

中国材料大会 2024
暨第二届世界材料大会
CMC 2024 & WMC 2024

July 8-11, 2024
Guangzhou, China

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

Organized by

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.scimeeting.cn>

D25. 光子材料与器件

分会主席：戴庆、狄增峰、杨晓霞

D25-01**High-performance Semiconductor Quantum Light Sources**Jin Liu*School of Physics, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China*

Semiconductor quantum emitters, especially epitaxial quantum dots (QDs) with large optical oscillator strength, are one of the most promising candidates for exploring fundamental quantum physics in solid-state and building quantum photonic devices on-chip. However, the deterministic creation and eventual scalability of single QD devices greatly suffer from the random nature of the QDs produced in their self-assembled growth. In this talk, I will present the breakthrough of scalable and deterministic light-matter couplings based on single-photon hyperspectral imaging[1]. With deterministically coupled QD-microcavity systems, we've observed the long-sought-after dynamic resonance fluorescence in cavity quantum electrodynamics [2] and realized quantum photonic devices with state-of-the-art performances, including bright sources of entangled photon pairs [3], chip-scale light sources carrying orbital angular momentum [4,5] and stimulated emission assisted single-photon sources [6]. We finally envision long-distance quantum networks based on telecom band QDs via hybrid integration technology [7].

References

- [1] S. Liu et al., *Super-resolved snapshot hyperspectral imaging of solid-state quantum emitters for high-throughput integrated quantum technologies*. Nature Photon. (2024). <https://doi.org/10.1038/s41566-024-01449-4>
- [2] S. Liu et al., *Dynamic resonance fluorescence in solid-state cavity quantum electrodynamics*. Nature. Photon. 18, 318–324 (2024).
- [3] J. Liu et al., *A solid-state source of strongly entangled photon pairs with high brightness and indistinguishability*. Nature Nano. 14 586 (2019).
- [4] B. Chen et al., *Bright solid-state sources for single photons with orbital angular momentum*. Nature Nano. 16 302 (2021).
- [5] B. Chen et al., *Integrated Optical Vortex Microcomb*. Nature Photon. 18 625 (2024).
- [6] Y. Wei et al., *Tailoring solid-state single-photon sources with stimulated emissions*. Nature Nano. 17 470 (2022).
- [7] Y. Yu et al., *Telecom band quantum dot technologies for long-distance quantum networks*. Nature Nano. 18 1389 (2023).

D25-02**太赫兹波段无阈值切伦科夫辐射**

刘仿

清华大学

自由电子与微纳结构相互作用可以产生多种有趣的辐射现象，为突破传统自由电子太赫兹辐射源提供了可能。前期研究工作表明，利用双曲超材料可以实现无阈值切伦科夫辐射和集成自由电子辐射芯片。本研究构建了基于太赫兹波段石墨烯-氮化硼双曲超材料，首次观测到太赫兹波段的切伦科夫辐射，并实现了频率覆盖 3.4-14THz 的集成自由电子太赫兹辐射芯片。

D25-03

超高分辨近场时空成像

李培宁

华中科技大学光学与电子信息学院

近场光学显微镜（SNOM）通过金属针尖与样品近距离作用实现局域隐失波增强，在超高分辨光学成像与探测方面具有独特的优势。我们发展了基于“天线激发-SNOM 针尖成像”和近场时域干涉的方法，对各向异性光学材料中的双曲极化激元进行纳米飞秒尺度时空近场成像，揭示了这些极化激元的独特动力学特性。

D25-04**Manipulation of hyperbolic phonon polaritons**

Yongqian Zhao, Jianing Chen*

Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

The main goal of nanophotonics is to control the energy flow of light at the nanoscale. The study of phonon polaritons in van der Waals materials at the nanoscale has gained significant attention in recent years due to their unique properties of phonon polaritons, such as anisotropic propagation, strong field confinement, and ultralong lifetime. Despite these advancements, there still exists a challenge in achieving dynamically reversible manipulation of phonon polaritons in these materials due to their insulating properties. VO₂ is a typical phase change material known for its dramatic changes in dielectric properties between its insulating and metallic states. By combining α -MoO₃, who supports in-plane hyperbolic phonon polaritons, and VO₂, we present experimental evidences on the reversible manipulation of anisotropic phonon polaritons in α -MoO₃ on top of a VO₂ film. Our findings demonstrate that the engineered VO₂ film enables a switch in the propagation of polaritons in the mid-infrared region by modifying the dielectric properties of the film through temperature changes. Our results represent a promising approach to effectively control the flow of light energy at the nanoscale and offer the potential for the design and fabrication of integrated, flat sub-diffraction polaritonic devices. This study adds to the growing body of work in the field of nanophotonics and highlights the importance of considering phase-change materials for the development of new techniques in this field.

D25-05**Graphene Nanoribbons Grown Within h-BN Stacks**

史志文

上海交通大学

石墨烯虽具有优异电输运性质，但由于没有能隙而无法用于构建晶体管器件。理论上，准一维的石墨烯纳米带因量子限域效应而打开能隙，且能隙大小可通过纳米带宽度和边缘结构来调控，是构建高性能光电子器件与芯片的理想材料。尽管目前已经发展了多种制备石墨烯纳米带的方法，但是可用于半导体器件的高质量石墨烯纳米带的制备问题一直没有解决。在本报告中，我将介绍一种在绝缘基底上直接生长高质量石墨烯纳米带的全新技术方法。基于该方法，我们实现了石墨烯纳米带在氮化硼层间的嵌入式生长，形成“原位封装”的石墨烯纳米带结构。所制备的石墨烯纳米带宽度小于 5 nm，长度可达 250 μ m，边缘结构整齐，手性一致。基于该“原位封装”纳米带的场效应晶体管具有优异的性能：载流子迁移率达 4,600 cm²V⁻¹s⁻¹，开关比可达 10⁶。这些出色的性能表明六方氮化硼“原位封装”的石墨烯纳米带有望应用于未来高性能碳基纳米光电子器件与芯片。

引文：

(1) Nature, 628, 758 (2024)

(2) Nano Letters, 24, 1, 156 (2024)

(3) Scientific Reports, 13 (1), 4328 (2023)

(4) Advanced Materials, 34, 28, 2200956 (2022)

D25-06

太赫兹极化激元的实空间近场成像

陈舒

上海理工大学光电学院/太赫兹研究院

低维材料极化激元具有超高的场束缚能力，极强的电磁场增强能力、高度的可调控性，在太赫兹超灵敏检测技术以及高性能光电器件展现出应用潜力，尤其是光学各向异性的引入将使得极化激元特性更为丰富并为相关应用研究提供更多可能性。基于自主发展的高性能太赫兹扫描近场光学显微成像 (THz s-SNOM) 系统，我们首次在低维半导体材料 Ag_2Te 中实空间观测到面内各向异性的太赫兹等离激元。通过系统研究发现，通过 Ag_2Te 等离激元与其在金属中镜像间的杂化效应诱导的声学模式 1) 可以显著增加了极化激元对太赫兹光场的限域性 (高达 65 倍)；2) 有效提高极化激元的相对传播长度 (即，近场成像中可以观测到更多的条纹)。利用该模式，我们进一步揭示在亚 6 THz 频段范围内 Ag_2Te 支持的是椭球型传播的等离激元，并利用其椭球型传播的等离激元实现了对面内各向异性载流子参数的室温局域探测新应用。在此基础上，我们最近在太赫兹极化激元局域模式的实空间观测方面也获得初步的研究成果。相关研究工作有望为太赫兹功能性器件的开发提供新思路。

D25-07

超高分辨率渠道化超透镜构筑及在芯片缺陷检测中的应用

戴志高*

中国地质大学 (武汉)

本研究成功展示了一种基于双轴范德瓦尔斯晶体三氧化钼的超高分辨率渠道化超透镜，该透镜能够在三个方向上实现多频段的亚波长成像，并展示其在芯片缺陷检测中的潜在应用。三氧化钼晶体具有天然的双曲色散特性，且无需光刻加工即可构建，与传统的超透镜相比，它具有更低的光学损耗和更大的波矢。低对称性的三氧化钼具有原子尺度的双轴晶格，不仅提供了大波矢量，还促进了三个方向上深亚波长信息的传输。通过变换光学中的极端映射机制，三氧化钼能够完美地将电磁波限制在特定方向传播，实现无衍射的传播波和消逝波的传输。利用这一机制，我们实现了超高分辨率成像，能够清晰地分辨出宽度为 15 nm 的单个物体和 100 nm 间距的光栅。此外，我们还探索了这种机制在芯片缺陷检测方面的应用。通过近场显微镜进一步验证了三氧化钼成像技术在质量控制和故障诊断方面的功能，为电子电路的纳米级检测提供了一种有效的手段。本研究为超分辨率成像技术的发展提供了新的方向，有望推动三维宽带光学成像技术的发展，并为基于低损耗二维材料平台的纳米结构和生物分子成像提供新的机会。

