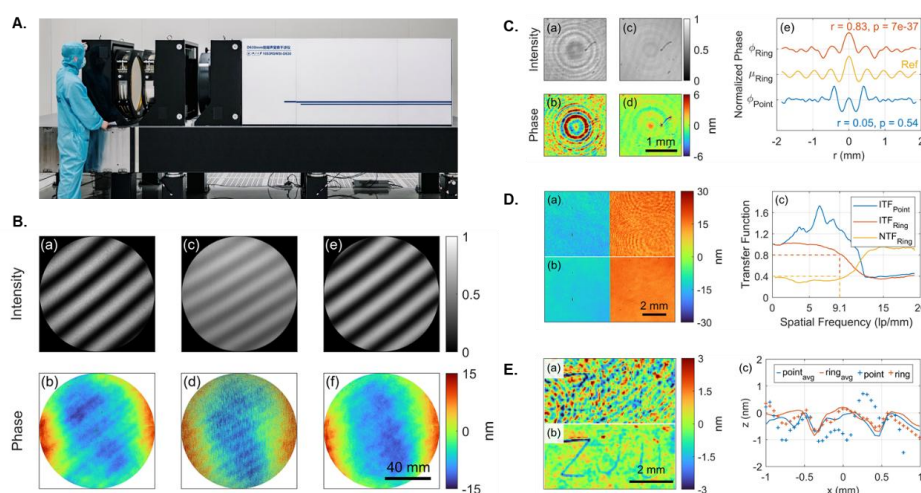
(左) 新旧方法空间像计算结果对比；(右) 新旧方法性能对比；

科研进展

通过各向异性空间相干工程将斐索干涉仪的中频噪声基底突破至亚纳米量级

大口径斐索干涉仪凭借其高精度、高通用性和高可靠性，被广泛用于惯性约束聚变(ICF)、极紫外光刻(EUVL)等大型极端光学系统中，承担着各类大口径、高精度光学元件表面面形和中频误差检测的重要任务。然而，斐索干涉仪通常使用高相干性的激光光源，激光通过光学元件表面灰尘、缺陷后会产生牛眼环状的相干噪声，从而降低了中频测量结果的可置信度，并影响了干涉仪仪器传递函数(ITF)的可靠性。扫描白光干涉等测量方法与高精度中频误差测量兼容，但其固有的小视场扫描方式限制了快速全孔径测量的可能性。传统的相干噪声抑制方法，例如时空平均和使用低相干光源等，在实现噪声抑制的同时会导致干涉信号对比度显著下降，无法获得有效的中频信噪比增益，真实中频测量能力仍有待进一步研究。

近期，浙江大学刘东教授团队提出了一种基于各向异性空间相干工程的干涉仪相干噪声抑制方法，成功将斐索干涉仪的中频噪声基底抑制到亚纳米量级。该研究中，团队建立了适用于干涉系统的三维空间相干模型，证明了具有各向异性空间相干函数的环形光源在斐索干涉测量中的优越性，并揭示了其特有的残余噪声模式。为了实现全空间频率下相干噪声抑制效果的定量评估，团队首次提出了噪声传递函数(NTF)工具，作为仪器传递函数(ITF)理论框架的重要补充。基于上述方法，团队研制的100 mm口径标准斐索干涉仪在最高9.1 cyc/mm的空间频率处实现了 $NTF < 0.4$ 和 $ITF > 0.8$ ，并成功检测到传统点光源干涉仪无法分辨的 $PV < 1$ nm的中频特征；630 mm口径近红外干涉仪实现了全口径 $ITF > 0.7 @ 0.8$ cyc/mm，空腔PSD1 < 0.3 nm，系统波前重复性(mean+2 σ)优于0.4 nm。该研究为大口径光学元件的中频误差检测提供了一种高精度、快速、全孔径的解决方案，同时有望进一步建立和完善以传递函数为核心的新型干涉仪评估体系，推动高分辨率、高精度干涉系统从设计到制造阶段的标准化。



研究成果发表在《Optics Letters》期刊上【X. Li, S. Peng, Z. Xu, *et al.*, Breaking the mid-spatial-frequency noise floor to sub-nanometer in Fizeau interferometry via anisotropic spatial-coherence engineering, *Opt. Lett.* 50, 4410, (2025). DOI: [10.1364/OL.567026](https://doi.org/10.1364/OL.567026)】, 论文第一作者为浙江大学光电学院博士生李欣明，通讯作者为浙江大学刘东教授。该研究得到了国家重点研发计划、极端光学技术与仪器全国重点实验室创新项目等基金支持。

科研进展

国际首个基于旋转衍射的高光谱相机随“天问二号”成功发射

实验室徐之海、冯华君、李奇教授团队近年来致力于基于光学衍射编码和计算光谱重建的快照式光谱获取方法研究，团队研制的基于旋转衍射的高光谱相机于2025年5月29日搭载在天问二号上，开启了对近地小行星2016HO3和主带彗星311P的科学探测之旅，这是国际上首次将该技术应用于深空探测重大任务。该高光谱相机在成像光学系统中加载了具有旋转衍射特性的微纳光学器件，实现了对不同窄带光谱的点扩散函数（PSF）衍射调制成像，因此可以通过快照式的成像方式，获取被摄目标的光谱混叠图像。依据光学编码机理和卷积神经网络构建光谱重建算法，在图像下传地面后对光谱混叠图像进行光谱重构处理，获取目标的光谱数据立方体。

该光谱相机重量仅0.76kg，在可见光到近红外谱段内（480-900nm）光谱分辨率优于10nm，具有快照式全局曝光成像能力，能够捕捉高速运动及动态变化目标的光谱图像。可望在天问二号探测小行星的任务过程中，精准捕捉小行星和彗星上可能存在的羽流喷射等动态现象的瞬时光谱特征，为小行星的矿物种类、含水量勘探及天体演化研究提供关键的科学数据。



