



**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**

**D38-无机光电功能材料**

**D38-Inorganic Optoelectronic  
Materials**

**Organized by**

Chinese Materials Research Society

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

**分会编号. D38. 无机光电功能材料**

分会主席：翟天佑、李亮

**D38-01****原子可视化的结构调控研究**白雪冬<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院物理研究所

电子显微镜达到了亚埃分辨能力，在物质科学研究中发挥着越来越重要的作用。我们通过开发原位透射电镜方法和技术，利用外场（光、电、力、超快激光、低温）和表界面生长模板等方法调控材料结构与物态，实时成像物理/化学现象的原子过程，使结构-性质关系测量与调控达到了原子分辨水平，开展结构调控和表界面生长微观动力学研究。本报告将介绍我们在铁电极性拓扑结构调控、立方相冰和菱方氮化硼单晶形核生长动力学调控的研究进展。

**D38-02****Chemical vapor deposition: From graphene to layered 2D MoSi<sub>2</sub>N<sub>4</sub> family**任文才<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院金属研究所

Identifying 2D layered materials in the monolayer limit has led to discoveries of numerous new phenomena and unusual properties. We have realized the controlled growth of various graphene materials, including graphene single crystals, films and 3D interconnected networks by chemical vapor deposition (CVD), which show promising applications in flexible electronics, optoelectronics and energy storage devices. Importantly, we have developed a CVD method with a bilayer metal foil substrate to grow high-quality nonlayered 2D transition metal carbides/nitrides with diverse structures. Interestingly, we found that introducing elemental silicon during CVD growth of molybdenum nitride can passivate its surface dangling bonds, which enabled the growth of centimeter-scale monolayer films of a new van der Waals layered material, MoSi<sub>2</sub>N<sub>4</sub>. This monolayer material can be viewed as a MoN<sub>2</sub> layer sandwiched between two Si-N bilayers and exhibited semiconducting behavior (bandgap, ~1.94 eV) with a potentially high carrier mobility up to 1200 cm<sup>2</sup>/Vs, high strength (~66 GPa), good thermal conductivity (~200 W/mK) and excellent ambient stability. Density functional theory calculations further predicted a large family of MoSi<sub>2</sub>N<sub>4</sub> structured 2D layered materials with a general formula MA<sub>2</sub>Z<sub>4</sub>, including semiconductors, metals, magnetic half-metals, superconductors, and topological insulators, which are expected to have promising applications in electronics, spintronics, valleytronics, optoelectronics, energy conversion and storage, and thermal management.

**D38-03**

论文题目：待定

廖庆亮<sup>1,\*</sup>

1. 北京科技大学

**D38-04****二维材料的制备与性质研究**周家东<sup>1,\*</sup>

1. 北京理工大学

二维材料因其丰富的种类和结构多样使其表现出优异的物理性质如铁磁、铁电、超导等。因此二维材料在诸多领域包括晶体管、光电传感器、高性能自旋电子学器件等领域有着潜在的应用价值。如何从原子层次制备和构筑二维材料是实现其应用的关键。本报告主要聚集新型二维材料的原子制造与性质研究。具体包括：1)开发普适的方法实现多组分及多相的二维超导、铁磁与反铁磁材料的制备，基于此实现磁性和超导的调控，并研究其在光电器件中的应用，2) 化学气相沉积方法制备磁性 Cr 基硫族化合物的不同相和组成，如 CrTe, CrTe<sub>2</sub>, Cr<sub>5</sub>Te<sub>8</sub> 等，深入研究二维 Cr 基材料的结构与磁学性能之间的关系，3) 一步法构筑由 2D-1D 相互耦合形成的全新异维超结构反 VS-VS<sub>2</sub> 的原子制造，并基于该超结构实现室温面内大反常霍尔效应，4)二维单轴晶体的可控制备与性质研究。

## D38-05

### 二维 MoTe<sub>2</sub> 的面内梯度掺杂与可重构器件

刘锴<sup>1,\*</sup>

1. 清华大学

非易失的可重构器件能够在多个功能之间自由切换，因此能够减小器件的有效线宽，扩展集成电路的功能，提升系统的集成度。以过渡金属硫族化物 (TMDCs) 为代表的二维半导体材料拥有原子级厚度、无悬挂键的层状结构和易被外场调控的电学性能，具有实现晶体管器件可重构功能的巨大优势。然而，如何在低结构复杂度的二维器件上实现丰富的可重构功能，仍然是极具挑战性的难题。在这次报告中，我们将介绍一种基于“有效栅压”调控的双极性沟道梯度掺杂机制，利用栅极、漏极和源极之间的可编程协同作用，使单栅极 MoTe<sub>2</sub> 器件拥有丰富的可重构功能，实现了极性可调的二极管、存储器、逻辑存储器、同突触可塑性和异突触可塑性等功能。伴随着丰富的可重构功能，我们的器件还展示出了优异的性能。作为二极管使用时，器件显示出高达 10<sup>4</sup> 的整流比；作为人工异突触器件使用时，它展现出具有超低调制功耗的异突触元可塑性，其调制功耗可以低至 7.3 fW。我们的工作提供了一种实现二维可重构器件的有效策略，在低结构复杂度的单栅极二维器件中实现了迄今报道的最为丰富的可重构功能，同时加深了人们对于梯度掺杂在二维双极性半导体中作用的理解。

## D38-06

### 二维金属卤化物光电功能材料

王琳<sup>1,\*</sup>

1. 南京工业大学

主要围绕二维金属卤化物，开展异质界面生长半导体材料和异质界面集成多功能器件的研究工作：1) 基于异质界面二维限域空间，利用卤化物的离子化学活性，提出简单高效节能的界面制备方法及其生长机理，率先实现优异卤化物光电材料趋向二维极限的尺寸集成；2) 基于异质界面超强耦合作用，利用卤化物的离子光学活性，构筑二维光电材料的互补型异质结构，屡次刷新具有光学感知、电荷存储、光电探测等功能集成的器件指标。近年来，共发表 SCI 论文 100 余篇，以(共同)通讯作者在 Nat. Mater.、Nat. Commun.、Adv. Mater.、Angew. Chem. Int. Ed.、Phys. Rev. Lett.、Nano Lett.、ACS Nano、Light Sci. Appl.、Natl. Sci. Rev.、Research、Nano Today 等期刊上发表论文 52 篇（在影响因子大于 10 的期刊上发表 30 篇）。

## D38-07

### 氧化物光电材料与器件物理

葛琛<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院物理研究所

大数据和物联网的快速发展对计算系统的信息处理能力提出了更高的要求。受人脑启发的新型系统期望能够将感知、存储、计算功能融于一体，从而大幅度提升整体效率，类脑智能相关研究近年来备受关注，已成为当前的研究热点之一。氧化物材料因为电荷、轨道、晶格、自旋之间的耦合效应，具有一系列丰富的物理性质，蕴含着塑造人工类脑功能和器件的可能。本报告将以氧化物薄膜材料为研究载体，面向神经形态计算应用，介绍近期我们在这一方向上的进展。首先，讨论目前受到业界广泛关注的铅基铁电薄膜相稳定机理，我们首次制备出了自支撑铅基铁电薄膜，研究了衬底应力对维持铁电相稳定的作用，并观测到新颖的铁电畴界结构，设计了基于铅基铁电薄膜的物理存储池晶体管；通过使用电解质调控和铁电调控氧化物薄膜的相变，制备出系列人工突触并模拟了丰富的突触可塑性，揭示了背后的物理机制，探索了新原理的可重构神经形态光电晶体管；系统研究了紫外光致二氧化钒非易失相变新现象，基于此现象提出了感知、存储、计算融合的智能光电器件，并演示了图像识别等应用。

## D38-08

### 石墨烯硅基集成光通信材料及器件

彭海琳<sup>1,2,\*</sup>

1. 北京大学
2. 北京石墨烯研究院

石墨烯等二维材料与硅基光电子技术的集成是实现高性能硅基光电芯片，提高光通信数据带宽及容量的有效途径，也是光通信领域亟待解决的重点和难点问题。我们围绕石墨烯/硅基集成光通信材料及器件应用展开，开发了晶圆级超平整石墨烯和氮化硼单晶的制备技术和装备，实现了超平整石墨烯和氮化硼单晶晶圆的可批量制备，开发了一系列石墨烯和氮化硼的晶圆级洁净无损转移技术、可控叠层转移技术与界面调控技术，构筑了二维电子器件兼容的超薄氮化硼/氧化铪等复合介电层，实现了高性能石墨烯硅光片上集成探测器、调制器和热电子发光阵列器件的制备。

#### 参考文献:

- [1] Wu, Q.C., et al., Nature Commun. 2024, 15, 3688
- [2] Zheng, L.M., et al., Nature Methods 2023, 20, 123
- [3] Li, J.D., et al., Phys. Rev. Lett. 2023, 131, 116602
- [4] Tang, J.L., et al., Nano Res. 2023, 16, 10684
- [5] Gao, X., et al., Nature Commun. 2022, 13, 5410
- [6] Zhao, Y.X., et al., Nature Commun. 2022, 13, 4409
- [7] Sun, L.Z., et al., Nature Commun. 2021, 12, 2391
- [8] Deng, B., et al., Science Bull. 2019, 64, 659
- [9] Deng, B., et al., ACS Nano. 2017, 11, 12337
- [10] Yin, J.B., et al., Nature Commun. 2016, 7, 10699

## D38-09

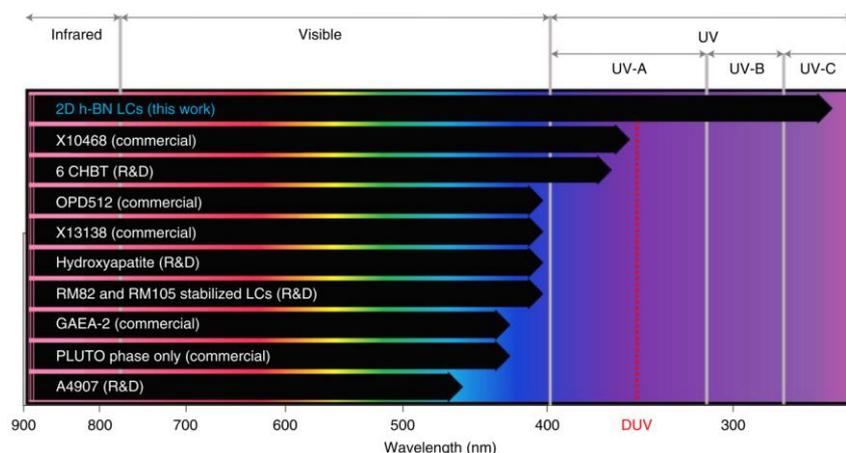
### 二维材料无机液晶深紫外光调制器件

刘碧录<sup>1,\*</sup>

1. 清华大学深圳国际研究生院

光调制器件应用广泛，而现有光调整器件的工作区间主要在红外至可见光波段，尚缺乏能在紫外及深

紫外区域内以透射方式稳定、连续调制光的技术。本报告将介绍我们在二维材料无机液晶方面的近期进展，尤其介绍基于二维 h-BN 的无机液晶行为，及基于磁光、电光调制技术利用二维 h-BN 无机液晶实现深紫外 UV-C 光的透射式、连续、稳定调制技术。



图一、各类透射式光调制器最短工作波长对照，其中 2D h-BN 无机液晶的可至 UV-C 区间。

## References.

- (1) Xu, Y. et al., An Electro-Optical Kerr Device Based on 2D Boron Nitride Liquid Crystals for Solar-Blind Communications. *Advanced Materials*, 2024, <https://doi.org/10.1002/adma.202307330>
- (2) Huang, Z. et al., An inorganic liquid crystalline dispersion with 2D ferroelectric moieties, *National Science Review*, 2024, 11 (5), nwa108.
- (3) Xu, H. et al., Magnetically tunable and stable deep-ultraviolet birefringent optics using 2D h-BN material. *Nature Nanotechnology*, 2022, 17, 1091.
- (4) Huang, Z. Y. et al., 2D Functional Minerals as Sustainable Materials for Magneto-Optics. *Advanced Materials*, 2022, 34, 2110464.
- (5) Zhang, C. et al., Mass Production of Two-Dimensional Materials by Intermediate-Assisted Grinding Exfoliation. *National Science Review*, 2020, 7, 324-332.