D25-08

超分辨扫描近场显微镜在低维材料与器件的前沿应用

卢曦

QUANTUM 量子科学仪器贸易 (北京) 有限公司

超分辨扫描近场显微镜 (neaSCOPE) 是以科学应用为导向的模块化产品，基于针尖增强纳米级 (10 nm) 成像和光谱分析技术，光谱范围覆盖可见光、红外光乃至太赫兹波段，能够满足用户在基础科学、材料科学、能源和半导体工业等不同领域的研究需求。该系统适用于表征二维材料的极化激元，半导体纳米结构的载流子分布及浓度、测量等离子体纳米结构的电场分布及模式、分析聚合物和生命科学元素的特征指纹峰。在本次报告中，将分享近期 neaSCOPE 在低维材料与器件的前沿应用，特别是在极低温 (10 K) 条件

下、在样品处于固-液界面环境以及与超快科学相结合的前沿应用案例。

D25-09

基于声子极化激元异质结构的纳米光波导

龚佑宁、汪国平*

深圳大学

α 相三氧化钼 (α -MoO₃) 作为一种双光轴的二维极性范德华晶体, 能够支持面内双曲型色散的声子极化激元(phonon polaritons), 从而实现纳米尺度下的光场聚焦和调控。随着转角光子学(twist-optics)这一概念的提出, 研究者发现当双层 α -MoO₃ 按照某个特定角度(光学魔角)进行转角堆叠时, 声子极化激元的光学能带变成平带, 即所对应的波印廷矢量均指向同一方向, 进而实现了高度压缩的极化激元沿特定方向的低损耗、无衍射传播。但是, 同一个双层转角结构的光学魔角仅适用于某一特定频率, 即只针对单一频率光的渠道化(canalization)波导。

在本研究中, 我们发现将 α -MoO₃ 直接转移到 4H-SiC 衬底上构建 α -MoO₃/4H-SiC 异质结, 能够更为直接和可行地实现单层 α -MoO₃ 中声子极化激元的渠道化波导, 而无需进行多层材料的转角堆叠。通过构建描述声子极化激元异质结构的波导理论模型, 我们发现该异质结构能够产生增强的光场局域效果和宽频率范围的平带极化激元色散, 并利用扫描近场光学显微镜在实验上成功观测到了超过 40 cm⁻¹ 的宽带渠道化传播。最后, 我们提出通过圆极化电偶极子实现渠道化声子极化激元的单向激发, 为纳米尺度光流的精确操控和信息传输提供了新的途径。

D25-10

双曲极化激元材料的光子结构工程

欧清东

澳门科技大学

在纳米尺度上操控光子, 开发高速低耗的片上集成光路是纳米光子学领域的研究重点。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 2012 年 Nature 杂志首次报导实验观测石墨烯表面等离激元之后, 多种二维材料中发现支持高度局域且面内低损耗传播的极化激元, 在实现从可见光到太赫兹光谱范围的片上光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、以及各向异性, 对其片上传播操控仍是一个挑战。

本报告将重点介绍本团队近期关于二维范德华材料 α -MoO₃ 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 α -MoO₃ 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。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衍射光学与单向激发, 并构造出一类低对称双曲极化激元光子晶体。最后, 基于单片结构化范德华晶体, 开发出适用于体相极化激元折射与聚焦的平面透镜。

D25-11

芯片级太赫兹半导体光频梳

黎华

中国科学院上海微系统与信息技术研究所

光频梳在精密光谱测量、成像、测距、通信等领域具有重要应用。在太赫兹 (THz) 波段, 基于半导体多量子阱子带电子跃迁的量子级联激光器 (quantum cascade laser, QCL) 具有电泵浦、体积小、大功率输出等优点, 是实现芯片级 THz 光频梳与双光梳的理想载体。在本工作中, 基于激光自探测, 研究团队实现了紧凑型实时 THz QCL 双光梳。进一步, 为了提高 THz 双光梳的频率稳定性, 对 THz 双光梳的载波和重复频率的锁定进行了系统的研究。在双光梳重频锁定方面, 采用微波双注入的方法实现了 THz 双光梳的

稳定度提升,同时实现了光学带宽增倍;在双光梳载波锁定方面,提出了采用锁相环实现单根双光梳梳齿的锁定。实验结果表明,在锁相环锁定单根双光梳梳齿的条件下,整个双光梳信号的稳定度都得到大幅提升。最后,采用自参考和杂化锁定新方法,实现了 THz 双光梳信号的长时稳定性提升。

关键词:太赫兹、光频梳、双光梳、半导体激光器

D25-12

基于光子集成芯片的高精度频率传递技术

杨飞

中国科学院上海光学精密机械研究所

高精度频率传递技术是时间基准构建与维持、全球导航定位定时、分布式协同探测等领域的关键技术之一,基于光子集成芯片可实现传统频率传递系统中关键器件的集成化,并有望提升其性能指标,改进应用模式。本报告介绍了高精度频率传递技术中的光子集成芯片设计及系统应用结果。首先针对光源部分,利用反馈可调微环自注入锁定技术对 DFB 半导体激光器的进行了线宽抑制,实现了 70 Hz 本征线宽的超窄线宽激光器集成器件研制,并在此基础上利用硅基微环谐振腔的双偏振模自参考激光稳频技术实现了频率稳定度优于 $1\text{E-}7$ 。其次针对调制解调部分,设计了硅基 IQ 调制器、片上 SiGe 平衡探测器和 TIA 芯片,并基于该芯片搭建了光频传递和射频传递系统,实现了 $4.8\text{E-}16$ 秒稳定度的光频传递,和 $7.5\text{E-}14$ 秒稳定度的 500MHz 射频传递,验证了光子集成芯片在频率传递中实现高精度、集成化的能力。

D25-13

基于集成微腔光梳的时空光场产生

刘炎武¹, 劳成昊^{1,3}, 王敏³, 程寅恪^{1,3}, 王元蕾^{1,3}, 付时尧², 高春清², 王剑威¹, 龚旗煌¹, 肖云峰¹, 刘文静¹, 杨起帆^{1*}

1. 北京大学

2. 北京理工大学

3. 中国科学院物理研究所

光学频率梳脱胎于飞秒锁模激光器,由一系列均匀间隔且具有相干稳定相位关系的频率分量组成,是测量和控制光学频率最精密的工具,在光谱学、微波光子学、计量学、激光雷达等领域有广泛应用,并获得了 2005 年的诺贝尔物理学奖。近些年高品质因子光学微腔的发展,使得在光子芯片上产生光学频率梳成为了可能,有望大大拓展光学频率梳的应用场景。

光学“梳”的概念可以进一步拓展到除了频率维度以外的其他维度。例如,在空间维度上,光场可以具备离散的轨道角动量 (Orbital angular momentum, OAM)。将频率与 OAM 这两个独立的物理属性在梳状结构上相互关联,可以将对 OAM 的调控与测量转换到频率维度上,从而解决之前创建、处理和检测高维 OAM 光场所带来的硬件复杂度问题,也可以催生新型时空光场和光学计量方法。但是,在光子芯片上实现该功能仍然面临一系列挑战。

在之前的研究中人们已经发现光学微腔中的回音壁模式能够通过角光栅结构垂直发射到自由空间中,并在此过程中携带与光的频率对应的 OAM。在此基础上,利用连续光泵浦带有角光栅结构的高品质因子光学微腔时,不仅可以产生孤子锁模的光梳,而且其产生的光学边带会根据频率不同发射出携带不同 OAM 的光束。根据此原理,我们在 800 纳米厚的氮化硅薄膜上制造了自由光谱范围 (FSR) 为 1THz、带有角光栅的微环腔。通过设计角光栅的构型,能够在保持微腔高品质因子的同时,以较高效率发射出高纯度的 OAM 光束。

我们通过干涉测量验证了涡旋孤子光梳的 OAM 和频率的一一对应关系。在非激射状态下的测量证明发射的 OAM 纯度达到 80%。这种光场的横模和纵模的关联性性质表明其为一种时空光场。我们对发射的涡旋孤子光梳的时空结构进行了干涉重构,发现其光场的强度分布以光梳 FSR 的速度旋转,在远场呈现双螺

旋结构，与理论预测相符合

D25-14

基于薄膜铌酸锂的光电融合芯片

胡耀文

北京大学物理学院

光子芯片与光电融合技术为下一代信息技术提供了广阔前景，在光通信、光子计算、光学雷达等核心领域有着广泛应用。近年来快速兴起的基于薄膜铌酸锂的光子芯片平台拥有超强的电光效应、超低的光学损耗、超高的电光带宽与超强的可扩展性。这为光电融合的相关应用提供了一个绝佳的平台。它使得电子和光子之间能够实现高效、高速的相互作用，这即为光子芯片提供了超快的电子控制，也为电子芯片提供了超大的光学并行。本报告将讨论近年来在基于薄膜铌酸锂的光电调控与光电融合方面，从器件到系统的进展，包括高性能频移器和光束分离器、高效宽带电光频率梳、高维频率晶体、频域反射镜，以及超高速、低能耗的光子计算等。