旋转衍射的高光谱相机

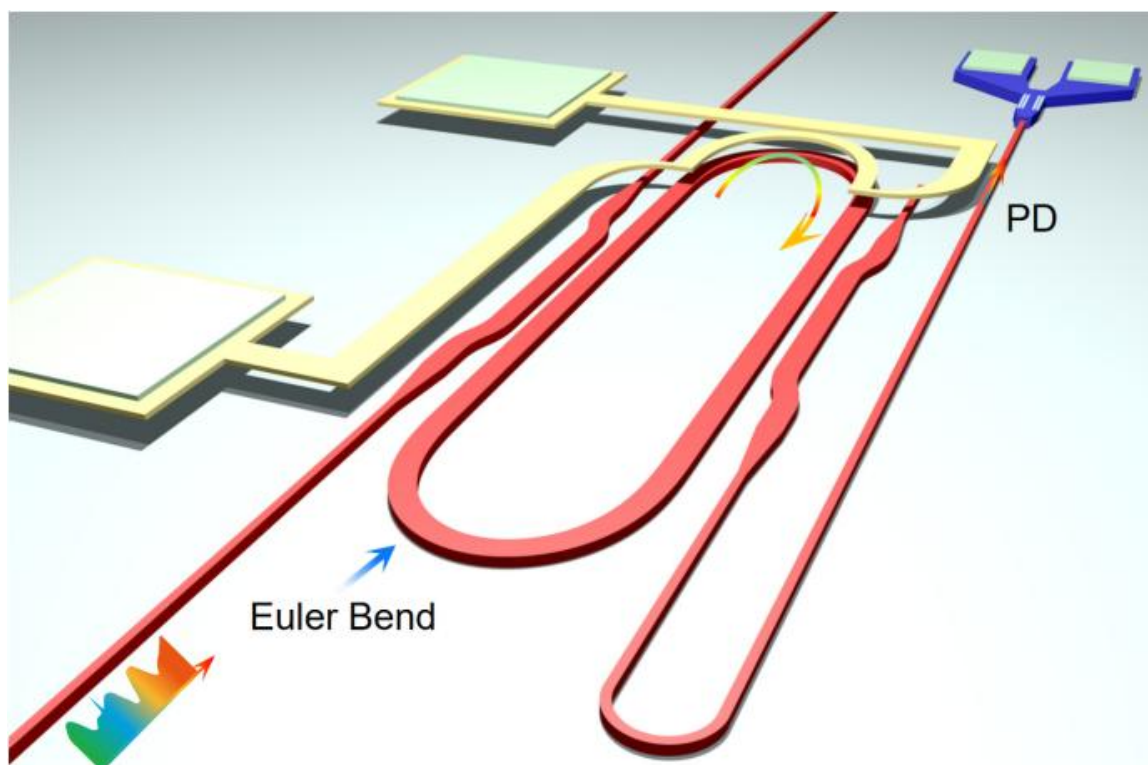
科研进展

超紧凑单片全集成片上光谱仪

光谱仪作为一种应用广泛的科学探测仪器，在药物分析、气体传感以及航空航天等领域的重要性日益凸显，然而传统光谱仪通常面临体积庞大、组件昂贵及功耗高等瓶颈。此外，光谱分辨率、光谱范围、系统尺寸作为光谱分析系统的关键指标，持续取得突破性进展。然而，要在极小尺寸下同时获得超高分辨率和大光谱范围仍面临诸多限制，亟待研究突破。

近日，戴道铤教授团队提出并实现了超紧凑单片集成单微环光谱芯片。该研究通过创新性结合单个微环的自由光谱范围 (FSR) 色散特性与热调谐谐振峰红移超过两倍 FSR 的方案，并借助重构算法，显著突破了传统 FSR 对工作窗口的限制，实现了在 66 nm 的宽工作窗口内高达 0.02 nm 的分辨率，其工作带宽是微环 FSR 的 15 倍以上。该方案采用标准硅光工艺，利用改进欧拉曲线设计实现高 Q 值微环，并单片集成锗硅光电探测器，在高性能与集成度方面展现出显著优势。由于其成本效益和便携性，该设备在开发低成本便携式传感模块方面显示出巨大潜力。

该成果发表于《Laser & Photonics Reviews》【Long Zhang, Shihan Hong, Xiaolin Yi, *et al.* Monolithically-Integrated Silicon Photonic Spectrometer with a High-Q Single-Microring, Laser Photonics Rev: 2401862, 2025, DOI: [10.1002/lpor.202401862](https://doi.org/10.1002/lpor.202401862)。】博士后张龙为第一作者，戴道铤教授为通讯作者。



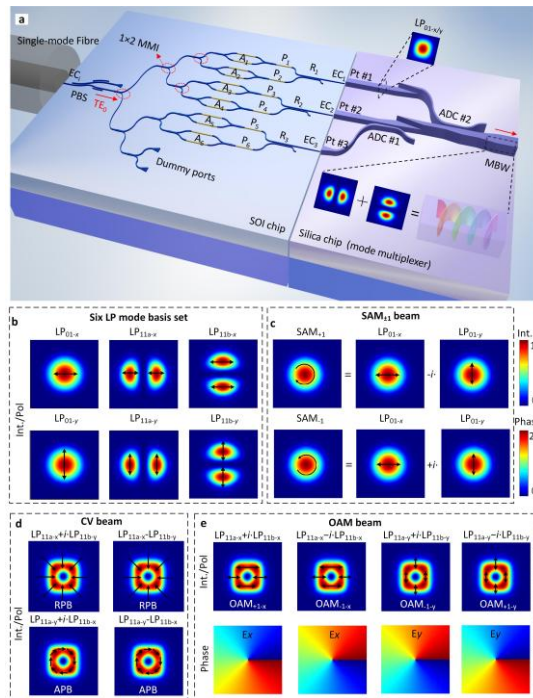
单片集成单微环光谱仪。

科研进展 片上可重构矢量结构光合成

结构光因其独特的强度、相位或偏振分布特性，展现出自旋角动量 (SAM) 与轨道角动量 (OAM) 的携带能力 —— 其中偏振态的旋转特性对应 SAM, 而螺旋相位波前则对应 OAM。这类特殊光学结构在光通信、光镊技术、精密测量等前沿领域具有广泛应用前景。然而, 传统结构光生成依赖于光纤、相位板、超表面、衍射光栅微环等无源结构, 且仅能实现单一维度(如强度、相位或偏振)的调控, 导致其输出光束类型单一。如何同步控制光束的强度、相位及偏振特性, 进而实现可重构矢量结构光束的生成, 一直是该领域的核心挑战。

针对这一问题, 戴道铎团队提出了一种集成结构光合成器。该系统由硅光 (SOI) 芯片与 SiO₂ 芯片级联构成, 其中: SOI 芯片用于产生三对 TE₀/TM₀ 偏振模式, 通过热光电极实现对各模式功率比及相位偏移的独立调控; SiO₂ 芯片则接收来自 SOI 芯片的三对模式, 将其复用到多模波导中支持的六个准线偏振 (LP) 模式基组 LP_{01-x}、LP_{01-y}、LP_{11a-x}、LP_{11a-y}、LP_{11b-x}、LP_{11b-y}。基于此架构, 通过调节 SOI 芯片热电极参数, 可精确控制六种 LP 模式的功率配比与相位差, 从而合成自旋角动量光束 (SAM_{±1})、圆柱矢量光束 (如径向偏振光束 RPB / 方位角偏振光束 APB) 以及双偏振轨道角动量光束 (OAM_{±1-x}、OAM_{±1-y})。

研究成果发表于《Light: Science & Applications》期刊【Zhao, W., Yi, X., Huang, J. *et al.* All-on-chip reconfigurable generation of scalar and vectorial orbital angular momentum beams. *Light Sci Appl* 14, 227 (2025). DOI: [10.1038/s41377-025-01899-7](https://doi.org/10.1038/s41377-025-01899-7)】。赵伟科副研究员和博士生易晓琳, 戴道铎教授及 Andrew Forbes 教授为共同通讯作者。



集成矢量结构光合成器概念图。(a) 三维结构, (b) 六个 LP 模式基组, (c) SAM_{±1} 光束合成, (d) 圆柱矢量(CV)光合成, (e) OMA_{±1-x} 和 OMA_{±1-y} 光束的合成。

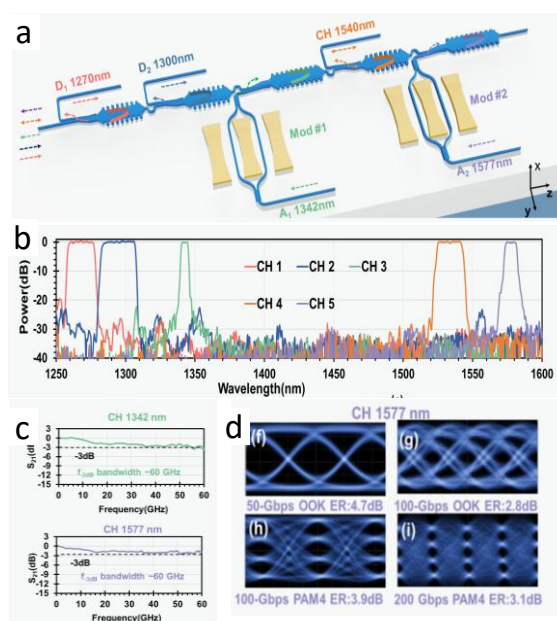
科研进展

面向下一代 PON 系统的低损耗和绝热光发射芯片

近年来，随着虚拟现实、人工智能和云服务等新兴信息技术的迅猛发展，数据流量呈现出持续增长的趋势，对通信容量提出了更高要求。近年来，薄膜铌酸锂（LNOI）电光调制器以其低损耗、高速率、高线性度等优势被认为是实现高速光通信的有效途径。因此，发展超大容量的薄膜铌酸锂波分复用光发射芯片尤为迫切。值得注意的是，铌酸锂具有显著各向异性特性，其电光调制器件通常优先选择具有最高电光系数 r_{33} 的波导结构；而由于材料各向异性及波导侧壁倾斜，Y 传铌酸锂波导通常会出现显著的 TE_{11}/TM_0 模式杂化现象，使得高性能无源光子器件设计面临重要挑战。