## D38-10

### 二维半导体异质结界面构筑及光电器件研究

王笑<sup>1,\*</sup>

1. 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。聚焦高性能微纳光电器件发光量子态与超快光电响应调控等方面瓶颈问题，发展了直接气相沉积生长或转移堆叠方法，构筑了半导体、磁性等不同能带排列方式及晶体对称性的范德华界面，实现了界面载流子行为及量子物态调控；通过混合维度半导体异质结构筑，实现了单光子能量转移，调控了二维半导体光发射量子态；发展了高时空分辨光电表征方法，阐明了异质结器件载流子超快响应特性及影响机制，构筑了可集成高性能近红外光探测器。

**D38-11****二维异质结材料的可控制备**高力波<sup>1,\*</sup>

1. 南京大学

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。

本次报告主要介绍近期提出的堆垛生长和叠层转移两种方法，用于堆垛生长晶圆级、高质量的二维材料范德华异质结，二维材料包括石墨烯、hBN、二维半导体、金属、超导体、铁磁体等，以及叠层转移晶圆级、转角可控的石墨烯超晶格，并初步探索了二维材料范德华异质结的功能性应用。

**D38-12****近红外稀土发光材料及其光源器件**夏志国<sup>1,\*</sup>

1. 华南理工大学

基于近红外光(near infrared, NIR, 光谱范围 700~2500 nm)的光源器件推动了光谱分析探测技术在安防监控、植物照明、虹膜识别和食品成分分析等领域的应用。新型高效的荧光粉转换型近红外 LED (NIR pc-LED)光源具有紧凑的器件尺寸、高辐射功率、可调的发射光谱等优势而备受关注。其中，Eu<sup>2+</sup>和 Cr<sup>3+</sup>掺杂的近红外荧光粉是研究中的热点材料。2019 年，本课题组率先报道的蓝光激发的近红外荧光粉 K<sub>3</sub>LuSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:Eu<sup>2+</sup> ( $\lambda_{em} = 740$  nm)，点燃了 Eu<sup>2+</sup>掺杂近红外荧光粉研究领域 (Nat. Commun. 2019, 10, 5267.)。最近，本课题组还通过组成结构调控与工艺优化，研发出近红外荧光粉 CaO:Eu<sup>2+</sup>( $\lambda_{em} = 740$  nm)的外量子效率达到了 54.7% (Adv. Mater. 2022, 34, 2201887.)。但是，Eu<sup>2+</sup>掺杂近红外荧光粉的发光峰值很难超过 800 nm，而 Cr<sup>3+</sup>离子能够实现 650-1200 nm 范围内的宽带可调发光，成为近年来近红外荧光粉研究中的热点，具有更广阔的发展空间。我们课题组最近报道了一种组成极为简单的 MgO:Cr<sup>3+</sup>近红外荧光透明陶瓷，所制作的蓝光激光驱动近红外光源器件输出功率达到目前最高纪录的 6 瓦，并展示了其在远距离夜视补光和无损检测成像等领域的应用 (Nat. Photon. 2024, doi: 10.1038/s41566-024-01400-7.)。

**D38-13****铁电半导体理性设计与化学合成**刘希涛<sup>1,\*</sup>，孙志华<sup>1</sup>，罗军华<sup>1</sup>

1. 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。

#### D38-14

##### 基于无机分子晶体的范德华介电薄膜

刘开朗<sup>1,\*</sup>

1. 华中科技大学

二维半导体材料具有原子级厚度和高迁移率的特点，展现出优异栅极调控能力，有望延续摩尔定律构筑下一代晶体管。然而，传统介电材料与之不兼容，成为制约二维半导体电子器件应用的关键瓶颈。我们通过热蒸镀方法实现了晶圆级范德华介电薄膜的可控制备及其与二维半导体材料的规模化集成，显著提高了二维晶体管器件的迁移率并大幅降低器件操作电压；开发基于无机分子晶体种子层的复合介电层，与二维半导体形成高质量界面的同时保持高介电性质，将栅极介电层的 EOT 降低至 0.67 nm，并实现了超高的栅控效率；进一步利用  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  薄膜实现了二维光电子器件的范德华封装，显著提升了器件的工作稳定性。基于无机分子晶体的范德华介电材料在规模化集成、优化器件性能方面均展现出独特的优势，为二维电子器件中高性能介电材料的集成提供了新的思路。

#### D38-15

##### 能带结构调控在钙钛矿电池中的应用

卢豪<sup>1,\*</sup>

1. 苏州科技大学

通过构筑梯度能带变化的半导体结构以取代传统光电器件中多层复合半导体的堆叠，有效减少器件中的界面复合与传输问题，并以之构筑光电器件，实现高的光电转换效率与稳定性。后通过二维材料、单原子等方式进一步修饰器件，提高探测器的光电、光热、光稳定等方面的性能。系统研究梯度能带半导体结构方法在构筑高效与稳定的光电器件中起到的作用，探索其对薄膜的电导率、载流子传输与分离、缺陷态密度和能带结构等特性的影响及其变化规律，优化制备工艺，构筑高性能太阳能电池。

#### D38-16

##### 硅基微纳光源与 Micro-LED 微显示芯片

潘安练<sup>1,\*</sup>

1. 湖南师范大学

数字互联网技术的快速发展推动了显示技术的不断转型升级。元宇宙时代的到来对显示技术在能效、亮度、可靠性和可穿戴性等方面提出了更高要求，旨在实现无缝自然的数字显示体验。Micro-LED 是变革性新型显示技术，可满足新一代智能显示对高像素密度、高亮度率发光器件的重大需求。本报告将主要介绍我们在微显示领域的主要研究进展。我们开发了侧壁钝化、表面纳米图形化等工艺，攻克了小尺寸发光

器件构筑瓶颈，通过载流子注入、传输与复合行为优化，实现了超小尺寸（1.5 微米）、高发光效率垂直结构硅基微型发光器件阵列；发展了三维堆叠单片集成工艺（VSP），将硅基半导体集成电路工艺成功应用于微型发光显示芯片的研发，开发了世界上最小（米粒大小）、单点 CMOS 驱动的微显示屏，像素密度高达 1 万 PPI，亮度超过 100 万尼特，成果获 2023 年度全国颠覆性技术创新大赛总决赛优胜奖和 2024 年全国发明展览会金奖。

## D38-17

### 氟化硼酸盐深紫外非线性光学晶体

潘世烈<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院新疆理化技术研究所

深紫外非线性光学晶体作为产生短波相干光源技术的核心器件，其探索和生长具有重要的研究意义。制备深紫外非线性光学晶体材料关键科学问题在于有效的实现带隙、非线性光学系数、双折射率三个关键性能参数之间的平衡。前期研究表明 F 原子引入硼酸盐体系不仅有利于紫外截止边蓝移，还易形成以 F 原子为中心的畸变多面体，导致大的倍频增益，同时增加光学各向异性，提高双折射率。基于此我们提出具有 $[\text{BO}_4-x\text{F}_x]$  ( $x = 1, 2, 3$ ) 基团的氟化硼酸盐可以作为探索紫外、深紫外非线性光学晶体材料的优选体系。在该思路的指导下，我们成功设计合成出一系列综合性能优异的氟化硼酸非线性光学晶体  $\text{AB}_4\text{O}_6\text{F}$  ( $\text{A} = \text{NH}_4, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{K/Cs}, \text{Rb/Cs}$ ) 和  $\text{MB}_5\text{O}_7\text{F}_3$  ( $\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Mg}$ )，这类材料突破了深紫外非线性光学材料“宽透射率-大有效倍频系数-合适双折射率”各性能指标之间的限制，打破深紫外瓶颈，均有望实现深紫外激光倍频输出，是非常有前景的深紫外非线性光学晶体。

## D38-18

### 低维半导体材料器件与触觉仿生

潘曹峰<sup>1,\*</sup>

1. 北京航空航天大学

触觉感知是人工智能的核心之一。通过电子手段模拟人的感知一直是人工智能领域的重大挑战，相比于发展较为成熟的几种感观（视觉、听觉、嗅觉和味觉）的微纳敏感器件仿生，触觉的仿生还是一个尚未攻克的难题。围绕传统触觉传感器阵列集成度与分辨率低、无法兼顾高灵敏度与宽线性响应、柔性可延展性差等难题，提出通过调控低维半导体结构-界面-能带来探测应力的思路，开展触觉传感全链条研究，成功构筑了人工智能机器触觉，针对集成度与分辨率低等，创新性地构筑 ZnO 纳米线阵列并以其发光特性来探测应力，实现千万级像素集成 2 微米超高分辨率的世界领先的触觉传感阵列；针对灵敏度与线性检测范围等，构筑了微米级超薄复合可拉伸传感材料，阐明多级次结构-力学-系统应变的内在关联，实现了宽线性响应和 389dB 超高灵敏度的多物理量柔性触觉传感；实现微细动作精确操控与触觉感知，成功集成到智能假肢与机器人上，实现物体的准确可控抓握，使机器人实现触觉传感功能。

关键词：低维半导体传感材料；可拉伸电子，传感器，触觉传感；电子皮肤

## D38-19

## 多光子上转换调控与应用

周博<sup>1,\*</sup>

1. 华南理工大学

稀土上转换发光在激光、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。稀土离子因其独特的 4f 电子能级结构而成为一种理想的上转换发光材料。目前借助能量传递上转换和能量迁移上转换等方式可以获得多种稀土离子的上转换发光。然而，如何构建新型发光机制，实现上能级跃迁的多光子精确调控与智能光色输出仍然是一个挑战性课题。本报告主要介绍我们近年来的研究进展：

(1) 提出一种新型的上转换发光概念模型，实现了多种稀土离子在 1.5  $\mu\text{m}$  激发的多光子上转换发光[1]；(2) 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[2-4]；(3) 获得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、生物诊疗、纳米探针、多重防伪、红外光子器件等[5-9]。上述进展为稀土发光基础研究、光谱调控、新型发光材料开发以及前沿光子学应用提供了新思路[10]。

关键词：稀土；上转换发光；光色调控；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., 31, 1806308 (2019).
- [4] B. Zhou,\* et al., Nano Lett., 23, 6241-6248 (2023).
- [5] B. Zhou,\* et al., Nat. Commun., 13, 760-766 (2022).
- [6] B. Zhou,\* et al., Adv. Mater., 36, 2310524 (2024).
- [7] B. Zhou,\* et al., Adv. Funct. Mater., 31, 2009796 (2021).
- [8] B. Zhou,\* et al., Adv. Funct. Mater., 33, 2212037 (2023).
- [9] B. Zhou,\* et al., Nano Lett., (2024) <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.4c00710>.
- [10] B. Zhou,\* et al., Chem. Soc. Rev., 51, 1729-1765 (2022).