D25-15

太赫兹中远红外极化激元二维晶体及其光电应用

陈焕君

中山大学

极化激元是电磁场与材料中电性或磁性元激发耦合形成的杂化模式，可将电磁场高度聚焦至材料体内或表面，极大地促进纳米尺度下电磁场与物质的相互作用，在发展纳米光子/光电器件方面具有独特的优势。近年来的研究表明，范德华二维原子晶体及其微纳结构，在中远红外至太赫兹谱段能够支持多种极化激元模式。特别是，一些具有较低对称性的二维晶体，在特定晶面存在面内各向异性、乃至符号相反的介电函数分量，这使得它们可以支持具备面内各向异性传输特性的极化激元模式。这些模式往往工作于中远红外乃至太赫兹谱段，为该谱段的高性能光电微纳器件的研制提供了新材料基础。在本次报告中，我将结合我们研究团队近年来关于二维原子晶体微纳结构序构的极化激元光场局域与调控研究的一些进展，汇报范德华二维晶体的各向异性极化激元及其纳米尺度光场调控研究现状，并对相关的潜在应用进行展望。

D25-16

二维异质结中准粒子的纳米光学研究

江涛

同济大学

光与二维材料准粒子之间的强相互作用在纳米局域下展现出独特而丰富的光学性质。在垂直堆叠的范德华异质结中，准粒子进一步受到电荷/能量转移、杂化等因素的影响，对于纳米尺度研究光与准粒子的相互作用提出了更高的要求。在这次报告中，我将介绍利用近场光学纳米成像和纳米光谱学来研究二维异质结中电子、激子和声子极化激元的纳米尺度光物理机制。这些结果展示了近场光学技术在表征和探索范德华异质结中光物理和光操控的潜力，以及其在光电子学和光子学中的器件化应用。

D25-17

Tuning of natural hyperbolic plasmons in Van der Waals thin films

Chong Wang

School of Physics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

Hyperbolic polaritons and their associated optical topological transitions can be naturally achieved in

anisotropic Van der Waals thin films without the need for nanostructuring. In contrast to their artificial metasurface counterparts, these natural hyperbolic surfaces offer superior electromagnetic confinement and a more extensive photonic density of states. These plasmon polaritons, although rare, have recently been experimentally observed in WTe₂ Van der Waals thin films. Unlike phonon polaritons, which have limited tunability due to fixed Reststrahlen bands, hyperbolic plasmonic regimes depend on the interplay of intraband and interband transitions, presenting significant tuning potential through both intrinsic and extrinsic methods.

In this presentation, we will discuss experimental findings on the tunability of the hyperbolic regime and its associated optical topological transitions in WTe₂ thin films. We will explore how chemical doping, temperature variations, and adjustments in the twist angle and film thickness ratio in twist bilayer structures can be employed to modify the hyperbolic plasmon behavior. These results open the door to the development of reconfigurable photonic devices based on anisotropic natural materials.

D25-18

散射式近场光学显微技术(sSNOM)及其在纳米光子材料研究中的应用

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，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 高空间分辨率的纳米近场光学及纳米光谱探测而备受关注。

布鲁克公司基于其专业 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。其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。

D25-19

极化激元与多体物理

孙志远*

清华大学

极化激元是纳米光学实验的一大焦点，主要原因是其意味着微纳光学器件等应用。报告人将展示，极化激元还是探索凝聚态物理、量子物理的有力工具，比如通过二维等离激元的色散、耗散，可揭示电子-电子散射、流体力学现象、超导等多体物理；比如利用极化激元的非线性相互作用，可实现其参量下转换，生成量子纠缠的极化激元；再比如大量激发等离激元后，可能诱导出新奇的非平衡电子态，以及极化激元多体态。

D25-20**光学近场新特征的电子束探测**

潘登

华东师范大学

与传统光学研究的远场光学不同，微纳光学关注的是束缚在材料表面附近的光学近场，例如等离子光场等。光学近场具有不同于远场的物理特性，使得其在众多应用领域中展现出巨大潜力。近年来，研究者们不断发现一系列光学近场的新特性，例如近场自旋特性、近场热涨落和近场非互易性等。然而，这些新特性常常难以通过传统实验手段进行探测。在本报告中，我们将介绍电子束作为探测光学近场新特性的有效工具。我们将展示电子束与光学近场相互作用中所产生的各种新颖散射现象，包括电子束的自旋起偏、电子束的定向偏转，以及基于电子束的近场等能曲线测量。通过这些研究，我们揭示了电子束在微纳光学基础物理研究和应用中的全新视角。

D25-21**狄拉克缺陷态的在超材料里的实现及应用**

马静文

The University of Hong Kong

拓扑物理近年来在光学、声学领域获得广泛关注，人们利用拓扑物理实现了很多奇异的功能器件。此报告将主要介绍两种特别的拓扑态—狄拉克微腔和涡旋弦—的基本物理原理，介绍它们在微纳光子器件和微机电器件中的实现，以及在未来信息技术中的潜在应用。

D25-22**光学微腔中超高效频率转换**

曹启韬*

北京大学

非线性频率转换构建了不同频率光子间的交叉互联，是非线性光子学中的基本过程，可以在宽谱范围内实现光场的相干控制，从而解锁新型光子学应用包括光学精密测量、集成相干光源、光学传感与成像等。得益于微纳加工技术的快速发展，光学微腔通过增强光子间相互作用，为非线性光子学的研究提供了优异的物理平台，可以将高效的非线性过程与最小化集成器件相结合，并在全新的参数空间中探索非线性物理效应。以最基本的二次谐波效应（SHG）为例，迄今已报道了在周期极化铌酸锂微环腔中的相对转换效率可高达 5,000,000%/W。另一方面，绝对转换效率也是衡量不同频率光场间的非线性耦合强度的重要指标，并直接决定了高效器件应用的性能边界。然而，在光学微腔中实现超高的绝对频率转换仍然是一个严峻的挑战：例如，微腔增强的 SHG 在理想情况下可以实现接近单位的效率；但在目前实验研究中，各种非线性效应的存在导致整体转换效率曲线受到抑制，通常限制在约 30%左右。

我们在最近的研究工作中首次通过实验揭示了非线性微腔中SHG的自抑制现象。研究表面，SHG过程自身为微腔腔共振模式引入了色散型和耗散型耦合，从而导致腔模共振频率和损耗的失配。我们通过采用双色泵浦-探测技术和微腔-波导耦合调控补充适配实现非线性临界耦合，最终实验采用铌酸锂微环腔在输入功率为4.66 mW下获得了61.2%的绝对转换效率，是迄今光学微腔中报道SHG最高的转换效率。此外，我们还发现了随着耦合强度的进一步提高，体系会进入非线性强耦合区间，伴随着非线性超模叠加态以及双光子Rabi振荡的出现，导致SHG绝对转换效率达到一个固定的最大值；同时会出现包括双稳态、周期加倍分叉和混沌在内的各种现象，展现了丰富的非线性强耦合物理。

D25-23**液相纳米红外光谱研究**

易骏
厦门大学

自 2013 年以来,纳米尺度红外光谱(Nano-IR)在学术界引起了广泛的兴趣。然而,早期的 Nano-IR 技术在水环境中面临着局限性,这是由于水对红外光的强吸收以及水溶液对原子力显微镜探针振动的阻尼作用。这给在液体环境中,特别是在电化学界面上表征样品带来了长期的挑战。

我们开发了一种基于峰值力技术的新型 Nano-IR 系统,该系统在动态探针-样品接触过程中引发红外光热信号。通过合理设计的底部激发模块以及抑制溶液中光声力的干扰,该系统克服了水环境的限制。此外,我们通过集成定制的电化学池,展示了在固/液界面处对电化学反应的原位 Nano-IR 光谱和成像,空间分辨率可低至约 4 nm。液相 Nano-IR 实现了电化学固/液界面处物种的纳米尺度化学成像和光谱,为进一步研究动态界面反应铺平了道路。

D25-24

微纳结构超快瞬态光学及集成光电器件

易觉民*, 王淼, 徐科

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所

微纳结构能够在亚波长尺度操控光场,实现对光场幅度、相位、偏振等调控以及对光增强聚焦、准直等特点,光学微纳结构有望实现跟电子器件尺寸上兼容,而且可以实现达到飞秒量级的超快信息处理。由于纳米光子器件物理尺度小,增强其光-物质相互作用并且在超快飞秒时间尺度上表征相互作用过程是一重要的科学问题。我们研究了金属表面等离激元少周期飞秒激光作用下的超快非线性光学特性, 10 fs 高时间分辨率下研究了微纳结构共振模的非线性耦合、超快退相干时间以及表面等离激元与半导体增益介质的非线性相互作用。最后我们讨论光学超结构与 GaN 激光器集成,实现对激光器偏振态的调控以及光聚焦。