为此，戴道铎教授团队提出了一种全新的各向异性混合集成的光发射芯片架构，其 MZI 电光调制器和波分复用器分别采用 X 切 LNOI 的 Y/Z 波导，提升了发射芯片的整体性能。其波分复用器包含 5 个由 Z 传多模波导光栅（MWG）和模式复用器组成的光滤波器。在此，MWG 中心波长、通道间隔及带宽都可根据 10G PON 和 50G PON 系统信号共存的需求灵活设计，从而满足下一代 PON 系统的要求。实验结果表明，所有通道均具有方形光谱响应以及所需的中心波长和带宽，其插损小于 0.5 dB、串扰低于 -26 dB，且在超 300 nm 工作波长范围内具有很小的中心波长漂移 ($<8.7 \text{ pm}/^\circ \text{C}$)，呈现优异的热稳定性。该光发射芯片成功实现了单通道 50/100 Gbps OOK 和 100/200 Gbps PAM4 信号的大容量数据传输，为下一代 100G/200G PON 系统的发展奠定了基础。

研究结果发表于《Laser Photonics Review》期刊【Jianghao He, Dajian Liu, *et al.* Ultra-Low-Loss and Athermalized Lithium-Niobate-on-Insulator Photonic Chip for Next-Generation PONs, *Laser Photonics Rev.*, 19(7): 2401330, 2024), DOI: [10.1002/lpor.202401330](https://doi.org/10.1002/lpor.202401330)】贺江豪博士和刘大建博士为共同第一作者，戴道铎教授和张明副教授为共同通讯作者。



(a)面向下一代 PON 的光发射芯片；(b) 波分复用器件测试结果；(c) 1342 nm 和 1577nm 通道调制器带宽 S_{21} 测试结果；(d) 1577 nm 通道信号眼图。

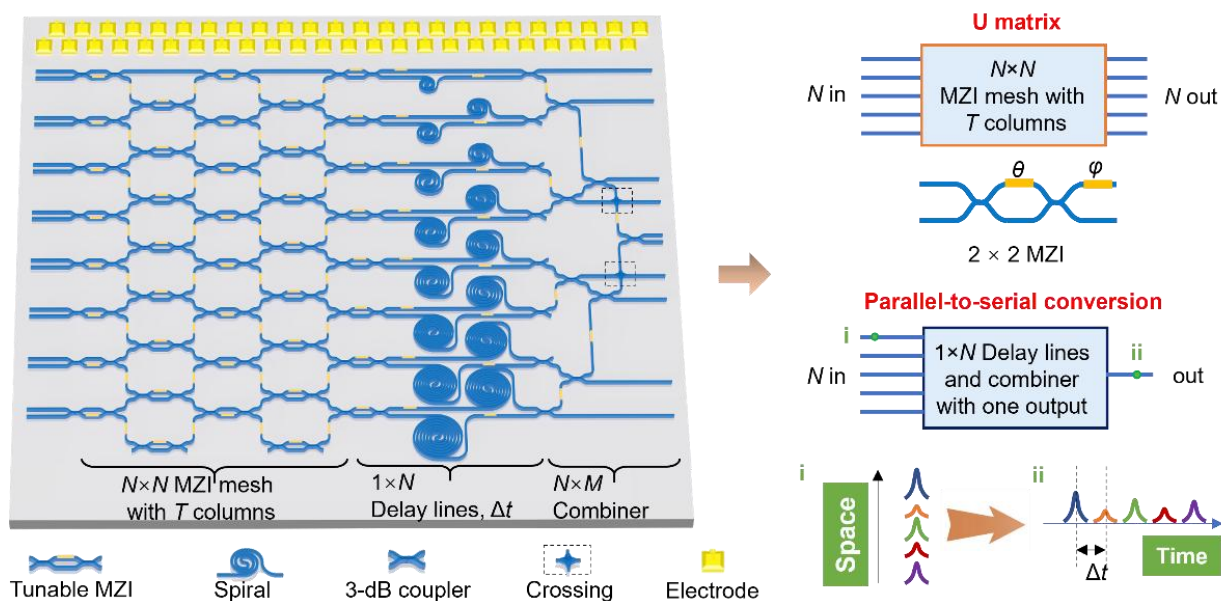
科研进展

可编程复数矩阵向量计算处理器

矩阵-向量乘法 (MVM) 是现代信息处理的核心计算, 传统电子处理器在运算速度和能效方面已接近物理瓶颈。依托超大带宽、低延时和天然并行性, 光计算被视为突破这一限制的潜力方向。目前, 基于 MZI 网络的相干光处理器具备高度的功能灵活性和精确的可编程能力, 但在大规模扩展时仍面临诸多挑战, 如复数运算中的相位控制困难、大规模集成下的高传输损耗, 以及高速检测与校准的复杂性, 导致其在计算速度与能量效率等关键指标上仍有显著提升空间。

针对这一问题, 戴道铎/谢意维团队提出了一种基于可编程 MZI 网络和延迟线阵列的复数矩阵向量计算芯片, 构建了异构融合的计算新架构, 成功实现了 16 通道可编程硅基相干光处理器。该芯片集成低相位误差的 MZI 干涉仪网络与超低损耗光延迟线阵列, 通过光信号的复制、幅度与相位调控、延迟控制及高速相干检测, 实现了高速、高精度的复数矩阵-向量乘法, 有效降低了芯片传输损耗与编程复杂度, 显著提升了系统可靠性与扩展能力。该处理器芯片尺寸为 $5.2 \times 5.7 \text{ mm}^2$, 支持任意矩阵变换、并行图像处理 and 手写数字识别等复杂任务。在 40 Gbaud 调制速率下, 计算速度高达 1.28 TOPS, 片上功耗仅为 0.87 W, 展现出优异的计算性能与能效优势。

研究成果发表于《Science Advances》期刊【Yiwei Xie *et al.*, Xiyuan Ke Complex-valued matrix-vector multiplication using a scalable coherent photonic processor, *Science Advances*, 11: eads7475, 2025, DOI: [10.1126/sciadv.ads7475](https://doi.org/10.1126/sciadv.ads7475)】。谢意维副教授、硕士生柯希源和博士生洪仕瀚为共同第一作者, 戴道铎教授为通讯作者。该研究得到了国家自然科学基金、国家重点研发计划等项目的支持。



