

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

D38-无机光电功能材料

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D38.无机光电功能材料

分会主席：翟天佑、李亮、曾海波、周兴

D38-1-A-01

光电性质机理的原位电镜研究

白雪冬

中国科学院物理研究所

电子显微镜具有亚埃分辨能力，在物质科学研究中发挥着越来越重要的作用。我们基于扫描探针技术，自主研制原位透射电镜外场测量和结构-物性调控装置，发展了原位透射电子显微学方法和技术，实时成像动态物理/化学现象的原子过程，实现了原子分辨的结构-性质关系表征与调控，以原位外场（光、电、力、低温、超快激光等）方式调控功能材料的结构与物态。本报告将介绍我们在二维材料光电性质机理的原位电镜研究进展，包括单层二硫化物色心发光机理[1]、铁电极化微观机制[2]等。

References:

[1] H. Sun, Q. Yang, and J. Wang *et al.*, Nature Communications 2024, 15, 9476.

[2] L. Liao, Q. Yang, and C. Cai *et al.*, Acta Materialia 2024, 273, 119986.

D38-1-A-02

红外透明材料光电性能协同调控与应用

朱嘉琦

哈尔滨工业大学

以红外透明导电材料和红外相变材料为代表的红外透明光电子材料，在光显示、光芯片、光传输与光调控等光电领域至关重要，并伴随数字经济发展展现出广阔前景。然而，红外透明导电材料需解决透明性与导电性之间的本征矛盾；红外相变材料则面临相变阈值与光学性能难以兼容的挑战，严重制约了其发展和应用推广。针对上述难题，本团队系统性建立了完善的红外透明导电理论，提出了多种光电协同调控策略，成功研制出覆盖可见光至中远红外大气窗口的宽波段红外透明导电材料。基于介质极化理论及晶格-能带耦合修饰方法，实现了对红外相变材料相变阈值与光学特性的协同调控，并在光学窗口与片上集成光调制器领域完成了应用验证。

D38-1-A-03

二维半导体的掺杂调控与高性能神经形态器件

刘锴

清华大学

伴随着现代信息技术和人工智能的高速发展，半导体产业开启亚 10 nm 节点时代，纳米电子器件亟需突破算力和功耗瓶颈，满足多功能化和智能化的应用需求。开发具有低结构复杂度、多功能、低能耗的神经形态纳米电子器件势在必行。二维纳米材料通过范德华界面作用形成，具有纳米级甚至原子级厚度、无悬挂键的表面和宽范围的带隙，有望突破物理极限产生变革性的器件原理和技术。在本报告中，报告人将介绍近年来在 MoS_2 、 MoTe_2 等二维范德华材料的掺杂调控研究、新型纳米同质/异质结构的制备以及新原理神经形态器件等方面的探索工作。通过这些研究，有望为新型智能电子材料和器件的研发探索出新的思路。

D38-1-A-04

二维半导体材料的原位、高分辨表征技术与设备

谢黎明

国家纳米科学中心

二维半导体材料可用于超短沟道晶体管器件，有望延续摩尔定律；同时还可具有铁磁/反铁磁、铁电等特殊性质，可用于新原理器件。二维半导体材料的诸多优势，使其器件应用被写入国际器件与系统路线图（IRDS）。二维半导体材料的化学制备与性质表征是其器件应用的基础，但存在挑战，如二维半导体材料的层数精准控制、大尺寸单晶制备、单层极限的性质表征等。这些挑战的解决依赖于相关基础科学问题的深入研究，如材料生长机制与生长动力学、性质表征机制等。然而，由于高温原位成像技术与微区表征技术的缺乏，生长机制与生长动力学研究基本空白，微区性质表征（如磁性表征）缺乏手段。

发展新技术、研制新设备是深入开展基础科学研究的关键，是解决材料生长与表征的重要前提。我们创新性地发展了高温原位光学成像技术、微区低波数拉曼光谱技术，并研制了相关设备；将该先进技术与设备用于二维半导体材料的生长与表征，揭示了材料生长机制与生长动力学，发现了单层精准制备的新机制，建立了磁性微区表征的新方法。

D38-1-B-01

二维半导体界面构筑及光电特性研究

王笑*

湖南大学

半导体异质结可控构筑及其界面特性调控，是新型光电信息材料及集成器件研究的核心。聚焦二维半导体异质结界面可控构筑、载流子行为调控、器件构筑和系统集成开展研究：发展了原子尺度异质界面构筑方法，突破了界面能带与晶体对称性的有限性和不连续性，实现了界面物态精确调控；建立了界面载流子调控方法，实现了近 100%载流子自旋极化及单光子灵敏度调控；构筑了光电集成系统，解决了响应度与响应速度不兼容瓶颈，提升了信息传输带宽。

D38-1-B-02

Memristive computing: from systems to devices

Zhongrui Wang*

Southern University of Science and Technology

The advancement of AI lies on data, model and hardware. However, traditional digital hardware faces significant challenges. These include the end of Moore's Law due to transistor scaling limits and the von Neumann bottleneck arising from physically separated memory and processing units.

Redox memristors are deemed a solution for efficient and scalable deep learning, which also witnesses tremendous efforts towards commercialization. In this talk, we will discuss how to advance memristive computing at different levels: systems/applications and circuits.

At the systems/applications level, our focus is on hardware-software codesign to turn the inevitable memristor nonidealities (such as stochasticity and expensive programming) into advantages. We explore applications in graph learning [1] and few-shot to zero-shot learning [2].

At the circuit level, we devise circuits that exploit the in-memory processing of analog signals, which physically implements dynamic ANNs and SNNs [3,4], ODE/SDE solvers for diffusion and digital twins [5,6].

References

1. S. Wang et al., Nat. Mach. Intell. 5, 104 (2023).
2. N. Lin et al., Nat. Comp. Sci. 5, 37 (2025).
3. Y. Zhang et al., Sci. Adv. 10, eado1058 (2024).
4. B. Wang et al., Sci. Adv. 11, eads5340 (2025).
5. J. Yang et al., 70th Annual IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), Dec 2024, San Francisco, USA.
6. H. Chen et al., Sci. Adv. 11, eadr7571 (2025).

D38-1-B-03**未来视觉感知技术**

梁世军*

南京大学

随着智能物联网的飞速发展,越来越多的视觉传感器被部署到生产和生活中,用来获取环境中的数据。这些数据量呈指数式快速增加,迫切需要对这些数据进行实时、低功耗处理,从而满足智能时代的发展需求。但传统机器视觉系统因其感算分离的硬件架构,在实时处理这些数据时面临严峻的延时与功耗挑战。借鉴人类视觉系统感存算一体的信息处理机制有望为未来视觉感知发展提供全新的技术途径。在本报告中,我首先会介绍传统光电探测所面临的挑战,紧接着介绍智能半导体在实现可重构视网膜形态传感、宽光谱感内卷积、并行视觉运动感知机、双波段感内压缩、传感器内动态卷积计算架构等方面的潜力;最后,我将针对智能半导体在未来感知技术方面的发展潜力作出展望。

D38-1-B-04**二维 p 型碲硒基电子与光电子器件**

谭超良*

香港城市大学

碲(Tellurium, Te)和硒(Selenium, Se)是具有一维链状结构的半导体材料,由其螺旋单分子链通过范德华力堆叠形成独特晶体结构。相较于传统三维材料,仅暴露分子链两端的表面特性使碲/硒半导体材料具备本征低缺陷优势,为新型电子/光电器件的开发提供了创新平台。本报告将聚焦二维碲硒体系的前沿突破,首先展示基于碲/硒纳米片与带隙可调的碲硒合金($\text{Se}_x\text{Te}_{1-x}$)蒸镀薄膜的高性能短波红外/可见光探测器及其焦平面阵列;其次探讨基于碲/硒范德华异质结构的光电存储器件在类脑/神经形态计算中的应用;最后介绍蒸镀法实现的碲薄膜、六方氮化硼基底外延获得的高质量碲纳米带及化学气相沉积生长的碲硒合金纳米片在高性能晶体管、逻辑门与集成电路中的应用。

D38-1-C-01**无机有机杂化光铁电半导体材料**

罗军华

中国科学院福建物构所

光铁电半导体是光生载流子与铁电自发极化相互作用而表现出优异光电性能的极性功能材料,已经成为化学、材料和物理等多学科融合交叉的研究方向之一,对其光电耦合效应的深入理解孕育产生新奇物理现象与新技术,逐渐发展成为新一代光电器件的有力候选者。传统铁电体由于带隙宽、电导率低、载流子输运性能差使得其光电导性能差从而急需发展新的强光电耦合光铁电半导体。我们创新性地以具有优异半导体性能的金属卤素三维骨架为基础,通过柔性基元化学裁剪策略诱导其铁电性,实现杂化光铁电半导体的化学创制。(1)以杂化钙钛矿骨架(AMX_3)为模板,“化学嵌入”相变基元诱导对称性破缺和铁电性,创制了兼具铁电极化和高载流子迁移率的光铁电半导体新体系;(2)发展铁电极化驱动光生载流子运动形成的铁电体光伏,并揭示铁电自发极化与半导体光电导特性耦合结构机制;(3)生长高质量光铁电半导体单晶,组装晶体器件,并成功应用于自驱动光电探测、偏振光检测、圆偏振光和高能辐射探测等光电领域,极大地推动了极性晶体材料的发展。

D38-1-C-02**基于无掺杂空穴传输材料的高效宽带隙无机钙钛矿电池**

胡劲松*

中国科学院化学研究所

宽带隙钙钛矿研究对于实现高效率叠层器件至关重要。与杂化钙钛矿材料相比，全无机钙钛矿材料 CsPbX_3 具有更加优异的光热稳定性而备受关注，但其光伏器件的转换效率仍远低于前者，研究其内在机制与提升器件效率的策略对于无机钙钛矿光伏器件研究具有重要意义。本报告将介绍我们在 CsPbI_3 与 CsPbI_2Br 的相变与稳定性方面开展的系列研究，探讨极性分子诱导的相转变机制与构建稳定光伏相无机钙钛矿的策略。结合实验和理论研究，探讨氧对无机钙钛矿的钝化机制。为了解决无机钙钛矿器件湿气诱导的不稳定问题，报告将着重讨论使用无吸湿性添加剂的聚噻吩类空穴传输层来构建高效率无机钙钛矿电池器件，介绍系列调控钙钛矿薄膜生长与界面调控方法，进而将基于无掺杂 P_3HT 空穴传输层的 CsPbI_2Br 电池效率提高到 18% 以上，以及将 CsPbI_3 电池效率提高到 21% 以上。这些电池器件表现出优异的光热稳定性。

参考文献

- 1) Li, M.-H.; Gong, X.; Wang, S.; Li, L.; Fu, J.; Wu, J.; Tan, Z. a.; Hu, J.-S., Facile Hydrogen-Bonding Assisted Crystallization Modulation for Large-area High-quality CsPbI_2Br Films and Efficient Solar Cells. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, 63 (10), e202318591.
- 2) Wang, S.; Gong, X.-Y.; Li, M.-X.; Li, M.-H.; Hu, J.-S., Polymers for Perovskite Solar Cells. *JACS Au* 2024, 4 (9), 3400–3412.
- 3) Li, M.-H.; Ma, X.; Fu, J.; Wang, S.; Wu, J.; Long, R.; Hu, J.-S., Molecularly tailored perovskite/poly(3-hexylthiophene) interfaces for high-performance solar cells. *Energy Environ. Sci.* 2024, 17 (15), 5513–5520.
- 4) Li, M.-H.; Wang, S.; Ma, X.; Long, R.; Wu, J.; Xiao, M.; Fu, J.; Jiang, Z.; Chen, G.; Jiang, Y.; Hu, J.-S., Hydrogen-bonding-facilitated dimethylammonium extraction for stable and efficient CsPbI_3 solar cells with environmentally benign processing. *Joule* 2023, 7 (11), 2595–2608.

