

中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7月5-8日, 2025

福建 厦门

D25-光子材料与器件
D25-Photonic Materials and Devices

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D25. 光子材料与器件

分会主席：戴庆、杨晓霞、易骏、胡海、郭相东

D25-01

拓扑双层超构光栅

董建文*

中山大学物理学院

非对称辐射是微纳亚波长结构（如超构光栅、光子晶体）常见的光学特性，它表现为向上/下辐射场振幅和相位的差异性。实现非对称辐射在提高光子器件能效及相干光调控方面具有重要意义。我们提出了非对称辐射光学的赝偏振新概念，为非对称辐射建立了统一的物理图像。阐明了连续域束缚态（Bound State in the Continuum, BIC）和单向导模共振

（Unidirectional Guided Resonance, UGR）等拓扑光学模式是两类特殊的赝偏振。在错位位移的双层超表面中实现了赝偏振涡旋产生与分裂的灵活调控，进而独立调控面外辐射光场单向度和相位差。提出了半整数赝偏振涡旋与相干完美吸收的联系，实现了相位差从 $\pi/2$ 到 $3\pi/2$ 连续可调的鲁棒性相干完美吸收。

在前期工作的基础上，我们阐明了非对称辐射调控 Fano 共振散射谱的物理机制，实现了高对比度角度-波长选择性成像，克服了传统能带色散对滤波成像的限制。上述研究结果为非对称辐射光学行为的拓扑性质提供了新的视角，有望实现光控和非对称动态调制的新型光子器件，在光电探测、热辐射、micro-LED 控光、量子发射、增强现实和精密双层纳米制造等领域具有广阔的应用前景。

D25-02

空间 Kramers 简并

杨鏢*

国防科技大学

光子晶体的几何结构决定了电磁波的拓扑传播。然而，以往对光子晶体的研究主要集中在单一的空间域。在这项工作中，我们引入了一种极小曲面光子超晶格，它将空间域划分为两个完全对偶的子空间，每个子空间都支持一种手性拓扑半金属。总体而言，我们的研究结果揭示了一种类似于时间反演克雷默简并的全局空间双重简并，这在以往被认为在所有无自旋系统中是无法实现的。

D25-03

三维平带表面态的实验观测

郭清华*

湖南大学

平带具有在整个布里渊区能量保持恒定的特征，当其与色散能带简并时，会表现出独特的拓扑特性。具体而言，简并点的数量可以通过基于周期性边界条件下局域态（CLS）的数目来确定。在开放边界条件下，二维系统中所有 CLS 的叠加会形成环状边界态。然而，三维平带系统中表面态的形成机制仍未被探索。在此，我们从理论上研究并实验展示了三维光子平带超晶格中表面态的形成机理。我们研究表明，在开放边界条件下，三维平带模式的数量与 CLS 的数量有显著差异，这与二维系统中的行为形成鲜明对比，尽管它们的 CLS

具有相同的环状结构。此外，我们揭示了一种内在的键位交换机制，这种机制在平带的形成过程中起着关键作用。

D25-04

立体光波导制备及光子态多维控制

田振男*、韩佳琪、唐婧雯

吉林大学

以光子为载体的光子集成芯片因其大带宽、高并行和低功耗等优点引起了广泛关注。三维光子集成芯片独特的三维架构在光通信、量子光学、拓扑光子学以及天文光子学等领域得到了重要的应用。这些应用的前提建立在对三维光波导基本性质的调控之上。在众多性质之中，截面形状是三维光波导重要的基础性质之一，其与波导的双折射强度、损耗以及有效折射率等直接相关。然而，在飞秒激光直写的过程中，由于球面像差和 **Kerr** 自聚焦等因素的影响，导致波导截面呈非对称的水滴状。这种截面引起的模场变形不仅增大了波导与光纤的对接损耗，而且其额外的应力引入导致器件产生了额外的双折射。因此，开发一种有效控制波导截面的方法，不仅与波导基本性质的调控直接相关，而且将进一步促进多功能波导器件的实用化以及激光直写光子集成回路性能的提升。本报告采用飞秒激光光场整形技术制备截面形状任意可控的三维光波导，并实现光子多维度状态的控制与功能性器件，展示了非阿贝尔光芯片、超绝热转换器等三维光子器件。

D25-05

Adiabaticity violation in photonic waveguides

Oubo You*

Shanghai Jiao Tong University

The quantum adiabatic theorem, a cornerstone of quantum mechanics, asserts that a gapped quantum system remains in its instantaneous eigenstate during sufficiently slow evolution, provided no resonances occur. Here we challenge this principle and demonstrate that adiabaticity can be violated even in arbitrarily slow processes, using a specially designed spoof surface plasmon polariton (sSPP) waveguide system. We introduce two new parameters, Instantaneous Transition Accumulation (ITA) and Instantaneous Transition Probability (ITP), which redefine the framework of adiabatic evolution by incorporating cross-Berry connections and eigenstate amplitudes. These parameters reveal the dynamic and geometric factors governing adiabatic breakdown. Leveraging a novel Phase Difference Manipulation (PDM) method, we precisely control ITP and ITA to induce adiabaticity violation in a Landau-Zener (LZ) process. Crucially, we experimentally confirm this counterintuitive phenomenon in an sSPP waveguide platform, where a slow LZ process defies adiabaticity, forcing energy-level switching despite a fivefold slower evolution speed than conventional adiabatic processes. This discovery reshapes our understanding of quantum evolution and opens new possibilities for quantum computing, topological physics, and integrated photonic technologies.

D25-06

非厄密边界诱导的混合趋肤拓扑效应及其合成复数频率观测

姜天舒*

同济大学

混合趋肤拓扑效应（HSTE）是新近被提出的一种非厄密现象，其中拓扑边界态在非厄密趋肤效应（NHSE）的作用下坍塌为角态。然而，由于本征频率为复数，这一效应无法被直接观测到。在该报告中，我们介绍了一种通过调节边界处的非厄密分布来实现 HSTE 的新机制。进一步，我们在传输线网络中使用合成复频率激发，观察到了 HSTE 角态。

D25-07

基于超构表面的多自由度光场调控

周张凯*

中山大学

超构表面因为能够在纳米尺度高效精确的调控光场，因此在集成光学、量子信息科学等领域都产生了重要应用。光场的调控主要分为两个方面，一方面是需要响应入射光场，另一方面调控输出光场。为了保证光子大容量和高速的优势，在这两个方面均实现尽量多光子自由度的同时独立控制，是超构表面光场调控的关键问题。针对这个关键问题，本报告讲汇报我们基于相干像素以及超高表面全息的方法，实现对于入射光场以及出射结构光的多自由光场调控结果。

D25-08

理想光子 Weyl 介质中光子费米弧的连续演变

刘亚超*

深圳大学

在光学材料中，电磁波的传播行为主要由其在特定频率下形成的特殊形状等频轮廓决定。对于一种特殊的光学材料——光子 Weyl 介质，其表面存在一种特有的表面波，会形成开放的弧线状等频轮廓，也称为费米弧。然而，目前大多数光子 Weyl 材料都面临一个挑战：由于包裹材料的外部环境的光学性质固定不变，导致费米弧的形状也几乎不变，使得主动调控这些表面波变得十分困难。我们的研究发现，通过改变夹在两个光子 Weyl 介质层中间的空气层的厚度，可以连续地、灵活地调控费米弧的形状，使其从向外凸起变成向内凹陷的状态。特别值得注意的是，这种独特的凹陷形费米弧能够在其间的空气层中产生一种特殊的电磁拉力效应；并且得益于材料本身的拓扑特性，这种拉力能够在很宽的角度范围内稳定地实现。这项发现提供了一种简单而通用的方法，即利用空气层厚度作为调节手段，来主动设计和操控光子 Weyl 介质中费米弧的形状，从而为实现诸如可控电磁拉力等新颖表面波效应开辟了新的路径。

D25-09

太赫兹法布里-珀罗谐振腔与无极子（Anapole）共振的可调耦合

吴肖肖*

香港科技大学（广州）

本报告讨论一种基于非辐射无极子（Anapole）超表面与可调谐法布里-珀罗腔的混合系统，通过调控腔长实现弱耦合至强耦合的动态过渡，揭示了太赫兹波段光-物质相互作用可

调控机制。在弱耦合下，腔-超表面能量失谐压缩 Anapole 模式谱线宽度，增强局域态密度，实现高灵敏度折射率传感（灵敏度 33 GHz/RIU）；在强耦合下，模式匹配形成极化激元态，观测到 Rabi 分裂和色散反交叉行为。理论分析结合传输矩阵法与耦合振子模型，阐明弱耦合增强光子态密度、强耦合实现模式杂化的机制。实验通过太赫兹时域光谱（THz-TDS）验证了腔长调谐的动态控制能力。该研究为太赫兹光子学提供了可编程耦合调控平台，在量子信息、非线性光学及片上传感领域具有重要应用前景。

D25-10

基于超表面成像与单像素成像的图像加密和图像识别

Hongchao Liu*

University of Macau

Metasurfaces provide a new paradigm for direct imaging by manipulating different degrees of freedom of light (e.g., amplitude, phase, polarization, and wavelength). In contrast, single-pixel imaging, as a new indirect imaging technique, uses computational methods to reconstruct the target image by solving an inverse problem. Both metasurface imaging and single-pixel imaging have great potential in optical encryption and image recognition. We will introduce our group's recent research on metasurfaces and single-pixel imaging, with a particular focus on their applications in optical encryption and image recognition [1,2,3,4].