复数矩阵向量计算芯片结构示意图。

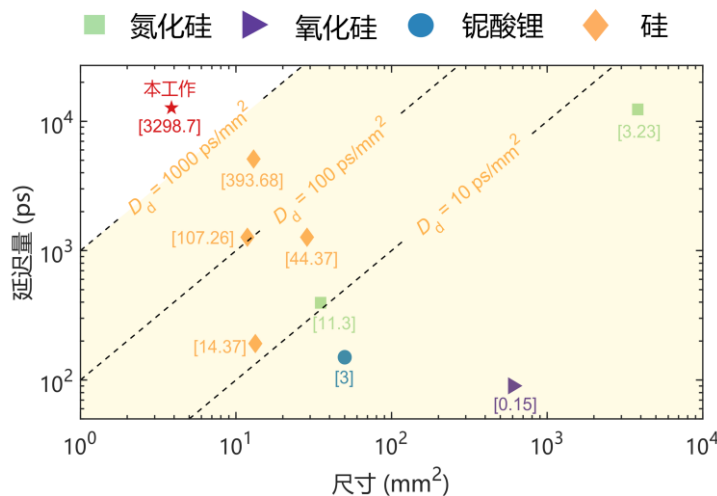
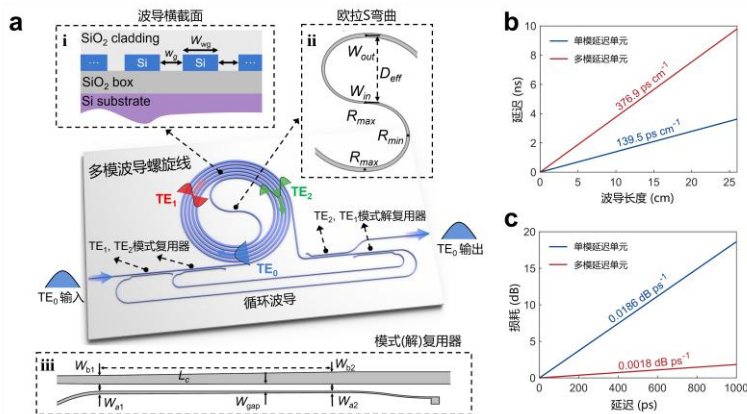
科研进展

多模硅光延迟线: 突破延迟密度极限

片上光波导延迟线在微波光束形成、高速光通信和集成量子光子学等领域具有广阔应用前景。特别是,微波光子波束形成系统、光频域反射计(OFR)和光学相干断层扫描系统(OCT)及高速光通信系统等都对片上光波导延迟线延迟范围、带宽、尺寸都提出了更高要求。如何在小尺寸条件下实现大带宽/低损耗的10ns级大延迟范围一直面临重要挑战,其关键在于实现超低损耗传输及高延迟密度。

针对这一问题,浙江大学戴道铎研究团队首次提出并演示了一种多模硅光延迟线,创新性地单片集成了阿基米德多模波导螺旋线、欧拉S弯曲、TE₁/TE₂模式复用/解复用器等功能元件,一举打破了单模波导的延迟密度限制,实现了创纪录的高延迟密度(3299 ps/mm²)和超大片上延迟量12.7 ns,推动大带宽片上延迟线朝着mm²尺寸和10ns级大延迟量迈进。

该成果发表于国际顶尖光学期刊《Light: Science & Applications》【Hong, S., Zhang, L., Wu, J. *et al.* Multimode-enabled silicon photonic delay lines: break the delay-density limit. *Light Sci Appl* 14, 145 (2025). DOI: [10.1038/s41377-025-01820-2](https://doi.org/10.1038/s41377-025-01820-2)】。博士生洪仕瀚为第一作者,戴道铎教授为通讯作者。



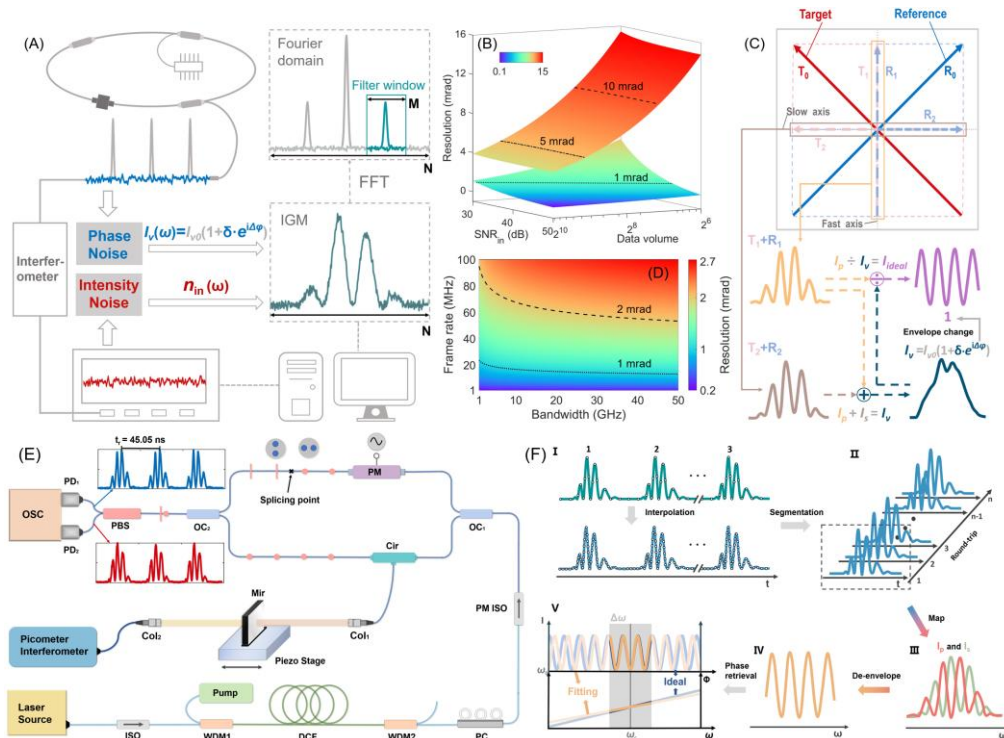
所提出的多模硅光延迟线及其性能比较。

科研进展

接近噪声极限的实时正交光谱干涉技术

过去数十年，激光干涉测量始终围绕“高分辨率、大动态范围与高速测量”三大目标持续突破，成为高端制造和前沿科研的核心技术。但在单一系统中兼顾这三者一直颇具挑战。以单频激光为基础的零差、外差干涉虽能实现皮米级分辨，却因动态范围受限于半个光学周期，难以应对大尺度变化。双频或多波长干涉通过合成波长或拍频，将测量范围扩展至数千个光学周期，但通常需毫秒级积分才能获得高精度，难以捕捉快速变化。近年来，色散光谱干涉 (DSI) 结合色散傅里叶变换 (DFT)，既具备多波长干涉的宽范围优势，又能解算相位信息，有望同步提升分辨率、速度与范围。不过，激光器相位噪声抑制不足及探测链路缺陷处理不完善，仍使实验性能与理论极限存在差距，亟待从源头与系统层面加以突破。

针对这些问题，刘旭教授、崔玉栋研究员团队指出：激光源的相位噪声是限制实时色散光谱干涉分辨率的核心障碍。通过对信噪比与数据量的定量分析，首次明确了这一噪声来源在实际系统中的影响。为此，研究团队创新性地提出了一种实时正交偏振光谱干涉 (OPSI) 技术。通过构造一对具有 π 相位差的正交偏振干涉图，成功去除了实时干涉信号中的包络项，从而抑制了相位噪声的影响。实验结果表明，该技术在无需提高采样带宽的前提下，即可实现 1.1 mrad 的实时相位分辨率，测量帧率超过 20 MHz。在短时间积分后，分辨率进一步提高至 0.29 mrad，对应 60 pm 的位移精度。该研究成果为高速、高精度位移测量提供了新的解决思路。