## D38-20

## 基于二维材料及其异质结的超快可重构电子器件

鲍丽宏<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院物理研究所

二维原子晶体材料具有原子级锐利、平坦、洁净的表面，没有悬挂键，极大抑制了载流子的界面散射，成为了构筑高性能逻辑、存储、光电器件的优良候选者。我们利用二维原子晶体异质结的堆叠技术，成功构筑了具有原子级锐利、洁净界面特性的 InSe (MoS<sub>2</sub>)/hBN-graphite 范德瓦尔斯异质结，以该异质结为核心单元构筑的场效应晶体管表现出高达~1146 cm<sup>2</sup>/vs 的电子迁移率及~10<sup>10</sup> 的电流开关比，进一步集成后构建的逻辑反相器的电压增益高达 93.4[1]。我们将该异质结集成于 SiO<sub>2</sub>/Si 衬底，成功构筑了写入/擦除比高达~10<sup>10</sup>，写入/擦除速度快至~20 纳秒的非易失性超快浮栅存储器，重复进行 2000 次以上写入/擦除操作没有任何退化，还实现了其多值存储[2]。进一步我们构建了具有原子级锐利界面的 MoS<sub>2</sub>/hBN/MLG/hBN/MLG 全二维范德瓦尔斯异质结，成功构筑了基于全二维材料的超快浮栅非易失存储器，编程/擦除速度达 20 纳秒，擦除/编程电流比超过 10<sup>8</sup>，数据保持时间超过 10 年[3]。我们采用半浮栅器件结构，成功实现了二维原子晶体 InSe 沟道的纳秒级 (~20 ns) 静电编程，比其他二维同质结快 7 个数量级，构建了横向 p-n、n+-n

及其他类型的同质结, 实现了逻辑整流器, 存储器和多值逻辑反相等功能器件的构筑[4]。这些结果充分展示了基于范德瓦尔斯异质结在构筑高性能逻辑、光电、存储器件方面的能力, 有望解决硅基半导体器件进一步缩微化带来的瓶颈问题。

### D38-21

#### 二维类脑智能材料、器件与芯片

梁世军<sup>1,\*</sup>

1. 南京大学

二维材料因其独特且丰富可调的电学和光电性质以及可垂直集成的特性, 有望成为未来智能计算器件与芯片的有力竞争者。但是二维材料在智能器件与芯片应用中面临着诸多挑战。其中最大的挑战之一在于利用二维材料及异质结的独特物理, 设计类脑智能器件与芯片, 根据器件的独特行为, 开发高能效的计算架构与芯片, 最终实现高能效的信息感知与处理。本报告将从二维类脑智能材料的制备、新原理器件器件的设计、高能效计算架构和融合硅基芯片的开发等方面, 介绍一下我们最近的一些研究进展。

### D38-22

#### 熔盐化学气相沉积法制备晶圆级二维过渡金属硫族化合物晶体

李世胜<sup>1,\*</sup>

1. 东南大学

卤盐辅助的化学气相沉积(CVD)法生长一维单层  $\text{MoS}_2$  纳米带, 为合成过渡金属硫属化合物(TMDC)晶体开辟了新的研究方向。其中,  $\text{NaCl}$  和  $\text{MoO}_3$  反应生成熔盐  $\text{Na}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$  液滴, 气态  $\text{S}$  在熔盐表面吸附、溶解, 最终过饱和并析出一维  $\text{MoS}_2$  纳米带, 符合经典的气-液-固(VLS)生长机制。受此启发, 具有化学式为  $\text{A}_x\text{MO}_y$  (A-碱金属; M-过渡金属或硫族元素)的熔盐也可以用作生长二维 TMDC 晶体的前驱体, 如  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  等。这些熔盐具有以下特点: (1) 合适的高熔点; (2) 在生长温度下具有低饱和蒸气压, 能形成稳定的熔体; (3) 可溶于  $\text{H}_2\text{O}$ 。这些特点既确保了以 VLS 机制生长二维 TMDC 晶体, 又可以通过旋涂的方式将熔盐均匀沉积到大面积晶圆上。利用熔盐 CVD 法, 我们在晶圆级二维本征及掺杂 TMDC 晶体的可控制备上取得了一系列进展。例如, 1) 将  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  和  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  水溶液旋涂在蓝宝石和  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  基板上, 生长出具有大晶粒尺寸和高结晶度的 2 英寸单层  $\text{MoS}_2$  和  $\text{WS}_2$  薄膜。2) 利用过渡金属熔盐和硫族熔盐的混合物 ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4\text{-Na}_2\text{SeO}_3$ ) 作为“预制前驱体”, 实现了具有 100-250  $\mu\text{m}$  大晶粒尺寸和均匀性质的 2 英寸单层  $\text{MoSe}_2$  薄膜的生长。该混合熔盐法同样适用于其他难以生长的硒化物和碲化物, 如利用  $\text{NaReO}_4\text{-Na}_2\text{SeO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{WO}_4\text{-Na}_2\text{TeO}_3$  来促进生长的二维  $\text{ReSe}_2$  和  $\text{WTe}_2$ , 因而具有一定的种普适性。3) 通过引入掺杂熔盐(如  $\text{NaReO}_4$  和  $\text{NaVO}_3$ )到主体熔盐(如  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  和  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ )中, 成功制备了 Re (电子供体)和 V (电子受体)浓度可调的掺杂二维单层 TMDC。研究发现, 随着 Re 和 V 浓度的提高, 掺杂二维 TMDC 晶体的电学性质由半导体性向金属性转变。此外, 在以  $\text{WSe}_2$  为沟道的场效应晶体管器件中, 利用 V 掺杂的  $\text{WSe}_2$  晶体(金属性)作为范德瓦尔斯接触电极, 其输运性能(开态电流、电流开关比、迁移率等)比使用贵金属 Pd 和 Au 电极的晶体管提高了 1~3 个数量级。因此, 熔盐 CVD 在晶圆级二维 TMDC 单晶甚至复杂的二维集成电路的制备方面具有巨大潜力, 有望为二维 TMDC 晶体在电子和光电领域的应用铺平道路。

### D38-23

#### 光电忆阻材料及类视觉神经形态器件

王中强<sup>1</sup>、徐海阳<sup>1,\*</sup>、刘益春<sup>1</sup>

1. 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类视觉神经形态器件方面的研究工作：基于 Ag-TiO<sub>2</sub> 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；提出了微纳导体（sp<sup>2</sup> 团簇等）嵌入忆阻材料及其光电调控新方法，提升了多级阻态连续性和线性度；提出一种光电协同器件初始化的全新策略，利用光辐照降低离子迁移势垒，有效地降低了过冲电流，显著提升了器件的阻变参数稳定性。

## D38-24

### 体光伏自旋/轨道流的理论与计算

周健<sup>1,\*</sup>

1. Xi'an Jiaotong University

传统的光生电流（光生伏打）效应需要异质结构的材料设计，例如半导体 p-n 结或异质界面，才可以获得单向的稳定电流。近年来，物理学家和材料学家指出在中心对称性破缺的体系中，可以通过光子的捕获和释放来获得稳定的直流电。这一过程目前已经被广泛研究和证实，并有潜力突破 Shockley-Queisser 极限。我们根据微扰响应理论提出了一种体光伏自旋流和轨道矩流的新方案。它可以通过非接触式的光照在中心对称破缺的材料中诱导出磁矩（自旋和轨道）流。同时我们在一系列二维铁性材料（例如 GeS, SnTe, Bi, 以及二维 RP 钙钛矿材料）中计算并讨论了这一现象。我们的理论计算指出，这些无机非磁材料的自旋流均由轨道流与自旋轨道耦合协同诱导产生，而轨道矩的运动有望对轻质材料的信息存储带来新的契机。这些研究结果可以帮助我们更深入地认识非线性光学和自旋/轨道电子学之间的联系，为新型信息存储材料载体提供了一定理论依据。

## D38-25

### 铁电存储技术构筑的紧凑型内容寻址存储器

刘曦文<sup>1,\*</sup>

1. 香港科技大学（广州）

大数据与人工智能（AI）的融合催生了多种新兴的高数据量计算技术，这些技术通常需要大规模的并行处理，并要求在片上计算资源与片外存储组件之间进行大量的数据传输。内容寻址存储器（CAM）是实现片上内存数据访问的理想硬件方案，能够对大型数据集进行并行搜索，从而减少延迟和功耗。然而，使用传统硅 CMOS 技术中的静态随机存取存储器（SRAM）来构建一个 CAM 单元通常需要大约 16 个晶体管。在此背景下，我们提出了基于铁电存储技术的紧凑型非易失性三进制 CAM（TCAM）和模拟 CAM（ACAM）电路设计。TCAM 通过增加一个‘X’（“无关”）位到二进制的‘0’和‘1’，增强了并行搜索能力；ACAM 架构则更强大，它通过将输入电压与存储在模拟存储单元中的精确值进行匹配来工作，但代价是非常复杂的电路设计和较低的阵列效率。

在这项工作中，我们利用铁电二极管（FeD）的现场可编程性、非易失性和非线性，报告了一种基于 0 晶体管/2 铁电二极管（2-FeD）的 TCAM 电路模块，该模块在投影到 45 纳米工艺时，可以支持大约 0.1 纳秒的搜索延迟时间和小于 0.12 平方微米的单元面积。此外，我们提出了一种基于 2 铁电场效应晶体管（2-FeFET）配置的 ACAM 架构，该架构在投影到 45 纳米工艺技术时，支持单个单元内 4 位编码数据的并行搜索，搜索延迟时间约为 0.3 纳秒，单元面积小于 0.18 平方微米。我们还将讨论这两种 CAM 架构在机器学习和深度学习加速中的应用。

**D38-26****高  $\kappa$  栅介质的直立生长及无损器件集成**吴金雄<sup>1,\*</sup>

1. 南开大学

与传统的多晶或非晶栅介质 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{HfO}_2$  等) 相比, 以 h-BN 为代表的单晶栅介质因可有效屏蔽界面散射和减少回滞, 而在构筑高性能二维场效应晶体管方面具有独特优势。然而, 现有的 2D 单晶栅介质材料仍面临介电常数不足及难以进行无损器件集成等难题。本报告将介绍一种新型超高  $\kappa$  栅介质  $\text{Bi}_2\text{SiO}_5$ , 它可以通过简易的  $\text{BiF}_3$  辅助化学气相沉积 (CVD) 方法得到。不同于其他二维绝缘体, 二维  $\text{Bi}_2\text{SiO}_5$  晶体可直立生长于不同衬底之上, 这使我们可以使用简单的机械按压的方式将其转移到其他任意衬底之上。相关数据表明, 二维  $\text{Bi}_2\text{SiO}_5$  晶体的面外介电常数  $>30$ , 为目前 CVD 制备的二维单晶栅介质中最高值, 且其兼具大带隙 ( $\sim 3.8$  eV) 和高击穿场强优点, 适用于范德华屏蔽层和高  $\kappa$  栅介质, 来提高材料迁移率及消除回滞。譬如, 我们构筑了  $\text{Bi}_2\text{SiO}_5/\text{MoS}_2$  低功耗、无回滞晶体管, 其操作电压可低至 0.5 V, 开关比  $>10^8$ , 近乎无回滞 ( $\sim 3$  mV), 且漏致势垒降低 (DIBL) 可低至  $\sim 5$  mV/V。此外, 本报告还将简要介绍我们课题组近期正在进行的工作[2-4], 包括合成具有成分可调的高  $\kappa$  单晶栅介质合金, 以及将栅介质的电容等效厚度 (CET) 值缩小到亚纳米等。

## 参考文献

- [1] J. Chen, J. Wu\*, et al. Nat. Commun., 2023, 14, 4406;
- [2] W. Ai#, H. Fu\*, F. Luo\*, M. Deng\*, J. Wu\*, et al. Nat. Commun., 2024, 15, 1259;
- [3] J. Chen, J. Wu\*, et al. J. Am. Chem. Soc., 2024, 146, 16, 11523;
- [4] L. Zhang, J. Wu\*, et al. Nat. Electron., 2024, revised.

**D38-27****Micro-LED 用发光材料的设计与性能调控**王育华<sup>1,\*</sup>, 王希成<sup>1</sup>, 王得印<sup>1</sup>, 李天荣<sup>1</sup>, Takatoshi, Seto<sup>1</sup>

1. 兰州大学

Micro-LED 被视为下一代显示技术, 光转换材料是实现全色域显示的关键材料之一, 但开发高效的量子点和稳定的小粒径荧光粉仍面临巨大挑战。针对量子点的稳定性差、量子效率低、荧光粉材料的小粒径与亮度之间难以平衡等关键问题, 本报告将介绍在实现材料可控制备和性能调节方面的研究进展。

关键词: Micro-LED; 色转换; 量子点;

**D38-28****Modulating Nonlinear Optical Response in Two-Dimensional Materials by Interlayer Engineering**季威<sup>1,\*</sup>, 乔婧思<sup>2</sup>

1. Renmin University of China

2. Beijing Institute of Technology

Two-dimensional materials (2DM), with inversion symmetry broken, exhibit remarkable optical properties, such as pronounced anisotropy and enhanced nonlinear optical effects. Recent studies showed that the nonlinear

photoelectric response (e.g., shift current, second harmonic generation (SHG), etc.) in these materials is highly related to the stacking order. Here, we perform first-principles calculations combined with time-dependent perturbation theory to investigate the nonlinear optical properties of various bilayer 2D transition metal dichalcogenides. We focus on the role of interlayer interactions in modulating the shift currents and SHG. Moreover, we find that the strain can effectively tune the nonlinear optical response. These findings not only enrich the understanding of the unique optical properties of 2DM, but also provide new design strategies for controlling the nonlinear optical characteristics of 2DM.