D38-1-C-03

单片同（异）步集成光电子器件

唐江

华中科技大学

以图像传感器、微显示等为代表的光电子器件需要利用读出(驱动)电路对百万级的二极管进行控制，从而实现成像或显示。当前，可见、红外传感器或者微显示一般是先制备二极管器，再通过倒装键合的方式与读出电路相连，存在工艺繁琐、良率低、成本高等不足。本报告将介绍团队近年来在单片集成光电子器件方面的进展，具体包括：1. 单片异步集成量子点短波红外探测器：响应截止波长 940nm、1300 nm、1500 nm 等系列 30 万像素和 400 万像素的成像芯片，外量子效率 60%，盲元率 5‰，成像芯片媲美商用 InGaAs 芯片。2) 单片同步集成 PbS 红外探测器，利用水溶液直接在读出电路晶圆上制备红外探测器，响应波段达 2.5 μm ，成像性能良好。3) 单片同步集成钙钛矿微显示：直接在 CMOS/TFT 驱动电路上制备钙钛矿绿色显示面板和微显示，并实现视频播放。报告最后展望单片同步集成的发展前景。

D38-1-C-04

二维材料与界面调控

宫勇吉*

北京航空航天大学

二维材料在下一代的电子器件、量子器件及电化学器件中都有非常广阔的应用前景。但是，其可控合成与精准性质调控仍然是限制其应用的关键。报告人围绕二维材料的界面工程，在化学合成、界面结构设计、界面物理原理、器件界面调控等方面开展工作。首先提出了熔体辅助合成超薄二维材料的普适性新方法，实现了热力学亚稳态及多组元复杂结构二维材料的动力学可控合成，得到了 100 余种高质量二维材料；提出了利用准平衡态熔体辅助法合成二维材料晶圆级单晶的新策略，通过插层、异质界面设计等实现了二维界面的精准构筑，发展了利用界面调控二维材料铁电性质的新策略，开发了铁电极化诱导界面载流子实

现非易失性多态存储和计算的新方法，获得了宽回滞窗口、多存储状态、高稳定的存算一体器件；提出了基于界面电子态调控离子溶剂化结构与离子排布的新策略，实现了超快离子输运行为，构筑了超低功耗、超高稳定性的离子型存算一体器件和超高比能锂金属二次电池。

D38-1-D-01

全钙钛矿叠层太阳能电池研究 – 钙钛矿结晶和缺陷性质调控

赵德威*

四川大学

叠层太阳能电池可突破单结太阳能电池光电转换效率理论极限。卤化物钙钛矿材料具有带隙宽幅调控、光电性质优异、制备成本低等优势，非常适合用于构建低成本、高效率的叠层电池。围绕如何构建高性能全钙钛矿叠层太阳能电池，介绍锡-铅窄带隙钙钛矿（1.25 eV）的合成与结晶动力学过程及器件制备，介绍普适的钙钛矿限域空间退火方法和埋底界面诱导结晶方法制备高质量钙钛矿吸光层，讨论添加剂对锡-铅钙钛矿结晶生长与缺陷态的影响，实现高效全钙钛矿叠层电池。

D38-1-D-02

动态辐射热管理材料与器件

曹逊*

中国科学院上海硅酸盐研究所

动态辐射热管理技术通过材料对外界环境温度的响应而切换自身热管理模式，以此实现可调节的加热和冷却效果，从而扩展其潜在应用。实现动态辐射热管理主要有两种策略：调节材料的太阳辐射吸收或调整其热辐射特性。传统用于全季节热管理的材料常常受到切换速度慢、循环耐久性差和机械强度不足的限制，这极大地制约了它们的实际应用。本次报告基于二氧化钒（VO₂）、氧化钨（WO₃）等材料的动态热管理的系统研究，研究其在智能窗等透明器件中的应用。

D38-1-D-03

氮化镓基光电集成芯片

孙海定*、刘鑫、陈炜

中国科学技术大学

随着对高带宽、低延迟和高能效信息处理需求的不断增长，光电集成作为实现芯片级高速通信与异质功能协同的关键方案，正受到广泛关注。氮化镓（GaN）半导体材料凭借其宽禁带和高热导率等优异物理特性，以及在紫外至可见波段的出色光电响应能力，为构建高性能光电子器件和光电集成芯片提供了坚实的材料基础。在本摘要中，我们将简要总结我们在氮化镓基光电集成芯片方面的研究进展，包括（1）新型三电极光电二极管，（2）垂直集成 micro-LED 阵列。

光电二极管是光电集成芯片中必需的基本元件，然而无论是作为发光还是探测单元，其均需配置驱动电路来实现电-光信号间的转换，这一传统模式限制了整个光电系统的带宽，并增大了系统复杂度，从而限制了光电集成技术的发展。鉴于此，我们提出了新型三电极光电 PN 结二极管结构，通过在 GaN 基紫外发光二极管（LED）的 p 型导电层上制备一个由金属-氧化物绝缘体（Al₂O₃）-半导体（p-GaN）构成的电容器结构，实现了第三端口外加电场对二极管光电特性的调控[1]。利用该器件，我们首先构建了光通信系统，与采用外部偏置器的系统相比，三电极二极管具有更高频带带宽，提升幅度达到 60%，并且在同尺寸的器件中，是最高水平。此外，当三电极二极管切换为探测模式时，受第三端口施加电压与入射光的同步控制，可以实现可重构的高速光电逻辑门，例如“NAND”和“NOR”等。

除了将光电二极管与金属-氧化物-半导体结构进行片上器件集成外，我们还提出了一种集深紫外 micro-LED 阵列与光电探测器于一体的垂直集成芯片架构[2]。在该架构中，深紫外 micro-LED 阵列向下发

射的紫外光子可以穿透过透明的蓝宝石衬底并被衬底背面的氧化锌紫外探测器捕获，以实现 LED 和探测器之间的“光子互连与集成”，从而进行高效的光信号传输。此外，通过搭建外部电路反馈系统，我们实现了深紫外 micro-LED 阵列光输出能量密度的自发稳定和校准。该系统不仅可以监测阵列器件光输出能量密度随时间的变化，还可以不断提供反馈信号以确保恒定的光功率密度。更进一步，基于该系统，我们实现了一个具有 564 PPI 高像素密度的集成深紫外 micro-LED 阵列，并利用该阵列持续稳定的显示字母“U”，对旋涂有 SPR955 光刻胶的硅片进行深紫外无掩膜光刻曝光，显影后成功地在硅片上显示出清晰的“U”型图案。

综上所述，我们基于氮化镓材料开展了两种具有代表性的光电集成芯片研究，分别实现了器件功能的可控性与集成结构的多维扩展。这些工作为发展高性能、可扩展的光电集成系统提供了新的设计思路与技术基础。

参考文献：

[1] Memon M H, Yu H, Luo Y, et al. A three-terminal light emitting and detecting diode. Nature Electronics, 2024, 7(4): 279-287.

[2] Yu H, Yao J, Memon M H, et al. Vertically Integrated Self-Monitoring AlGaN-Based Deep Ultraviolet Micro-LED Array with Photodetector Via a Transparent Sapphire Substrate Toward Stable and Compact Maskless Photolithography Application. Laser & Photonics Reviews, 2025, 19(2): 2401220.

D38-1-D-04

各向异性二维材料的控制制备和光电器件

徐华*

陕西师范大学

二维原子晶体材料丰富的结构和优异的性质使其在构筑下一代纳电子器件方面具有广阔的应用前景。本报告将介绍最近几年我们课题组在各向异性二维材料的可控制备和光电器件应用方面的研究进展：（1）发展了角分辨偏振拉曼光谱和角分辨偏振光学成像技术，揭示了各向异性二维镧基过渡金属硫族化合物（Re-TMDs: ReS_2 , ReSe_2 ）独特的“纳米组装生长”模式；（2）发展了低共熔体辅助生长、空间限域外延、基底晶格诱导外延和基底纳米沟槽诱导外延等材料创制新方法，实现了大面积、高质量、取向均一各向异性二维材料（ ReS_2 , ReSe_2 和 Te 等）的可控制备；（3）提出了组分和相结构协同调控二维材料性质策略，实现了其能带结构和导电属性的连续调制；（4）基于二维材料表界面势场调控器件性能理念，成功构筑了高灵敏度、宽光谱和偏振敏感光电探测器等新型光电功能器件。以上研究促进了二维材料基础研究和光电器件应用的发展。

D38-2-A-01

添加周期位相非线性晶体设计及深紫外激光输出

于浩海

山东大学

D38-2-A-02

金属卤化物钙钛矿阵列及人工视觉成像器件

潘曹峰*

北京航空航天大学

构建具备类人视觉功能的高性能光电传感器阵列是实现智能机器人和具身感知系统的关键。本报告聚焦金属卤化物钙钛矿材料在人工视觉系统中的应用，系统梳理了其在大面积、高分辨、低成本图像传感器构筑中的优势与挑战。针对传统器件难以实现全彩感知、柔性贴附与神经形态处理等瓶颈，课题组开发了基于亲/疏水表面调控、气相沉积与空间限域策略的大规模钙钛矿多晶与单晶薄膜阵列制备方法，实现了高结晶质量、高分辨率（>400 PPI）、阵列尺寸和位置可控的图像传感结构。在器件层面，构建了多类型钙钛

矿异质结光电探测器阵列,具备超薄 ($2.4\ \mu\text{m}$)、超轻 ($3.12\ \text{g/m}^2$) 与可弯曲贴附能力,可适应不同曲率曲面,实现实时、低像差、高灵敏度 (探测率达 $5.17 \times 10^{12}\ \text{Jones}$) 的曲面视觉感知。进一步集成三维结构与拜耳滤光片,结合卷积神经网络优化算法,构建低色差 ($\Delta E_{2000}=0.45$) 全彩图像传感系统,在静态图像降噪、动态轨迹识别、色彩重建等方面展现出神经形态处理功能。此外,还提出基于正负光电导调控的神经形态图像处理器件架构,实现图像在传感器端的感知与初步计算一体化。

本研究在钙钛矿材料可控生长、异质结构设计与阵列器件集成方面实现系列突破,显著推进了类脑感知系统的发展,为智能机器人、自动驾驶、医疗成像与安全监控等领域提供了新一代高性能视觉感知解决方案。