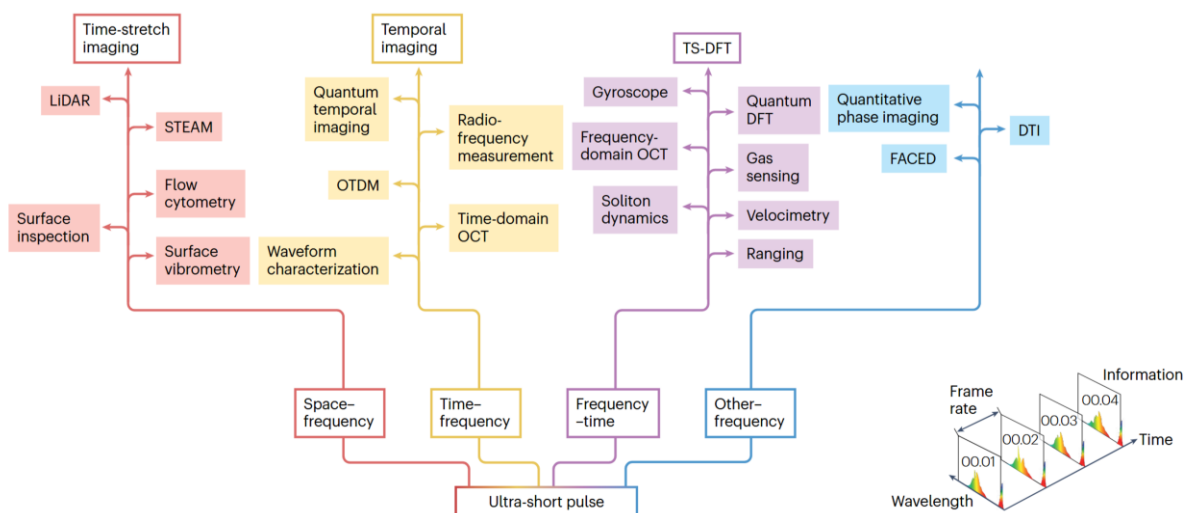


该研究成果发表于《Advanced Photonics Nexus》期刊【Tianchang Lu, Jiarun Zhang, Yudong Cui, et al. Noise-limited real-time orthogonal polarization spectral interferometry by suppressing phase noise. *Advanced Photonics Nexus* 4.4 (2025). DOI: [10.1117/1.APN.4.4.046002](https://doi.org/10.1117/1.APN.4.4.046002)】。论文第一作者是浙江大学光电学院博士生路天畅，通讯作者为浙江大学崔玉栋研究员、刘旭教授。

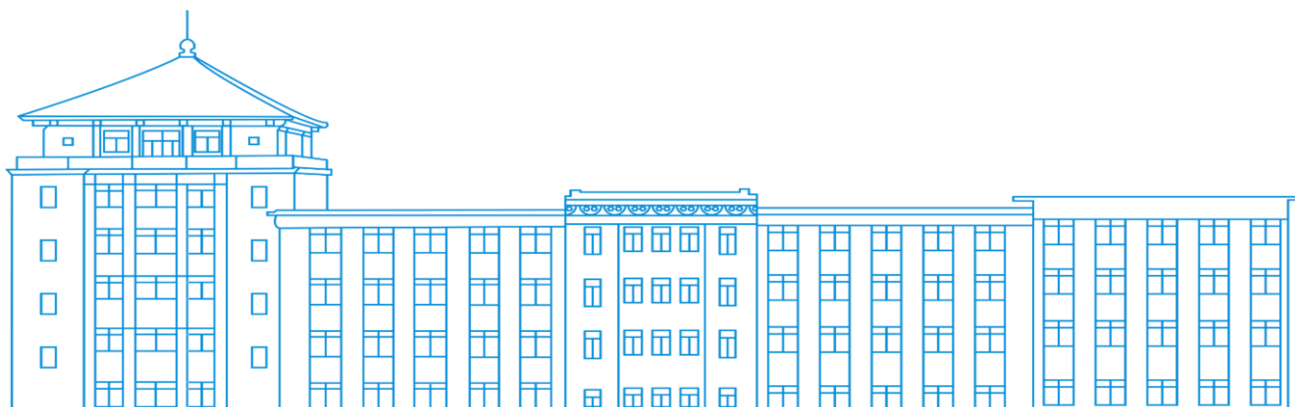
科研进展 超快光学时域变换技术

超短脉冲激光凭借飞秒级宽谱和高重复率，已成为通信、光谱、成像与传感领域大数据获取的核心手段。超快光学时域变换（UO-TDT）技术的发展——特别是时间拉伸色散傅立叶变换、时间成像和时间拉伸成像——彻底改变了光子信息获取。基于色散的超短脉冲的频率-时间变换使得光信号光谱能够转换到时域，用于超快速光谱表征。高速获取编码在光谱上的信息意味着新的测量技术可以有效地融合光子和数字技术。

在这一背景下，浙江大学崔玉栋研究员团队联合浙江师范大学张裕生老师、英国阿斯顿大学 Turitsyn 教授和芬兰阿尔托大学 Zhipei Sun 教授团队，系统梳理了 UO-TDT 技术，重点聚焦 UO-TDT 在光谱分析和测速技术等多元化应用中的最新进展，以及超快成像与量子科学领域的突破性成果。文中系统讨论了一系列实验结果，同时评估了方法的可重复性及局限性。最后，对该领域具有广阔前景的新兴技术发展方向进行了展望。



相关综述发表在《Nature reviews methods primers》期刊上【Yusheng Zhang, Chenning Tao, Si Luo, *et al.* Ultra-fast optical time-domain transformation techniques. *Nature Reviews Methods Primers* 5.1 (2025). DOI: [10.1038/s43586-025-00390-2](https://doi.org/10.1038/s43586-025-00390-2)】。浙江大学崔玉栋研究员为本文的通讯作者。