[1] Science Advances 7 (21), eabg0363 (2021).

[2] Advanced Optical Materials, 10, 2200257 (2022).

[3] Light: Science & Applications 12, 286 (2023).

[4] Applied Physics Letters 126, 041101 (2025).

D25-11

基于几何相位编码胆甾相液晶的湿度可视化传感

陈鹭剑*

厦门大学

液晶凭借对外界微弱刺激的高度敏感性，能将分子取向的微观变化放大为清晰的宏观光学信号，因而成为理想的光学传感材料。尤其是响应性胆甾相液晶聚合物（CLCP），以其卓越的结构稳定性和功能可定制性，受到研究人员的诸多关注。本报告以湿度响应为概念验证，构建了一种基于响应性 CLCP 与几何相位编码相结合的光学传感平台，无需昂贵仪器即可直观地将微观螺距变化放大为可见衍射光学信号。首先介绍了平台的设计原理与工作机理，随后展示了三种典型方案：基于偏振体光栅编码的衍射效率传感，实现了宽湿度范围的高灵敏监测；基于全息相位编码的图像亮度切换，实现了高分辨率可视化；以及基于 q-plate 的光束形态编码，实现了实时可定制的监测能力。最后将展望该可视化液晶光学传感的发展方向。

D25-12

无序介质光散射赋能的多维光场探测技术

陈锦辉*

厦门大学

复杂光场的产生、调制与探测已经成为现代光子技术研究的重要方向，特别地，发展集成化、智能化的多维光场传感器得到研究人员的广泛关注与重视，在光通信、光计算、成

像等领域具有广阔的应用前景。本报告将介绍课题组最近基于无序光学结构和深度学习结合的多维光场探测技术研究进展，通过对不同无序光学结构中光散射效应研究与调控，例如各向异性液晶薄膜，实现集成的多维光场快照式检测（强度、偏振、轨道角动量、波长）。进一步，讨论基于稀土颗粒上转换荧光的红外多维光场探测与成像技术的研究进展。

D25-13

碳纳米管阵列及其表面等离激元

史志文*

上海交通大学

单根碳纳米管已表现出极其优异的表面等离激元特性，包括超强的空间限域效应和高品质因子。近期，报告人及合作者开发出一种全新的材料自组装制备技术，实现了手性一致平行密排的碳纳米管阵列的直接生长。近场光学研究表明，该平行密排碳纳米管阵列支持双曲等离激元，为未来小型化纳米光子学器件的设计制造提供了新的选择。

D25-14

微腔激子极化激元的电学调控

张龙*

厦门大学

过去十年，二维半导体微腔激子极化激元已经在各种微腔结构中得到广泛研究，这得益于二维半导体较大的激子振子强度以及范德华晶体特性。然而，过去的研究大多聚焦于激子与光子耦合，二维半导体在电子多体物态调控方面的优势并没有被充分利用。通过静电掺杂，我们在二维半导体及其异质结中引入二维电子气。基于这样的二维电子气、激子、光子的混合体系，我们实现了极化激元色散以及等效塞曼分裂的电学调控。同时，我将展示莫尔超晶格对该玻色费米混合系统的调控。

D25-15

二维材料极化激元与光电子器件

欧清东*

澳门科技大学

在纳米尺度上操控光子，增强光与物质相互作用是纳米光电子领域的研究重点之一。其中需要解决的关键科学问题是如何在二维平面内实现光的有效束缚和传播操控。自首次实验观测到石墨烯表面等离激元传播图像之后，在多种二维材料中发现支持高度局域且面内低损耗传播的声子极化激元，在实现从可见光到太赫兹光谱范围的光电子器件方面表现出巨大潜力。由于二维材料极化激元的深亚波长传播特性、超薄尺寸、以及极端各向异性，控制其激发、传播、及耦合仍是挑战。

本报告将重点介绍本团队近期关于二维范德华材料氧化钼中双曲声子极化激元调控的研究成果。首先，通过构建旋转双层氧化钼与范德华异质结，实验上观测到了“光学魔角”和声子极化激元的可调拓扑转变 [Nature 2020, 582, 209]。在魔角附近，光学色散变成平带，实现极化激元的面内低损耗无衍射渠道化传播。其次，利用光子结构工程，揭示了双曲极化激元的光栅衍射光学与单向激发 [Sci. Adv. 2022, 8, eabn9774]，构造出一类低对称双曲极化激元光子晶体 [Nat. Commun. 2023, 14, 3894]，探索了基于低损耗极化激元聚焦与成像的超透镜应用 [ACS Nano 2024, 18, 17065; Adv. Mater. 2025, 37, 2504526.]。最近我们开发了一种通用的任意金属电极转移技术 [ACS Nano 2025, 19, 3579]，实现了基于二维半导体能谷光子

的片上集成光电子器件构筑新思路 [2025, arXiv:2503.19565]。

D25-16

层叠范德华半导体光电器件中激子超快非线性光谱研究

林楷强*

厦门大学

光与物质的强相互作用可以为新型光电器件和量子技术的开发带来契机，如无反转的光学增益、激光冷却和光量子信息处理等。过渡金属二硫族化合物因其激子特性已成为研究强的光与物质相互作用的新兴平台，近期，我们在单层和双层过渡金属二硫族化合物中观察到了激子量子干涉行为，并发现其主要来源于材料中动量空间K点周围的激子三能级系统。通过构筑单层或双层 WSe₂ 三极管器件，我们可以实现该激子三能级系统的有效调控，从而控制激子量子干涉行为，并通过发展时间分辨的和频光谱（SFG）与四波混频（FWM）来探测单层 WSe₂ 中激子量子干涉的动力学过程。在激子共振下，非线性光谱的强度随两束脉冲的时间延迟可以帮助理解激子量子干涉过程中的拉比（Rabi）振荡，为了解相干激子的动力学提供了启示。该时间分辨非线性光谱方法将为半导体量子光电器件提供新的研究手段。

参考文献

K.-Q. Lin et al., Nat. Nanotechnol., 2024, 19, 196.

J. Bauer et al, Nat. Photon., 2022, 16, 777-783.

K.-Q. Lin et al., Nat. Phys. 2019, 15, 242-246.

D25-17

Low-temperature hyperbolic polaritonics with suppressed phonon scattering

Gang Zhong, Qingdong Ou*

Macau university of science and technology

Hyperbolic phonon polaritons (PhPs) in van der Waals (vdW) materials, such as a-MoO₃, enable unparalleled nanoscale light manipulation due to their extreme confinement and anisotropic dispersions. Unlike plasmon polaritons, PhPs are free from electronic losses but suffer from substantial phononic scattering at ambient conditions. Recent cryogenic nano-imaging has demonstrated extended PhP propagation at low temperatures; however, the fundamental dissipation mechanisms remain elusive. Here, we unravel the intrinsic loss channels and scattering rate (γ) of PhPs in a-MoO₃-based hyperbolic polaritonic crystals (PoCs) through integrated structural, vibrational, and polaritonic characterizations at cryogenic temperatures, complemented by anharmonic lattice dynamics simulations. We reveal frequency-dependent decay pathways: three-phonon interactions dominate dissipation within the primary Reststrahlen band (RB, 550–851 cm⁻¹), whereas both three- and four-phonon scattering contribute to losses in higher-frequency RBs. Four-phonon processes become completely inhibited within the hyperbolic frequency range (550-962 cm⁻¹) below 140 K. Notably, cryogenic conditions suppress phonon decay, enhancing the PoC's quality factor by twofold. These insights elucidate the dissipation physics of hyperbolic PhPs and provide a foundation for designing high-performance vdW polaritonic devices for low-temperature applications.

D25-18

NbOCl₂: A 2D photonic platform with strong nonlinearity and anisotropy

Qiangbing Guo*

Zhejiang University

Optical nonlinearity and anisotropy are at the core of various classical and quantum optical technologies. However, both material properties are generally weak and have seen little progress since their initial discoveries, as one can find most widely used nonlinear optical systems and polarization elements still rely on bulky crystals discovered decades ago. In this talk, I will introduce a novel 2D van der Waals (vdW) crystal—NbOCl₂—that simultaneously exhibits record optical nonlinearity and optical anisotropy.