关键词: 少周期飞秒激光; 退相干时间; 二次谐波; 三次谐波; 氮化镓; 激光器

参考文献

- [1] M. Wang, Y. Lin, M.-X Wang, J.-M. Yi, X.-D. Gao, D.-Y. Li, J.-P. Liu, B. Cao, C.-H. Wang, J.-F. Wang, K. Xu, Double sided asymmetric metasurfaces achieving sub-microscale focusing from a GaN green laser diode. *Opt. Express* 31 20740(2023).
- [2] M. Wang, Y. Lin, J.-M. Yi, D.-Y. Li, J.-P. Liu, B. Cao, C.-H. Wang, J.-F. Wang, K. Xu, High-efficiency circularly polarized green light emission from GaN-based laser diodes integrated with GaN metasurface quarterwave plate. *Appl. Phys. Lett.* 119, 241103 (2021)
- [3] J.H. Zhong, J. Vogelsang, J.-M. Yi, D. Wang, L. Wittenbecher, S. Mikaelsson, A. Korte, A. Chimeh, C. L. Arnold, P. Schaaf, E. Runge, A.L. Huillier, A. Mikkelsen, C. Lienau. Nonlinear plasmon-exciton coupling enhances sum-frequency generation from a hybrid metal/semiconductor nanostructure. *Nat. Commun.* 11, 1464(2020).
- [4] J.-M. Yi, D. Wang, F. Schwarz, J. Zhong, A. Chimeh, A. Korte, J. Zhan, P. Schaaf, E. Runge, C. Lienau. Doubly resonant plasmonic hot spot-exciton coupling enhances second harmonic generation from Au/ZnO hybrid porous nanosponges. *ACS Photonics*, 6, 2779(2019).
- [5] J.-M. Yi, V. Smirnov, X. Piao, J. Hong, H. Kollmann, M. Silies, W. Wang, P. Groß, R. Vogelgesang, N. Park and C. Lienau. Suppression of radiative damping and enhancement of second harmonic generation in bull's eye nanoresonators. *ACS Nano*, 10, 475 (2016).

D25-25

极化激元增强红外光谱

杨晓霞

国家纳米科学中心

红外光谱提供了一种快速、无损探测分子化学成分和结构的方法，但是红外光波长（10 微米量级）和纳米尺度物质尺寸失配大，导致光与物质相互作用弱，无法直接探测其红外光谱。二维纳米材料的极化激元能够将中红外光波长压缩到纳米尺度，表现出优异的增强红外光谱特性。通过解决环境干扰，我们获得了无干扰且电学动态可调的石墨烯等离激元，并通过原位背景信号扣除，实现了固相、气相和液相环境中生物、化学分子的探测，检测灵敏度达到亚 10 纳米厚度。我们直接探测到了单层悬空 BN 的双曲声子极化激元，获得了目前最高光波长压缩倍数；并发现 hBN 纳米管提供了一种天然极化激元纳米光学共振腔，可支撑双曲回音壁声子极化激元模式，将现有光学腔 Purcell 因子提高 2 个数量级，提供了优异的红外光与物质相互作用平台。

D25-26

光诱导力显微镜——10nm 空间分辨可见~红外化学与电磁场强成像

纪鸣, Sung Park*

Molecular Vista, 6840 Via Del Oro, Suite 110, San Jose, CA 95119

光诱导力显微镜（Photo induced Force Microscope, PiFM）^[1]，作为一种新型扫描探针技术显微镜，在可见~红外光激发条件下，通过检测针尖与样品之间的偶极-偶极相互作用，可以直接测量样品近场的光诱导极化分布，无需光谱仪器或远场光学接收器，空间分辨率高达 10nm^[2]。如图 1 所示，利用不同化学组分所对应不同的红外吸收，PiFM 可以对共聚物薄膜中的化学组分实现纳米尺度的空间分布测量。如图 2 所示，PiFM 可以表征二维材料表面的电磁场强分布。

关键词：光诱导力显微镜、化学成像、电磁场强成像、聚合物、二维材料

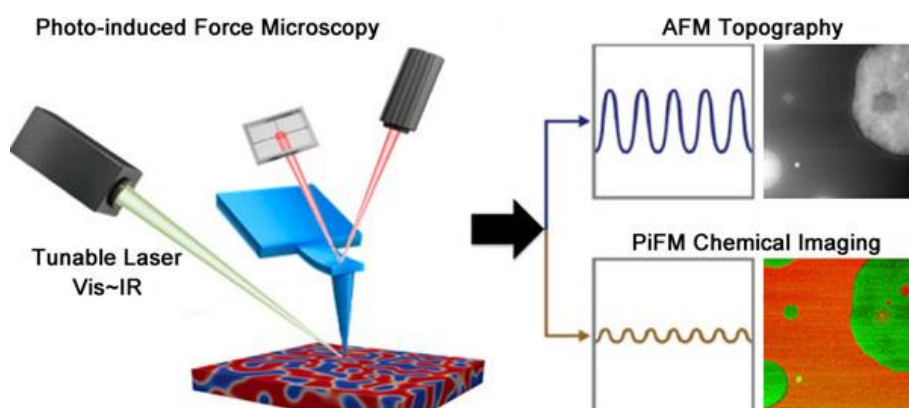


图 1. 光诱导力显微镜表征 PS/LDPE 共聚物，红色部分为 PS，绿色部分为 LDPE。

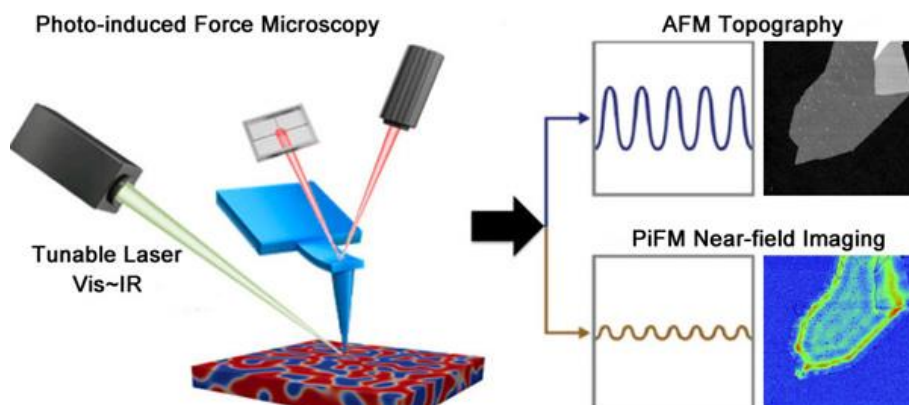


图 2. 光诱导力显微镜表征六方氮化硼表面的近场声子极化分布。

参考文献：

[1] Nowak et al., *Sci. Adv.*, **2016**, Vol. 2, no. 3, e1501571

[2] Ryan A. Murdick et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **2017**, 56, 08LA04

D25-27

基于红外双波段动态调控的隐身/散热兼容智能表面设计

王晗、鲍学聪、曹志林、张迅、王如志*

北京工业大学材料科学与工程学院, 新型功能材料教育部重点实验室

红外隐身在军事对抗中具有重要意义, 但良好的红外隐身特性往往会造成目标内部热量的累积, 对隐身目标造成不可预知的隐患。我们根据 F-P 谐振腔以及一维光子晶体提出了一种隐身/散热兼容表面(SCS), 可在不同温度下自适应调节多波段红外辐射。在低温时, 在其主要探测波段(长波, 8~12 μm)内 SCS 具有 0.137 的低发射率, 具有较强的红外隐身能力, 而在中波波段以及非探测波段其发射率平均值为 0.481 及 0.557, 提供了散热窗口。高温下 SCS 借助 VO_2 的相变能力实现了多光谱的动态调控, 达到了中波红外隐身以及长波及非探测波段红外散热的效果。仿真结果表明, 使用了 SCS 的目标具有良好的隐身能力, 在低温时长波辐射出射度相比 C-C 复合材料低约 78%, 相较低发射涂层低约 17%。高温状态时的平均中波辐射出射度相比 C-C 复合材料低约 82%, 相较低发射涂层低约 30%。本研究有望应用于高超声速飞行器及卫星蒙皮、喷气式飞机尾喷管等在高/低温恶劣环境下需要红外隐身需求的军事目标表面。

D25-28

Plasmonic Nanocavity Induced Room-temperature Emission of 2D Dark Excitons, Interlayer Excitons and Charged Biexcitons