D38-2-A-03

基于磁补偿工程的 Bi: RIG 薄膜自适应法拉第旋转回路用于磁光器件

宋波*

哈尔滨工业大学

稀土铁石榴石 (RIG) 薄膜因其优异的法拉第旋转效应,被广泛应用于光隔离器、磁光成像以及磁场传感等磁光器件领域。然而,针对不同应用需求,法拉第旋转角与外加磁场之间的关系往往具有多样化的特征,尤其涉及旋转角磁滞特性的灵活调节,包括低饱和磁场响应、高矫顽力稳定性以及旋转方向的反转行为等。如何在室温条件下实现对法拉第旋转磁滞回线的精准可控,已成为磁光薄膜材料领域亟需攻克的核心科学问题和工程技术瓶颈。

本研究聚焦于 Bi 掺杂稀土铁石榴石 (Bi: RIG) 薄膜体系,借助液相外延 (LPE) 生长方法,制备出高结晶质量的 Bi: RIG 单晶外延膜。在材料设计层面,巧妙引入 Ho 掺杂以引发磁补偿效应,有效调节稀土和过渡金属离子之间的磁矩补偿行为;同时通过 Ga 掺杂,精确调控 Fe^{3+} - Bi^{3+} 离子之间的超交换耦合强度及磁补偿温度,实现对薄膜法拉第旋转磁滞回线形貌的系统构筑。研究表明,当 Ga 含量接近 $0.4\ \text{atom/f.u.}$ 时,薄膜在 $532\ \text{nm}$ 波长下表现出高达 $1.5 \times 10^6\ \text{rad/m/T}$ 的 Verdet 常数,显示出在弱磁场检测和高灵敏磁光成像应用中的巨大潜力。进一步增加 Ga 含量至约 $0.6\ \text{atom/f.u.}$ 时,薄膜展现出约 $350\ \text{Oe}$ 的高矫顽力,能够满足光纤隔离器在无外加偏置磁场条件下的高效隔离需求。此外,当 Ga 掺杂水平增至约 $1.0\ \text{atom/f.u.}$ 时,法拉第旋转方向发生反转,暗示了开发新型非互易磁光器件的应用前景。

基于上述成果,本工作系统提出并验证了一种基于成分工程和磁性亚晶格精细调控的高效磁光性能调节策略。通过对 Bi: RIG 薄膜磁性微观结构和耦合机制的深入探究,揭示了材料组分变化对法拉第旋转响应及其磁滞行为的内在影响规律。这不仅为磁光功能薄膜在不同磁光器件中的多场景适配提供了理论支撑和实验依据,也为后续多功能化磁光器件的集成化开发提供了新的材料设计思路与技术路径。

D38-2-B-01

二维铁电物理与类脑器件

刘富才*

电子科技大学

铁电材料因具有外加电场可调的自发极化,在存储器件、光电器件、以及存算一体器件等方面有着广泛的应用。受电子器件小型化、高度集成化的发展趋势的影响,二维材料由于其独特的结构成为铁电领域的研究热点之一。层间间隙的存在使二维铁电材料展现出了与传统铁电材料截然不同的物理性质,如突破临界尺寸效应、四势阱能量-极化曲线等。在本次报告中,我将介绍近期在二维半导体及界面发现的新奇铁电现象,包括铁电离子耦合效应、层数依赖的铁电特性、优异的铁电抗疲劳特性等。二维铁电材料为研究新奇铁电物性提供了新的材料体系,也为进一步发展高性能铁电存储、类脑智能器件等提供了材料基础。

D38-2-B-02

光电忆阻材料与仿生智能器件

王中强*
东北师范大学

光电忆阻器兼具图像探测、记忆与处理功能，是发展高效神经形态视觉系统的理想架构单元。本报告将介绍研究组在光电忆阻材料及神经形态器件方面的研究工作：发展基于银纳米线/海藻酸钠薄膜的模拟型互补忆阻器，模拟了感觉适应的脱敏行为和韦伯定律；结合光、压力传感器，通过多模态信号整合，提高图像识别精度；基于 Ag-TiO₂ 纳米复合材料，首次研制了等离激元型光电忆阻材料，实现了突触权重的全光学信号调制，实现了图像感知、存储和处理的功能整合，据此发展了准确度高达 98% 的高效图像识别人工视觉系统；构筑基于 Ag-TiO₂/海藻酸钠材料的柔性全光器件，实现可与人眼比拟的宽视野范围和空间角度探测功能，进一步利用双目视差实现立体图像信息感知。

D38-2-B-03

二维半导体/栅介质异质界面的精准构筑及无回滞晶体管

吴金雄*
南开大学

高质量二维半导体/栅介质异质界面是构筑高性能二维场效应晶体管的关键和前提。目前，因与电子工业主流的原子层沉积（ALD）工艺不兼容，二维半导体/栅介质异质界面的原子级精准构筑及均匀无损集成仍具挑战。针对该挑战，本课题组从开发新型高迁移率二维半导体、创制高 κ 二维栅介质以及发展新型无损集成方法等方面开展了系列研究，并取得了系列研究成果[1-6]。本报告，将从上述几个方面展开阐述。譬如，针对“现有二维栅介质体系介电常数偏小且难以洁净转移”的领域难题，率先提出“二维高 κ 单晶栅介质直立生长”理念，实现 Bi₂SiO₅ 单晶栅介质的直立生长，成功构筑低功耗无回滞 MoS₂ 晶体管。针对“难以实现亚 3 nm 超薄栅介质与二维半导体无损集成”的领域难题，率先提出“直立二维金属预原子层沉积超薄栅介质”的理念，利用一步法集成超薄栅介质/顶电极方法，首次实现亚 3 纳米原子层沉积栅介质与二维半导体的直接无损集成，构筑了等效电容厚度小于 1 nm 的超高栅电容密度无迟滞晶体管。

参考文献

- [1] L. Zhang, J. Wu*, et al. Nat. Electron., 2024, 7, 662.
- [2] W. Ai#, J. Wu*, et al. Nat. Commun., 2024, 15, 1259.
- [3] J. Chen, J. Wu*, et al. J. Am. Chem. Soc., 2024, 146, 11523.
- [4] J. Chen, J. Wu*, et al. Nat. Commun., 2023, 14, 4406.
- [5] Y. He, J. Wu*, et al. Nat. Commun., 2025, accepted.
- [6] J. Wu#, H. Peng*, et al. Nat. Nanotechnol., 2017, 12, 530.

D38-2-B-04

基于低维半导体材料的可重构光电器件研究

李东
湖南大学

随着微电子技术的快速发展，以硅为基础的半导体工艺面临越来越多的挑战，因此，探索制备新的材料和发现新的物理性能一直是凝聚态物理、材料科学、信息科学等多个学科研究的前沿领域。近年来，低维材料及其新奇物理特性的不断发现为构建新型纳米结构、实现半导体器件的突破性进展提供了可能。在众多材料体系中，双极性低维半导体是一类比较特殊的半导体材料，在电场调制下，其载流子可以在 p 型和 n 型之间的动态调控，在新一代可重构、多功能信息器件的应用中具有重要优势。本报告将主要介绍我们在新型可重构存算一体器件构筑方面的一些进展，基于双极性半导体材料，通过器件结构设计，我们开发了新型部分浮栅场效应晶体管，实现了晶体管与存储器模式的单器件共存；利用双极性半导体的载流子灵活可调优势，我们开发了可重构晶体管、可重构存储器、可重构逻辑电路、半加器等电路应用。

D38-2-C-01

微区超快光谱及其应用

刘新风

国家纳米科学中心

超快光谱是表征载流子产生、输运和复合等过程的重要技术手段，在化学、物理、材料、信息等领域有着广泛的应用。近年来，我们一直致力于开发具有空间、时间和动量分辨能力的瞬态和稳态光谱测量系统，研究半导体材料体系中的载流子物性，为深入理解半导体材料光电特性以及相关器件的性能优化奠定重要的研究基础。在本次报告中，主要汇报基于微区超快光谱在载流子迁移、电子-声子耦合、表界面诱导的半导体材料的光谱特性等研究方向的一些进展。

D38-2-C-02

高质量氧化镓薄膜异质外延生长及其特性表征

何云斌^{*1}、朱弘毅²、向烈浩²、陈旭阳²、师道田²、陈陆枫²、黄攀²、陈剑¹、卢寅梅¹

1. 武汉纺织大学

2. 湖北大学

高质量 Ga_2O_3 外延薄膜对于开发高灵敏快响应日盲紫外 (SBUV) 光电探测器至关重要[1]。我们以单晶 MgO (100) 为衬底，采用脉冲激光沉积 (PLD) 法在不同氧压下生长 Ga_2O_3 薄膜，在优化的 7 Pa 氧压下，获得了具有 (100) 取向和原子级光滑表面的高质量单相 β - Ga_2O_3 外延薄膜[2]。球差校正透射电子显微镜 (AC-TEM) 显示， Ga_2O_3 薄膜生长始于一个约 8 nm 厚立方- γ 相 Ga_2O_3 过渡层，后续生长成由 8-12 nm 宽柱状纳米晶组成的 β - Ga_2O_3 ；原子级分辨的 AC-TEM 直接揭示 β - Ga_2O_3 薄膜中存在少量的位于畴壁的氧空位缺陷。密度泛函理论模拟和从能量学角度解释了柱状纳米晶畴的成因，并确定纳米晶畴可能界面取向为 (11-2) / (1-1-2)。基于该柱状纳米晶 β - Ga_2O_3 薄膜制备的 MSM 型 SBUV 光电探测器 (10 V 偏压) 显示出极低暗电流、极高光暗电流比 ($I_{\text{dark}} = 0.6 \text{ pA}$, $I_{\text{light}}/I_{\text{dark}} = 1.47 \times 10^7$)、快速光电响应 ($\tau_{\text{rise}} = 0.144 \text{ s}/0.988 \text{ s}$ 和 $\tau_{\text{decay}} = 0.036 \text{ s}/0.266 \text{ s}$)，以及超高响应度和探测率 ($R = 191 \text{ A/W}$, $D^* = 3.8 \times 10^{15} \text{ Jones}$ ；峰值波长 255 nm)。器件简单的制造工艺、极低的暗电流和超高的探测率显示生长于 MgO (100) 上的异质外延纳米晶 β - Ga_2O_3 薄膜在开发高端 SBUV 光电探测器上具有巨大潜力。最近，我们在超高真空系统中以超纯 O_2 (6N) 作氧化剂、单质 Ga (6N) 与 Ga_2O_3 粉末 (5N) 按 4:1 摩尔比混合作为镓源，通过电子束热蒸发在清洁 $\text{Au}(111)$ 表面沉积 Ga_2O_3 薄膜并进行 500 °C 原位退火，之后对薄膜进行了原位 XPS、LEED、STM 表征分析。结果表明：超薄薄膜中 $\text{Ga } 2p_{3/2}$ 、 $\text{O } 1s$ 结合能分别为 1117.7 eV、531.0 eV，且 $\text{O}/\text{Ga} = 1/1$ ，表明成功获得了单层 (ML) 镓氧化物 1 ML- GaO 薄膜； GaO 薄膜在 $\text{Au}(111)$ 表面上呈二维层状生长，表面原子排列呈现六角对称结构，台阶高度为 2.5 Å。继续沉积至膜厚 2 ML，薄膜 $\text{Ga } 2p_{3/2}$ 结合能 (1118.25 eV) 相较 1 ML- GaO 结合能增大 +0.55 eV， $\text{O } 1s$ 结合能无明显变化，且 $\text{O}/\text{Ga} = 3/2$ ，说明 GaO 薄膜转变为符合化学计量比的 Ga_2O_3 薄膜[3]。薄膜表面原子排列依然呈现六角对称结构，但生长模式转变为三维岛状生长，六角对称形貌台阶高度为 2.3 Å，相邻原子间距为 2.95 Å，确认该薄膜取向为 α - $\text{Ga}_2\text{O}_3(0001)$ 。继续沉积至膜厚 10 nm 以上 (40 ML)，XPS 表征揭示 $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{Au}$ 能带弯曲信息，肖特基势垒达到 2.19 eV， Ga_2O_3 侧能带弯曲量为 0.25 eV。本工作首次观察到薄膜生长过程中亚稳态 GaO 向稳定 Ga_2O_3 的转变并获得 α - $\text{Ga}_2\text{O}_3(0001)/\text{Au}(111)$ 肖特基接触能带弯曲信息，所得结果对于理解 Ga_2O_3 薄膜生长过程及机制，以及发展新型 Ga_2O_3 器件具有重要意义。