(1) The unprecedented $\chi^{(2)}$ nonlinearity has enabled the creation of the first 2D vdW material-based nonlinear quantum light source and set a record for the world's thinnest nonlinear quantum light source (~46-nm-thick vs mm/cm-thick for conventional crystals). This work paves a new pathway towards miniaturized and integrated entangled quantum light sources that are highly desirable and indispensable for integrated photonic quantum systems (Nature 2023; Optics in 2023).

(2) With its strong and anisotropic optical nonlinearity, controllable preparation of polarization entanglement and quantum Bell states at the nanoscale has been ingeniously achieved via vdW twist-stacking engineering on this new SPDC platform (Nature Communications 2024).

(3) It also sets a new record for the highest optical anisotropy, including near-unity linear dichroism (99%) and record large birefringence (higher than the previous record, i.e., Rutile). Importantly, the giant anisotropy lies in the in-plane direction of a 2D vdW crystal that is ease-to-access for practical devices. This discovery offers a long-sought platform for polarization manipulation and detection devices at the nanoscale (Nature Photonics 2024).

(4) In addition, this novel layered system features extremely weak interlayer electronic coupling and monolayer excitonic behavior in bulk form, implying new playgrounds for 2D material physics research (Nature 2023).

References

1. Q. Guo*, et al. Ultrathin quantum light source with van der Waals NbOCl₂ crystal. *Nature* **2023**, 613, 53-59.
2. Q. Guo*, et al. World's Thinnest Photon-Pair Source. *Optics in 2023* (OPTICA).
3. Q. Guo*, et al. Colossal in-plane optical anisotropy in a two-dimensional van der Waals crystal. *Nature Photonics* **2024**, 18, 1170-1175.
4. Q. Guo*, et al. Polarization entanglement enabled by orthogonally stacked van der Waals NbOCl₂ crystals. *Nat. Commun.* **2024**, 15, 10461.

D25-19

核辐射探测器的关键核心部件国产化

钱森*

中国科学院高能物理研究所

介绍基于光电倍增管的核辐射探测器的关键核心部件国产化布局情况。20 吋大面积 PMT (LPMT) 基于大科学装置江门中微子实验的需求, 从 2009 年自主研发, 截止 2019 年已经形成完全拥有自主知识产权、性能达到国际领先水平的光电倍增管生产线。针对大型对

撞机实验和医疗影像 TOF-PET 需求, 2019 年提出研制开发时间分辨 30ps 的 FPMT 计划, 目前在稳步进行中。2021 年针对大型对撞机探测器预研需求, 牵头成立闪烁玻璃研制合作组, 开展大密度高光产额闪烁玻璃研制工作, 经过 3 年联合攻关, 合作组成功研制出多款密度接近 6g/cc, 光产额超过 1000ph/MeV, 国际最好水平的高密度闪烁玻璃。

D25-20

Lead salts semiconductors-based Infrared Sensors

Qisheng Wang*

Nanchang University

Traditional infrared semiconductors, i. e. HgCdTe, InGaAs, lead salt (PbS, PbSe, PbTe), have been commercialized for decades in infrared technologies, such as night vision, military communication and health monitoring. The direct narrow bandgap endows them with high sensitivity and ultrafast response. However, traditional infrared (specifically middle- and long-wave infrared) semiconductors always suffer from serious noise generated by thermal excitation. Although thermal infrared detectors are able to operate at room temperature, their response speed is slow, typically in the order of milliseconds or worse, which limits their application fields. Herein, we reinvent the classical lead salt semiconductor, i.e. PbS and PbSe, as the room-temperature high-performance infrared detector. We first report the growth of wafer-scale single-crystalline lead salts thin film with controllable fabrication of large-area detectors array[1-2]. Then we show a new detection mechanism of the optical hot carriers-dominated energy conversion in lead salts thin film[3-7]. This mechanism enables the self-driven (no bias voltage necessary) and ultrafast photo-thermoelectric (PTE) response up to 500 ns (limited by the measurement setup)-three orders of magnitude faster than commercial PTE and photoconductive PbS and PbSe detector. Together with room temperature high sensitivity ($D^*=1.1 \times 10^{10}$ cm² Hz^{1/2} W⁻¹@4.0 μ m) and broadband detection range (0.4-5.0 μ m), the traditional commercial semiconductor PbS and PbSe is promising to generate a novel infrared detection application such as room-temperature infrared detection, imaging, and positioning. Then we integrate the lead salts thin film with emerging two-dimensional materials (MoS₂) or fully inorganic perovskite (CsPbBr₃) which exhibit exotic optoelectronic behavior [8-11]. The nonvolatile and reconfigurable short-wave infrared memory, broadband photodetectors have been achieved in PbS/MoS₂ and PbS/CsPbBr₃ semiconductors heterojunctions respectively.

References

1. Q. Wang* et al ACS Appl. Mater. Inter. 2024, 16, 20, 26386–26394
2. Q. Wang* et al Infrared Phys. Techn. 121 (2022) 104033
3. Q. Wang et al Adv. Sci. 2018, 1700912
4. Q. Wang et al Nano Lett. 2019, 19, 2647
5. Q. Wang* et al Nat. Commun. under revision (2025)
6. Q. Wang* et al Appl. Phys. Lett. 120, 042101 (2022)
7. Q. Wang* et al Appl. Phys. Lett. 122, 242102 (2023)
8. Q. Wang et al Sci. Adv. 2018, 4:eaap7916
9. Q. Wang* et al Small 2408545 (2024)
10. Q. Wang* et al Small 2309945 (2024)
11. Q. Wang* et al ACS Appl. Mater. Inter. 2024, 16, 7470-7479

D25-21

X 射线多能探测及其物质识别

徐晓宝*

Southeast University, China

X 射线探测属于医疗影像、工业检测、深空探索、科学仪器等领域共性技术。当前 X 射线探测多采用积分工作模式,其影像只能给出被探测物体的形貌信息,无法提供物质信息。光子计数虽可实现 X 射线能谱探测及物质识别,但面临 X 射线堆垒效应、信号甄别困难、成像时间长等问题。鉴于此,我们聚焦于新型实时性、高通量、多通道 X 射线能谱分辨理论与技术研究,即利用不同能量 X 射线穿透深度不同及其辐射生载流子位置不同的特性,通过构筑单极性感知器件,电压调控不同位置载流子收集,建立 X 射线能量与载流子间映射关系;进而利用 X 射线衰减系数比值,归一化检测物厚度影响,建立电信号与检测物原子间映射关系,成功实现 X 射线的能谱分辨及其物质识别。

D25-22

基于振动编码荧光的同位点互补振动光谱

孟兆东、易骏*、田中群

厦门大学

红外和拉曼光谱学是研究分子化学键振动指纹信息的基本工具之一。这两种谱学方法选律具有互补性:红外光谱通常对极性基团敏感,而拉曼光谱通常对非极性基团敏感。在动态或复杂的化学环境中,单独使用一种技术通常难以提供完整的分子振动谱图,将二者结合构成的互补振动光谱(CVS),可实现对分子振动指纹的全面解析。然而,红外光谱与拉曼光谱在光子能量、光电探测器灵敏度及检测灵敏度等各方面存在巨大差异,这使得将红外与拉曼集成为一体存在着显著困难,尤其针对同一空间的分子簇实现红外及拉曼的互补振动识别,仍为一大挑战问题。

我们发展了一种振动编码荧光技术实现同位点互补光谱探测的仪器方法[1]。该技术的核心是通过理性设计的双共振等离子体腔,在可见光及中红外区产生模式重叠的增强电磁场,并通过腔增强的上转换过程将红外吸收信息编码到反斯托克斯光致发光信号中,同时,在同张光谱的斯托克斯区获得拉曼散射信号。该方法确保拉曼信号和红外信号来源于同位点的相同分子的振动,且灵敏度达到百分子级别。

D25-23

多场耦合超分辨纳米光谱与成像:从可见光至太赫兹频段

卢曦*

QUANTUM 量子科学仪器贸易(北京)有限公司

散射型扫描近场光学显微术(s-SNOM)作为突破光学衍射极限的革命性技术,通过将原子力显微术与近场光学探测相结合,成功实现了跨可见光至太赫兹宽谱域的纳米级空间分辨。其核心在于原子力显微镜(AFM)系统与宽谱光场(覆盖可见光至太赫兹波段)的协同作用:当纳米探针在样品表面进行亚纳米级精度的机械扫描时,同步采集探针弹性散射的近场光信号,从而同步获取<10 nm 超高分辨率的近场光学图像与原子级表面形貌数据。这使其成为目前唯一可覆盖可见光-红外光-太赫兹频段实现纳米分辨的无损光学表征技术。该特性不仅解决了传统光学显微术在长波长区间的分辨率瓶颈,更开创了多物理场耦合条件下纳米尺度物质特性的原位研究范式。通过创新性引入多模态环境控制原位器件,现代 s-SNOM 已具备在极端实验条件(如 10k 低温、高强度电磁场、大电流负载、机械形变及液相