Dangyuan LEI

City University of Hong Kong, Hong Kong, China

In this talk, I will demonstrate how to employ plasmon-exciton coupling spectroscopy to determine the relative energies of bright and dark excitons in monolayer MoS_2 and WS_2 by examining their respective temperature-dependent bright-exciton coupling strength with localized surface plasmons [ACS Photonics 2019, 6(11), 411-421]. Following this, I will illustrate that the temperature dependence of the WS_2 A-exciton emission energy can be well described with the Varshni formula and its temperature dependent emission intensity is associated with the population redistribution of bright and dark excitons at elevated temperatures [Nanoscale Horizons 2019, 4(4), 969-974]. Different from conventional large-mode-volume plasmonic cavities that can only enhance spin-allowed electronic transitions in quantum emitters [Nanophotonics 2020, 9(7), 2097-2015], I will then show that coupling monolayer WS_2 with a plasmonic nanocavity of an extreme structural asymmetry and ultrasmall mode volume results in plasmon-induced resonant emission of spin-forbidden dark excitons with signal intensity comparable to that of spin-allowed bright excitons [Nano Letters 2022, 22(5), 1915-1921]. Similar physical concept can be further applied to enhance the emission intensity of spatially indirect interlayer excitons (with a typical oscillator strength two orders of magnitude smaller than intralayer excitons) in a 2D heterostructure [ACS Nano 2024, 18(21), 13599-15605]. Finally, I will report strong room-temperature emission of charged biexcitons from a gold nanosphere capped WS_2 monolayer through localized surface plasmon induced hot-electron injection [Physical Review Materials 2023, 7, 054002], and demonstrate all-optical control of the emission intensity through on- or off-resonant LSP excitation.

D25-29

宽光谱等离子激光热超构材料

周林

南京大学

超构材料是由超构原子/分子按照一定的空间序构方式组装成的具有超常规物性的人工微结构材料,是材料、物理、化学、生命科学等多学科交叉科学前沿,已形成力、热、光、电磁、声学等多个研究分支。近年来,随着纳米技术的发展和多功能集成器件需求,多自由度、多物理场调控的超构材料正在成为新的研究热点。报告将介绍南京大学光热调控中心在宽光谱光-热协同调控下的跨尺度等离激元光热超构材料的精准设计、构筑及其应用。这些研究成果有望为未来低功耗光电信息器件和智能化能源光子器件提供新的思路。

D25-30

基于超构表面的光场调控与光学增强

周张凯

中山大学

纳米尺度的光场调控以及光与物质相互作用研究是实现各种纳米光子学器件和芯片的基础,在集成光学、量子信息科学等领域都产生了重要应用。为了能够实现微纳光子的高效利用,提升各种微纳光子和光电子器件的效率,如何在微纳尺度充分利用光子的多自由度优势,以及如何增强光与物质相互作用是两个关键问题。为了解决以上问题,本报告将介绍我们利用光学超构表面,在微纳光子多场复用以及微纳光学非线性增强方面的结果。

D25-31

基于石墨烯体系的拓扑等离激元效应研究

蔡卫

南开大学物理科学学院

由于石墨烯等离激元极端的电磁场局域,低损耗及电可调控性而受到研究人员的广泛关注,使其不但在基本物理规律研究方面,包括强光-物质相互作用、量子光学等领域具有重要研究价值,而且在光传感、电光调制器等方面具有潜在应用。与此同时,借助凝聚态物理概念的拓扑光子学为微纳光学的研究提供了新的方案,将前两者的研究相结合将为在纳米尺度操控光提供新的手段。在该报告中,我们将结合实空间及动量空间的拓扑光子学概念,与基于石墨烯体系的等离激元研究相结合,介绍课题组若干基于石墨烯体系的拓扑光学现象的理论预测,例如扭曲单层-双层莫尔石墨烯超晶格中的拓扑谷等离激元、石墨烯等离激元斯格明晶格的径向偏振光产生等。该系列研究对片上的光信息的操控及应用具有一定价值。

参考文献:

1. Ni Zhang, Weiwei Luo, Lei Wang, Jiang Fan, Wei Wu, Mengxin Ren, Xinzhen Zhang, Wei Cai, and Jingjun Xu, Strong in-plane scattering of acoustic graphene plasmons by surface atomic steps, Nat. Commun. 13, 983 (2022)
2. Lei Wang, Lixin Ge., Ke Gong, Wei Cai, Xinzhen Zhang and Jingjun Xu, Graphene plasmonic skyrmion lattices generated by radially polarized light beams', Phys. Rev. B, 109, 195434 (2024).
3. Weiwei Luo, Jiang Fan, Alexey B. Kuzmenko, Wei Cai, Jingjun Xu, Topological valley plasmons in twisted monolayer-double graphene moiré superlattices, arXiv:2403.07268

D25-32

中远红外量子级联激光器材料与器件

翟慎强

中国科学院半导体研究所

量子级联激光器(Quantum cascade laser, QCL)是半导体激光理论革新的产物,是量子物理效应与先

进半导体材料制备技术结合的光辉典范。通过精巧的能带结构设计，QCL 能够实现中远红外（3~14 μm ）和 THz 波段的高效激射，是半导体激光器发展史上具有里程碑意义的发展。QCL 发光是电子在耦合量子阱内（如 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{As}$ ）跃迁和输运的结果，涉及复杂的物理过程，这在增加了 QCL 研究难度的同时，也为 QCL 材料的设计和优化提供了丰富的空间。自 1994 年 QCL 技术发明以来，不同的材料结构不断被提出，QCL 的性能也得到了极大提升，目前已逐步达到实用化水平。本次报告汇报我们在中远红外波段量子级联激光器材料与器件方面的研究进展。

D25-33

二维范德华材料中低损耗极化激元

郭相东
上海交通大学

极化激元是一种由光与物质相互耦合所产生的“半光-半物质”的准粒子，它存在于材料的表界面上，表现为一种电磁波模式。极化激元包括等离激元、声子极化激元和激子极化激元等，是非线性光学、量子光学和纳米光子学等领域的重要基础。在这些极化激元中，声子极化激元是一种由极性晶体中的声子与光子相互杂化产生的电磁波模式，具有目前已知最高的光波长压缩和光场局域能力。但是，声子极化激元在高压信息传输过程中存在光学损耗，这限制了其推广应用。因此，我们提出借助多频率组合的复频波激发来实现虚拟增益，补偿了光子器件的本征损耗。该技术可以灵活地应用于不同的光子系统，为提升多频段光子器件的性能开辟了新的发展道路。

D25-34

天然晶体中的面内双曲声子极化激元

马玮良
University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China

在纳米尺度对光进行压缩及操控是一个关键挑战，对成像、传感和能源等研究领域影响深远。利用金属中的表面等离激元可以有效在可见光到近红外范围内限制光，但在中远红外甚至太赫兹波段，金属会强烈吸收并且光场局域能力较弱，阻碍了这些波段纳米光学器件的设计及应用。我们的工作主要集中在利用天然各向异性晶体中的声子极化激元来实现红外光的纳米级操控。与表面等离激元相比，声子极化激元在更长波长的频段能够有效压缩光，并且其损耗更低。同时天然晶体的介电各向异性导致极化激元的波矢遵循双曲线等频轮廓，表明其方向传播性和显著的光场局域特性。我们在二维材料 α 相 MoO_3 中发现了面内各向异性传播的声子极化激元 1，建立了一个支持面内双曲线极化激元的天然平台，实验揭示了这些极化激元在实际空间中各向异性传播的特性，显示其在纳米尺度平面信号处理、传感和热管理中的应用潜力。然而， MoO_3 的大规模生产仍有挑战，我们进一步在可大规模加工的天然方解石晶体中发现了表面局域的幽灵双曲极化激元 2，这是一种体模式和表面模式杂化的混合模式。通过设计方解石的光轴，我们成功操控了极化激元的双曲线色散，控制其平面内传播。方解石中的极化激元可以在室温下沿特定方向传播近 20 微米而不发生衍射，创下新纪录。最近，我们对双曲剪切极化激元 3 和双曲泄漏极化激元 4 进行研究，进一步拓展了纳米尺度控制片上能流的新途径。

参考文献：

1. Ma, W. et al. In-plane anisotropic and ultra-low-loss polaritons in a natural van der Waals crystal. *Nature* 562, 557-562 (2018).
2. Ma, W. et al. Ghost hyperbolic surface polaritons in bulk anisotropic crystals. *Nature* 596 (7872): 362-366 (2021).
3. Hu, G. Ma, W. et al. Real-space nanoimaging of hyperbolic shear polaritons in a monoclinic crystal. *Nature Nanotechnology* 18, 64-70 (2023).
4. Ni, X. Carni, G. Ma, W. et al. Observation of directional leaky polaritons at anisotropic crystal interfaces.