D38-2-C-03

二维氮化硼晶体的精准构造和调控

王理*

中国科学院物理研究所

氮化硼是重要的二维材料，具备宽带隙绝缘性、优良导热性、化学稳定性、表面无悬挂键、低介电常数和低介电损耗等优异特性。同时，它还展现出超高的非线性光学响应、高激光损伤阈值和宽谱透明性。特别是菱方氮化硼，还表现出卓越的滑移铁电性和显著的非线性相干增强。然而，由于非中心对称晶格与传统单晶金属衬底不匹配，大尺寸氮化硼单晶的生长极具挑战。近年来，报告人综合运用表面物理、材料科学和催化化学的现有理论和方法，研究并开发出一套基于面内、协同调控的外延生长新方法，主要包括表面台阶控制生长大面积六方氮化硼单层单晶和斜面台阶控制生长铁电性菱方氮化硼多层单晶。此外，报告人还将介绍基于这些氮化硼单晶材料开展的缺陷检测以及应用基础等研究工作。

D38-2-D-01

石墨烯薄膜的洁净、无损转移

林立^{1,2*}

¹北京大学材料科学与工程学院，北京，100871

²北京石墨烯研究院，北京，100095

石墨烯优异的物理化学性质使其在柔性封装与显示、高端电子器件等领域有着广阔的应用前景。尽管化学气相沉积（chemical vapor deposition, CVD）方法制备的石墨烯薄膜材料具有大尺寸、质量高、层数可控等优点，然而石墨烯薄膜通常需要在金属衬底上制备，限制了其实际应用。为实现大面积 CVD 石墨烯薄膜的功能应用，通常需要将金属衬底上制备的石墨烯薄膜转移至目标功能衬底上。而石墨烯转移过程中通常会产生结构破损、污染、掺杂等问题，严重影响石墨烯的性质。因此如何实现石墨烯大尺寸、无损、洁净转移，维持其本征性能，同时，设计规模化转移装置，实现石墨烯批量转移，仍是石墨烯薄膜应用领域的技术瓶颈，亟待解决。由于石墨烯具有单原子层厚度与极佳的柔性，引入必要的转移辅助介质可以抑制转移过程中破损与褶皱的形成，但会引入不必要的污染物。另一方面，转移过程中，基于水溶液的化学刻蚀与电化学鼓泡等传统转移方法会引入不必要的水氧掺杂，降低转移后石墨烯的品质，并增加批量转移的装备成本。

课题组围绕“大面积石墨烯转移”这一方向开展了一系列工作，通过转移辅助介质的结构设计、转移过程界面力的精确调控等，实现了大面积石墨烯薄膜的批量、无损、“全干法”转移^[1-2]：（1）通过生长衬底的均匀氧化和石墨烯与目标衬底的共形贴合，精确调控石墨烯与转移媒介之间的作用力，实现了石墨烯从生长衬底的无损剥离和石墨烯与转移介质的剥离分离，转移全流程无水与有机溶剂参与；（2）实现了 4 英寸晶圆石墨烯向 Si/SiO₂ 衬底上的完整转移，完整度可达 99%，石墨烯的室温载流子迁移率可达 $14,000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ；（3）实现了 A3 尺寸石墨烯薄膜向柔性聚对苯二甲酸乙二醇酯（polyethylene glycol terephthalate, PET）衬底的无损、叠层转移，并构筑了高效石墨水氧阻隔膜，双层石墨烯水蒸气透过率可降低至 $5 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ ；（4）设计并搭建了石墨烯批量、自动化转移系统，实现了转移媒介的自动涂覆、石墨烯薄膜自动分离与贴合等。

参考文献

[1] Zhao, Y.; Song, Y.; Hu, Z.; Wang, W.; Lin, L.; Liu, Z. et al. Nature Comm. 2022, 13(1): 4409.

[2] Chen, S.; Chen G.; Zhao, Y.; Bu, S.; Lin, L.; Wang X. et al. Adv. Mater. 2024, 2308950.

D38-2-D-02

二维非线性光学半导体及异质结的多场耦合调制及集成器件应用

秦敬凯*

哈尔滨工业大学（深圳）

电子信息技术的快速发展对多功能、紧凑型、低功耗的电子光子集成技术提出了更高的要求。开发具有优异光电转化能力及光学非线性的二维晶体材料，实现对其本征物理特性的有效调制，对未来设计构筑高效光电探测器件、硅基片上光电子器件及类脑智能光电器件具有重要的推动作用。本报告将重点围绕

新型二维范德华光电晶体及异质结材料展开讨论，主要包括：1. 新型二维 SnP_2Se_6 晶体材料光电特性调控及片上集成应用；2. 二维 MoS_2 及异质结的光热电耦合场调制及器件集成。

D38-2-D-03

二维材料界面物性调控与功能器件研制

梁齐杰*

松山湖材料实验室

电子和光电元器件是现代信息社会的多个领域必不可少的组成单元，半导体材料作为常见的电子和光电元器件的核心构成部分发挥着底层支撑作用。二维半导体材料被认为在下一代电子信息器件以及光电信息器件的发展中具有重要前景。本报告将介绍近几年课题组在二维半导体材料的物性调控、界面构筑和器件应用方面的进展，包括稳定可控极性调控、铁电异质结器件、神经形态器件等。

D38-3-A-01

栅极驱动能带调制超掺杂用于高性能 P 型二维半导体晶体

段曦东*

湖南大学

传统半导体工艺中晶格替代掺杂（如离子注入）易于产生高能损伤，而表面吸附物诱导的电荷转移掺杂则通常涉及剧烈的化学处理、表面杂质的引入和化学稳定性等问题，因此它们难以适用于原子级薄的 2DSCs。我们开发了一种可以对 P 型二维半导体进行可以栅控的超掺杂方法。研究团队使用单层二硫化锡（ 1L-SnS_2 ）与双层二硒化钨（ 2L-WSe_2 ）构建具有 III 型能带排列的之间范德华异质结构（vdWHs）。背栅偏置电压（ V_{gs} ）能够对层间电荷转移掺杂进行有效调制，实现了超过典型介电击穿的最大静电掺杂极限的超掺杂，获得了高达 $1.49 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 的超高二维空穴浓度。高空穴浓度使 p 型 2D 晶体管展现出优异性能，其最低源漏接触电阻（RC）低至 $0.041 \text{ k}\Omega \cdot \mu\text{m}$ ，最高开态电流密度（ I_{on} ）高达 $2.30 \text{ mA}/\mu\text{m}$ 。这些都是文献报道中的世界纪录。

D38-3-A-02

无机 $\text{Au}_6\text{Te}_{12}\text{Se}_8$ 超原子晶体中的电荷序与超导

季威*

中国人民大学

材料中同时存在极性（铁电性/铁弹性）与金属性（或超导电性），标志着奇异的极性金属或极性超导（SC）态的出现。然而，由于极性序与金属性或超导电性之间固有的互斥性，此类材料极为罕见。本报告将先汇报近期在金属性超原子晶体 $\text{Au}_6\text{Te}_{12}\text{Se}_8$ (ATS) 中发现的交织共存的三倍周期电荷密度波（tc-CDW）与反极化金属(anti-polar metal)序。在此基础上，讨论这些电荷有序与在更低温度涌现的超导（SC）态之间的竞争机制，揭示一种可能的具有类亚铁电性（ferrielectric-like）的电荷极化超导态。

D38-3-A-03

本征离子迁移二维材料器件及可控制备

刘碧录*

清华大学深圳国际研究生院

类脑神经形态计算作为一种受生物神经系统启发的新型计算范式，打破了传统计算机的存储与计算分离结构，可实现信息的并行计算，有望降低功耗，提高能效。基于离子传输的二维材料基忆阻器是该领域的重要方向。然而，现有离子型二维材料基忆阻器存在离子输运难调控，器件结构复杂等问题，导致器件

运行功耗较高、可操作态数有限、均一性和稳定性差。本征离子型二维材料具有可移动的内部离子，有利于忆阻器的高均一性和稳定性。此外，作为材料固有组成部分，本征离子迁移可与材料结构耦合，有望实现高性能、多功能忆阻器件，在神经形态计算领域中有独特的优势和发展潜力。本报告将介绍神经形态计算器件的研究现状，并介绍本团队基于本征离子型二维材料 CuInP_2S_6 和 AgCrP_2S_6 的神经形态计算器件特性和应用，包括低功耗操作、多态存内计算、高准确率图像识别、离子-电子耦合等。

D38-3-A-04

二硫化钼外延生长取向、层数和堆垛调控

李涛涛^{1,3} 刘蕾^{2,3} 王欣然^{1,2,3*}

1 南京大学集成电路学院

2 南京大学电子科学与工程学院

3 苏州实验室

以二硫化钼 (MoS_2) 为代表的二维半导体材料具有原子尺度的极限厚度、高迁移率和可后端异质集成等特点，为解决后摩尔时代集成电路功耗和算力问题提供新的解决方案。大面积、高质量的二维半导体可控外延制备，是实现未来集成应用的基础。围绕上述问题，报告人开展了系列工作：（1）设计了产业兼容的蓝宝石外延衬底，提出表面台阶诱导形核机制，在国际上首次实现 2 英寸 MoS_2 单晶外延制备。（2）提出了衬底台阶高度调控的二维材料层数控制方案，实现了厘米级均匀双层二硫化钼连续薄膜外延制备，解决了大尺寸、高质量双层 MoS_2 薄膜均匀生长的国际难题。（3）提出缺陷诱导的同质外延策略，实现 3R 堆垛的多层 MoS_2 晶圆外延生长，阐释了缺陷在 3R 和 2H 形核竞争过程中的决定性作用，展示了 3R 堆垛的铁电特性和铁电晶体管应用。