环境)下工作的能力。这些技术突破使该设备能够实时解析低维材料中的等离激元传播、超导涡旋动力学、钙钛矿相变过程等复杂物理现象,为揭示凝聚态物理中的量子相变机制、生物大分子动态行为、表界面催化反应动力学等前沿课题提供了不可替代的研究工具。

D25-24

THz s-SNOM technique and its applications in novel materials (太赫兹近场光学显微技术及其在材料检测中的应用)

Shu Chen*

University of Shanghai for Science and Technology

Terahertz (THz) spectroscopy owns great advantages in the studies of electron, phonon and chemical information of molecules and materials. Because of the limitation of diffraction, however, the far-field THz techniques don't allow the studies at the nanoscale, significantly limiting the wide applications of THz spectroscopy and imaging. The emergence of THz scattering-type scanning near-field optical microscopy (THz s-SNOM) provides the solution to this issue, benefiting from the capabilities of breaking through the diffraction limitation. However, it is still suffering the difficulties(e.g. low signal to noise), thus hindering its wide applications.

In this talk, I will show our home-made THz s-SNOM systems, discuss the issues and provide the corresponding solutions. I will further discuss our recent works related on the applications of THz s-SNOM in the field of novel materials, such as polaritonic materials, conductive polymer. For example, by using THz s-SNOM, we imaged low-dimensional semiconductor Ag₂Te thin platelets and achieved the very first real-space nanoimaging of in-plane anisotropic propagating and localized plasmon polaritons (PPs), that is, electromagnetic waves formed by strong coupling between light and dipolar matter excitations. Very recently, we utilized s-SNOM to quantitatively reveal the carrier density and conductivity properties at the nanoscale in the first synthesized two-dimensional conductive polyaniline crystal.

D25-25

基于物理和化学协同增强的单分子拉曼检测

洪丽红、李志远*

华南理工大学

单分子水平灵敏探测和传感、纳米及原子尺度显微成像、极宽带激光和光谱检测等为当前光学乃至自然科学的若干重大前沿问题。我们开发了等离激元纳腔-二维材料 SM-SERS 技术体系,通过三大核心创新突破单分子检测极限:(1)基于 WS₂/金纳米颗粒复合结构的 SM-SERS 检测方案,提出库仑引力诱导分子热点自组装机制,同步调控化学增强(CME)、电磁增强(EME)与荧光抑制,实现对 RhB、R6G、CV 三种异构染料的 50 ms 快速响应、大面积均匀检测,检测灵敏度达 10⁻¹⁶mol/L;(2)创新集成近红外泵浦匹配(785 nm)、多维增强协同、自组装调控等技术,验证了混合体系中 RhB/R6G/CV 三种分子的高可信度识别与定量分析能力。(3)设计中空金纳米颗粒等离子体纳米隙(与 785 nm 波长更匹配),成功实现 RhB、R6G、CV 三种分子通用、稳健、快速和均匀的 SM-SERS 检测,检测限度达 10⁻¹⁶mol/L。

D25-26

Broadband Photodetection in Twisted Graphene Systems

Xinghan Cai*

Shanghai Jiao Tong University

In this presentation, we will discuss broadband photodetection using twist-aligned graphene multilayer structures. The first part of the discussion delves into an advancement in photoresponse achieved in a graphene-hexagonal boron nitride-graphene tunnel junction device. By aligning the crystallographic orientation of the two graphene electrodes and employing precise device structure design along with adjustments in bias and gate voltages, we achieve an enhancement in tunneling photocurrent, which is attributed to resonant electron tunneling that conserves momentum, leading to significantly boosted external photo-responsivity spanning a wide temperature and spectral range. In the second part of the talk, we introduce a transistor device based on twist-aligned monolayer-bilayer graphene (TMBG). Through the creation of a moiré superlattice, we are able to tailor a gate-tunable bandgap and effectively alter the device's band structure to enhance its performance in sensitive photodetection applications. The dual-gate TMBG transistor exhibits consistent response characteristics throughout the entire spectral range. The underlying response mechanisms include the photothermoelectric effect, observable without a bias voltage, and the bolometric effect, activated by applying bias. At a sub-terahertz frequency of 0.3 THz, the transistor demonstrates exceptional performance at a low temperature of 4.5 K, with an optimized external responsivity of 16.9 A/W and a noise equivalent power of 27 fW/Hz^{1/2}. Furthermore, the operational temperature range can be extended up to room temperature, highlighting the versatility and efficiency of this photodetection system.

D25-27

双曲纳米光子学中的新奇光学现象

段嘉华*

北京理工大学

范德瓦尔斯材料中存在多种类型的极化激元波，例如等离激元（光子-电子）、声子极化激元（光子-声子）、激子极化激元（光子-激子）等，相关研究不仅拓展了学界对光与物质相互作用基本属性的理解，也有利于指导设计下一代低损耗光子芯片。本报告主要介绍各向异性范德瓦尔斯晶体中的新奇光学现象及其微观物理机制揭示。通过构建双层转角和三层转角结构实现宽光谱频率的中红外光场在纳米尺度上低损耗且无衍射的传播，传播方向可面内全角度调控。此外，我们将从多个维度对极化激元性质（包括传播方向、传播损耗、共振频率等）进行人工调控，为可调纳米光子学的发展及其在分子检测、光电探测、光热转换等方面的应用铺平道路。

D25-28

 α -MoO₃ 转角双层与微纳结构中极化激元的动态调控

江涛*

同济大学

各向异性声子极化激元（PhPs）因其在深亚波长尺度的强方向性与强局域性，正成为红外纳米光子学研究的热点，在光电探测、信息处理与能量转换等领域展现出广阔前景。以低对称性范德华材料 α -MoO₃ 为代表，其天然双轴色散为极化激元调控提供了独特物理基础。

基于此,我们构建了双层 α -MoO₃ 转角结构,首次在二维体系中实现剪切极化激元(HShPs),并在调节扭转角与上层厚度的基础上,集成了单层石墨烯,实现了多维精确调控[1]。借助红外近场分析,利用石墨烯电学可调费米能级可实现极化激元波矢、强度与损耗率的实时电学调制,揭示了复动量分量对费米能级的复杂响应机制[2]。进一步地,我们引入周期性微纳结构构建极化激元晶体(PoCs),并与石墨烯耦合,实现 Bloch 能带的电学重构与态密度增强,突破了传统 PoCs 操控的静态限制[3]。其中,依托转角结构中平坦等频曲线的动量特性,通过晶格周期与取向设计,实验实现了高方向性、低损耗 Bloch 模式的可控激发[4]。本研究提出并实验验证了一种融合扭转构型、微纳结构和外场驱动的多维调控路径,为构建可重构、可编程的极化激元纳米光子器件提供了新思路与物理支撑。

Reference:

- [1] Zhou, L., Ni, X., Wang, Z. et al. Engineering shear polaritons in 2D twisted heterostructures. Nat. Commun. 16, 2953 (2025).
- [2] Zhou, Z., Song, R., Xu J. et al. Gate-tuning hybrid polaritons in twisted α -MoO₃/graphene heterostructures. Nano Lett. 23 (23), 11252-11259 (2023).
- [3] Yu, K., Xu, J., Ni, X. et al. Dynamic tuning of Bloch modes in anisotropic polaritonic crystals. In preparation.
- [4] Yin, Y., Zhao, Z., Xu, J., et al. Selective excitation of Bloch modes in canalized polaritonic crystals. Adv. Optical Mater. 2403536 (2025).