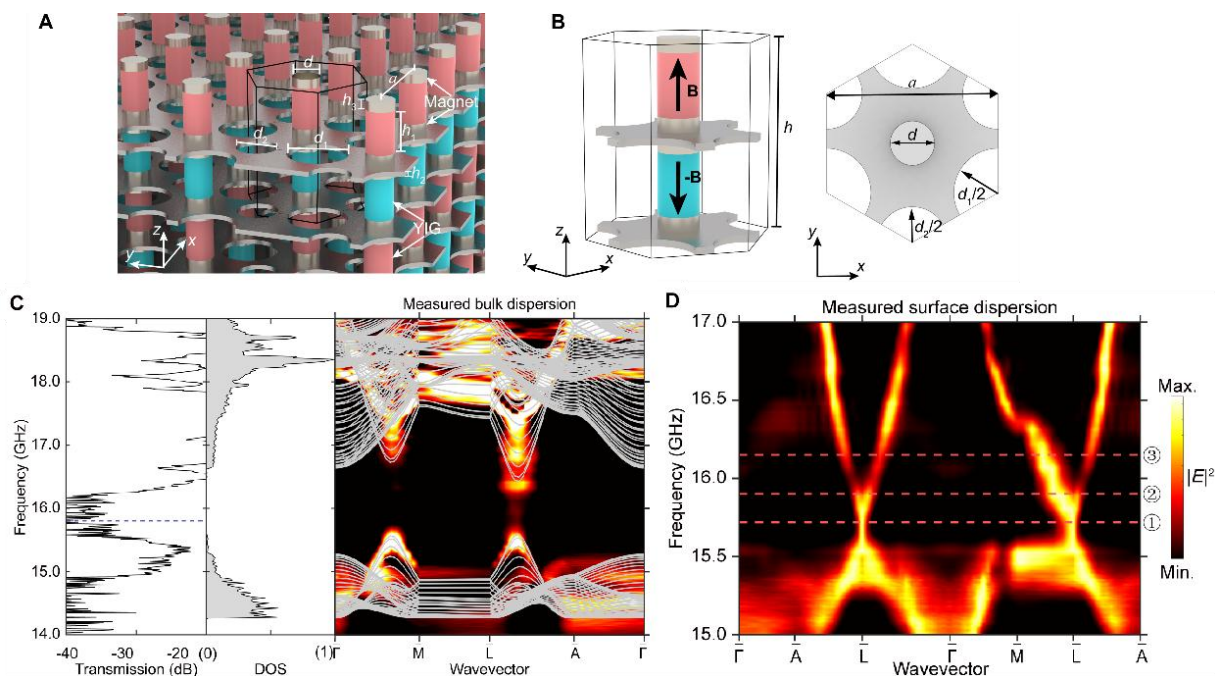


科研进展 光子三维反铁磁拓扑绝缘体

三维反铁磁拓扑绝缘体是一种内部绝缘，表面具有支持电子输运的单狄拉克锥表面态的拓扑材料。这种三维反铁磁拓扑绝缘体及其独特的拓扑特性在轴子电动力学、自旋电子学以及鲁棒的电子器件设计方面有潜在应用价值。在电子体系中，三维反铁磁拓扑绝缘体无能隙表面狄拉克锥的直接观测一直未能实现。另一方面，随着拓扑绝缘体概念的拓展，研究者们开始探索在光子体系中实现类似的拓扑特性，从而实现光子的鲁棒性传输。然而，光子体系的时间反演对称性与单狄拉克锥表面态的哈密顿量并不兼容。因此，实现具有单表面狄拉克锥的拓扑绝缘体需要打破时间反演对称性，同时构造一个额外的反么正对称性，这在实验上一直是个挑战。

针对上述问题，杨怡豪研究员、陈红胜教授和尹文言教授联合研究团队提出了实现光子三维反铁磁拓扑绝缘体的理论和实验方案。通过数值仿真、构建紧束缚模型、实验测量，联合研究团队证明了光子三维反铁磁拓扑绝缘体的拓扑非平庸特性以及体-边对应关系，并直接观测到三维完全体带隙以及单表面狄拉克锥。团队还通过引入随机磁性扰动，证明了单狄拉克锥表面态的强鲁棒性。这一工作所实现的单狄拉克锥表面态为实现高容量、强鲁棒的表面光波传输提供了有效方案，有望在三维光学集成、光通信、光计算等领域得到应用。

研究结果发表在《Science Advances》期刊上【Fujia Chen, Ning Han, Songyang Pu, Rui Zhao, Li Zhang, Qiaolu Chen, Yuze Hu, Mingyu Tong, Wenhao Li, Junyao Wu, Yudong Ren, Xinrui Li, Wenyan Yin, Hongsheng Chen, Rui-Xing Zhang, and Yihao Yang. Photonic antiferromagnetic topological insulator with a single surface Dirac cone. *Science Advances*, 2025, 11, adu6230. DOI: [10.1126/sciadv.adu6230](https://doi.org/10.1126/sciadv.adu6230)】

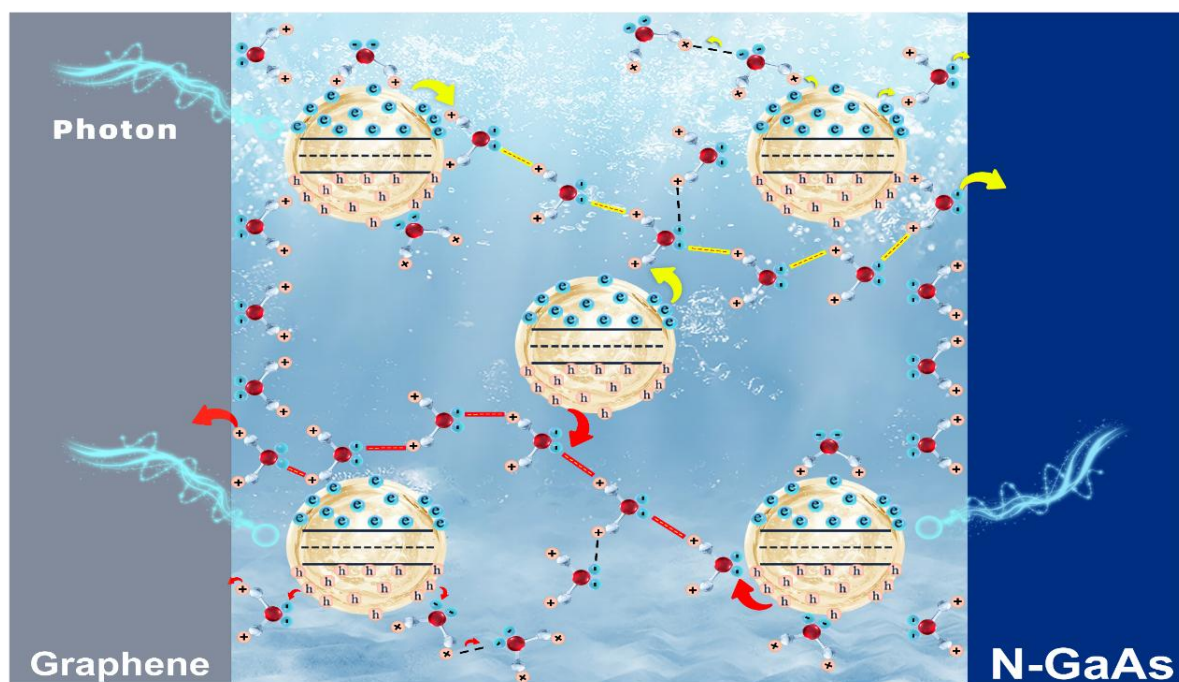


(A)光子三维反铁磁拓扑绝缘体的结构示意图；(B)光子三维反铁磁拓扑绝缘体的单元结构；(C)体态特性；(D)单个表面狄拉克锥

科研进展 用水连接量子点的光电探测器

量子点因其独特的量子尺寸效应和优异的光电性能,在光学和光电子领域备受关注。然而,传统量子点基光电探测器由于量子点之间的相互作用较弱,激子难以有效分离成自由电子和空穴,导致光生载流子传输效率低,限制了其性能提升。此外,传统光电探测器还面临制造复杂、响应速度慢、低光照下灵敏度低等问题。

为解决以上问题,近日,林时胜教授团队提出了一种基于量子点的新型自驱动液体基光电探测器。通过将量子点引入水中,利用水分子与量子点之间的相互作用,引入了液体内的极化作用,实现了激子的有效分离和长程电子/空穴传输通道的形成,有助于液体基光电探测器性能的进一步提升。此外,通过选择具有不同吸收峰的量子点,可以进一步优化光电探测器在特定波长范围内的性能,显著提高光生载流子的传输效率和光电探测器的灵敏度。该研究为高性能光电探测器的设计提供了新的思路和方法,可以通过对量子点的调控实现光电探测器性能的灵活调控,满足不同应用场景的需求。此外,该研究还为量子点在极性液体环境中的激子行为研究提供了新的视角,为未来高性能量子点基光电子器件的开发奠定了基础。