D38-3-B-01

新型石墨烯光电子器件与硅基集成

朱梦剑

国防科技大学

石墨烯具有优异的光学和电学性能，为实现高性能石墨烯-硅基异质集成器件开辟了一条非常有前途的途径。基于石墨烯的硅基集成光子器件研究在近年来取得了巨大进展，展现出了诸如超大带宽、超低功耗在内的优异性能。值得关注的是，欧盟石墨烯旗舰计划（EU Graphene Flagship）将石墨烯光电子集成芯片作为其中最重要的一个布局方向，并于 2021 年新增了 2000 万欧元的战略投资，与欧洲微电子中心（IMEC）合作建设了一条先导工艺线（2D-Experimental Pilot Line），共同开发面向下一代光通信技术的超大带宽、超低功耗硅基集成石墨烯和二维材料光电子集成芯片。本次报告将主要介绍国防科技大学石墨烯光电子器件团队在超快石墨烯热电子辐射光源、石墨烯调制器阵列和扭角增强石墨烯光电探测器等新型光电子器件方面的进展，并对其硅基集成发展技术路线进行展望。

D38-3-B-02

基于氧化物的神经形态视觉器件与系统

周菲迟

南方科技大学

随着图像、视频等数据密集型应用的迅猛发展，海量传感数据对智能感知计算提出了更高要求。在传统基于冯诺依曼架构及 CMOS 技术的智能视觉系统中，图像传感与处理单元的物理分离架构导致高延迟、高能耗的瓶颈。同时，其在集成度、多功能化及智能层次方面均远逊于人类视网膜及大脑视觉皮层在复杂环境中的感知处理能力。新型计算范式—传感内计算及近传感计算—能够有效减少乃至避免传感与处理单元间的数据交互，从而提升集成密度、计算速度与能效。本报告将从新型器件设计、架构创新、算法部署及应用实现等多个维度，系统介绍面向专用视觉与通用视觉的感算一体神经形态视觉器件与系统的最新研究进

展。

D38-3-B-03

非中心对称二维单晶制备研究

徐小志*

华南师范大学

过去十几年里,以石墨烯、氮化硼和过渡金属硫族化合物为代表的二维材料在基础研究和器件应用等方面都来了许多惊喜。二维材料有导体、半导体和绝缘体,种类完备。同时具有极限的物理厚度和超快的光电响应,所以在电子、光电子等领域有非常广泛的应用前景。对于基础研究,我们可以基于手撕样品,但是对于器件应用,必须要大尺寸单晶才能保证器件的高品质和高重复性。本报告将从衬底表面调控出发,介绍非中心对称二维单晶材料通用制备研究。

D38-3-B-04

全二维金属/半导体界面与器件

张先坤*

北京科技大学

超薄的二维材料因其原子级平整的表面和对短沟道效应出色的免疫力被认为是未来电子学器件的潜在候选材料。一个高性能半导体器件的应用与服役是离不开一个高质量的金属/半导体接触。由于二维材料的超薄特性,二维材料的金属/半导体接触通常会表现出严重的费米钉扎效应和不受控制的肖特基势垒。不同于传统蒸镀电极,二维金属材料可以与二维范德华半导体形成较弱的非化学键合界面,并有效抑制传统肖特基结中的金属诱导间隙态。针对上述问题,团队致力于高质量范德华界面集成及器件构筑研究,使用二维材料体系作为器件的主要组成的全二维电子学器件设计构筑思想,建立了金属性二维材料的功函数数据库,研制出了高整流比二极管、高迁移率晶体管和全光谱红外探测器等全二维范德华异质结器件。同时充分利用二维材料的界面调控特性,设计构筑了二维多栅场效应晶体管,实现了二维晶体管功耗的显著降低和算力的大幅提升,验证了二维材料在集成电路领域的极大潜力。

D38-3-C-01

量子点的性能调控及其显示应用

解荣军*

厦门大学

量子点具有发射峰窄、量子效率高、光谱调控范围大等优势,是实现超高分辨和超高清显示技术的重要发光材料之一。然而,量子点的结构和环境稳定性较差,严重影响了其在发光显示器件中的应用。本文基于配体工程、掺杂工程和包覆等手段提高钙钛矿量子点的可靠性和量子效率,并进一步通过优化量子点薄膜和器件结构提升发光器件的发光效率,制备出了基于量子点的液晶背光源、发光二极管和微显示器等。

D38-3-C-02

晶圆级二维材料异质结的精准制备

高力波

湖南大学

二维材料包含了导体、半导体、铁磁体、超导体、铁电体等,单种类二维材料难以实现特定的功能性应用。二维材料通过堆垛方式制备出具有特定功能的范德华异质结,进而制作下一代功能器件,逐渐成为低维器件和半导体应用的重要发展方向。通过剥离方法堆垛而成的石墨烯、六方氮化硼(hBN)和其他二

维材料的超晶格或范德华异质结，在不同旋转角度的情况下，可呈现非常规超导、反常量子霍尔效应、铁电等不同性能。

本次报告主要总结化学气相法制备晶圆级、超平整、层数均匀可控的石墨烯、hBN、过渡金属硫族化合物的控制方法，同时提出了堆垛生长和叠层转移晶圆级二维材料范德华异质结的策略，二维材料范德华异质结中的二维组元包括了石墨烯、hBN、二维半导体、金属、超导体、铁磁体等，并初步探索了二维材料范德华异质结的在未来集成电路中的应用可能。

参考文献

- [1] G. W. Yuan, et al. Proton-assisted growth of ultra-flat graphene films. *Nature*, 2020, 577: 204-208.
- [2] Z. Z. Zhou, et al. Stack growth of wafer-scale van der Waals superconductor heterostructures. *Nature*, 2023, 624: 499-505 (2023).
- [3] H. H. Lin, et al. Growth of environmentally stable transition metal selenide films. *Nature Materials*, 2019, 18: 602-607.
- [4] G. W. Yuan et al. *Nature Communications*, 2023, 14: 5457.

D38-3-C-03

稀土 4f-5d 跃迁发光调控与新材料创制

夏志国*

华南理工大学

稀土发光材料是我国稀土资源高值化利用的战略性功能材料之一，其中，掺杂稀土离子($\text{Eu}^{2+}/\text{Ce}^{3+}$) 为代表的发光材料，以其独特的 4f-5d 电子跃迁特性，具有高发光效率、短寿命和可调的发射波长，在照明与显示、闪烁成像等领域具有广泛的应用前景。我们课题组长期从事这一领域的研究，基于稀土 4f-5d 跃迁设计了一系列不同用途的稀土发光材料，并探讨了其包括热稳定性等发光性能的调控机制，推动了稀土发光材料在超高色域背光/激光荧光显示、绿色照明和闪烁成像等领域的应用。

D38-3-C-04

铁电半导体设计合成与性能研究

刘希涛*、孙志华、罗军华

中国科学院福建物质结构研究所

铁电半导体是自发极化与光激发电子相互作用展现出优异光电性能的一类晶体材料，对其光电效应的深入理解将孕育产生具有重要应用前景的光电功能和技术。如何可控合成光电性能优良的光铁电晶体新材料是当前所面临的一个科学难题。针对这一科学问题，报告人聚焦功能导向铁电半导体的理性设计与可控合成，主要学术成绩如下：1. 铁电半导体体系创制：提出“限域空间”诱导组装的设计策略，将柔性分子基元引入到刚性金属卤素配位骨架形成的限域空间中，构建了层状金属卤化物铁电半导体新体系；2. 铁电半导体化学调控：系统运用柔性分子基元调控、离子异价取代等手段，增强限域空间位阻效应，建立了高性能光铁电晶体材料的可控合成方法；3. 铁电半导体功能拓展：基于大尺寸高质量单晶，拓展了铁电极化驱动的无源光电探测功能，取得了铁电极化与光电特性耦合的重要突破。

D38-3-D-01

二维 MXene 材料的熔融盐法制备策略

林紫锋*

四川大学

二维 MXene 材料为一类金属碳化物、氮化物、碳氮化物，具有种类丰富、结构多样等特点，其电子

结构及物理化学特性可调性高，在光电、能源等领域具有应用前景。目前，MXene 材料的制备方法较多，本报告着重介绍本人团队在熔融盐法制备二维 MXene 材料的研究进展，详细解析了路易斯酸法制备 MXene 过程、反应机制及 MXene 性质；此外，提出了两种基于熔融盐法改进的 MXene 制备策略：“一锅法”实现简单高效及宏量制备多种 MXene；单质 Te 刻蚀制备 Te 基官能团 MXene 材料，并实现高效储钠性能。

D38-3-D-02

新型异质结光电探测器研究

娄正*

中国科学院半导体研究所

异质结光电探测器因其在能带调控、载流子分离和界面调控方面的独特优势，已成为实现高性能光电转换的重要技术路径。本研究围绕新型半导体异质结结构的构建与优化，系统开展了材料选型、能带工程设计与界面物理调控的基础研究。通过引入低维材料与窄带隙半导体构成 II 型或 Z 型能带结构，显著增强了光生载流子的分离效率与传输能力，实现了从可见到近红外甚至中红外波段的宽谱响应。进一步利用界面电场与能带偏移效应，提升了器件在低照度、高信噪比下的光电响应性能。器件在快速响应、低暗电流和高比探测率方面表现出优异性能，验证了新型异质结结构在复杂环境下稳定工作的能力。本研究为突破传统光电探测器的性能瓶颈、推动集成化、高灵敏成像与智能光感知系统的发展提供了新思路和关键技术支撑。

D38-3-D-03

面向类脑智能的二维材料物态调控与器件应用

孙林锋

北京理工大学

D38-3-D-04

二维功能材料相工程研究

徐晓龙*

北京理工大学

晶体结构相变是指晶体材料在一定条件下(如温度、压力、化学成分等变化)，其晶体结构发生改变，从一种晶体结构转变为另一种晶体结构的过程。晶体结构相变反映了物质内部原子排列和相互作用的变化，研究相变过程有助于深入了解物质的基本性质和物理规律。掌握晶体结构相变的规律不仅可以指导新材料的设计和开发，也为研究晶体结构与物性之间的关系提供了新途径。本报告将围绕二维材料中的晶体结构相变，介绍其相变机理并以此为指导进行二维功能材料的晶圆制备。

D38-3-D-05

基于热载流子机制的新型晶体管器件

刘驰*

中国科学院金属研究所

作为现代信息技术的基石，集成电路的核心元件——晶体管可分为数字晶体管和射频、光电等复合功能晶体管两大类。随着集成电路技术的发展进入后摩尔时代，晶体管在功耗控制与速度提升等方面面临根本性挑战，例如：在数字领域，受玻尔兹曼热力学分布约束，传统晶体管的亚阈值摆幅存在 60 mV/decade 的理论极限，导致单个器件的功耗特性难以突破，成为制约集成电路集成度提升的关键瓶颈；在射频领域，受基区/沟道渡越时间效应限制，传统晶体管的电流增益截止频率难以满足 6G 通信技术对太赫兹级工作频率的核心需求。造成这些问题的主要因素之一是：传统晶体管通过调控热平衡载流子实现导通与关断，载