D25-29

散射式近场光学显微(sSNOM)和纳米红外技术及其在二维材料研究中的应用

仇登利*、李勇君

布鲁克(北京)科技有限公司

纳米光子材料是一类具有纳米尺度结构特征的材料,它们在光子学、光电子学和光通信等领域展现出巨大的应用潜力。这些材料通过控制光与物质的相互作用,可以实现对光波的精确操控,包括光的传输、调制、存储和检测等。对纳米光子材料的研究不仅对理解小尺度光与物质相互作用所产生的新奇物理现象和机理具有重要意义,也能为纳米光子材料在光子器件、纳米医学、纳米生物、光催化和新型纳米芯片等方面的应用铺平道路。因此,在纳米尺度下的光与各类物质的相互作用、纳米光学和光谱学等研究目前成为了众多交叉学科的研究重点。选择和开发传统或者新型光子材料也成为广大科研工作者追求的目标。然而,在实验中,传统光学探测受光衍射效应的限制,无法实现纳米尺度下光与物质相互作用,光子材料纳米光学性质,纳米光谱的表征。幸运的是近年来基于高分辨率的原子力显微镜(AFM)发展而来的散射型近场光学显微技术因其 10 nm 高空间分辨率纳米近场光学及纳米光谱而备受关注。

布鲁克公司基于其专业的 AFM 开发的散射式近场光学成像技术平台,集成了散射式近场光学(sSNOM)和纳米红外光谱技术。通过对 AFM 探针与光子材料散射光的收集和分析,可以获取光子材料的 n, k , 介电性质, 光学性质, 电子态, 光场耦合作用等纳米近场光学信息。因此,布鲁克公司的散射式近场光学显微镜平台已成为纳米尺度光子材料近场光学表征的重要手段和工具,被广大科研工作者们采用,在低维材料纳米尺度的光学特性表征,如石墨烯和碳纳米管等离极化激元、hBN 和 α -MoO₃ 声子极化激元, 光子晶体的光学近场分布和传播特性、光子带隙和超材料、量子材料等纳米光学前沿研究领域显示出众多应用实例。综上所述,散射式近场光学显微镜在光子材料的研究中发挥着关键作用,它不仅能够提供材料的高空间分辨率近场光学成像,还能够深入研究材料的近场光学特性,为光子材料的设计、优化和应用提供了强有力的技术支持。

D25-30

基于自由电子的极化激元操控研究

蔡卫*

南开大学

报告摘要：极化激元是物质中的准粒子与光子耦合而成，其动量通常高于同频率的光子，因而能够实现光场的局域，为强光-物质相互作用搭建了平台。与此同时，伴随自由电子运动的倏逝场与极化激元存在天然的能量-动量匹配，这为利用自由电子耦合极化激元奠定了物理基础。在本报告中，我们将介绍课题组近期在利用自由电子操控材料极化激元方面的应用，涵盖二维的史密斯-珀塞尔辐射效应[1]以及极化激元干涉的超快控制[2]等内容，为极化激元在集成光子学领域的应用提供了全新方案。

参考文献：

1. Zhiguo Sun, Liyuan Cao, Lei Wang, Wei Wu, Huadong Yang, Jiawei Wang, Weiwei Luo, Mengxin Ren, Wei Cai*, and Jingjun Xu*, Smith-Purcell radiation in two dimensions, Phys. Rev. Lett. 134, 043802 (2025)
2. Rong Huang, Liyuan Cao, Weiwei Luo, Lei Wang, Wei Wu, Mengxin Ren, Wei Cai*, and Jingjun Xu*, Active control of plasmon interference in nanohole dimers by free electrons, Phys. Rev. B 110, 235416 (2024)

D25-31

全负介电常数材料中双曲表面声子极化激元性质及调控研究

戴志高*

中国地质大学（武汉）

本研究围绕钽酸钪晶体中声子极化激元的激发与调控机制，系统开展了实验表征与理论模拟相结合的研究，旨在突破中红外光子芯片在传输损耗、集成度与光场调控精度等方面的瓶颈。通过构建晶格各向异性与光学响应的构效关系，精准获取关键光学参数，揭示了其支持双曲声子极化激元传播的潜力。聚焦（110）晶面，发现并验证了其全负介电响应诱导的表面双曲极化激元新机制，并实现了金属纳米天线辅助的波前调控。进一步，建立温度-介电环境协同调控模型，获得从椭圆到双曲的光学拓扑转变及优异的传播性能；同时构建转角异质结体系，实现了杂化极化激元的无衍射传播与拓扑调控。本工作构建了多维声子极化激元调控体系，深化了对非传统双曲材料中极化激元物理机制的理解，为中红外集成光子器件与超分辨光学应用提供了理论基础与技术路径。

D25-32

适用于光和物质相互作用的表面等离激元纳米光学腔的研制

刘博文*

兰州大学

表面等离激元阵列的可调节性和丰富的光学模式使其成为研究纳米尺度上的光与物质相互作用的重要载体。等离激元阵列做为表面增强拉曼光谱（SERS）的基底、折射率传感芯片、理想吸收体以及纳米激光器的腔体，已经在发挥着重要的作用。但是，不同应用对表面等离激元性质的要求各异。因此，根据具体的应用开展个性化的表面等离激元阵列的设计、制备和优化就是一系列十分基础且重要的科学和技术问题。此次报告将介绍我们在面向光和物质相互的表面等离激元纳米光学腔的研制中所取得的进展。

D25-33

结合变换光学和 d 参数研究介观尺度等离激元学

杨帆*

四川大学

介观尺度（约 1 纳米量级）介于宏观与微观之间，在这一尺度下，经典电动力学无法准确描述光学响应，电子的量子效应变得不可忽略。近年来，随着微纳加工技术的进步，实验上已能实现 1 纳米量级的结构制备，并观测到一系列经典理论无法解释的现象。例如，当金属纳米球的尺寸减小至介观尺度时，其表面等离激元的共振频率会随尺寸变化，而经典理论认为亚波长纳米球的谐振频率仅由材料参数决定，与尺寸无关。此外，实验还发现介观尺度金属纳米腔中的电场增强效应弱于经典理论的预测，这是由金属中的非局域效应导致。当两个纳米颗粒间距极近时，还会出现新的电荷转移模式，进一步凸显了量子效应在介观光学中的重要性。

目前，含时密度泛函理论（TDDFT）是描述这些非经典效应的主要方法，但其计算成本高昂，仅适用于几纳米以下的体系，难以处理较大或多尺度的结构。量子流体动力学模型虽然降低了计算复杂度，但对于三维纳米体系仍面临较高的计算负担。因此，发展一种高效的理论方法来处理介观尺度的非经典光学响应具有重要意义。

我们提出了一种结合变换光学与 Feibelman d 参数的解析模型，以高效描述介观尺度纳米结构的光学行为。Feibelman d 参数能够定量表征金属表面的非经典电荷分布，通过修正经典电磁边界条件，可准确反映电子量子效应对光学响应的影响。变换光学则提供了一种强大的解析工具，能够通过坐标变换将复杂结构映射为简单体系，从而获得解析解。将二者的优势结合，我们建立了一个既能处理复杂几何结构又能解析描述非经典效应的理论框架。利用该模型，我们研究了纳米结构的吸收特性、带电效应及强耦合行为，不仅大幅降低了计算成本，还能给出清晰的解析表达式，明确揭示物理过程的参数依赖关系。

这一方法具有普适性，为介观等离激元光学研究提供了高效的理论工具，同时也为纳米光子学器件的设计与优化提供了新的理论指导。通过解析手段与量子修正的结合，我们的模型为理解介观尺度下的非经典光学现象开辟了新的研究途径。

D25-34

光学暗模式真的是暗的吗？

任博、高福华、杨帆*

四川大学

等离激元系统通过表面等离极化激元（SPP）的激发，实现了对光场的强空间约束和显著的场能量增强，因此在超分辨率成像、高灵敏传感、非线性光学以及表面增强拉曼散射等领域具有广泛的应用前景。在纳米等离激元结构中，根据辐射特性的不同，支持的模态可分为“亮模式”和“暗模式”。亮模式具有非零净偶极矩，能够被远场平面波直接激发，但其能量会通过偶极辐射不断损耗；暗模式则对应净偶极矩为零的近场模式，不含辐射损耗，因而更易储存能量，具有更长的光子寿命、更高的品质因子（ Q 值）和更窄的谐振线宽。在生物医学传感、无损纳米波导及光学滤波等领域，暗模式的高 Q 值与窄线宽特性展现出巨大的应用潜力。此外，暗模式与亮模式之间的耦合能够诱导法诺共振（Fano resonance, FR）或电磁感应透明（Electromagnetically Induced Transparency, EIT）等独特光学效应。

由于暗模式净偶极矩为零，无法被线性极化平面波直接激发，传统上往往需要借助聚焦电子束、倏逝波、非对称入射、径向偏振光或非对称几何结构等手段加以激发。然而，本研究在介观尺度范围内发现：暗模式可以由远场平面波直接激发——这一现象突破了传统认知。

我们证明,这种直接激发源于非经典效应所诱导的不同阶模态之间的耦合。为了深入理解该耦合机制及其物理本质,我们将变换光学(Transformation Optics)与 Feibelman d 参数理论相结合,针对椭圆纳米线的非经典光学响应进行了解析性研究。具体而言,变换光学方法将椭圆几何映射为等效的圆环结构,从而简化了模态求解; d 参数则作为与电子量子效应相关的表面响应函数,可对电子溢出、非局域效应以及表面增强朗道阻尼等非经典现象进行定量建模。通过在边界条件中引入 d 参数修正,我们得以对介观尺度下的电磁响应进行精确描述。