## D38-29

### 二维无机材料缺陷调控及光/电功能

吕瑞涛<sup>1,\*</sup>

1. 清华大学

晶格缺陷（如杂原子、空位等）在实际制备的二维无机材料中经常会出现，通常都被视为不利因素极力避免或尽量减少。若能对缺陷加以调控，有望使材料衍生出新的特性，因此二维材料缺陷调控也逐渐成为当前重要的研究方向。但如何从原子层级对晶体中的缺陷进行设计进而实现对性能的调控是当前研究中面临的一个重要挑战，对缺陷构型进行原子级可视化解析也是一个难点问题。该报告将介绍我们课题组在二维无机材料缺陷调控和功能创制方面的研究进展，包括晶格缺陷的可控构筑、置换掺杂构型的原子级可视化解析，展示缺陷调控在增强拉曼散射<sup>[1, 2]</sup>、调控材料与分子相互作用<sup>[3-7]</sup>、同步热/电整流<sup>[8]</sup>等方面的应用前景。

#### 参考文献

- [1] Qian Lv, ... Bilu Liu\*, Jia Li\*, Feiyu Kang, Hui-Ming Cheng, Qihua Xiong\*, Ruitao Lv\*. *Nat. Commun.*, 2023, 14, 2717.
- [2] Qian Lv, ... Feiyu Kang, Ruitao Lv\*. *Adv. Funct. Mater.*, 2022, 32, 2200273.
- [3] Lingxi Zhou, Yangfan Shao, Fang Yin, Jia Li\*, Feiyu Kang, Ruitao Lv\*. *Nat. Commun.*, 2023, 14, 7644.
- [4] Yuchi Wan, Muyun Zheng, Wei Yan, Jiujuan Zhang\*, Ruitao Lv\*. *Adv. Energy Mater.*, 2024, 2303588.
- [5] Yuchi Wan, ... Jia Li\*, Ruitao Lv\*. *Adv. Funct. Mater.*, 2021, 31, 2100300.
- [6] Leping Yang, ... Jianhua Hou, Zhen Zhou, Ruitao Lv\*. *Adv. Mater.*, 2022, 34, 2105410.
- [7] Yuchi Wan, Zhijie Wang, Jia Li\*, Ruitao Lv\*. *ACS Nano*, 2022, 16, 643-654.
- [8] Yufeng Zhang, Qian Lv, Haidong Wang\*, ..., Ruitao Lv\*, Xing Zhang\*. *Science*, 2022, 378, 169-175.

## D38-30

### 二维碲基电子与光电子器件

谭超良<sup>1,\*</sup>

1. 香港大学

二维半导体材料近年来逐渐成为构筑高性能电子和光电子器件的热门候选材料。首先，我们将介绍一种可大量制备碲纳米片的水热合成策略，实现了室温下 1.7 微米的光响应和较高的比探测率光导体红外探测器的构筑。为了进一步优化器件性能，我们采用简单的热蒸镀法制备系列带隙连续可调的碲硒合金薄膜。遴选出合适的碲硒薄膜，构筑的红外探测器其室温下 1.55 微米的比探测率可高达  $6.5 \times 10^{10}$  琼斯。我们进一步基于碲纳米片/二维铁电材料范德华异质结，构筑了光电同时响应的忆阻器，并展示了其在红外通

讯波段的存算一体化功能。其次，我们在原子级平滑的六方氮化硼表面实现了高质量碲纳米带的气相合成，并构筑了高空穴迁移率的场效应晶体管。此外，我将基于简单热蒸镀制备的碲薄膜，实现了场效应晶体管、逻辑门、计算电路和单片三维整合电路的构筑。

### D38-31

#### 应变二维晶体管及其神经形态器件应用

向都<sup>1,\*</sup>

1. 复旦大学

二维半导体具有独特的范德华层状结构及原子级平整表界面，使其可承受外界应变高达 11%。应力被普遍认为是调控二维半导体本征物性及其晶体管输运性能的有效手段。本次报告将主要介绍基于基底纳米图案化的新型“介电层应变工程”调控策略，可极大地增强二维半导体的介电常数并削弱载流子-声子散射强度，因而大幅度提升二维晶体管的室温载流子迁移率及电输运性能。此外，通过外加光/电场调控二维半导体与应变基底界面间不同极性电荷的转移与存储，可实现神经突触可塑性的模拟及感存算一体化器件，用于多功能人工视觉神经网络以及全天运动目标探测。

### D38-32

#### 低维光探测器件及集成

李绍娟<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

范德华二维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。低维材料为研究受限状态下材料中电子和光电基本性质提供了一个极富吸引力的平台，这些材料在光子学和光电子领域展现出重要应用潜力，可助力实现高性能的光电器件和应用。在这里，我将重点介绍我们在（1）低维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）用于未来片上集成探测技术的二维材料中的近场波导效应研究。（3）高性能异质集成器件架构和信息读取技术的探索，以满足片上光子集成电路的未来发展需求。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。

### D38-33

#### 铁电局域场调控的存算一体器件研究

田博博<sup>1,\*</sup>

1. 华东师范大学

受生物大脑的启发，忆阻器架构的并行模拟计算被认为是解决冯诺依曼瓶颈的潜在途径之一。基于铁电效应的忆阻器利用电场调控铁电极化来实现非易失的模拟状态，该场调控工作机制避免了诸如基于阻变氧化物和相变材料等电流驱动器件中的焦耳热，可以实现更低的功耗。此外，铁电材料可以耦合光电、压电、热释电等多种外场调控效应，这进一步拓展了铁电材料在视觉、触觉等神经系统中的仿生应用，基于铁电材料的硬件类脑有望在能耗和功能性方面占据重要优势。本报告中总结了课题组近年来在基于铁电效应在神经形态器件方面的研究进展，包括基于铁电鳍式二极管新型非易失存储器的无源交叉存算一体阵列

[Nature Communications, 15, 513 (2024)]和铁电调控的存内感算人工神经网络的类脑视觉[Nature Materials, 22, 1499 (2023); Nature Electronics, 3, 43 (2020)]。

### D38-34

#### 弛豫型二维铁电晶体管及其动态响应特性

诸葛福伟<sup>1,\*</sup>

1. 华中科技大学

二维材料在原子级厚度下具有高载流子迁移率、良好的外部场效应调控等特点，是发展后摩尔时代电子信息器件的重要载体。利用铁电材料的极化特性调控二维半导体材料的载流子输运，构建铁电晶体管，为丰富器件功能、实现其属性重构带来的新的机遇。认识、调控铁电极化与二维半导体材料间的界面耦合作用是推动其应用的关键基础。本文利用二维 MoS<sub>2</sub> 与 P(VDF-TrFE)铁电聚合物构筑局域栅极调控的铁电晶体管，并将其与背栅调控电荷陷阱结构相结合，通过改变陷阱电荷连续调节 MoS<sub>2</sub> 半导体掺杂状态与等效电容，以影响铁电层退极化场，实现对器件记忆时间常数的有效调控。作为人工突触器件，此类多栅调控铁电晶体管可以带来可独立调控的脉冲响应幅度与弛豫记忆时间，为实现丰富的神经拟态动态响应特性奠定基础。受生物视觉运动感知效应的启发，我们进一步提出弛豫型差分对来模拟生物神经元双相应行为和时间感受野，完成对运动方向的极性响应和感知。

### D38-35

#### 面向神经形态机器视觉的二维感算一体器件

陈旭东<sup>1,\*</sup>

1. 南开大学

视觉传感器在人工智能、大数据、物联网等一系列应用中发挥着至关重要的作用。随着传感器数量的急剧增长，以及传感器像素和帧频率的日益增大，产生的大量非结构化数据使得视觉图像的处理成为一种“数据密集型”任务。近年来，模拟人类视网膜功能的神经形态视觉器件与系统发展迅速，它能够大幅减少冗余数据的传输，从而降低视觉芯片的计算延迟和能耗，对于面向自动驾驶、智能机器人等一系列“时间敏感型”应用具有十分重要的意义。尤其是能够直接在传感器阵列中部署人工神经网络的感算一体器件，在感知光信息的同时完成信息的计算任务，实现感知与计算的融合。基于感算一体架构的神经形态机器视觉成为神经形态机器视觉研究的前沿和热点。

报告人长期从事神经形态器件研究，基于二维材料和异质结开发出一系列高速超低能耗的神经形态器件。本报告将介绍报告人近期在二维感算一体器件和神经形态机器视觉开发的最新进展，包括感算一体器件实现光响应度非易失性调控的机制和策略，以及可实现监督和无监督学习任务的神经形态机器视觉等。

#### 参考文献：

- [1] Zhang, G.-X.; Zhang, Z.-C.; Chen, X.-D.; et al. *Sci. Adv.*, 2023, 9, eadi5104.
- [2] Wang, F.-D.; Yu, M.-X.; Chen, X.-D.; et al. *SmartMat*, 2023, 4: e1135.
- [3] Li, Y.; Zhang, Z. C.; Li, J.; et al. *Nat. Commun.*, 2022, 13: 4591.
- [4] Li, J.; Zhang, Z.-C.; Kong, Y.; et al. *Chem*, 2021, 7: 1284-1296.
- [5] Yao, B.-W.; Li, J.; Chen, X.-D.; et al. *Adv. Funct. Mater.*, 2021, 31: 2100069.
- [6] Zhang, Z.-C.; Li, Y.; Li, J.; et al. *Adv. Funct. Mater.*, 2021, 31: 2102571.
- [7] Hou, Y.; Li, Y.; Zhang, Z.-C.; et al. *ACS Nano*, 2021, 15: 1497-1508.

[8] Zhang, Z.-C.; Li, Y.; Wang, J.-J.; et al. *Nano Res.*, 2021, 14: 4591-4600.