流子的输运原理和速度等限制了器件的性能和功能。因此，突破热平衡态载流子输运的物理限制已成为发展新一代高性能晶体管的关键科学问题之一。热载流子因其平均动能显著高于热平衡态载流子，展现出独特的高能态分布与超快迁移特性，为突破玻尔兹曼极限和探索非平衡态量子输运提供了新路径。基于此，本报告提出“粒子注入”与“粒子激发”双模态热载流子调控策略，实现热载流子浓度与能量分布的精确调控，构筑了一系列基于热载流子机制的新型晶体管：1) 通过采用“粒子注入”，建立了肖特基发射机制，构筑了具有太赫兹工作潜力的硅-石墨烯-锗晶体管 (Nature Commun. 2019)；2) 通过采用“粒子激发”，建立了正反馈发射机制，构筑了探测度达 9.8×10^{16} Jones 的超灵敏双异质结晶体管 (二维器件最高值) (Nature Commun. 2021)；3) 通过耦合“粒子注入”与“激发”，建立了受激发射机制，构筑了热发射极晶体管，实现了 0.38 mV/dec 的亚阈值摆幅 (国际最小值)、126 的峰谷电流比 (石墨烯器件最高值) 和多值逻辑电路 (Nature 2024)。这些研究成果为后摩尔时代解决电子器件与系统受限于热平衡载流子输运的瓶颈问题提供了基于热载流子机制的新范式。

D38-4-A-01

智碘二维半导体材料及其光电性能调控研究

王琳

南京工业大学

面向后摩尔时代发展，高效光电集成系统需向小型化、低功耗与智能化加速演进，亟需底层半导体材料在原子级制造工艺、高效光电响应及多维度调控机制上实现突破。然而，传统半导体材料受限于高温制备的高能耗、单一感光机制的性能局限，以及分立器件级联的系统能效损耗，难以支撑光学感知-存储计算-类脑识别等多模态协同调控的复杂需求。

针对上述挑战，本人聚焦二维碘化物半导体体系开展系统交叉性研究，发现其“智碘”系列特征与独特机制，在原子级制造-光电机制革新-感存算器件集成三大核心领域实现原创性突破，攻克了二维材料从合成工艺、物性调控到功能器件的关键技术瓶颈，形成了全链条创新成果，为后摩尔时代智能光电半导体应用发展奠定科学基础。迄今为止，共发表 SCI 论文 100 余篇。近五年以 (共同) 通讯作者身份在 Nat. Mater.、Nat. Commun.、Adv. Mater.、Angew. Chem. Int. Ed.、Nano Lett.、ACS Nano、Light Sci. Appl.、Natl. Sci. Rev. 等期刊上发表论文 56 篇，在影响因子大于 10 的期刊上发表 30 篇。

D38-4-A-02

感存算一体的可重构光电器件

田博博*

华东师范大学

传统视觉处理系统中，传感、内存和处理单元的物理分离导致了大量的能量耗费、时间延迟和额外的硬件成本。人类视觉可以轻松地从海量的信息中提取出关键的信息，并且具有更低的能耗。人类视觉这种强大的图像处理能力很大程度上依赖于视网膜的感内计算以及和大脑视觉皮层所形成的分层结构，即视网膜将经过感内算处理获得的高维信息而不是冗余的原始输入信息传递给大脑视觉皮层进行更高级的信息处理。受视网膜激发的感存算器件的研究推动着类脑智能视觉系统的快速发展。本报告中总结了课题组近年来在同时具备感知光信号、存储信号和进行信息预处理功能的视网膜器件的研究进展，包括铁电强局域电场调控的具有双极性可重构光电响应的存内感算一体器件 [Nature Materials, 22, 1499 (2023); npj Flexible Electronics, 6, 16 (2022); npj Flexible Electronics, 7, 29 (2023); Nature Electronics, 3, 43 (2020)]，时序耦合光电响应的传感内储备池器件 [Advanced Functional Materials, 31 (36), 2104327 (2021); Advanced Science, 9 (15), 2106092 (2022)] 和基于铁电半导体的可重构光电器件 [Advanced Functional Materials, 34, 2313010 (2024); Nature Communications, 13, 1707 (2022)] 以及它们在感存算一体类脑视觉方面的应用。

D38-4-A-03**二维过渡金属二硫族化合物单晶晶圆制备和电子器件构筑**

史建平*

武汉大学

二维半导体材料具备独特的物理化学性质，并且其原子层厚度和平面结构与现有微纳加工工艺兼容，有望成为新一代高性能电学、磁学、光学、热学等器件应用的核心材料。然而，其可控制备还存在诸多科学与技术问题；二维半导体材料的精准掺杂可提高载流子最近邻跳跃速率和跳跃几率，增加载流子迁移率。但是过量浓度的金属掺杂会在其表面引入大量缺陷，增加载流子散射，降低电子器件性能。我们主要从事晶圆尺寸二维半导体 TMDCs 单晶的可控制备、新物态调控和新器件构筑。围绕高性能新原理器件中关键电子材料的设计和内在物理机制的阐释开展研究。合成了晶圆尺寸二维半导体 TMDCs 单晶并建立了新生长理论，为高性能电子器件的研制提供了新材料；提出了过渡金属掺杂提升半导体晶体管性能的新机理，开发了全二维电子器件构筑的新技术，获得了单层 TMDCs 超高的载流子迁移率；设计了新型二维铁电/多铁材料，并揭示了鲁棒的室温磁电耦合特性，丰富了场效应晶体管的功能，为新原理二维电子器件的研制提供了新方案。

D38-4-A-04**二维奇异多相材料中的非线性光学**

赵晓续*

北京大学 材料科学与工程学院

过渡金属硫族化合物（TMDs）因其独特的电子结构和丰富的相态结构在非线性光学领域受到广泛关注。不同晶相具有不同的对称性，直接影响其非线性光学性能。因此，精准调控 TMDs 的相态和堆垛结构对高效光电器件的开发至关重要。本报告基于化学气相沉积法（CVD）系统实现了 TMDs 材料对称性的调控，采用插层和层间滑移、翻转两种策略破坏材料中心对称性，提升其非线性光学响应能力。具体工作包括：

首先，通过温度驱动的 CVD 成功合成了插层浓度在 10%至 58%范围内的 H 和 T 相 Ta_{1+x}S₂ 材料。插层的 Ta 原子破坏了 TaS₂ 的中心对称性，使得自插层 T 相 Ta_{1+x}S₂ 表现出自发的 SHG 响应。

其次，提出了基于云母衬底诱导的 SnSe₂ 生长机制，借助晶体与云母衬底之间的电荷转移驱动晶体层间滑移和翻转，配合温度控制的碘化物前驱体，成功制备了超晶格长程有序的 AA、AB'、6R、12R、18R 和 18C 等六种不同堆垛结构的 SnSe₂ 晶体。该工作通过第一性原理计算对其对应的 SHG 效应进行了计算，建立了晶体对称性与非线性光学性能之间的对应关系，为 TMDs 材料对称性调控及非线性光学器件设计提供了新的合成策略和理论指导。

D38-4-B-01**面向宽谱探测范德华光电材料及集成技术**

李绍娟*

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

范德华材料等低维材料体系丰富的物理和电学性质近年来引起了领域广泛关注。这些材料在光子学和光电子领域展现出重要应用潜力，低维材料为研究受限状态下材料的电子和光电基本性质提供了一个极富吸引力的平台，可助力实现未来的高性能、高集成光电应用。在这里，我将重点介绍我们在（1）范德华材料及其混合体系在宽带光电探测应用方面的最新进展。（2）用于片上集成探测技术的范德华材料中的近场波导效应研究。（3）探测器信号的片上集成放大及异质集成。这些材料在宽谱范围内的奇异物理特性为未来在遥感、生物成像和以低维材料构筑片上集成光电子回路中的应用奠定了重要基础。

D38-4-B-02**二维 MoSi₂N₄ 和 WSi₂N₄ 的 CVD 法控制制备与物性**

徐川、任文才*

中国科学院金属研究所

以石墨烯为代表的原子级厚度的一类材料，由于厚度达到二维极限表现出各种区别于块体的独特物性。新型二维材料的发现往往带来新性质、新现象。以超薄非层状材料为构筑基元为新型层状二维材料的创制提供了新思路。报告人率先提出双金属基底 CVD 方法，制备出多种高质量超薄非层状过渡金属碳化物晶体，随后所在研究团队在 2020 年提出利用 Si 元素对单层 MoN₂ 表面进行钝化，创制出全新的不存在已知三维母相的层状二维半导体 MoSi₂N₄ 和 WSi₂N₄。最近，我们进一步提出了高效可控的 CVD 方法，在 MoSi₂N₄ 和 WSi₂N₄ 的晶圆尺寸单层薄膜、多层 3R 相晶体、转角双层控制方面取得新进展，并发现其优异的电学、力学、热学、非线性光学性质；此外，还观察到了 SiN 钝化的直接实验证据，揭示了其生长机制。

D38-4-B-03**二维神经形态器件及逻辑/视觉应用**

霍能杰

华南师范大学

D38-4-B-04**上转换中的能量传递与发光**

周博*

华南理工大学

能量传递广泛存在于稀土发光材料，是调控稀土发光性质的一个关键过程。稀土离子因其独特的 4f 电子能级结构而具有丰富的分立能级，是一类理想的发光中心。稀土发光材料在激光、传感、显示、防伪、信息安全、生物成像与诊疗等领域表现出巨大的应用潜力。然而，在传统的稀土发光材料（块体、粉体）以及普通纳米材料中，发光过程中涉及的能量传递复杂且难以操控，特别是如何在微观尺度观测与调控能量传递过程并获得其基本规律是本领域长期面临的一个挑战性课题。本报告主要介绍我们近年来的研究进展：提出一种新型的发光概念模型--界面能量传递（IET），实现了在纳米尺度上对于能量传递和能量迁移等典型的稀土离子相互作用过程的观测，获得了多种稀土离子 NIR-II 响应的多光子上转换发光，实现了稳态和非稳态调控的红-绿、红-蓝和红绿蓝三基色等多种光色智能输出，初步用于信息安全、纳米探针、红外光子器件、生物诊疗等。上述进展促进了稀土发光基础研究、新型发光材料开发以及前沿应用。

参考文献

- [1] B. Zhou,* et al., Nat. Photon., 14, 760-766 (2020).
- [2] B. Zhou,* et al., Nat. Commun, 15, 1923 (2024).
- [3] B. Zhou,* et al., Adv. Mater., 36, 2310524 (2024).
- [4] B. Zhou,* et al., Nano Lett., 24, 4580 (2024).
- [5] B. Zhou,* et al., Chem. Soc. Rev., 51, 1729-1765 (2022).