根据经典光学,一个亚波长金属椭圆纳米线在线性极化平面波的作用下只能激发电偶极的明模式(角量子数 $m=1$)。考虑非经典效应后(d 参数不为零),椭圆纳米线的明模式和暗模式(角量子数 $m>1$)将发生耦合,从而导致高阶暗模式在线性极化平面波的作用下被激发。首先,我们研究了金属椭圆纳米线的各阶模式的色散曲线,发现它们之间发生了反交叉现象,即 Rabi 劈裂。该现象证明了不同阶模式间的耦合。结合变换光学和 d 参数的理论框架,我们定量计算了该 Rabi 劈裂的关系,结果显示其与 d 参数大小成正比、与椭圆长轴长度成反比。此外,我们还计算了偶极辐射(亮)模式与暗模式之间的能量转化效率,验证了其几何参数呈反比关系,阐明了暗模式的调控机制。

本研究不仅突破了对暗模式激发方式的传统认知,还提供了一种全新的暗模式激发与调控手段,为下一代量子等离子激元器件的设计与优化提供了理论指导。

D25-35

基于等离子激元纳腔的极端尺度光学方法与器件

胡树*

厦门大学物理系

等离子激元纳米结构通过激发金属中自由电子的集体振荡,能够将光场局域到远小于衍射极限的尺度。然而,当纳米结构间隙缩小至亚纳米级别时,电子的量子隧穿效应会限制模式体积的进一步压缩。近年研究表明,在超强局域光场作用下,纳米腔内会形成可逆的新结构,将光场模式体积进一步缩至单原子尺度(皮米光腔),实现原子级化学分辨。本报告将探讨该极限光场局域现象的研究进展与机理解析,并介绍如何利用等离子激元纳腔构筑室温下的量子光电器件。

D25-36

等离子激元纳米间隙极端光场:从相干频率转换到机器学习增强纳米传感

陈文*¹、胡华天²、徐红星³

1. 华东师范大学精密光谱科学与技术高等研究院
2. 意大利技术研究院生物分子纳米技术中心
3. 河南省科学院物理研究所

基于等离子激元共振效应,金属纳米间隙结构能够在原子尺度的体积内产生极端局域光场与局域光学态密度,并将光-物质相互作用增强数个数量级 [1-3]。这些特性为极端纳米光子学开辟了新的研究领域,包括实现对分子振动动力学、原子皮腔以及单分子过程的探测。在此,我们基于多维性能优化的等离子激元纳米间隙结构,展示了三项研究进展。首先,我们开发了一种双共振纳米颗粒-凹槽纳米腔,构建了一种基于分子腔光力学的相干频率转换纳米器件 [4]。通过在约 1 纳米的间隙内设计中红外(32 THz,用于表面增强红外吸收,SEIRA)和可见光(~400 THz,用于表面增强拉曼散射,SERS)频率的等离子激元共振匹配,我们实现了常温连续波中红外至可见光频率上转换。入射的红外光子共振驱动集体分子振动,将相

干光力作用调制到可见光泵浦激光上,从而产生具有亚自然线宽的反斯托克斯拉曼边带。该过程实现了每个分子 13 个数量级的效率提升,规避了传统非线性光学固有的相位匹配限制,为常温中红外相干探测开辟了新的方案。其次,我们通过深度学习框架——SPARX——克服了等离子激元纳米结中的光谱异质性。传统的彩色暗场显微技术无法从波长范围受限(<700 nm)的 RGB 图像中解析出宽光谱特征。而 SPARX 通过学习纳米间隙阵列内的多共振物理关联,能够直接从单次拍摄的 RGB 图像外推出完整的散射光谱(500–1000 nm)。这使得能够以光谱保真度实现毫秒级分辨的共振筛选(相较于传统光谱技术所需的数小时),将纳米光子器件的表征速度提高了 3-4 个数量级 [5]。第三,我们利用配体调控的纳米颗粒-镜面(NPoM)天线,在动态的亚 2 纳米等离子激元通道中解析分子输运物理。与传统的静态间隙层方案不同,我们构建的这种传感平台,能够将分析物可渗透的纳米间隙与具有 10⁶倍表面增强拉曼散射(SERS)增强相结合,实现单分子灵敏度的分子传感。我们通过集成波长复用 SERS 与傅里叶平面成像技术,实现了 5 纳米的空间分辨率,揭示出分子在纳米间隙通道内的竞争性配体交换过程的机理。该等离子激元纳米通道展现出卓越的输运效率,即使在亚 2 纳米的高度限制下,仍然能够维持分析物扩散超过 20 微米的距离。总而言之,我们的这些进展确立了可编程纳米间隙作为量子光力学、智能纳米光学和生物界面传感的通用平台。

参考文献

- [1] Li, Y., Chen, W.*, He, X., Shi, J., Cui, X., Sun, J.*, & Xu, H*. Boosting Light-Matter Interactions in Plasmonic Nanogaps. *Advanced Materials*, 36(49), 2405186 (2024).
- [2] W. Chen, S. Zhang, M. Kang, W. Liu, Z. Ou, Y. Li, Y. Zhang, Z. Guan, H. Xu, “Probing the Limits of Plasmonic Enhancement using a Two-Dimensional Atomic Crystal Probe.” *Light: Sci. & Appl.* 7, 56 (2018).
- [3] W. Chen, P. Roelli, ... T.J. Kippenberg, G. Tagliabue, and C. Galland et al., “Intrinsic Luminescence Blinking from Plasmonic Nanojunctions.” *Nature Communications*. 12(1), 1-9 (2021).
- [4] W. Chen, P. Roelli, H. Hu, ... T. J. Kippenberg, M. Kovylyna, E. Verhagen, A. Martínez, C. Galland, “Continuous-Wave Frequency Upconversion with a Molecular Optomechanical Nanocavity.” *Science*, 374 (6572): 1264-1267 (2021).
- [5] Kazemzadeh, M., Zhang, B., Hu, H.*, Chen, W.* & Xu, H* et al. Seeing Beyond Dark-Field RGB Capabilities: Deep Spectral Extrapolation of Ultrasmall Plasmonic Nanogaps. *arXiv preprint arXiv:2504.13062* (2025).

D25-37

薄膜铌酸锂光子器件在传感方面的应用

林忠劲*

中山大学

铌酸锂薄膜光子集成技术相比于其他光子集成材料平台,比如硅基、氮化硅、磷化铟,具有大透明窗口、低传输损耗、良好的电光/压电/非线性等优势,因此迅速成为了新的研究热点。铌酸锂薄膜光子集成技术在超高速光通信应用方面,已经被大量的工作证明其具有非常大的潜力。本报告将从另外一个角度(即光学感知)来探讨铌酸锂薄膜光子集成技术的应用前景,首先介绍其在偏振调控/测量方面的应用,接着介绍其在光谱测量方面的应用,最后介绍其在信息智能处理方面的应用。

D25-38

Van Hove singularity interband plasmons in the kagome metal CsV₃Sb₅ films

Chong Wang*

Beijing Institute of Technology

Van Hove singularities (VHS) are known to strongly influence topological and correlated electronic phases. Their associated excitations present a unique platform for investigating how light-matter interactions are modified by electronic correlations—yet direct experimental studies remain scarce. In this work, we investigate the coupling between plasmons and VHS-related excitations in kagome metal CsV₃Sb₅ thin films using far-field absorption spectroscopy. In the charge density wave (CDW) state, we observe a clear anti-crossing behavior, with a coupling strength approaching the strong coupling threshold. This indicates the formation of dispersive hybrid VHS interband plasmons. These hybrid modes exhibit strong sensitivity to the underlying charge order. Our results highlight a new pathway for tuning plasmonic excitations via correlated electronic states, and point to the potential of kagome metals as a platform for exploring light-matter coupling in strongly correlated systems.