### D38-36

#### 普适性合成具有离子-电子耦合特性的二维材料

许翔<sup>1</sup>, 周兴<sup>1</sup>, 翟天佑<sup>1,\*</sup>

1. 华中科技大学

二维  $AMX_2$  化合物（其中 A 是一价金属离子，M 是三价金属，X 是硫族元素）是具有离子-电子耦合特性的一类材料家族。在这里，作者报道了一种前驱体分离供给的化学气相沉积策略，以制备 20 种二维  $AMX_2$  纳米片。值得注意的是，10.4 纳米厚的  $AgCrS_2$  纳米片在室温下表现出超离子导体行为，离子电导率达 192.8 mS/cm。在  $CuScS_2$  纳米片中观察到室温铁电性和可重构的正/负光伏电流。这项研究不仅为合成具有独特性质的多元二维材料提供了一种有效途径，而且为二维  $AMX_2$  化合物在电子、光电子以及神经形态器件中的探索奠定了基础。

### D38-37

#### 微纳结构中的离子输运和器件应用研究

赵清<sup>1,\*</sup>

1. 北京大学

离子输运是物质传输的重要方式，是材料学研究中的重要分支，深刻影响着半导体、电化学、生物医学和环境科学等学科的发展，是诸多应用科学研究的基础。团队利用实验室自主搭建的恒电流测试+光致发光测量+共聚焦显微镜三位一体的集成实验系统，实现了对卤化物半导体材料离子输运的原位实时直接表征，揭示了离子输运路径与晶体缺陷的内在关联。而后利用更为精密的光场调控+温度调控+电场调控的三场耦合调控集成测试系统，首次实现了温度低至液氮温度的精确量化离子输运测量，实现了对杂化卤化物半导体材料在不同光强和温度下的离子迁移势垒（激活能数据）的量化测量，理清了离子输运驱动因素与移动路径，阐释了移动离子对卤化物半导体稳定性的影响规律。溶液中的离子（如钾离子、氯离子等）在电场作用下输运通过纳米通道时将产生相应离子电流。当生物分子与通道尺度相比拟时，分子会对离子输运电流产生可探测的调控。团队开拓出基于纳米通道的单分子检测交叉应用新方向，近年来利用纳米通道离子输运现象研究与疾病机理等高度相关的生物学问题，已实现对蛋白构象变化、核小体泛素化后修饰，核苷酸碱基分辨以及靶向蛋白特异性识别等一系列具有显著纳米生物学交叉特质的全新器件应用方向研究。

### D38-38

#### 纳米晶激光植入光电器件

王洪强<sup>1,\*</sup>

1. 西北工业大学

低碳能源器件的构筑与集成是实现“双碳”战略的重要路径，而器件性能及稳定性在根本上受制于器件内部电子、空穴、离子等载流子的产生、传输以及转移的动力学过程。本工作提出利用激光衍生纳米晶调控低碳能源器件载流子动力学的新思路，系统探究了纳米晶的激光制造、植入与器件应用，实现了在复杂溶剂体系中纳米晶调控单元的可控激光制造，明晰了“电子桥”、“电子水库”、“p-n 异质界面”等纳米晶-母体材料主客体相互作用的电子结构调控新机制，构筑了纳米晶激光植入钙钛矿太阳电池、光电化学制氢及

电化学储能等一系列高性能低碳能源器件，为低碳能源关键材料和器件的研发提供了“纳米晶激光植入”独特思路。

## D38-39

### 钙钛矿光电转换材料与器件

魏展画<sup>1,\*</sup>

1. 华侨大学

金属卤化物钙钛矿是近年来兴起的具有诸多优异光电性质的半导体材料，主要优点有可溶液法制备、材料成本低、带宽可调、缺陷容忍度高和量子效率高，在 LED 和 PV 等领域显现出巨大的研究和应用价值。

在钙钛矿 LED 应用方面，传统工艺方法制备得到的钙钛矿薄膜质量较差，体现为形貌差、晶体无序堆积和非辐射复合缺陷多等，因此早期报道的器件 EQE 都远远低于 OLED 和 QLED。我们提出卤素化合物、聚合物和小分子等接触钝化晶界缺陷策略，实现了世界首例 EQE 超 20% 的绿光钙钛矿 LED<sup>1</sup>；我们提出添加剂缓释结晶策略，提高了低维钙钛矿中的相纯度、界面载流子注入与复合效率，再次刷新了绿光器件 EQE 纪录(25.6%)<sup>2</sup>；另外，我们在器件结构调控、载流子全行为管理和 Sn 基近红外钙钛矿 LED<sup>3</sup> 等方面取得了一些研究进展。

在钙钛矿 PV 应用方面，我们围绕高纯 FAPbI<sub>3</sub> 钙钛矿吸光层、功能化富勒烯衍生物的制备和钙钛矿/硅叠层电池等开展了一些研究工作。近期，我们通过晶簇诱导、水汽调控和双面钝化等方法，持续提升晶粒质量和 PV 器件的光电转换效率，取得超过 26% 的认证效率；基于 Pb 基和 Sn 基钙钛矿体系的不同要求，定制合成新型富勒烯传输材料<sup>4</sup>，持续提升器件界面电荷收集效率和性能，近期我们成功将纯 Sn 基钙钛矿 PV 的效率提升到 15%<sup>5</sup>。

关键词：钙钛矿；发光二极管；太阳能电池；缺陷钝化；界面

参考文献

- [1] Lin, K.; Xing, J.; Quan, L. N.; de Arquer, F. P. G.; Gong, X.; Lu, J.; Xie, L.; Zhao, W.; Zhang, D.; Yan, C.; Li, W.; Liu, X.; Lu, Y.; Kirman, J.; Sargent, E. H.\*; Xiong, Q.\*; Wei, Z.\*, Perovskite light-emitting diodes with external quantum efficiency exceeding 20 percent. *Nature* 2018, 562 (7726), 245-248.
- [2] Ma, D.; Lin, K.; Dong, Y.; Choubisa, H.; Proppe, A. H.; Wu, D.; Wang, Y.-K.; Chen, B.; Li, P.; Fan, J. Z.; Yuan, F.; Johnston, A.; Liu, Y.; Kang, Y.; Lu, Z.-H.; Wei, Z.\*; Sargent, E. H.\*, Distribution control enables efficient reduced-dimensional perovskite LEDs. *Nature* 2021, 599 (7886), 594-598.
- [3] Lu, J.; Guan, X.; Li, Y.; Lin, K.; Feng, W.; Zhao, Y.; Yan, C.; Li, M.; Shen, Y.; Qin, X.; Wei, Z.\*, Dendritic CsSnI<sub>3</sub> for Efficient and Flexible Near-Infrared Perovskite Light-Emitting Diodes. *Adv. Mater.* 2021, 33 (44), 2104414.
- [4] Sun, C.; Yang, P.; Nan, Z.; Tian, C.\*; Cai, Y.; Chen, J.; Qi, F.; Tian, H.; Xie, L.; Meng, L.\*; Wei, Z.\*, Well-Defined Fullerene Bisadducts Enable High-Performance Tin-Based Perovskite Solar Cells. *Adv. Mater.* 2023, 35 (9), 2205603-2205610.
- [5] Chen, J.; Luo J.; Hou E.; Song P.; Li Y.; Sun C.; Feng W.; Cheng S.; Zhang H.; Xie L.; Tian C.\*; Wei Z.\*; Efficient tin-based perovskite solar cells with trans-isomeric fulleropyrrolidine additives, *Nat. Photonics*, 2024, 1

## D38-40

### 钙钛矿及铜铟镓硒叠层太阳能电池的组分-界面协同调控

龙飞<sup>1,\*</sup>, 郑国源<sup>1</sup>, 姚迪圣<sup>1</sup>, 田楠<sup>1</sup>

1. 桂林理工大学

反式 (p-i-n) 钙钛矿太阳电池由于较低的伏安迟滞效应及与铜铟镓硒 (CIGS) 等其他光伏电池制备叠层器件的结构兼容性, 受到了学界的广泛关注。然而, 有机载流子传输材料的电荷迁移率低、溶液浸润性差等原因造成的组分和界面缺陷, 限制了器件能量转换效率的进一步发展。有鉴于此, 研究团队对钙钛矿太阳电池的上表-埋底界面进行协同优化: 利用 m-MTDATA 与 PTAA 构成双层 P 型空穴传输薄膜, 提高 PTAA 表面润湿性的同时降低了其与 PSCs 之间的能级势垒; 另一方面, 在钙钛矿上层旋涂苯基溴化铵 (PhABr) 并辅以氯苯清洗, 选择性去除钙钛矿表面残留的过量  $\text{PbI}_2$ , 有效抑制晶界缺陷。在此基础上, 团队提出了用氯苯腈衍生物 (4-氯甲基苯甲腈, CBN) 同时作为空穴和电子传输层界面修饰的协同钝化策略, 能同时提升 p-i-n 型电池的短路电流密度及使役稳定性, 有助于进一步提升两端子 (2T) 铜铟镓硒与钙钛矿叠层太阳电池中顶底电池输出电流的匹配度。通过该组分-界面协同调控策略优化后的反式钙钛矿太阳电池能量转换效率超过 22.5%, CIGS-钙钛矿 2T 叠层太阳电池的光电转换效率超过 18.3%。

## D38-41

### 二维材料极化激元调控与器件研究

胡海<sup>1</sup>, 戴庆<sup>2,\*</sup>

1. National Center for Nanoscience and Technology

极化激元是纳米尺度光、电甚至热信号的公认载体。在低维纳米材料中实现对极化激元的精准操控对于实现片上器件内的纳米级光信号和热量的操纵至关重要。我们的研究探索了一维到二维纳米材料中极化激元的高效激发, 获得了具有超高光场局域和品质因子的极化激元模式。通过巧妙设计介电环境, 成功降低极化激元的传输损耗, 获得了长距离传输性能。进一步, 通过异质堆垛、化学掺杂、电学调控等方法, 成功调控了极化激元的传输模式和传输方向。这些研究成果解决了突破衍射极限下高效光电调制的难题, 为构筑高集成度光电互联芯片提供了新路径。

## D38-42

### 二维铁电半导体的多极化态调控

刘富才<sup>1,\*</sup>

1. 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。层间间隙的存在使范德华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。本报告中我们将介绍基于二维  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  体系在铁电物性及在新型铁电器件方面的研究进展。此外, 范德华层状材料中由于层间不对等造成净层间垂直电荷转移, 进而引起铁电极化, 并通过层间滑移使极化得以翻转, 被称为滑移铁电。我们通过对滑移铁电材料层间相互作用进行研究, 实现了层数依赖的铁电极化调控, 为实现多态铁电存储提供了新颖材料体系。

## D38-43

### 面向存算一体器件的二维材料物态调控

孙林锋<sup>1,\*</sup>

1. Beijing Institute of Technology

当前人工智能算力的发展瓶颈和摩尔定律的限制，需要对传统计算机存算分离的架构进行根本性的改变。以忆阻器为载体实现存算与计算为一体的技术，为突破传统“冯 诺依曼”架构提供了有效的解决方案。基于现今忆阻器材料本身以及器件工作机理的限制，使得忆阻器尺寸微缩难以继续，功耗也难以继续降低。而新型二维材料由于其层状超薄特性和丰富的物理电子特性，以及物态易可调等特征受到了广泛的关注。本报告将在此基础上，汇报近年来课题组通过构筑新型二维材料以及异质结设计的几种新型存算/感算一体器件，实现新型信息电子器件在类脑计算上的应用。

## D38-44

### 硒化铟薄膜的大面积生长及其铁电器件

韩伟<sup>1,\*</sup>

1. 湖北大学

具有自发极化和原子级厚度的二维铁电半导体（2D-FES）被认为是未来实现“感-存-算”一体化类脑器件以及非冯 诺依曼计算架构的最佳材料体系之一[1]。在已报道的 2D-FES（例如  $\text{In}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$ ,  $\text{MoTe}_2$ ,  $\text{SnS}$ ）中， $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$  具有合适的带隙（1.39 eV），较高的电子迁移率，以及薄至单层的面内面外耦合铁电性。然而， $\text{In}_2\text{Se}_3$  晶相的不可控以及微米级的晶体尺寸严重制约了其在基础物性方面的研究以及大规模集成器件中的应用。

在该工作中，我们基于短距化学气相沉积（SD-CVD）法以及相变原理实现了厘米尺寸的  $\beta$ ,  $\beta'$ , 以及  $\alpha$  三种相的  $\text{In}_2\text{Se}_3$  单晶薄膜[1]。首先我们采用 SD-CVD 法生长了厘米尺寸的  $\beta\text{-In}_2\text{Se}_3$  薄膜，其厚度最薄可到单层 0.9 nm。通过添加  $\beta\text{-InSe}$  到前驱体中，获得了厘米尺寸的  $\beta'\text{-In}_2\text{Se}_3$  薄膜。在原位应力实验中，我们发现  $\beta'\text{-In}_2\text{Se}_3$  会通过应力释放转变为  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ ，实现了反铁电到铁电的相转变[2]。基于此原理，我们将  $\beta'\text{-In}_2\text{Se}_3$  薄膜转移到 PET 柔性衬底上，通过反复弯曲 PET，成功实现了  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$  薄膜的大面积合成。最后，通过转移薄膜到金颗粒阵列，首次制备了面内的  $\beta'\text{-}\alpha$  多铁异质结。基于三种相的场效应晶体管（FET）器件，均表现出较高的迁移率。其中  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$  薄膜制备的 FET 器件具有较大的记忆窗口和电子迁移率（大于  $50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ），以及较高的存储耐久性和循环稳定性。得益于自发内建电场和铁电耦合的影响， $\beta'\text{-}\alpha$  多铁异质结表现出比  $\alpha$  相更大的回滞窗口，这使得  $\beta'\text{-}\alpha$  多铁异质结在制备非易失性存储器件中具有极大潜力。

本工作不仅为实现感存算一体化铁电器件打下了材料基础，同时也为其他二维材料的大面积可控生长提供了一条新思路。

参考文献:

[1] Han, W. et al. Phase-controllable large-area two-dimensional  $\text{In}_2\text{Se}_3$  and ferroelectric hetero-phase junction. *Nat. Nanotech.* 18, 55–63 (2023).