D38-4-B-05**二维材料：新型光电效应与功能化器件**

陈晓龙*

南方科技大学

光电效应是连接光与物质相互作用的重要桥梁。基于光电效应实现的光电器件与系统广泛应用于成像、

通信遥感、智能驾驶等国防、航空、科研尖端领域。在近期工作中，汇报人基于二维材料体系（1）发现一维量子阱结构、扭转界面等对称性破缺诱导的体光伏效应（bulk photovoltaic effect），其光电流密度可达 10^3 A cm^{-2} ，是目前报导的最高值；（2）发现电场与物质作用的强量子斯塔克效应，实现了光响应曲线的非线性调节，并基于此机制实现了单元器件片上微型红外光谱仪等多参量感知光电器件，提高了光谱仪集成度。

D38-4-C-01

二维金属卤素钙钛矿的极化子输运过程和影响机制

袁龙*

中国科学技术大学

二维金属卤素钙钛矿材料由于量子限域效应的影响具有独特的光学性质和电子结构，日益引起广泛的研究兴趣。研究二维钙钛矿材料中的激发态动力学和输运机制对于深入理解能量转化机理并发展新型低维光电器件具有重要意义。为此我们利用超快荧光动力学成像手段系统研究不同配体的二维钙钛矿材料的载流子随空间和时间演化的动态迁移过程，并揭示了电声耦合和极化子对载流子输运过程的影响机制。

D38-4-C-02

二维 P 型半导体：从层状到非层状

陈翔

南京理工大学

二维半导体材料因具备原子级厚度、高载流子迁移率以及强大的栅控能力，被视为后摩尔时代晶体管极具潜力的沟道材料。然而，当前二维半导体材料面临着“N 型多而强，P 型少且弱”的瓶颈挑战，主要原因是界面电荷杂质和内部结构缺陷引起的强电子掺杂作用。这导致高性能、高可靠的二维 P 型半导体材料极为匮乏，严重制约了二维半导体在高性能、低功耗 CMOS 集成电路中的推广和应用。结合本次会议主题以及本课题组近年来的研究成果，本报告将从以下两个方面展开介绍：

1. 高性能二维 P 型半导体材料新体系的开发：介绍高迁移率二维 P 型层状 $\text{In}_2\text{Ge}_2\text{Te}_6$ 的开发，以及采用气-液-固-固（VLSS）生长法合成的高迁移率二维 P 型非层状 $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ 。

2. 面向未来电子学的二维 P 型半导体材料研究：探讨二维 P 型、二维非层状半导体材料的研究进展，分析当前存在的问题，提出应对策略，并对未来的发展方向进行展望。

D38-4-C-03

二维宽光谱响应材料的制备

冯晴亮*

西北工业大学

二维半导体材料有着直接带隙、高的载流子迁移率、柔性延展等优异的性质，在光电探测与纳电子器件等领域有着潜在的应用优势。发展二维材料可控制备与结构调控的新方法，对功能型器件的设计和构筑有着重要的意义，是推动其实用化的前提。本报告将介绍课题组在具有宽光谱响应特性二维材料可控制备方面的最新进展，首先介绍超越 HR 规则的单层 Meta-phase 相 MoRS_2 材料生长可控制备，接着分享金属铂硫化反应制备薄层硫化铂材料的生长行为与调控机制，最后介绍电化学剥离制备薄层黑磷材料的机制，为拓展二维材料基全天时光电探测与成像芯片的应用奠定基础。

D38-4-C-04

力致发光材料与触觉传感器件

王春枫*

仿生触觉传感器作为未来人工智能系统的核心部件，是一切触觉信息采集的入口以及智能感知的前端，随着人工智能技术不断的发展和成熟，其重要性将日益凸显。报告人主要从事光电功能材料及触觉传感器器件方面的研究。以力-电-光耦合效应为基础，以光电功能材料为载体，以构建智能触觉传感器器件及系统为目标，从材料出发，结合结构设计，构筑了一系列发光、显示、传感等光电功能器件，探究器件力-电-光耦合作用，发展触觉刺激调控器件光电性能的新方法，实现触觉信息的超高空间分辨率、自驱动、可视化、多模态传感及显示，研究触觉传感器器件与电子电路的集成，实现触觉传感器器件在人机交互、智能机器人、可穿戴电子领域的应用。

D38-4-D-01

半导体自旋极化发光及其操控

李煦*

厦门大学

GaN 等氮化物半导体因其宽禁带与弱自旋轨道耦合特性，成为室温自旋电子器件的理想选材。在半导体中获得高效的自旋注入、输运与调控是实现其实际应用的关键。本研究基于自旋隧道结技术，对 GaN 进行了自旋注入的探索，旨在推进自旋电子学器件的应用。该工作考察了铁磁注入材料和隧道势垒等多个因素对 GaN 自旋注入与输运的影响，深入揭示了其背后的物理机制，显著地提高了 GaN 自旋注入的效率，并成功实现了电场调控。以此为基础，进一步开发了正面发光的 GaN 基倒装自旋 LED。为了提升器件的性能，设计了具有量子限制效应的超薄量子阱，从而有效调控了轻重空穴能级的自旋分裂，显著增强了电致发光的圆偏极化率。此外，还创新性地采用强磁场分子束外延技术，在 GaN 基 LED 表面构建了毫米尺度、长程有序的拓扑半子晶格。通过该拓扑结构对电荷与自旋的筛选和调控，成功研制出了室温无外磁场条件下的高自旋极化固态光源芯片，实现了拓扑半子晶格技术在半导体器件中的首次实际应用。

D38-4-D-02

稀土光功能材料创新合成及应用探索

雷朋朋、张洪杰*

中国科学院长春应用化学研究所

稀土光功能材料作为现代光电技术的核心基础材料，因其独特的光学特性（如高发光效率、长寿命荧光、可调谐光谱等），在显示照明、激光器件、生物医学成像、新能源等领域展现出不可替代的作用 [1-3]。近年来，随着纳米技术、高通量计算和绿色化学的快速发展，稀土材料的合成方法不断革新，应用场景持续拓展，成为材料科学与技术交叉研究的热点方向，引起了研究人员的广泛关注。传统稀土光功能材料合成多依赖高温固相法，存在能耗高、颗粒尺寸不均等问题。基于此，在我们的工作中，我们采用极简的制备方法合成了一系列稀土光功能材料 [5-8]，通过进一步性能优化，进而探索了他们在生物医学领域的应用。

参考文献:

- [1] Lei, P.; An, R.; Yao, S.; Wang, Q.; Dong, L.; Xu, X.; Du, K.; Feng, J.; Zhang, H.* *Adv. Mater.* 2017, 29, 1700505.
- [2] Zhang, Y.1; Lei, P.1; Zhu, X.*; Zhang, Y.* *Nat. Commun.* 2021, 12, 6178.
- [3] An, R.; Liang, Y.; Deng, R.; Lei, P.*; Zhang, H.* *Light: Sci. Appl.* 2022, 11, 217.
- [4] Du, P.; Wei, Y.; Liang, Y.; An, R.; Liu, S.; Lei, P.*; Zhang, H.* *Adv. Sci.* 2024, 11, 2305308.
- [5] Liang, Y.; Lei, P.*; An, R.; Du, P.; Liu, S.; Wei, Y.; Zhang, H.* *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, 63, e202317304.
- [6] Liu, Y.; Liang, Y.; Lei, P.*; Zhang, Z.*; Chen, Y. *Adv. Sci.* 2023, 10, 2203669.

[7] Liang, Y.; Lei, P.*; An, R.; Du, P.; Liu, S.; Wei, Y.; Zhang, H.* Nano Lett. 2024, 24, 347.

[8] Liang, Y.; An, R.; Du, P.; Lei, P.*; Zhang, H.* Nano Today, 2023, 48, 101751.

D38-4-D-03

Crystallization behavior, phase separation and fluorescence properties of lunar-soils-based glass-ceramics: Effects of Eu₂O₃

Wenjie Ge*

Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences

This study investigates the dual role of Eu₂O₃ in modulating crystallization kinetics, phase evolution, and luminescence performance within simulated-lunar-soil-derived SiO₂-MgO-CaO-Al₂O₃-K₂O-TiO₂-Na₂O glass-ceramics (SMCA-Eu). Our results reveal a non-monotonic dependence of crystallization activation energy on Eu³⁺ concentration, decreasing from 343.42 kJ/mol to 310.01 kJ/mol before partially recovering to 318.43 kJ/mol. Concurrently, the optical bandgap narrowed progressively from 3.54 eV to 2.65 eV. The Avrami parameter (n) indicated a surface crystallization mechanism, consistent with the identified crystalline phases of CaMgSi₂O₆, (Na,Ca)(Al,Si)₄O₈, and Mg₂Al₄Si₅O₁₈. Microstructural analysis via SEM/TEM demonstrated that increasing Eu₂O₃ content drives phase transformation from (Na,Ca)(Al,Si)₄O₈ to CaAl₂Si₂O₈ and Mg₂Al₄Si₅O₁₈, mediated by spinodal decomposition between Ca-rich and Si-rich domains.

The optimal Eu₂O₃ doping concentration was determined to be 1 mol%, achieving a fluorescence lifetime of 1.909 ms. Post-crystallization enhancement yielded a 2.11-fold luminescence intensity increase at 613 nm. Notably, even under limited crystallization conditions, high-concentration Eu³⁺-doped samples exhibited fluorescence amplification through phase-separation-induced structural tailoring. These findings establish SMCA-Eu glass-ceramics as dual-functional materials capable of efficient red-blue light emission (CIE coordinates: x=0.62, y=0.35), with direct applicability to spectral-engineered plant growth lighting systems in self-sustaining lunar habitats.