D25-39

半导体中载流子输运性质的研究

胡逢睿*

南京大学

载流子输运不仅是半导体最重要的性质之一，也与光电器件的性能密切相关，研究载流子输运性质具有重要意义。结合泵浦探测和共聚焦显微技术，搭建了具有 200 飞秒时间分辨、100 纳米空间分辨的瞬态吸收显微镜系统。基于这一系统，我们研究了胶体量子点薄膜，钙钛矿单晶微米片等材料体系中的载流子传输动力学过程。相关研究为深入理解半导体光电器件，并进一步提高器件品质提供了重要基础。

D25-40

量子点光电器件的阴离子缺陷调控

张佳旗*

吉林大学

量子点作为一种具有独特量子尺寸效应的零维纳米材料，在光电器件领域展现出广阔的应用潜力。然而，离子迁移过程中的随机性严重制约了器件的可靠性和功能化实现。针对上述挑战，本报告将介绍课题组在基于量子点阴离子缺陷调控实现高性能发光与逻辑器件研制方面的研究思路与方案：通过阴离子缺陷调控技术，实现原子级别的精准控制离子动力学过程，从而模拟多层次学习规则和类脑学习功能；构建微观离子迁移通道，促进导电通道的可控形成，实现高稳定性的突触器件；结合有限元分析和第一原理计算方法，设计并筛选高效光电协同调控的忆阻材料及器件；并探讨该器件在图像降噪和识别等实际应用中的潜力。

D25-41

基于 AlN 的片上集成单光子源及高维单光子态的制备张亮^{*1,2}、闫建昌^{1,2}

1. 中国科学院半导体研究所 宽禁带半导体研发中心
2. 中国科学院大学 材料科学与光电技术学院

基于光学参量下转换（SPDC）产生的纠缠光子对，因其具有量子关联特性、低噪声等优势，是片上集成单光子源中一种极具竞争力的方案。单晶氮化铝（AlN）材料具有超宽的光学透明窗口（0.2-5 μm ）以及较强的光学非线性系数，是一种优良的光量子集成平台。本工作基于蓝宝石衬底 AlN 单晶薄膜材料制备了高品质因子的微腔，通过优化 SPDC 非线性过程，获得了产率高达 24 MHz/mW、带宽超过 30nm 的高亮度单光子源。在此基础上，我们进一步开发了可规模化扩展的光量子集成芯片，实现了对 SPDC 产生的单光子的片上操控，获得了高质量的可重构的高维频率自由度的单光子态，为构建高维量子通信网络和量子计算系统提供了关键技术支撑。

D25-42

有机电致发光器件中微纳结构金属电极的光调控研究

毕宴钢*、林霖、张家硕、王丛芳

吉林大学

随着 3D 显示、加密信息存储、量子计算等领域的飞速发展，对于偏振光源提出了更高的需求。有机电致发光器件（OLED），因其高效率、宽色域、低能耗等特点，在未来光源中具有不可替代的优势。目前，实现 OLED 偏振光出射的主要方案是附加偏振光学元件滤波，但是 OLED 出射的大量光子被偏振光学元件反射或者吸收，导致能量损耗。基于材料工程，设计具有偏振光出射特性的有机发光材料，所制备的偏振 OLED 在效率和稳定性等方面还存在很多问题。因此，如何实现高效率的 OLED 偏振光出射，依旧是艰巨的挑战。另外，由于 OLED 器件内存在衬底模式、波导模式和 SPP 模式等非辐射模式，会严重束缚器件内部产生的光子，由于这些光学模态的存在，传统底发射 OLED 器件的光取出效率不足 20%。

我们针对上述问题，设计基于微纳结构的超构金属电极，在 OLED 内部实现光电模态的精确调控，在无需借助附加光学元件以及不受材料限制的前提下，实现 OLED 本征偏振光出射。进一步，利用金属微纳结构激发 OLED 内非辐射模式耦合出射，提高 OLED 的光取出效率。基于超构金属电极的偏振 OLED 展现出高亮度、高效率和高偏振度等优异的光电性能，具备产业化应用前景。

D25-43

转角双层石墨烯中声子空间分布的近场光学研究

姜丽丽*

中国科学院大学

在转角双层石墨烯（Twisted Bilayer Graphene, TBG）中，摩尔超晶格不仅重构了电子能带结构，而且对晶格动力学产生了显著影响。声子模式的空间分布反映了晶格振动如何适应摩尔势场的周期性调制。根据局域堆叠结构的不同，声子模式可能表现出局域化或去局域化行为。因此，系统研究声子模式在摩尔结构中的空间变化，对于揭示电子-声子耦合在不同区域的演化规律具有重要意义，也为理解 TBG 中的超导机制提供重要线索。我们利用扫描近场光学显微镜（s-SNOM）和纳米红外光谱技术，系统探测了 TBG 中对称与反对称声子

模式的空间特性，它们分别对应于双层石墨烯中不同类型的层间振动方式；通过外加电场和调控载流子密度，我们进一步研究了电子-声子相互作用的调控机制。这项工作揭示了声子与电子之间的微观耦合机制，以及该相互作用在外部调控下的演变规律。

D25-44

二维半导体激子与光耦合的多面效应

刘晓泽*

武汉大学

二维半导体在光与物质相互作用的研究前沿中展示了巨大潜力。作为典型的二维半导体，单层过渡金属硫族化合物（TMD）激子与光的强耦合区域非线性光与物质相互作用提供了许多宝贵的研究机会。由于其较大的激子束缚能，单层 TMD 在强耦合区域可以实现室温稳定可调的激子极化激元，这些激子极化激元在等离激元纳腔强耦合的体系中还可以促成相干的非线性声子散射，为二维激子的非线性光学和相关量子现象提供了研究基础。此外，TMD 不同激子种类和光的耦合效应也展现出了对多种光自由度的调控。和 TMD 类似的二维量子限域作用，最近也涌现了一批新兴的二维半导体材料，展示了激子与光耦合更丰富的效应。这个报告中，我将进一步分享近期我们的一些研究进展，包括二维钙钛矿半导体材料倾斜晶格作用下的新型偶极矩激子，以及在二维磁性半导体中激子极化激元的负折射效应。

D25-45

二维材料中电声耦合的超快光谱研究

陈海龙*

中国科学院物理研究所

二维过渡金属硫化物(TMDC)在光电子学、自旋电子学等领域展示了良好的应用前景。由于强库伦相互作用的存在，TMDC 的光学和电学特性在很大程度上由其中的激子等多体复合物的性质所决定，深入理解其中的多体相互作用机制，特别是电声耦合作用，将极大有利于发掘其潜在应用价值。我们通过发展同时拥有高时间、空间、跨频域及能量分辨的超快光谱测量方法，揭示了二维材料内非平衡态声子对电子态动力学的调控机制，并以此解决了如何延缓热电子弛豫以及如何调控电荷复合过程等关键科学问题。此外，通过发展基于~10 fs 超短脉冲的飞秒二维电子光谱技术，可以观测到单层 TMDC 材料在光激发后的超快动力学过程以及由声子介导的相干耦合现象。此发现可加深对 TMDC 材料中光诱导多体复合物形成机制的理解，提出了通过光学激发和电学调节来操纵激子的可行性，并可启发基于 TMDC 材料的光电器件或量子设备的设计。

D25-46

二维材料中畴的近场光学成像与调控

骆越*

东南大学

二维范德华量子材料由独立的原子层通过弱范德华作用力堆叠而成，展现出几乎所有固体中已发现的光电性质。通过改变堆叠顺序和层间晶格的相对角度，可以形成超晶格，从而产生物理性质截然不同的莫尔畴、铁电畴、铁磁畴等。畴的大小、位置和偏振方向可随转角大小、堆叠顺序及外部电磁场的方向而变化。实现纳米尺度的精准调控是目前亟待解决的难题，而其先决条件是对畴及其畴壁进行纳米尺度的成像。传统的成像方法依赖扫描隧道显微镜（STM），需要将样品制备或转移到特殊的氮化硅悬空基座上，条件苛刻，且只能进行

表征,无法继续复杂样品的制备和实际应用。为了制备实际可控的高性能器件,亟需一种全新的成像方式,能够在原位成像的同时,对样品材料的要求较低,避免特殊处理。在此背景下,我们提出了一种极化激元探测方法:利用二维材料在探针增强下激发的极化激元,通过其传播探测材料中的电导率变化,实现对畴的纳米尺度成像。基于获取的畴位置信息,我们通过器件制备实现了电学调控。量子材料中的极化激元在纳米光子技术中有广泛应用,可用于纳米尺度的光电调制、高精度成像和光学探测等。

D25-47

二维过渡金属硫族化合物量子基态探测与调控

万闻*

上海大学

二维材料(如石墨烯、过渡金属硫族化合物等)因其原子级厚度和独特的量子限域效应,展现出与传统体材料截然不同的光电特性(如激子效应、谷电子学、强光-物质耦合等)。研究这些特性有助于揭示低维量子体系中的新物理规律,推动凝聚态物理以及相关交叉领域的发展。尤其,二维材料的能带结构可通过层数、应变、电场或化学修饰灵活调控,为研究光生载流子动力学、激子输运等基础问题提供了理想平台。基于此,我们以二维过渡金属硫族化合物为主要研究对象,从材料设计制备、量子基态探测以及调控等角度研究了该材料体系所特有的相关属性和潜在应用。报告内容主要包括:1)设计并制备出 TMDCs 单层合金,通过扫描隧道谱技术系统研究了该合金能带结构的指纹信息以及演变过程(Adv. Mater. 34, 2200492 (2022); npj 2D Mater. Appl. 7, 41 (2023)); 2)通过异价过渡金属元素插层 TMDCs 体材料的方法探索了由非磁性元素引入的磁效应对其量子基态的调控特性(ACS Nano 18, 27665 (2024))。本研究希望能以该类材料为平台,在设计多功能集成光电器件方面提供新的思路。