[2] Zheng, X. D. et al. Phase and polarization modulation in two-dimensional  $\text{In}_2\text{Se}_3$  via in situ transmission electron microscopy. *Sci. Adv.* 8, eabo0773 (2022).

## D38-45

### 基于拓扑半金属的中红外轨道角动量直接探测器件

孙栋<sup>1,\*</sup>

1. 北京大学

基于拓扑外尔半金属  $\text{WTe}_2$  的光电探测器为光轨道角动量的直接电读出拉开了序幕，但该工作仅限于

近红外波段。将直接 OAM 探测拓展到中红外波段具有挑战性，但至关重要。我们基于第二类 Weyl 半金属 TaIrTe<sub>4</sub> 设计了具有特殊电极结构的光电探测器，通过轨道光电流效应实现了 OAM 拓扑荷的直接探测。沿光束轴径向或角向流动的轨道光电流的大小与量子化的 OAM 阶数成正比，而 TaIrTe<sub>4</sub> 在中红外波段的拓扑增强效应克服了低响应性问题，最终提供了 OAM 的直接探测能力。进一步的，我们分析了线性能带结构对轨道光电流的增强效应，并基于多层石墨烯制备的光电探测器在中红外波段实现了 OAM 的直接探测。石墨烯易于晶圆级外延生长的特点使得它更适合于 OAM 直接光电探测器的大规模集成应用。

#### D38-46

##### 看见 X 射线的颜色：基于闪烁体编码的多光（能）谱 X 射线成像

杨旻<sup>1,\*</sup>

1. 浙江大学

传统 X 射线探测器将全波段 X 射线光子积分获得黑白强度成像，没有 X 射线光（能）谱信息。X 射线光谱的感知可显著增强密度相似物质的成像对比度，在医学诊断、工业检测等领域有重要价值，但基于单一学科的探测原理无法同时实现 X 射线的高光谱、动态、大视场成像。本文基于信息科学中先编码、再解码的思想，融合材料创制、器件创新和光谱计算等多个学科知识，提出一种新方法使其兼得。主要创新思路是①设计对不同波段 X 射线差异性响应的闪烁体新材料；②构筑叠层闪烁体新结构作为编码器，将难测的 X 射线光谱编码成易测的可见光谱；③通过可见光高光谱相机大视场、动态成像记录编码后信息，基于可解析的物理模型反演 X 射线光谱并成像。

#### D38-47

##### 铋基硫族三元层状材料的化学气相沉积制备及物性

孙勇<sup>1,\*</sup>

1. 中山大学

理论与实验研究表明，铋基硫族三元层状材料体系具有可调电子结构、高迁移率、强自旋轨道耦合及电声相互作用等特点，在微电子、光电子领域引起广泛关注。针对该类材料气相沉积生长窗口过窄的问题，在低压化学气相输运与沉积的框架下，提出了有效的热、动力学过程调控策略，并发展出多种大尺寸二维结构的制备工艺（Bi-O-Te、Bi-O-S、Bi-Se-Te）；报道了系列重要物性，如高电子迁移率、非饱和线性磁阻、Shubnikov-de Haas 量子振荡、非中心对称拓扑绝缘体及非常规超导行为等，为二维窄带隙光电半导体、量子输运材料的基础与应用基础研究提供储备。

#### D38-48

##### 基于双极性二维材料的可重构存算一体器件应用

李东<sup>1,\*</sup>

1. 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，二维晶体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，双极性二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存算一体器件构筑方面的一些进展，基于双极性二维半导体材料，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；利用双极性二维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。

### D38-49

#### 机器学习辅助的低对称性二维材料可控制备与原子级结构解析

王珊珊<sup>1,2,\*</sup>

1. 国防科技大学
2. 北京大学深圳研究生院

低对称性二维材料是一类晶格对称操作少，纵向仅有原子级厚度的新型纳米材料，表现出丰富的各向异性理化性质，在微纳光子学、触觉传感、各向异性电子器件等领域前景广阔。开发低对称性二维材料的可控制备方法、并从原子尺度深入认识其构效关系，对推进这类材料的高质量、批量化合成与器件应用意义重大。本报告将聚焦低对称性过渡金属硫族化合物体系，（1）介绍通过限域化学气相沉积、基底对称性设计和机器学习辅助等方式，实现对这类材料的形貌控制制备；（2）利用等变图神经网络、解耦表征学习的生成式模型等方法，对低对称性二维材料中多种原子级结构（如空位、晶界、相态、层错等）的高效、高精度、高鲁棒自动化识别与解析。

### D38-50

#### Symmetry-controlled Growth of Boron Nitride Single Crystals

Li Wang<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院物理研究所

Boron nitride (BN) single crystals represent a pivotal class of two-dimensional (2D) materials, characterized by a myriad of advantageous properties including insulation, thermal conductivity, stability, absence of surface dangling bonds, low dielectric constant, and ultra-low dielectric loss. Additionally, they exhibit ultrahigh nonlinear susceptibility, high laser damage threshold, and wide spectrum transparency. Notably, BN layers featuring unique rhombohedral stacking manifest exceptional sliding ferroelectricity and unparalleled coherent enhancement, underscoring their extensive and promising utility across the realms of electronics and optics. Nevertheless, the growth of rhombohedral BN (rBN) poses a formidable challenge, necessitating the precise construction of a metastable centrosymmetric-broken lattice with atomically accurate control during synthesis. In this talk, I will introduce our recent research pertaining to the surficial step-controlled growth of single-crystal BN monolayers and the bevel step-controlled growth of single-crystal rBN multilayers, alongside the potential applications based on such single-crystal materials. These investigations might hold the potential for transitioning boron nitride single crystals from laboratory-scale research to scalable industrial applications.

#### Reference

1. Li Wang\*, et al. Bevel edge epitaxy of ferroelectric rhombohedral boron nitride single crystal. *Nature* 2024, 629, 74
2. Li Wang, et al. Epitaxial Growth of a 100-square-centimetre Single-crystal Hexagonal Boron Nitride

Monolayer on Copper. Nature 2019, 570, 91

3. Jiajie Qi, et al. Stacking-controlled Growth of rBN Crystalline Films with High Nonlinear Optical Conversion Efficiency up to 1%. Advanced Materials 2023, 36, 2303122

## D38-51

### 新型高稳定性二维光电子晶体材料与器件

于鹏<sup>1,\*</sup>

1. 中山大学

二维贵金属硫属化合物材料因其存在着独特的  $d^2sp^3$  强杂化效应, 而表现出了一些传统二维材料缺失的特性: 超高的空气稳定性、大范围的带隙调控等, 进而赋予了该类材料在光电子器件应用方面具有先天的优势, 如: 大的带隙调控可实现少层器件的高开关比和宽谱光电响应、结构各向异性可组装出偏振光探测器件、超高的空气稳定性有利于解决传统二维材料光电器件稳定性差的问题等。本报告中主要介绍近几年我们在新型二维高稳定性光电子晶体材料及其器件方面的进展。

## D38-52

### 高性能可编织无机半导体纤维光电器件

彭虹云<sup>1</sup>, 翟天佑<sup>1,\*</sup>

1. 华中科技大学

半导体纤维具有独特的一维结构、优异的柔韧性和可编织集成性, 是构筑大面积可穿戴纺织光电子器件的核心要素。然而, 由于在纺丝过程中易形成多尺度结构缺陷(如孔隙、无序取向等), 导致现有半导体纤维的光电性能和机械鲁棒性难以满足实际应用需求。本工作二维  $MoS_2$  为光电功能基元, 以湿法纺丝为手段, 通过分子缝合策略来同时调控  $MoS_2$  半导体纤维内的微观/介观/宏观结构缺陷, 制备了具有高光电性能和力学性能的  $MoS_2$  半导体纤维。以此构筑的  $MoS_2$  纤维光电探测器的响应度可达  $144.3A/W$  (比已报道的纤维光电探测器高出两个数量级以上), 响应速度为  $52 ms$ , 且在  $50000$  次弯曲后仍可保持  $94.2\%$  的光电响应特性。在此基础上, 通过纺织编织的方法, 实现了柔性智能织物光电系统的大面积构筑与应用。

## D38-53

### 钙钛矿材料和器件研究

丁黎明<sup>1,\*</sup>

1. 国家纳米科学中心

单结钙钛矿太阳能电池自 2009 年效率逐年攀升, 目前到  $26.8\%$ , 基本到了平台。体相和表界面钝化, 传输层, 薄膜制备工艺, 大面积, 柔性器件, 叠层电池都获得迅速深入系统研究。全球太多公司对钙钛矿太阳能电池进行模组放大, 看起来就是大规模工业化前夜。丁黎明团队 2012 年开始涉及钙钛矿, 在添加剂, 传输层, 新钙钛矿材料, 集成电池, 叠层电池, 光探测器, 卷对卷, 柔性器件, 高湿度制备等方面开展了系统深入研究, 取得一些重要结果。本次报告将对过去研究进行介绍。

关键词: 钙钛矿材料, 传输层, 单晶, 太阳能电池, 光探测器

## D38-54

## 过渡金属硫属化合物的晶圆级制备和应用探索

张艳锋<sup>1,\*</sup>

1. Peking University

单层半导体性过渡金属硫属化合物(例如  $\text{MX}_2$ ,  $\text{M} = \text{Mo}, \text{W}$ ;  $\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$ , etc.) 作为继石墨烯之后另一类备受关注的二维层状材料, 在光/电子学器件, 光电催化等领域具有重要应用前景。[1-3] 为了推动其实际应用, 大面积均匀、大畴区、层数可控、晶圆级单晶的可控制备是关键的科学问题。

在基于 Au 箔熔融固化得到的 Au(111)薄膜上, 我们课题组也实现了英寸级单晶  $\text{MoS}_2$  的外延生长。利用高分辨 STM/STS 表征和第一性原理计算, 揭示了  $\text{MoS}_2$  的取向成核是由于 Au(111)台阶的诱导作用, 这些取向一致的畴区依赖界面的晶格匹配以及强耦合作用, 进一步拼接形成单层  $\text{MoS}_2$  单晶。[4] 最近, 课题组在单一取向单层  $\text{MoS}_2$  条带的可控制备方面取得了新的进展。利用熔融-固化法将多晶 Au 箔转化成具有高密勒指数的 Au(111)近邻面, 以 Au 表面周期性排列的台阶作为生长模板, 借助  $\text{MoS}_2$  与 Au(111)完美的晶格匹配和较强的界面相互作用, 实现了单一取向单层  $\text{MoS}_2$  纳米带的可控制备。理论模拟结果显示, 不同前驱体比例(S/Mo)下, 特定终止边缘(Mo-zigzag 与 S-zigzag)的演化是决定  $\text{MoS}_2$  形貌的主要原因。进而将获得的单层  $\text{MoS}_2$  条带阵列作为场效应晶体管的沟道材料和电化学析氢反应的催化剂, 均获得了优异的器件性能。进一步的研究发现, 通过延长生长时间, 这些单一取向排列的单层  $\text{MoS}_2$  条带可以逐渐展宽、融合, 最终无缝拼接形成  $\text{MoS}_2$  单晶薄膜。总之, 该工作发展了金属衬底表面外延周期性  $\text{MX}_2$  单晶条带阵列和晶圆级单层单晶薄膜的新策略, 对于深入理解二维材料在绝缘或导电单晶衬底上的外延生长机制提供了新的思路, 对于推动二维半导体的晶圆级制备及其在高性能电子器件和能源转化等领域的实际应用具有重要意义。

最近课题组在其它二维材料的可控制备和物性研究方面取得了重要进展, 包括二维  $\text{NiTe}_2$ ,  $\text{PtSe}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{S}_3$  等, 探索了二维材料的电催化产氢特性, 以及层厚依赖的导电类型转变、二维磁性等基本物性[5]。

## 参考文献

- [1]. Yanfeng Zhang\*, et al., Chem. Soc. Rev. 2015, 44, 2587; Adv. Mater. 2016, 28, 6207; Adv. Energy. Mater. 2016, 6, 1600459; Adv. Mater. 2016, 28, 10664; Coordin. Chem. Rev. 2018, 376, 1.
- [2]. Yanfeng Zhang\*, et al., Nano Lett. 2017, 17, 4908; Adv. Mater. 2017, 1702359; ACS Nano 2019, 13, 885.
- [3]. Yanfeng Zhang\*, et al., Nature Commun. 2017, 8, 958; Adv. Mater. 2018, 1705916; ACS Nano 2020, 14, 9011; Nature Commun. 2018, 9, 979; ACS Nano 2019, 13, 3649; Small Methods 2023, 2300165.
- [4]. Yanfeng Zhang\*, et al., ACS Nano 2020, 14, 5036; Nature Commun. 2022, 13,323; Adv. Funct. Mater. 2023, 2303520.
- [5]. Yanfeng Zhang\*, et al., ACS Nano 2020, 14, 9011; Acc. Mater. Res. 2021, 2, 751; ACS Nano 2021, 15, 1858-1868; Adv. Mater. 2021, 33, 20054658; ACS Nano 2023, 17, 1, 312-321; Adv. Mater. 2023, 35, 2207276.