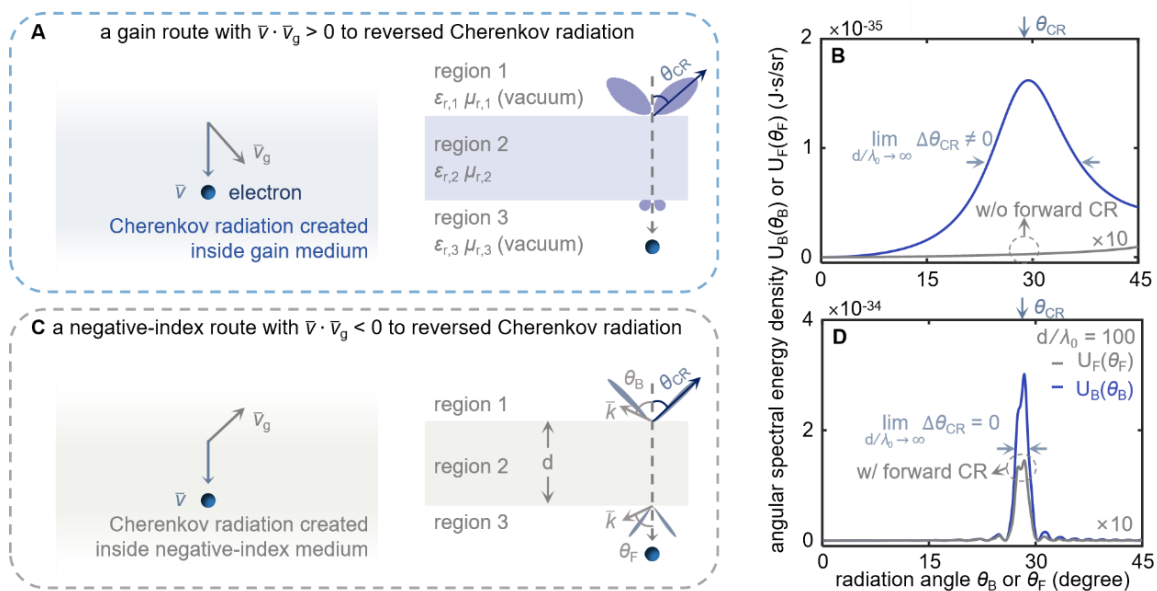
该研究成果发表在《Advanced Functional Materials》期刊【Z. Qian, M. Yang, S. Lin, Liquid Water Molecular Connected Quantum Dots for Self-Driven Photodetector. *Adv. Funct. Mater.* 2025, 2420182. DOI: [10.1002/adfm.202420182](https://doi.org/10.1002/adfm.202420182)】

科研进展

基于光学增益的逆切伦科夫辐射

由于切伦科夫辐射角度与带电粒子速度以及介质折射率有着独特的一一对应关系，切伦科夫辐射在粒子探测器、光源、生物医学成像等领域有着重要的应用。1968年，前苏联科学家 Veselago 提出了利用负折射率材料可以使切伦科夫辐射方向发生逆转，即产生逆切伦科夫辐射。

最近，林晓研究员和陈红胜教授团队揭示了一种全新的激发逆切伦科夫辐射的机制：即利用光学增益材料实现了在具有正折射率的介质板中产生逆切伦科夫辐射。研究发现增益介质板可使前向切伦科夫辐射极点消失，从而导致前向切伦科夫辐射被抑制，后向切伦科夫辐射的强度和辐射角度扩散对介质板的厚度具有鲁棒性，增加材料的光学增益可以降低逆切伦科夫辐射的强度并降低辐射方向性。



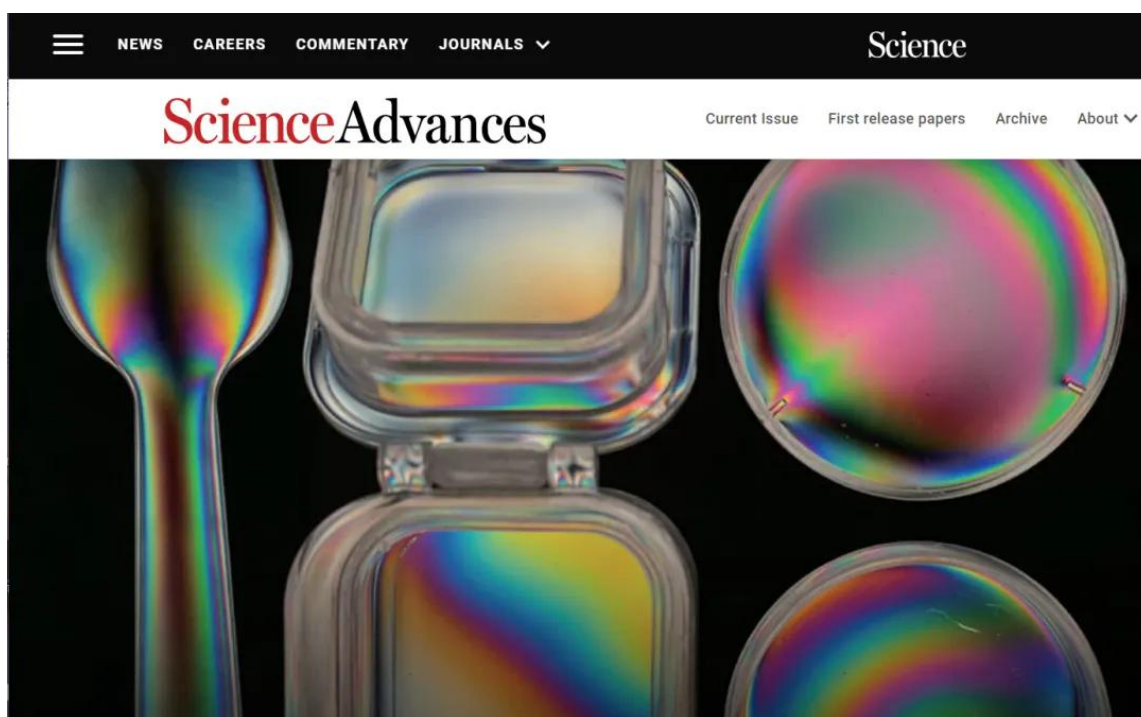
该成果在线发表于《Science Advances》期刊上。【Ruoxi Chen, Zheng Gong, Zun Wang, Xiangfeng Xi, Bowen Zhang, Yi Yang, Baile Zhang, Ido Kaminer, and Xiao Lin. A gain route to reversed Cherenkov radiation. *Science Advances* 11, eads5113 (2025). DOI: [10.1126/sciadv.ads5113](https://doi.org/10.1126/sciadv.ads5113).】浙江大学博士研究生陈若曦为第一作者，以色列理工学院 Ido Kaminer 教授和浙江大学陈红胜教授、林晓研究员为共同通讯作者。

科研进展

用塑料打造全球最便宜光谱仪

现代智能手机的摄像头早已不再依赖传统玻璃镜片，而是广泛采用高性能塑料透镜，并结合先进的图像算法实现了超高清成像。这种趋势启发了研究人员：既然塑料可以用于高质量成像，是否也可以用来构建光谱仪的核心部件？答案是肯定的。

近日，杨宗银教授团队联合浙江理工大学、剑桥大学成功研发出一种基于塑料材料的新型微型光谱仪。研究团队使用形状记忆环氧树脂（SMPs），通过可控机械变形在材料中引入梯度应力，制造出具有分光能力的“塑料棱镜”，实现对光的精确色散调控。这种塑料不仅能替代传统光谱仪中昂贵的光学元件，还能覆盖从可见光到短波红外（400 - 1600 nm）的宽波段范围，具备极强的应用潜力。研究首次将常见塑料材料引入微型光谱仪的核心结构，利用其双折射效应实现空间光谱编码，开创了一种无需光刻工艺、可大规模生产的宽带微型光谱解决方案。该方案展现出广泛的应用前景，有望推动光谱技术在消费电子、环境监测、医疗诊断等多个领域的落地应用。该技术不仅成本低廉，而且性能稳定、易于量产，为光谱分析设备的小型化和普及化提供了全新路径。