D25-48

单原子结的超快光电流相干振荡

刘俊扬*、陈李珏、郑俊榕、张浩、邱智鑫、易骏、洪文晶

厦门大学

在纳米尺度上控制光驱动电流对于光电子学、能量转移和信息处理至关重要。其中,保持电子相干性的单原子结,因其具有极限尺寸,可作为研究和操控光驱动输运的模型体系。然而,由于在室温下控制其原子形貌的挑战,通过隧穿单原子结的光驱动相干输运现象一直难以捉摸。在此,我们利用机械可控断裂结技术(mechanically controllable break junction technique),在常温环境下构筑并控制金单原子点结,在金单原子结中展示了源自光子辅助相干输运的光电流振荡。这种振荡导致集体光电流产生高达约 50%的巨大抑制比,从而将光子诱导吸收与发射这两个相反输运路径之间的相干相互作用,与等离激元诱导的热电子输运区分开来。我们的发现提供了一种原子级精度的策略来控制光驱动输运,为原子尺度高频光电子学开辟了新途径。

D25-49

用“搭积木”方式构建片上微腔耦合单光子源

朱一帆^{1,2}、刘润泽³、伊艾伦^{1,2}、霍永恒^{4,5}、欧欣^{1,2}、张加祥*^{1,2}

1. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所
2. 中国科学院大学材料科学与光电工程中心

3. 香港中文大学物理系
4. 中国科学技术大学合肥国家微尺度物质科学研究中心
5. 中国科学技术大学上海量子科学研究中心

光量子信息技术正朝着小型化与芯片化方向快速发展。自 2008 年首款石英基集成光量子芯片问世以来,硅光子平台凭借成熟的 CMOS 工艺成为主流,但在量子光源制备和动态重构方面面临挑战。硅材料的间接带隙特性限制了大规模量子光源的片上实现,使得可扩展光源及电光可重构回路成为核心难题。混合集成技术为突破这一瓶颈提供了新思路。其中,III-V 族量子点光源因其近乎 100% 的单光子发射效率和高度的全同性单光子发射特性备受关注,但传统微腔结构难以实现芯片级集成。针对这一挑战,本研究创新提出"搭积木"式混合集成方案:通过微转印技术将含 InAs 量子点的 GaAs 波导精准堆叠至 4H-SiC 微环谐振腔上。实验显示,该结构实现了"回音壁"模式的平面局域光场,腔模品质因子保持 7.8×10^3 , 仅比原始微环下降约 50%,光场局域能力优异。通过高性能的片上微型加热器,实现了量子点激子态光谱在 4 nm 范围的局部动态调谐(相当于一个自由光谱范围),成功将腔模与量子点激子峰精准匹配,获得了约 4.9 的珀塞尔增强因子和高达 99.2% 的单光子发射纯度。这一突破为量子光源与电光芯片的集成提供了新路径,有望推动光量子网络向实用化迈进,为量子计算、通信等领域的芯片级集成提供全新解决方案。

D25-50

混合相 BiFeO₃微观结构的近场声子纳米成像与光谱研究

尤恩铭*

集美大学海洋信息工程学院

外延生长的混合相 BiFeO₃ (BFO) 薄膜可在四方相基体中稳定形成纳米尺度的四方相与菱方相共存结构,为探索其丰富的物理特性提供了理想平台。这些相变体的晶格振动模式(声子特性)能够反映材料内部结构及其耦合行为,但目前已有研究仅涉及电学、力学和磁学性质,对其纳米尺度的声子特性及不同相之间的相互作用仍缺乏深入探讨。本研究采用散射型扫描近场光学显微镜(s-SNOM)结合纳米傅里叶变换红外光谱(nano-FTIR),突破了传统远场红外光谱在空间分辨率与探测深度上的限制。我们首次基于 nano-FTIR 测得的指纹振动光谱,实现了对 BFO 纳米结构中不同相变体细微振动差异的分辨与成像,揭示近场声子响应的空间分布。此外,我们成功捕捉到铁电 BFO 材料在外场作用下的电学翻转行为,实现纳米尺度的电写入和非破坏性读写,展示了该技术在铁电开关动态过程中的应用潜力。研究表明,红外纳米光谱和成像技术在解析纳米尺度结构与物理特性方面展现出优异的灵敏度和普适性,为红外光电功能器件的发展提供了新的思路与可能性。

D25-51

有机室温磷光材料的策略设计及 OLED 应用

王涛*

北京理工大学

有机室温磷光是一种由分子三线态激子辐射跃迁所产生的光发射现象。合理调控三线态激子的行为是构建高效室温磷光的关键前提。报告人聚焦于调控不同激发三线态之间的耦合作用,构建多重磷光发射,以解决三线态激子利用率低等问题,从而提升有机室温磷光的性能。研究进展主要包括:1) 调控给-受体之间的电子耦合,确立构建多个稳定的激发三线态构型是设计多重磷光材料的通用策略[1-3]; 2) 建立了给-受体间电子耦合与三线态间激子耦合的联系,解析了三线态间激子去耦合是触发多重磷光发射的内在机制[4]; 3) 利用多重磷

光策略构建了高效的室温磷光材料用于磷光 OLED 器件，并突破了传统荧光器件的效率限制[5,6]。对有机室温磷光材料构效关系的系统研究，证实了这类发光材料在光电器件中具有明显的应用前景。

参考文献

- [1] Wang, T.; Hu, Z.; Nie, X.; Huang, L.; Hui, M.; Sun, X.*; Zhang, G.* Nat. Commun. 2021, 12: 1364.
- [2] Wang, T.; De, J.; Wu, S.; Gupta, A. K.; Zysman-Colman, E.* Angew. Chem. Int. Ed. 2022, 61: e202206681.
- [3] Cheng, A.; Jiang, Y.; Su, H.; Zhang, B.; Jiang, T.; Wang, T.*; Luo, Y.; Zhang, G.* Angew. Chem. Int. Ed. 2022, 61: e202206366.
- [4] Wang, T.; Gupta, A. K.; Wu, S.; Slawin, A. M. Z.; Zysman-Colman, E.* J. Am. Chem. Soc. 2023, 145: 1945.
- [5] Wang, T.; Su, X.; Zhang, X.*; Nie, X.; Huang, L.; Sun, X.*; Luo, Y.; Zhang, G.* Adv. Mater. 2019, 31: 1904273.
- [6] Si, C.†; Wang, T.†; Gupta, A. K.; Cordes, D. B.; Slawin, A. M. Z.; Siegal, J. S.; Zysman-Colman, E.* Angew. Chem. Int. Ed. 2023, 62: e202309718

D25-52

光学微腔高效非线性频率转换机理与调控

曹启韬*

北京大学

超高品质因子光学微腔能够长时间将光场局域在很小的空间体积内，从而显著增强光与物质相互作用。特别是在非线性光学研究和应用方面，集成光学微腔光子学已成为一个极佳的物理平台，能够在微纳尺度上实现高效和丰富的非线性光学过程。在光学微腔中实现高效的非线性频率转换对于充分发挥光与物质相互作用的能量至关重要，然而绝对频率转换效率从根本上受到耗散损耗和本征非线性效应的限制。本报告主要介绍回音壁光学中的二次谐波产生的统一理论框架，通过揭示其中决定性参数因子 M ，从而二在非线性和临界耦合条件下预测 ACE 的极限。利用该理论模型，我们制备了周期性极化薄膜铌酸锂微腔，并通过解决色散-耗散抑制问题来逼近非线性临界耦合条件，最终实现了创纪录的 61.3% 的 ACE（使用毫瓦量级的泵浦功率），朝着终极效率迈进。随着 M 因子的增大，效率还有进一步提升的潜力。这些结果为高效非线性光学器件提供了一个通用范式，为经典和量子光子应用领域的进步提供了机遇。

D25-53

李晶双曲超材料自旋二维光路

孙竞博*

清华大学

本工作构筑了一种李晶双曲超材料，基于双曲极化激元与双曲超材料各向异性取向之间的内在关联，实现多通道双曲极化激元二维光路，具有自旋相关的耦合输入、传输与输出的特性。本工作为双曲极化激元在集成光子学领域的应用提供了新思路。