## D38-55

## 范德华异质结光电功能器件研究

张铮<sup>1,\*</sup>

1. 北京科技大学

相比于传统光电材料, 二维范德华材料具有光电性能层数可调、优异场效应特性等优势, 可解决探测波段覆盖范围窄、漏电流导致的高器件功耗等问题。此外, 其超薄的厚度优势、表面平整无悬挂键, 使得其可以自由堆垛形成范德华异质结构, 探索新型光电功能器件提供了一个全新的结构平台, 面向小型化、功能化、高集成度的发展趋势也更具竞争力。异质结的独特性能表现本质上由其电子能带结构决定, 如何引入新的自由度实现能带结构的有效调控始终是范德华异质结研究的核心策略, 也是提升器件性能、拓展光电功能应用的关键环节。该报告以范德华异质结器件设计与性能调控为主题, 探索了范德华异质结性能

调控的有效策略, 并开拓了高分辨率成像、光控逻辑的功能应用。首先, 我们选择引入应变调控异质结的能带结构, 设计构筑了梯度应变调制的 ZnO/WSe<sub>2</sub>/石墨烯异质结光电探测器, 明晰了双轴拉伸应变对异质结光电性能的影响规律, 证明应变调制是调控范德华异质结光电性能的有效策略。进一步地通过能带结构筛选, 设计了一种基于 Te/WS<sub>2</sub> 异质结的高尖峰势垒光电二极管, 获得了  $8 \times 10^{-14}$  A 的超低暗电流和 10  $\mu$ s/13  $\mu$ s 的超快光响应, 进而实现了 100 $\times$ 40 像素分辨率的高性能可见光成像功能。

**关键词:** 范德华异质结, 双极性, 光电功能, 能带调控, 接触调控

### 参考文献

- [1] H. Zeng, H. Yu, B. Liu, S. Lu, X. Wei, L. Gao, M. Hong, X. Zhang, Z. Zhang, Y. Zhang. Gradient-Strained Van Der Waals Heterojunctions for High-Efficient Photodetectors. *Advanced Functional Materials*, 2024: 2400712.
- [2] H. Yu, Y. Wang, H. Zeng, Z. Cao, Q. Zhang, L. Gao, M. Hong, X. Wei, Y. Zheng, Z. Zhang, X. Zhang, Y. Zhang. High-Spike Barrier Photodiodes Based on 2D Te/WS<sub>2</sub> Heterostructures. *ACS Nano*, 2024, DOI: 10.1021/acsnano.4c03729.
- [3] X. Wei, X. Zhang, H. Yu, L. Gao, W. Tang, M. Hong, Z. Chen, Z. Kang, Z. Zhang, Y. Zhang. Homojunction-loaded inverters based on self-biased molybdenum disulfide transistors for sub-picowatt computing. *Nature Electronics*, 2024, 7: 138–146.
- [4] X. Zhang, B. Liu, L. Gao, H. Yu, X. Liu, J. Du, J. Xiao, Y. Liu, L. Gu, Q. Liao, Z. Kang, Z. Zhang, Y. Zhang. Near-ideal van der Waals rectifiers based on all-two-dimensional Schottky junctions. *Nature Communications*, 2021, 12: 1522.
- [5] J. Du, Q. Liao, B. Liu, X. Zhang, H. Yu, Y. Ou, J. Xiao, Z. Kang, H. Si, Z. Zhang, Y. Zhang. Gate-Controlled Polarity-Reversible Photodiodes with Ambipolar 2D Semiconductors. *Advanced Functional Materials*, 2021, 31: 2007559.

## D38-56

### 红外探测光电调控物理及其感存算一体芯片系统

苗金水<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院上海技术物理研究所

近年来, 随着天基红外、无人机、自动驾驶等人工智能领域的快速发展及其对红外信息不断增长的需求, 对红外光电探测器技术提出了更高的要求, 研制高性能、智能化的新型红外光电探测器成为新技术的战略制高点。我们在高性能红外光电探测器研究中取得了阶段性进展, 建立了非平衡态红外光电子调控新机制、局域场操控电子与光子以及混合维度异质集成的红外光电探测器, 器件核心指标比探测率、探测波段、工作温度、响应速度等均达到了国际先进水平。结合当前国际形势以及未来发展方向的判断, 红外探测领域亟需在智能化、轻量化技术方向进行重点突破, 通过高度模仿人类的视觉系统, 结合类脑神经网络技术, 引领红外光电探测器技术从“高性能”向“人工智能”跨越发展。

## D38-57

### 能谱分辨半导体室温辐射探测晶体材料与器件

徐亚东<sup>1,\*</sup>

1. 西北工业大学

近年来, 新型化合物半导体辐射探测材料和器件引起人们众多的关注, 在医学诊断、环境监测、无损检测、安全检查、天文观测和高能物理等领域已经实现了应用。碲锌镉探测器因其优异的性能是当前核科学与技术研究该领域国际研究的前沿和热点, 为致力提高碲锌镉晶体与器件的品质, 阐明了熔体法生长碲化物半导体晶体的平界面控制机制, 制备出大尺寸碲锌镉和碲化锌单晶并实现工程应用。此外, 将 ACRT 技术融入 10 余种钙钛矿以及有机半导体辐射探测单晶的制备, 开发出升温析晶、低温梯度结晶、近净尺寸结晶等多种生长技术。揭示了晶体微结构和界面态缺陷制约探测器分辨率的内在机理, 明晰了接触电极的调控原理和几何结构的设计方法, 获得了高能量分辨半导体辐射探测器。

## D38-58

### 硫化物半导体材料载流子输运与缺陷调控研究

林乾乾<sup>1,\*</sup>

1. 武汉大学

近几年, 有机半导体、硫化物、杂化钙钛矿等新型半导体材料被广泛研究。由于其柔性、廉价和性能容易被调控等优点, 基于新型半导体的光电器件也取得了日新月异的进展, 广泛应用于薄膜太阳能电池、发光二极管、光电探测器和场效应晶体管等。相比于硅、锗和砷化镓等传统的无机半导体, 新型硫化物半导体材料一般更无序和复杂多变, 对其光电性能还缺乏系统性认识, 在半导体器件上的工作原理也存在一些争议, 对于结构性能关系的研究和器件设计的探索也显得极为迫切和重要。本次报告, 主要介绍基于泵浦-探测原理的瞬态微波光电导表征技术 (TRMC) 和深能级瞬态谱 (DLTS) 应用于新型硫化物半导体的载流子动力学研究, 主要关注于半导体器件和薄膜中载流子的产生、输运、复合、注入和抽取, 还有界面层的调控等核心过程。通过对这些表征结果的分析理解, 进一步应用于光电探测器的设计、模拟和优化上, 并实现了光谱响应范围的精细调控、极低的暗电流和极快的响应。

参考文献:

- 【1】 R. Li, F. Yao, Y. Xu, S. Bai, Z. Jia, Q. Lin, *Adv. Funct. Mater.*, 34: 2307005 (2024)
- 【2】 Y. Xu, R. Li, S. Bai, Y. Li, Z. Jia, Y. Yang, E. Cui, F. Yao, D. Wang, C. Lei, Q. Lin, *Adv. Funct. Mater.*, 33: 2212523 (2023)
- 【3】 Z. Jia, M. Righetto, Y. Yang, C. Xia, Y. Li, R. Li, Y. Li, B. Yu, Y. Liu, H. Huang, M. Johnston, L. Herz, Q. Lin, *ACS Energy Lett.*, 8: 1485-1492 (2023).
- 【4】 J. Peng, C. Q. Xia, Y. Xu, R. Li, L. Cui, J.K. Clegg, L. M. Herz, M. B. Johnston, Q. Lin, *Nat. Commun.*, 12: 1531 (2021).
- 【5】 S. Bai, R. Li, H. Huang, Y. Qi, Y. Xu, J. Song, F. Yao, O. J. Sandberg, P. Meredith, A. Armin, Q. Lin, *Appl. Phys.Rev.*, 9: 021405 (2022).
- 【6】 J. Peng, Y. Xu, F. Yao, H. Huang, R. Li, Q. Lin, *Matter*, 5: 2251-2264 (2022).

## D38-59

### 二维材料表界面调控制备

刘灿<sup>1,\*</sup>

1. 中国人民大学

二维材料天然具备极限薄的物理尺寸 (~1 nm)、超快层间电荷转移速率 (~1000 GHz)、完备的材料体系 (涵盖了导体、半导体、绝缘体、磁体等), 并且结构稳定, 能够与当代微纳加工工艺相兼容, 因此是

非常有望带来颠覆性应用的新型功能材料。然而，与传统体材料相比，二维材料对表面扰动更加敏感，因此其单晶质量、样品纯度、制备速率等方面均具有一定差距，限制了其在未来器件应用方向的快速推广。本报告将介绍我们在二维材料表面生长调控方向取得的系列进展：包括利用二维材料对表面敏感的特性，设计了界面元素供应调控二维单晶热力学及动力学生长过程，实现了二维单晶的超快生长速率突破；发展了单原子构型硫族元素供应路径，实现对过渡金属化合物表面缺陷位点的原位修复，获得高质量、低缺陷密度的过渡金属硫化物晶圆；基于晶格周期势调制下的单层二维单晶外延技术，发展出了宏观单晶衬底角度到原子级二维单晶转角结构的复制，实现了厘米尺度的转角双层石墨烯的定制制备。另外，本报告还将介绍我们在二维材料光纤光学器件方向的应用探索，相关研究及技术开发将有望助力于二维材料规模化制备及未来高性能光电器件发展。

## D38-60

### 多层碲烯中的自发极化及芯片应用

王显福<sup>1,\*</sup>，饶高峰

1. 电子科技大学

人工智能技术的快速发展对硬件系统的存储稳定性、感知灵敏度和运算处理能力提出更高要求。然而，现有存储器、传感器受材料偏析、光耦合作用弱、感存分离等限制，面临存储寿命短、感知不灵敏、感存性能严重失调等问题，这些问题使得现有微电子器件难以持续满足人工智能等新兴技术快速发展的需求。发展新材料、探索新物理现象、设计新器件架构正成为人们实现可靠性高、运算速度快、信息交互稳定的微电子器件的有效途径。