D25-35**拓扑腔面发射激光器**

陆凌

中国科学院物理研究所

半导体激光器体积小、效率高、波长广，价格低，是各类应用场景之首选，但出射功率低和光束质量差是其最大的瓶颈，难点更在于这两个指标一般无法同时提高，狄拉克涡旋拓扑腔的提出可以从原理上突破现有瓶颈，同时提高出射功率和光束质量。

实验证明狄拉克涡旋拓扑腔具有二维单一中间带隙模式，具有跨几个数量级的可调谐模式面积、任意的模简并、低发散矢量光束垂直发射、与高折射率衬底兼容以及最大的自由光谱范围。它提供了一个具有大模场直径的单一带间模，可连续从几个微米调到毫米尺度。

将原创的拓扑光腔应用于面发射半导体激光器中，研制出了拓扑腔面发射激光器（topological-cavity surface-emitting laser: TCSEL），在 1550 nm 这一最重要的通信和人眼安全波段，同时实现了单个器件 10 W 峰值功率、小于 1° 的远场发散角、60 dB 边模抑制比，和二维多波长阵列的集成能力。TCSEL 的发明对于人脸识别、自动驾驶、虚拟现实所需的三维感知和激光雷达等新兴技术有重要意义。

D25-36**二维激子极化激元物理与调控**

刘文静

北京大学

激子极化激元是光学微腔与激子强耦合形成的杂化准粒子，它继承了光子的高相干性和较强的激子-激子相互作用，同时可被电场和磁场等有效调制，因此是研究玻色爱因斯坦凝聚、光学非线性等现象的重要平台，并在片上相干光源、光场相干操控器件等方面有重要的应用前景。近年来，光学人工微结构的蓬勃发展为激子极化激元的研究注入了全新的活力，为包括自旋、角动量、拓扑性质等多自由度的光场多维联合调控提供了新的可能。本报告将介绍二维半导体与表面等离激元超表面、拓扑光子晶体等光学人工微结构的强耦合现象及其在新型光电器件中的应用。

D25-37**Manipulation of Van der Waals Exciton Polaritons**

Long Zhang

Xiamen University

Manipulating cavity exciton polaritons has led to new concepts in fundamental physics and better optoelectronic devices. In this talk I will discuss two different ways to manipulate cavity exciton polaritons in the Van der Waals material system. Harnessing the doping dependence of the two dimensional (2D) semiconductors, the Rabi splitting, dispersion, and nonlinearity of exciton polaritons can be electrically controlled. This result represents an important step to combine the correlation physics in Van der Waals materials and cavity photonics. On the other hand, the flexibility of integrating 2D materials with various types of cavities allows us to investigate the Rabi splitting dependence of the polariton linewidth. This work can reach a general conclusion on the coupled oscillator system: the impact of inhomogeneous broadening of an oscillator on its coupled state can be suppressed by raising the Rabi splitting.

D25-38

室温激子极化激元的谷极化特性研究

陈星州¹、Areg Ghazaryan²、Artem Volosniev³、管媛君¹、丁承烨¹、张敏¹、范悦宁¹、孙迪¹、吴健¹、孙政^{*1}

1. 华东师范大学

2. Institute of Science and Technology Austria

3. Aarhus University

能谷作为继电荷、自旋之后的一种新的信息载体，最近受到研究者的广泛关注。二维过渡金属硫化物（TMDs）中 K 谷和 K' 谷的激子，由于能选择性地被圆偏振光激发，所以被人们视为新一代的信息存储材料，在光电器件中有很大的应用价值。而激子与光子强耦合产生的激子极化激元更有可能将这种谷信号的应用温度推进到室温。本文探究了 TMDs 微腔中激子极化激元的谷特性在激子成分和腔内磁场调控下的变化，并观察到了室温下激子极化激元的谷扩散现象。本研究显示了激子极化激元在室温下作为谷信号载体的潜力，并为后续谷激子极化激元器件的应用提供了方向。

D25-39**基于二维半导体的混合维度异质结荧光闪烁特性研究**

王笑*

湖南大学

过渡金属硫族化合物（TMD）中的量子光学现象，例如单光子发射特性，引发了基于二维材料的量子光学和器件的广泛研究。但目前大多数报道的 TMD 中的量子光学发射都是基于原子缺陷或激子的局部约束。相比之下，通过构建不同维度的异质结，利用两种材料之间的能量或电荷传递也可以操纵二维材料中的光子发射行为。基于此，我们构筑了单量子点（QD）/单层 MoS₂ 异质结，发现了室温下异质结中 MoS₂ 原子层的荧光闪烁现象。基于瞬态荧光光谱和荧光强度时间轨迹测量，我们阐明了 MoS₂ 中的闪烁行为是由于单 QD 到 MoS₂ 的单光子能量转移。此外，我们构建了单层 MoSe₂ 与 CsPbBr₃ 钙钛矿纳米线（PVK）的异质结，探究了异质结界面相互作用，发现了显著的荧光强度负相关关系。此外，通过寿命随时间变化曲线分析，发现异质结区域 MoSe₂ 载流子被 PVK 中超级陷阱所捕获的现象，阐明了基于界面电荷转移的荧光闪烁机制。

D25-40**稀土离子掺杂纳米晶体超快超强发光**

张正龙

陕西师范大学

稀土离子掺杂纳米晶体具有发光线宽窄、谱线丰富等优势，在高分辨照明显示、生物医学成像、纳米激光器方面有重要应用。由于禁戒跃迁效应，稀土离子荧光寿命较长、量子产率较低，难以满足下一代光互连的光子高频操控需求。将等离激元纳米光腔与稀土纳米晶体发光体系进行有效融合，利用等离激元纳米光腔对光场增强和局域效应，实现等离激元近场对稀土发光在时间域、空间域、频率域进行精细调控。通过构建新型倾斜纳米光腔，将稀土离子发光寿命压缩至纳秒量级；利用片上等离激元近场激发，实现了近红外稀土纳米体系的超分辨成像，进一步结合微米腔实现稀土离子激射发光；等离激元纳米光热效应，实现了稀土掺杂纳米晶体的结构调控，开发了一种原位、快速、可控且低温环境适用的纳米结构调控新方法。

D25-41**晶态薄膜的可控组装及光功能应用**

谷志刚

中国科学院福建物质结构研究所

随着化学与材料学科的发展,晶体材料与空间、电子、红外、激光、新能源等技术的发展密切相关,是当代科学技术发展中不可或缺的关键材料。作为一类晶态多孔无机-有机杂化材料,金属-有机框架(Metal-Organic Frameworks, MOFs)又称多孔配位聚合物,是一类由有机配体与金属离子(簇)通过配位键连接而成的晶态网络配位聚合物材料。由于 MOFs 具有拓扑结构多样性、比表面积大、热稳定性好、功能可调节及其同时兼具无机和有机薄膜特性等优点使其在分子存储/分离、光学、电学、磁性、催化以及生物医学等领域有着重要研究意义,尤其是 MOFs 薄膜近年来已经被广泛地应用于表面催化、膜吸附与分离、涂层、光电薄膜器件与传感器等应用研究领域。我们自主研发液相外延层层技术组装 MOFs 薄膜(命为表面配位 MOFs 薄膜, SURMOFs),并利用自主研发的薄膜技术创制一系列新型功能 SURMOFs;率先研究负载型 SURMOFs 的制备策略与功能应用;开拓 SURMOFs 在非线性光限幅、手性光学等多个应用研究,为实际应用中提供了新型材料和新应用。

参考文献

- [1] Zheng, M.-Y.; Jin, Z.-B.; Ma, Z.-Z.; Gu, Z.-G.*; Zhang, J., *Adv. Mater.*, 2024, 10.1002/adma.202313749.
- [2] Ma, Z. Li, Q., Wang, Z. Gu, Z.-G.*; Zhang J.*, *Nat. Commun.*, 2022, 13, 6347.
- [3] Chen, H.; Gu, Z.-G.*; Zhang, J., *J. Am. Chem. Soc.* 2022, 144, 16, 7245.
- [4] Li, D.; Li, Q.; Wang, Z.; Ma, Z.; Gu, Z.-G.*; Zhang J.*, *J. Am. Chem. Soc.* 2021, 143, 17162.
- [5] Yang, X.-X.; Li, N.; Li, C.; Jin, Z.-B.; Ma, Z.-Z.; Gu, Z.-G.*; Zhang, J. *J. Am. Chem. Soc.* 2024, 10.1021/jacs.4c04125.