这项具有突破性的研究成果发表于国际顶级学术期刊《Science Advances》，并被选为当期封面文章重点推介【Gongyuan Zhang, Tom Albrow-Owen, *et al.* Stress-engineered ultra-broadband spectrometers. *Sci. Adv.*, 2025, 11,20, DOI: [10.1126/sciadv.adu4225](https://doi.org/10.1126/sciadv.adu4225)】，杨宗银教授为该研究的通讯作者，浙江理工大学材料科学与工程学院彭文俊研究员和剑桥大学 Tawfique Hasan 教授为该论文共同通讯作者。浙江大学博士生张弓远与剑桥大学电子工程系博士后 Tom Albrow-Owen 为共同第一作者。该研究由国家重点研发计划、国家自然科学基金等资助完成。

实验室短讯

实验室与波长光电共建联合实验室

5月22日，浙江大学极端光学技术与仪器全国重点实验室与波长光电正式签署战略合作协议，共建“联合实验室”签约仪式隆重举行，浙江大学极端光学技术与仪器副主任匡翠方、研究员卞殷旭与波长光电总经理吴玉堂、副总经理王国力、研究中心副主任王劲等专家代表出席本次仪式。



双方为加快双方在人才、科研、产业建设等若干领域的可持续发展，推进产学研用的深度融合，本着“互惠互利、优势互补、合作创新、共同发展”的原则，决定共同建设“联合实验室”，双方希望凭借“联合实验室”在超精密光学设计、检测技术等领域的学术积累和波长光电在先进制造及量产方面的能力，强强联合，促进科研成果的快速转化，满足新兴行业对光学前沿产品的需求。

极端光学技术与仪器副主任匡翠方强调：此次“联合实验室”的成立，响应了国家“十四五”高端光学仪器国产化战略，通过“基础研究-技术开发-产品孵化”的全链条创新模式，有望打破国外在高端光学器件领域的技术垄断。波长光电总经理吴玉堂在签约仪式中表示：此次合作将加速实验室成果向产业端的转化效率，推动光学产业升级，为相关应用领域的技术发展和产业发展赋能。双方对未来合作都充满信心。



在全体参会人员的见证下，双方正式签署合作协议，随后，双方就高端光学器件的合作研究展开实质性的讨论，包括用于半导体检测的剪切干涉仪、大数值孔径显微物镜以及先进制程光刻关键光学元件等，现场交流气氛热烈。

本次签约仪式的圆满举办为未来开展实质性合作奠定了坚实基础。相信在双方的共同努力下，必将硕果累累，为推动我国光学领域的技术发展和产业发展做出积极贡献。

实验室短讯

实验室携手永新光学开展“光联未来·昭启星河”科普与科技助学活动

今年5月27日，在第八个“国际光日”与“国际量子科学与技术年”交汇之际，浙江大学研究生支教团、极端光学技术与仪器全国重点实验室联合四川昭觉中学，启动“光联未来·昭启星河”系列支教活动。实验室研究生杨浩彬、周毅铖连线大凉山，为昭中学子带来一场生动的“量子通信：未来的安全通信”科普课。



课堂上，两位老师以“WannaCry”病毒事件切入，揭示传统通信安全隐患，再借“粉笔传递游戏”等趣味互动，将抽象的量子密钥分发原理化繁为简。“薛定谔的猫”“量子彩票”等妙喻频出，让量子叠加与纠缠态变得触手可及。当主讲人介绍四川本土量子成果——合肥量子城域网、电子科大氮化镓芯片、四川电信量子加密专线时，学生们眼中闪烁起自豪的光芒，纷纷追问：“我们手机能用上量子通信吗？”科研人员耐心解答现状与未来，点燃了少年们对前沿科技的热情。

三个月后的6月24日，该系列活动迎来温暖收官。在结课暨捐赠仪式上，浙江大学极端光学重点实验室与宁波永新光学股份有限公司共同向昭觉中学捐赠5套显微镜与2套天文望远镜，以“光”为媒，助力科学探索落地生根。实验室副主任吴兰教授深情回顾帮扶初心，强调“你们每一个人，都是点亮科学未来的火种”。边希校长对浙江大学极端光学技术与仪器全国重点实验室、宁波永新光学股份有限公司表达了由衷感谢。



从揭秘量子世界的“无形密钥”，到托起探索星空的“科学之眼”，这场跨越山海的“光”之行动，不仅传递了知识，更架起了协同育人的希望之桥，让大凉山的少年真切触摸到科技脉动与未来可能。

学术交流

实验室成功举办 3 期极端光学技术系列论坛



极端光学技术系列论坛 第四十期



**超稳激光及其在
精密测量中的应用**

李刘锋

4月15日（周二）下午 14:00-15:00
 浙大科创中心水博园区B02楼310会议室

报告摘要

超稳激光是精密测量领域中重要的工具，广泛应用于光频率标准、引力波探测，激光干涉测距等领域。报告主要介绍基于超稳参考腔的激光稳频技术的影响因素，国际研究现状，以及超稳激光技术在相关领域的应用。



极端光学技术系列论坛 第四十一期



**高重复频率大能量千瓦飞秒/
皮秒碟片激光器及关键器件**

刘星

5月16日（周五）下午 13:30-14:30
 浙大科创中心水博园区B02楼310会议室

报告摘要

高重复频率 (>500kHz)、大脉冲能量 (>1mJ)、高平均功率 (>1000W)、高光束质量 (M2<1.5) 的超快激光器在先进制造、材料加工、EUV产生、阿秒光源、相干X射线产生等众多领域具有非常重要的应用，一直以来都是科研和工业界追逐的目标。碟片激光器是将增益介质从传统的棒状晶体更换为圆盘状的薄片结构，既克服了传统棒状晶体结构在高功率泵浦下的热透镜效应问题，又可以避免光纤结构由于激光损伤和非线性影响难以实现大能量的缺点，是目前同时实现大脉冲能量、高平均功率、超短脉宽、极紫外波长的最佳方案，也被认为是新一代工业激光器的最佳技术平台。本次报告主要



极端光学技术系列论坛 第四十二期



**计算光刻技术的工程化实现
和大模型落地**

黄继辉

6月30日（周一）下午 14:00-15:00
 浙大科创中心水博园区B02楼310会议室

报告摘要

在摩尔定律的推动下，集成电路关键尺寸逐步逼近光刻系统的成像分辨率极限，此时必须采用计算光刻技术来提高光刻成像的分辨率和保真度。计算光刻以光学成像和工艺建模为基础，采用数学方法对光刻成像过程进行仿真与优化，实现多个工艺窗口情况下的成像误差的高精度补偿，能够有效提升工艺窗口和芯片制造良率，降低光刻工艺的研发周期与成本，目前已成为先进芯片（包括硅光芯片先进工艺）制程的关键技术之一。本报告首先概述了计算光刻和传统分辨率增强技术的基本概念和原理，并进一步重点介绍了该领域的一系列工程体系的架构和研发体系，深度介绍几种比较核心的算法原理。最后，本报告分享了一系列计算光刻和大模型领域的结合点，讨



极端光学技术与仪器全国重点实验室

State Key Laboratory of Extreme Photonics and Instrumentation



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

地址：杭州市浙大路 38 号（浙江大学玉泉校区）

邮编：310027

电话：0571-87951432

邮箱：epi@zju.edu.cn

网站：<http://www.epi.zju.edu.cn>



官方网站



官方微信公众号