D38-4-D-04

二维材料端基调控与有机共价修饰

周辰坤*

南京师范大学

二维材料因其强面内共价键与弱层间范德华作用的独特结构，为探索新奇物理现象提供了理想平台，也展现出广阔的应用前景。然而，现有的表面调控策略多依赖非共价作用，受限于化学多样性与调控精度，亟需发展可控且稳定的共价修饰方法。为此，我们以具备端基可调特性的过渡金属碳化物 MXene 为模型体系，利用亚胺基在二维表面构建有序的共价自组装膜，并结合配位化学与表面化学原理，系统解析其结构与键合机制。在此基础上，该策略被进一步推广至其他二维材料，表面修饰不仅实现了组成与能带结构的调控，还引入了手性有机-无机杂化结构，并获得从近红外到蓝光的可调光致发光，展现出表面化学驱动二维材料功能设计的广阔潜力。

墙报

D38-P01

高效钙钛矿发光二极管及显示应用

白雯昊*、宣瞳瞳、解荣军

厦门大学

钙钛矿发光二极管 (PeLEDs) 具有发射光谱窄、发光颜色可调、可制备成柔性器件和低成本等优点, 有望用于未来超高分辨显示器。然而, 钙钛矿发光二极管仍面临以下难题: 外量子效率 (EQE) 远远落后于商业的有机发光二极管 (OLED) 和量子点发光二极管 (QLED); 性能优异的钙钛矿发光二极管还存在铅毒性问题; 钙钛矿发光二极管难以实现高分辨率像素化。在此, 我们通过平衡载流子输运和提升光提取率, 使得钙钛矿发光二极管的外量子效率首次超过 30%, 可与有机发光二极管相媲美; 针对非铅钙钛矿发光二极管效率低的难题, 进一步开发了配体工程策略, 将还原性谷胱甘肽 (GSH) 表面配体引入到 PEA_2SnI_4 表面, 显著改善了 Sn^{2+} 的氧化和薄膜形貌, 纯红光锡基钙钛矿发光二极管效率高达 9.32%; 针对钙钛矿发光二极管高分辨像素化难题, 开发了界面工程-喷墨打印-等离子蚀刻 (IE-IJP-PE) 策略, 实现了全彩、大面积、柔性的微型钙钛矿发光二极管 (Micro-PeLEDs)。

D38-P02

二维有机-无机分子共晶

马一然、王美慧、翟天佑*

华中科技大学

分子共晶工程作为一种高效的多功能材料设计策略, 在光子学和光电子学领域展现出广阔的应用前景。然而, 目前报道的二维分子共晶体系主要局限于有机分子体系, 有机-无机分子共晶 (OIMCs) 的制备仍面临重大挑战。本研究首次实现了 $\text{C}_{60} 2\text{P}_4\text{S}_3$ 这一新型 OIMCs 的制备, C_{60} 和 P_4S_3 这两种笼状分子通过 π - π 相互作用和 C-P 接触共组装形成了稳定的层状结构。研究发现, 强 C-P 相互作用不仅有效抑制了非辐射跃迁, 还显著增强了振动耦合效应, 使材料表现出 13.24% 的高荧光量子产率。与 C_{60} 和 P_4S_3 单组分不同, $\text{C}_{60} 2\text{P}_4\text{S}_3$ 共晶展现出显著的非对称光波导特性, 其各向异性比高达 3.625, 这一现象可归因于振动跃迁的各向异性。本研究成果为分子共晶材料的设计提供了新思路, 对推动分子物理学和光电子学的发展具有重要意义。

D38-P03

Molecular Crystal Memristor

Lanhao Qin¹, Pengfei Guan¹, Jiefan Shao¹, Yu Xiao², Yimeng Yu³, Jie Su⁴, Conghui Zhang⁵, Yanyong Li⁵, Shenghong Liu¹, Pengyu Li¹, Decai Ouyang¹, Wenke He¹, Fenghao Liu², Kaichen Zhu⁶, Zhenpeng Yao⁴, Jinsong Wu³, Yinghe Zhao¹, Huiqiao Li¹, Fei Hui⁵, Peng Lin², Mario Lanza^{6,7}, Yuan Li¹, Tianyou Zhai^{*1}

1. School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology (HUST)

2. State Key Laboratory of Brain Machine Intelligence, Zhejiang University

3. State Key Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, Wuhan University of Technology

4. School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University

5. School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University

6. Physical Science and Engineering Division, King Abdullah University of Science and Technology (KAUST)

7. Department of Materials Science and Engineering, National University of Singapore

The emergence of memristors offers a revolutionary solution for achieving in-memory computing at the hardware level. However, existing memristors suffer from the inherent channel materials damage during cyclical resistive switching, rendering excessive energy consumption and poor endurance. Herein we contribute an innovative Molecular Crystal Memristor, of which the representative channel material, Sb_2O_3 , possesses a unique

molecular crystal structure where molecular cages are interconnected via van der Waals forces. This distinct arrangement allows for the migration of ions through intermolecular spaces with minimal energy consumption while intactly preserving the pristine crystal structure after cyclical switching. Our Molecular Crystal Memristor thus exhibits incredibly low energy consumption of 26 zJ, with prominent endurance surpassing 10^9 cycles. Moreover, the memristors consistently demonstrate reconfigurable non-volatile and volatile resistive switching behavior, within a wide device scale from micrometer to nanometer. We also demonstrated their scalability by fabricating massive crossbar arrays on an 8-inch wafer. Finally, we realized the Reservoir Computing functionality on a single CMOS-integrated chip made from our Molecular Crystal Memristor, achieving 100% accuracy in dynamic vision recognition. These breakthroughs herald the practical application of memristors in non-von Neumann computing architectures, with the potential to reshape the future of computing technologies.

D38-P04

Optoelectronic Synaptic Behavior and Performance Regulation of In-Plane Anisotropic Two-Dimensional Ferroelectric NbOI₂

Decai Ouyang, Yuan Li, Tianyou Zhai*

Huazhong University of Science and Technology

Vision and tactility are regarded as dominant information channels among sensory modalities of organisms. Emulating these two sensory functions holds transformative potential for developing advanced artificial intelligence (AI) applications, imposing high demands on artificial hardware to achieve in-sensor visual processing and further multimodal fusion. To meet these requirements, we engineer two two-dimensional (2D) NbOI₂-based optoelectronic synaptic devices.

The first innovation is the demonstration of a time-stretching anisotropic synapse (TSAS), leveraging the in-plane polarity and engineered photoresponse transient of 2D NbOI₂. By exploiting its polarization-sensitive synaptic plasticity with tunable anisotropic ratio, we establish a feature fusion learning framework based on in-sensor intensity-spanning processing, achieving accuracies of 95.41% on NWPU-RESISC45 and 95.39% on MNIST.

Second, we develop a piezo-ferro-optoelectronic (PFOE) artificial synapse for visual-tactile fusion perception, enabled by the in-plane piezo- and ferro-electricity of 2D NbOI₂. The device exhibits more sublinear photocurrent-power dependence, enabling in-sensor processing and recognition of fingerprint images containing multimodal features, achieving 92.08% accuracy on SOCOFin.

These findings establish 2D NbOI₂ as a desired material platform for multifunctional neuromorphic devices with information processing and deep multisensory integration.

D38-P05

基于 2D 材料的宽光谱视觉信息处理

苟根畅、周兴*、翟天佑

华中科技大学

宽带传感计算 (Broadband In-Sensor Computing, BISC) 技术通过集成高维视觉感知与处理, 有效降低单元间数据交换量, 显著提升系统效率与响应速度。面对机器视觉迅猛发展所带来的宽带视觉感知数据激增, 这一能力尤为关键。二维材料因其强光-物质相互作用、宽光谱吸收、可调电子结构以及优异的集成兼容性, 为实现单片式 BISC 提供了有力平台。本综述系统梳理了基于二维材料的宽带视觉信息感知与处理研究进展, 首先对各类二维材料的宽带光探测潜力进行分类总结, 随后深入探讨其在光电探测器中的集成应用, 涵盖本征二维材料、局域场增强及异质结结构等方面。进一步重点介绍 BISC 的最新进展, 聚焦于高维视觉信息处理的前沿策略。最后, 分析当前面临的关键挑战并展望未来发展方向, 为二维材料在集成

高维感知与智能计算中的应用提供指导。

D38-P06

锰掺杂调控钙钛矿量子点载流子动力学的机制研究

孟杰*

丹麦技术大学

过渡金属掺杂是调控钙钛矿量子点光电性质的有效策略之一，其通过引入掺杂能级和调制晶体结构可显著影响载流子动力学行为。本研究系统揭示了 Mn^{2+} 掺杂对钙钛矿量子点中载流子动力学（包括载流子复合、热载流子弛豫及多激子俄歇效应）的调控机制。首先，结合时间分辨瞬态吸收光谱和第一性原理计算发现， Mn^{2+} 掺杂诱导的深能级缺陷会与能量转移过程形成皮秒尺度的竞争关系，从而决定体系最终的光致发光量子产率。其次， Mn^{2+} 掺杂对热载流子冷却动力学具有双重调控作用：一方面通过增强电子-声子耦合强度，另一方面通过扩大声子能带间隙，使得冷却速率随激发强度和能量的变化呈现可调特性。此外， Mn^{2+} 掺杂会显著加速双激子俄歇复合过程，这主要源于带边激子波函数空间重叠增强， Mn^{2+} 轨道的直接参与以及介电屏蔽效应减弱。本研究阐明了 Mn^{2+} 掺杂对钙钛矿量子点载流子动力学的多尺度调控机制，为开发高性能光电器件（如热载流子太阳能电池）提供了重要的材料设计原则和理论指导。

D38-P07

离子液体辅助合成高荧光、高稳定性纯蓝光 CsPbBr_3 纳米片

李文涛¹、徐彦乔²、胡庆*¹、王连军^{2,3}、江莞^{2,3}

1. 景德镇陶瓷大学

2. 景德镇陶瓷大学国家日用及建筑陶瓷工程技术研究中心

3. 东华大学先进玻璃制造技术教育部工程研究中心

近年来，铅基金属卤化物钙钛矿作为一种直接带隙半导体材料逐渐兴起。它凭借良好的光电转换性能在光伏领域得到了快速的发展，还兼具高荧光量子产率（PLQY）、可调发光波长以及宽色域等优势，成为下一代超高清显示的理想候选材料。为实现钙钛矿发光二极管（PeLED）在高清全彩发光显示领域的应用，通常采用绿光、红光、蓝光三基色复合达成白光发射。目前，红、绿、蓝三基色的 PeLED 器件外量子效率（EQE）的最高纪录分别为 32.4%、32.1% 和 26.4%。其中，蓝光 PeLED 器件研究进展滞后，其发射波长为 480 nm，处于天蓝色发光波段（475~490 nm），无法满足高清显示要求，极大限制了 PeLED 器件的实际应用。因此，研发能实现纯蓝光（460~475 nm）发射的高性能 PeLED 器件成为当前亟待解决的关键问题。铅基钙钛矿材料可通过卤素离子掺杂、准二维结构构建以及尺寸效应调控这三种方式实现蓝光发射。然而，卤素离子掺杂方法在外加电场下易发生分相问题，准二维结构难以达成纯蓝光发射； CsPbBr_3 体系虽能通过尺寸调控诱发量子限域效应避免分相，但目前仍存在 PLQY 低和稳定性差的问题。

本研究采用室温过饱和重结晶法，通过控制 $n_{\text{Pb}}:n_{\text{Cs}}$ 的添加量，成功获得了纯蓝光发射（463.4 nm，PLQY=39.15%）的 CsPbBr_3 纳米片。随后，引入了离子液体—1-胺丙基-3-甲基咪唑四氟硼酸盐（APMimBF₄）作为添加剂，显著提升了 CsPbBr_3 纳米片的荧光性能（465.8 nm，PLQY=85.67%）和稳定性。其中，[APMim]⁺ 能够与纳米片表面的 Br⁻ 进行配位，且其配位能力比油胺（OAm）更强，不易从纳米片表面脱落，从而有效抑制了纳米片的团聚和二次生长，使稳定性得到显著提升。在低温环境的储存 60 天后，其光致发光（PL）光谱未发生明显变化，且在紫外灯照射下仍能发出明亮的纯蓝光；此外，[BF₄]⁻ 具有与 Br⁻ 相似的离子半径，能够钝化 Br 离子空位缺陷，抑制非辐射复合过程，进而提升了 PLQY。本研究提出的采用离子液体增强纯蓝光 CsPbBr_3 纳米片荧光性能和稳定性的策略，为该材料投入光电器件的实际应用提供了一条新的途径。