D25-42

高性能机电光材料与混合电光调制技术

徐化君

山东大学前沿化学研究院

与电互联相比,采用光波进行信息处理传输具有带宽高、损耗低、抗干扰能力强、高并行等优势,成为了替代电互连的下一代信号传输技术。研发能与微电子器件在芯片尺度集成的高性能电光调制器是构建高带宽、低时延、低功耗的片上光互联技术的关键。有机混合电光调制器,包括硅-有机混合(SOH)和等离激元-有机混合(POH)电光调制器,能够有效地将光场限制在有机电光(OEO)材料内部,配合有机材料超高的电光效应,这类有机混合电光调制器的性能得到了显著提升,在调制带宽,调制效率,器件功耗、以及集成度等方面显示出了巨大的领先优势。然而有机电光材料长久以来存在的电光性能与可靠性无法兼顾等问题影响了其实用化进程。为了解决这些问题,我们设计制备了一系列交联电光材料及器件,并研究了其在 Telecordia GR-468-CORE 标准相关的各种条件下的长期稳定性以及去极化的动力学。测试条件包括了 OEO 材料与器件在高温、高湿、超低温、以及长时间工作下的可靠性,温度范围涵盖了 4K 到 400K。结果表明交联电光材料有效实现了电光性能与热稳定性的协同提高,及器件在复杂环境下表现出了显著提升的可靠性,有力推动了有机混合电光调制技术在集成光互连领域的应用以及实用化进程。

D25-43

钙钛矿量子点超晶格中空增强超荧光诱导受激能量转移

胡永升¹、毛丹群¹、陈淋琪²、管媛君¹、张龙²、董红星²、徐红星^{1,3}、谢微¹、孙政^{*1}

1. 华东师范大学

2. 中科院上海光机所

3. 武汉大学

Exploring the intricate interplay of cooperative states in many-body systems constitutes a fundamental and noteworthy research pursuit. Specifically, within the realm of the superfluorescence effect associated with the

coupling of radiative dipoles, the forefront of investigation has progressed to the intersection of superfluorescence and classical lasing effects. At this juncture, a unique lasing-field-hybrid cooperative dipole state emerges through the optical cavity-enhanced superfluorescence. Here, we demonstrate a coherent energy transfer between two such lasing-field-hybrid cooperative exciton states within a perovskite quantum dot superlattice. Optical cavity-enhanced superfluorescence gives rise to transient energy transfer between these states, introducing competitive dynamics in their luminescence timing. Our discoveries underscore that stimulated energy transfer inherently occurs when two cooperative cavity-exciton states coexist. Control over this process is possible through a dual-pulse pump technique. Understanding this energy transfer is crucial for advancing our knowledge of quantum phenomena and has the potential to advance high-performance optoelectronic devices.

墙报

D25-P01

Enhanced Near-Infrared Absorption in Au-Hyperdoped Si: Interplay Between Mid-Gap States and Plasmon Resonance

Songyuan Peng^{*1}, Tingting Wang¹, M. S. Shaikh^{2,3}, Mingyang Tian^{1,4}, Yijia Huang¹, R. Heller², Yarong Su¹, Jianqi Zhu¹, Yun Li⁵, Zhengwei Xie¹, Ling Li¹, Shengqiang Zhou², Mao Wang^{1,2}

1. Sichuan Normal University
2. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
3. Technische Universität Dresden
4. Tianfu Xinglong Lake Laboratory
5. Sichuan University

Detecting near-infrared (NIR) light with high efficiency is crucial for photodetectors that are applied in optical communication systems. Si hyperdoped with deep-level impurities provides a monolithic platform for infrared optoelectronics with room-temperature operation at telecommunication wavelengths. In this work, we present strongly enhanced NIR absorption via the hybridization between plasmon resonance and mid-gap states in Au-hyperdoped Si layers, which are prepared by ion implantation and pulsed laser melting. The Au-hyperdoped Si layers exhibit high-quality recrystallization with the substitution of Au atoms into the Si matrix and the formation of Au nanoclusters on the surface. Surprisingly, the Au-hyperdoped Si layers exhibit a NIR absorption with spectral response extending up to 1650 nm and maximum absorbance up to 30%. According to the electromagnetic simulation, the enhanced infrared photoresponse can be attributed to the mid-gap states induced by substitutional Au atoms and the localized surface plasmon resonance associated with the Au nanoclusters. This work presents a simplified process to gain significant enhancement of NIR absorption, which paves a way for the realization of Si-based photodetectors with room-temperature operation and outstanding performance.

D25-P02

氮化硼纳米管同质结中的声子极化激元

王璇^{1,2}、戴小康^{1,2}、郭相东^{1,2}、李宁^{3,4}、何沛一^{3,4}、高鹏^{3,4}、杨晓霞^{*1,2}、戴庆^{1,2}

1. 国家纳米科学中心，中国科学院纳米卓越中心，中国科学院纳米光子材料与器件重点实验室(筹)，纳米标准与检测重点实验室
2. 中国科学院大学材料与光电研究中心
3. 北京大学物理学院，量子材料科学研究中心
4. 北京大学物理学院，电子显微镜实验室

六方氮化硼纳米管提供了一种原子尺度光滑的纳米光学结构，可以支持光波长高度压缩的双曲声子极

化激元光波导模式和回音壁模式，有望用作光子集成回路中的一维波导。不同管壁厚度的氮化硼纳米管相互连接形成的同质结为声子极化激元提供了新的耦合调控途径。本文结合扫描透射电子显微镜中的电子能量损失谱技术和有限元电磁仿真模拟，研究了氮化硼纳米管同质结对声子极化激元传输的影响。研究结果表明，同质结界面处氮化硼纳米管一维波导的透过率与两侧波导的波矢匹配程度成正比，而这种波矢匹配可以通过几何结构设计进行调控。同时，研究还发现，同质结几乎不影响氮化硼纳米管中的回音壁模式，不同管壁厚度氮化硼管支持的不同双曲回音壁模式可在界面处 100 nm 范围内平滑过渡。本研究深化了对氮化硼纳米管同质结中声子极化激元的理解，特别是其一维波导传输调控特性和高性能回音壁模式，有望用于设计和制造纳米尺度光子学器件。

D25-P03

纳米尺度下基于氮化硼薄膜和回音壁模式谐振器的声子极化激元学

戴小康、杨晓霞*

国家纳米科学中心

声子极化激元能够将电磁场高度局域在纳米尺度谐振腔中，这一现象推动了一系列的新型应用的发展，例如纳米光学传感器、纳米激光器和纳米光学滤波器等。声子极化激元回音壁模式谐振腔可以有效将光子束缚在纳米尺度的环形内，具有极小的模式体积和较低的损耗，可用于构筑片上纳米光子集成回路。然而，这种高度光场束缚的纳米光学谐振腔需要高效耦合外界光场才能用于光学信息处理，而极化激元纳米波导则可作为一种高效耦合方式。不过，极化激元纳米波导与回音壁纳米谐振腔之间的耦合涉及极化电荷之间的偶极-偶极相互作用，与光在介质材料波导和回音壁谐振腔中的耦合不同，因此需要发展相应的耦合理论机制。本研究构建了氮化硼纳米管回音壁腔和氮化硼波导耦合的体系，并研究了其耦合距离、耦合频率、回音壁腔尺寸和波导厚度等影响因素对其耦合性质的影响。我们发现通过调整结构参数，可以实现过耦合、临界耦合和欠耦合，使得该体系具有与介质回音壁腔和波导耦合体系相对应的特性。此外，由于极化激元之间的偶极-偶极相互作用，极化激元回音壁腔和波导之间会呈现对称耦合和反对称耦合两种耦合状态，这种两种耦合状态会在强耦合领域呈现明显的劈裂现象。通过高空间分辨的原子力红外光谱技术，我们在实验中直接观测到了氮化硼纳米管回音壁腔与氮化硼薄膜纳米波导在强耦合领域的模式劈裂现象，这与理论预测完全吻合。我们的研究为设计纳米光子学器件与发展片上纳米光子学技术提供了重要的理论结构基础，对于构建纳米级别的光子集成回路具有重要指导意义。

D25-P04

石墨烯等离激元红外传感器原位观测丝纳米原纤维组装过程

吴晨晨、段谕、杨晓霞、戴庆*

国家纳米科学中心

丝纳米原纤维作为构成丝纤维的基本单元，赋予了丝纤维卓越的力学性能。尽管人工纺丝技术试图模仿自然纺丝过程，然而，由于对丝纳米原纤维组装机制理解不足，目前所获得的再生丝纤维仍未能完全达到天然丝纤维的力学特性。丝纳米原纤维组装过程涉及丝素蛋白构象转变和蛋白质分子有序排列，在纳米尺度上原位关联丝纳米原纤维组装过程的构象变化与形态演变，对理解其组装机制至关重要。本研究结合石墨烯等离激元红外传感技术与多尺度分子动力学模拟方法，揭示了丝纳米原纤维组装过程中，中间体(0.8–6.2 nm)的二级结构和形态演变。研究表明，丝纳米原纤维的组装包括成核和生长两个关键阶段。在成核阶段，丝素蛋白分子发生构象转变，形成富含 β -折叠结构的亚纳米级蛋白质低聚体；随后进入生长阶段，这些低聚体聚集并沿 β -折叠轴向排列伸长，从而形成丝纳米原纤维。研究还发现，引入石墨烯界面和提高温度有助于加快丝纳米原纤维的成核和生长过程。该研究为理解丝纳米原纤维的组装机制提供了一个新的视角，并为研制高性能再生丝纤维奠定了基础。

D25-P05

基于腔中 WS₂/WSe₂ 异质结的宽范围电可调层间激子与摩尔激子

丁承烨、管媛君、陈星州、张敏、孙迪、吴健、孙政*

华东师范大学

Exciton-photon coupling in cavity is further effective for fundamental research in photon materials and devices. Electrical field and charge injection can generate a prominent effect to control exciton behavior. By applying electrical field for van der Waals heterostructure with electrons and holes originated from separated layers, we demonstrate an outstanding way for wide-range electrically tunable interlayer exciton and moiré exciton based on transition metal dichalcogenides (TMDs) heterostructure (WS₂/WSe₂) encapsulated in cavity (Ag-DBR). ~150 meV tuning range of interlayer exciton discerns comparable tuning for exciton-photon coupling. E-field tunable oscillator strength and excitons interactions of dipolar exciton has considerable potential in photon integrated circuit and detection fields.

D25-P06**氮化硼/碲异质结构中面内各向异性声子极化激元研究**

赵彦宇、龚佑宁、祝家齐、张豫鹏*、汪国平

深圳大学 电子与信息工程学院

声子极化激元是光子与极性晶体中光学声子耦合形成的一种半光-半物质准粒子，它具有光场压缩以及突破光学衍射极限的能力，是纳米尺度中红外光场调控领域的重要研究方向。相较于碳化硅、砷化镓等传统体材料，范德华二维材料因其独特的结构和物理性质，可以在原子层厚度支持高度局域的声子极化激元，是研究极化激元物理特性与调控机制的理想平台。近年来，单轴极性晶体六方氮化硼的发现，为二维面内光场调控提供了材料基础与调控自由度，但其固有的面内各向同性阻碍了它在平面极化激元光学中的进一步应用。如何对氮化硼面内极化激元的传播特性进行精确调控以实现极低损耗传输，是亟待解决的关键科学问题，对氮化硼在中红外光电器件中的进一步应用至关重要。

在本工作中，我们通过构建氮化硼/碲二维范德华异质结构，利用碲材料在中红外波段的高折射率及双折射效应，实现了氮化硼中面内各向同性声子极化激元的各向异性传输（各向异性比理论上可达 2.05）。通过异质结中碲层厚度调控，观察到极化激元色散随频率升高由传统波导模式转变为镜像模式，实现了更为显著的光场局域和压缩效果（声子极化激元波长约为自由空间光波长的 1/100）。

D25-P07**Dynamic incoherent scattering: Photonic glass with sensitive temperature and humidity-responsiveness**

Yuewei Zheng, Jie Sun, Jinqing Chen, Wei Hong*

Sun Yat-sen University

Stimuli-responsive structurally-colored materials have been extensively developed for decades based on conventional strategies by manipulating periods and refractive indices of the system. Herein, a controlled incoherent scattering strategy is demonstrated for fabricating stimuli-responsive photonic glass featured by scalable produce and dynamic saturation. The incoherent scattering in photonic glass systems is controlled by responsive light absorbers and wetting, leading to a conversion between a whitened state dominated by incoherent scattering and a structurally-colored state dominated by structural resonance. Wetting the system reduces incoherent scattering significantly to reveal the structural color of photonic glass, while engineered absorbers can change the absorption with stimuli-response to shift the shield against incoherent scattering. Responsive structural colors based on the photonic glass systems are presented, realizing wetting-, humidity- and temperature-dependent structurally-colored sensors and patterns. Given that such incoherent-scattering-controlled strategy can be further extended by functional absorbers and wettability modifications, this work may inspire

scalable and effective structurally-colored materials with invisible patterning capability for anti-counterfeiting and sensors.

D25-P08

Graphene plasmon-enhanced infrared spectroscopy for probing the structure and hybridization of DNA molecules

Yu Duan, chenchen wu, xiaoxia yang, qing dai*

The National Center for Nanoscience and Technology

Deoxyribonucleic acid (DNA) serves as the fundamental carrier of genetic information in living organisms. Detecting and analyzing the chemical structure of DNA can provide essential information for food safety, biodiversity monitoring, genetics, disease diagnosis and treatment, and other fields. Surface-enhanced infrared absorption spectroscopy (SEIRA) has emerged as a promising technique for DNA analysis due to its capability to non-invasively and label-free detect chemical information of nanoscale materials. However, detecting DNA's key infrared fingerprint peaks remains challenging due to their small dipole moments, resulting in weak infrared responses and demanding higher sensitivity requirements from SEIRA techniques. Herein, we propose a highly sensitive graphene plasmon-enhanced infrared spectroscopy for ultrasensitively detecting low dipole moment chemical bonds in nanoscale single-stranded DNA (ssDNA). By immobilizing ssDNA onto graphene plasmon hotspots via π - π interactions, we identified monolayer ssDNA (1.3 nm) and distinguished the four base components of ssDNA. Moreover, by monitoring the resonance frequency of graphene plasmons in a liquid environment, we could in situ track the hybridization process of DNA in an aqueous solution. The graphene plasmon-enhanced infrared spectroscopy opens up a new detection platform for in situ investigation of DNA structure and behavior under physiological conditions.

D25-P09

Compensating losses in polariton propagation with synthesized complex frequency excitation

Shu Zhang¹, Fu Xin Guan², Xiang dong Guo¹, Xiao Xia Yang¹, Qing Dai^{*1}, Shuang Zhang²

1. National Center for Nanoscience and Technology

2. University of Hong Kong

Surface plasmon polaritons and phonon polaritons offer a means of surpassing the diffraction limit of conventional optics and facilitate efficient energy storage, local field enhancement and high-sensitivity sensing, benefiting from their subwavelength confinement of light. Unfortunately, losses severely limit the propagation decay length, thus restricting the practical use of polaritons. While optimizing the fabrication technique can help circumvent the scattering loss of imperfect structures, the intrinsic absorption channel leading to heat production cannot be eliminated. Here, we utilize synthetic optical excitation of complex frequency with virtual gain, synthesized by combining the measurements made at multiple real frequencies, to compensate losses in the propagations of phonon polaritons with dramatically enhanced propagation distance. The concept of synthetic complex frequency excitation represents a viable solution to the loss problem for various applications including photonic circuits, waveguiding and plasmonic/phononic structured illumination microscopy.

D25-P10

基于光电功能材料的光环境调控对植物生长的影响研究

毕雪婷、雷炳富

华南农业大学

光作为植物生长的信号和能量来源，在调节植物生长发育、形态建成、生理品质等方面起着十分重要的作用，植物具有感受红光与远红光的光感受器，这些光感受器被称为光敏色素。远红光通过光敏色素加速光合电子转移速率，影响各种植物过程，透彻了解这些机制有助于优化植物生长环境和提高作物产量。在本研究中，我们使用不同波长的 LED 灯和 $\text{Ca}_{1.8}\text{Mg}_{1.2}\text{Al}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}:0.03\text{Cr}^{3+}$ 荧光粉材料研究不同红光和远红光比对植物生长的影响。对照组（CK）由 450 nm 蓝光+650 nm 红光的植物生长专用灯组成。设置了四个处理：F1（650 nm 红光）、F2（CK + 730 nm 远红光，比例为 3: 2）、F3（650 nm 红光 + 730 nm 远红光，比例为 3: 2）和 F4（CK + 荧光粉激发型远红光 LED，比例为 3: 2）。该研究评估了红光和远红光比的变化及其对奶油生菜生长形态、光合特性、荧光特性、气孔状态和营养品质的影响。结果表明，与 CK 处理相比，F3 光处理表现出优异的生长特性和质量。显著增加叶面积、地上鲜重、维生素 C 含量和总可溶性糖。此外，远红光的加入导致气孔密度和大小的增加，F3 处理伴随着净光合速率（ P_n ）、蒸腾速率（ Tr ）、胞间 CO_2 浓度（ C_i ）和气孔导度（ G_s ）的增加。本研究旨在探究不同比例的红光和远红光对植物生长和光合作用的影响，探究荧光粉的应用效果，为优化植物栽培和光合作用提供科学依据。

关键字：远红光；荧光粉激发型 LED；生菜；光合特性

D25-P11

光子晶体调控红外/可见光波段红外发射率研究

王雅颖、王长昊*、王冰、王如志

北京工业大学

光子晶体是由高低折射率介质周期性排列形成的新型结构材料。相对于传统材料，它可以在多波段进行吸收率、反射率等光学参数的调控。通过对光子晶体结构的设计，可以调控可见光（ $0.4\sim 0.75\mu\text{m}$ ）、近红外（ $0.75\sim 2.0\mu\text{m}$ ）、中红外（ $3\sim 5\mu\text{m}$ ）、远红外（ $8\sim 14\mu\text{m}$ ）多个波段的红外发射率。本研究基于传输矩阵理论，通过对可见光/红外波段低红外发射率光子晶体的设计，可以实现在可见光、近红外波段低发射，发射率在 0.2 左右；在中红外波段低发射，远红外波段高发射。我们的研究结果为多波段红外发射率调控提供了新思路。