碲烯是三方晶系（空间为  $P3_121$ ），由螺旋手性链状晶体组成的二维单元素材料。碲烯拥有天然的对称性破缺、高度定向的分子结构，并表现出独特的软声子特征，可实现高稳定性存储、超灵敏传感功能，突破材料偏析、探测灵敏度低等限制。但其仍面临自发极化机制不清晰、局域电场弱、光电弛豫机理缺失等科学难题。本研究重点开展碲烯的自发极化、碲烯与光电子相互作用以及强局域等离激元电场等特性研究，揭示碲烯自发压电极化的特性与机理、缺陷态对载流子寿命的调控作用、等离激元结构与电场局域效果的构效关系，实现碲烯无偏析的稳定存储、单分子水平的光学传感与加密。研究中采用多种电学、光学手段证实了碲烯的自发极化特性，利用自发极化构建的碲烯压电半导体晶体管，具有迁移率高（ $700 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ S}^{-1}$ ）、开关比大（7 个数量级）、存储窗口大（7 个数量级）、存储写入电压小（源漏电压 50 mV，栅压 1 V）、耐氧化（空气中保存 10 个月以上仍然可存储）等特点。基于碲烯的强各向异性及柔韧性，在 0.6 % 的压应力下，单片碲烯晶体（ $15 \times 50 \mu\text{m}$ ）输出电压为 2.01 mV。由于 Te-Au 之间强结合力，在碲烯表面构建了均匀、局域的等离激元电场分布，实现了  $10^{15} \text{ mol/L}$  的指纹特性单分子检测。碲烯的压电性及电子器件的研究工作，不仅在实验上将带有自发极化的压电材料家族拓展到二维单元素材料，并且为构建新型的神经元计算机逻辑与存储器件、柔性传感器件、纳米发电机提供了全新的高性能“积木”单元。

关键词：碲烯、压电电子学、存储器、柔性电子器件、等离激元共振

## D38-61

### 二维材料偏振光探测器及单像素成像

李亮<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院合肥物质科学研究院

偏振光探测器不仅能对光的波长、强度进行探测，并且能够识别光的偏振态。这一特点让偏振光探测

器相比于常规探测器，在提升检测对象的细节分辨率和对比度方面表现出色，从而能够揭示更加丰富的信息。具有面内各向异性的二维材料展现出构建微型化、集成化偏振光探测器件的巨大潜力，符合未来光子器件发展的趋势。在本报告中，报告人探索了几类新型各向异性二维材料，并通过设计扭转异质结构，在单个片上器件上实现了线偏振角（AoLP）和偏振度（DoLP）的同时检测。此外，通过将二维材料探测器与算法成像技术结合，实现了短波红外成像探测。

## D38-62

### 纳米超晶格材料及其光电化学应用

李同涛<sup>1,\*</sup>

1. 复旦大学

纳米颗粒的自组装技术是实现其在宏观尺度应用的关键，有潜力创造出超越传统材料性能的突破性产品。当前，纳米自组装领域的一个重要趋势是将不同尺寸、形状和种类的基元整合成复杂的超晶格功能材料。不过，不同基元之间的不兼容性导致的组装相分离问题，仍然是该领域面临的一个重要挑战。为了解决这一问题，我们提出了一种基于分子配体工程的核心策略，该策略在分子层面上平衡了不同基元及其体系间的差异，克服了不同类型基元难以协同组装的障碍。我们开发了多种普适性组装方法，实现了纳米颗粒的精确有序组装，并构建了多级次超晶格材料，同时阐明了其组装规律和机制。进一步地，利用这些多级次超晶格材料的结构特性，我们在介观-纳米-原子尺度上揭示了其在光电器件中的构效关系，为复杂超晶格材料在光电化学领域的应用奠定了基础。

## D38-63

### 钙钛矿材料与稳定高效器件

周欢萍<sup>1,\*</sup>

1. 北京大学

铅卤钙钛矿因其优异的光电性质和低成本制备工艺受到广泛关注，其太阳能电池有望成为下一代光伏技术的重要候选。然而，器件进一步应用受到如何同时获得高效稳定的器件等问题的限制。在高效率方面，围绕有机无机杂化钙钛矿晶体生长动力学，针对钙钛矿材料生长中易形成非光活性相的问题，突破了基于阳离子B位配位相互作用的传统思路，提出了钙钛矿AX组分充当电子给体，利用具有电子受体功能的外源分子作为调节剂的方法，通过阴离子-Pic相互作用抑制非光活性相中间体的生成，并实现了高效率的钙钛矿电池，单结太阳能电池的效率达26%，晶硅/钙钛矿叠层电池效率达32%；在稳定性方面，针对钙钛矿太阳能电池在使役条件下出现的“伴生缺陷”和离子迁移行为，开发了以“可循环修复”为代表的缺陷抑制策略，实现了抑制钙钛矿离子迁移和缺陷自修复的双重效果，高效率的器件在高温MPP运行超过1100小时后仍保持了初始输出功率的99%以上，器件通过了国家光伏质检中心IEC 61215标准下的冷热循环试验等测试。

**关键词：**钙钛矿；薄膜生长；稳定性；太阳能电池

### 参考文献

- [1] Wang, L., Zhou, H.\*, et al., Sun, L.\*, Yan, C. \*, *Science*, **2019**, **363**, 265.
- [2] Li, N.<sup>#</sup>, Tao, S.<sup>#</sup>, et al., Zhou, H.\*, *Nat. Energy*, **2019**, **4**, 408.
- [3] Liu, H.<sup>#</sup>, Li, N.<sup>#</sup>, Zhou, H.\*, *Adv. Mater.*, **2022**, 2204458.

[4] Y. Zhang, et al., Zhou, H.\*, *Nat. Photonics*, **2023**, **17**, 1066.

[5] Z. Huang, et al., Zhou, H.\*, *Nature*, **2023**, **623**, 531.

## D38-64

### 高能辐射探测用玻璃与光纤研究

周时凤<sup>1,\*</sup>

1. 华南理工大学

闪烁体作为辐射探测的核心材料，被广泛应用于医学成像、高能物理、环境监测以及安检等领域。玻璃和光纤是十分重要的闪烁体材料，玻璃材料容易加工成型，光纤具有细小、柔韧性好和易加工成阵列等突出优势，因此在一些特殊场合具有重要应用背景。本报告以玻璃和光纤闪烁体微结构和辐射响应特性为主线，介绍了玻璃和光纤闪烁体的制备技术、结构-辐射响应构效关系、应用探索等方面的研究进展。

## D38-65

### 各向异性二维材料的控制制备和光电器件

徐华<sup>1,\*</sup>

1. 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<sub>2</sub>, ReSe<sub>2</sub>）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<sub>2</sub>, ReSe<sub>2</sub> 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。

## D38-66

### 晶圆级二维金属硫属化合物半导体及其异质结

李渊<sup>1,\*</sup>

1. 华中科技大学

金属硫族化合物等二维半导体材料具有优越的平面结构特性、高效的电子迁移率、可调的能带结构等优点，可以有效的弥补硅基半导体在当代微纳型电子器件中的不足，因而受到了广泛的关注。要实现二维半导体的产业化应用，目前关键的问题在于材料的晶圆级量化生产。针对此，本报告介绍团队近期开发的“边界原子活化”、“双活性单体供源”、“多核协同生长”等系列化学气相沉积策略，以实现了 MoS<sub>2</sub>、WSe<sub>2</sub> 等二维金属硫族化合物及其异质结的晶圆级可控制备，以及由此开拓的阵列化光电器件的集成与封装工艺，以实现初步的芯片级光电成像与图像识别器件应用。我们的研究为二维半导体材料面向应用的晶圆级规模化制备及面阵器件集成提供了参考，有望推进二维半导体在未来光电成像与智能识别等器件中的应用。

**D38-67****黑磷的电化学插层行为研究**冯晴亮<sup>1,\*</sup>

1. 西北工业大学

二维黑磷材料具有直接带隙、高载流子迁移率、带隙可调等独特的性质，在光电探测、纳电子器件等领域有应用优势。由于磷原子孤对电子的存在，使其容易氧化，进而限制了其批量制备及器件应用。本报告首先将介绍课题组利用电化学插层技术可控制备具有宽光谱响应特性少层黑磷材料的阶段性进展，包括单晶制备、界面与形貌调控等；接着，简要介绍上述黑磷薄膜基阵列器件在极端环境下宽光谱光电探测性能的变化规律，为拓展二维材料基全天时光电探测与成像芯片在航空航天领域的应用提供理论支撑。

## 参考文献：

1. Xue Yang, Zemin Zhang, Lei Li, Ning Wang, Rui Hao, Yanan Zhou, Hua Xu, Yingtao Li, Guangming Zhu, Junru Wang\*, Qingliang Feng\*, *Small*, 2023, 19, 2206590.
2. Haining Liu, Ruijuan Zhang, Ning Wang, Chuan Tang, Huan Chen, Boying Zhang, Lei Chen\*, Qingliang Feng\*, Shanlin Qiao\*, *Advanced Materials*, under review.
3. Ning Wang, Nannan Mao, Zhien Wang, Xue Yang, Xi Zhou, Haining Liu, Shanlin Qiao, Xingfeng Lei, Junru Wang, Hua Xu, Xi Ling, Qiuyu Zhang, Qingliang Feng\* and Kong Jing, *Adv. Mater.* 2021, 33, 2005815.
4. Ning Wang#, Haining Liu#, Xi Zhou#, Qingyuan Luo, Xue Yang, Hongyan Yang, Haibo Shu\*, Hua Xu, Qiuyu Zhang, Hildebrandt Diane, Xinying Liu, Shanlin Qiao\*, Bilu Liu, Qingliang Feng\*. Improving Harsh Environmental Stability of Few-Layer Black Phosphorus by Local Charge Transfer. *Adv. Func. Mater.* 2022, 32, 2203967.

**D38-68****无铅钙钛矿光电子器件**孟祥悦<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院大学

有机无机杂化钙钛矿材料在能量转换、智能感知和信息技术等前沿交叉领域的商业化应用蓄势待发。目前广泛研究的钙钛矿材料通常含有铅，铅不但破坏生态环境，而且会危害人类和动物的生命，不符合可持续发展。针对铅的毒性，一种有效的解决方案是从材料体系的源头创新，开发无铅钙钛矿新概念材料。我们将钙钛矿结构中的铅替换成锡，重点研究不含铅的锡基钙钛矿，围绕“结晶成膜动力学-缺陷物理与性能调控-光电阵列集成器件开发”进行了多维度优化设计。结晶成膜动力学方面：明晰了无铅钙钛矿薄膜中氢键作用和表面能对晶体生长的影响机制，发展了原位光谱表征技术实时监测无铅钙钛矿结晶成膜过程，精准控制无铅钙钛矿薄膜中的晶体生长动力学，实现了大晶粒和高结晶度的薄膜。缺陷物理与性能调控方面：阐明了无铅钙钛矿薄膜中缺陷基本物理性质，提出了预结晶策略提高无铅钙钛矿薄膜光电物理性能，厘清了缺陷物理性质和器件光电性能之间的内在规律，实现了无铅钙钛矿室内光伏效率突破 20%。光电阵列集成器件开发方面：揭示了无铅钙钛矿具有高的离子迁移活化能，提高了光电阵列集成器件的稳定性和均一性，实现了无铅钙钛矿光电阵列集成器件在弱光成像、X 射线探测和类脑神经形态器件等交叉领域的应用示范。

## 参考文献：

- [1] Wang, J.; Yang, S.; Meng, X.\* et al. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2024, e202317794.
- [2] Wang, J.; Meng, X.\*; Yang S. et al. *Adv. Mater.*, 2024, 2400090.

[3] Meng, X.\*; Yang S. et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2021, 60, 3693.

[4] Meng, X.; Han L.\* et al. *Joule* 2020, 4, 902.

[5] Meng, X.; Han L.\* et al. *Adv. Mater.* 2019, 31, 1903721.

## D38-69

### 钙钛矿光电探测器的构筑以及响应特性调控

田维<sup>1,\*</sup>

1. 苏州大学

光电探测器作为一类重要的光电传感器件，在国防、工业、医学、空间科学领域以及日常生活中有着广泛的应用，例如军事预警、通讯、环境监测等。金属卤化物钙钛矿材料由于高的吸收系数，带隙可调，长的载流子寿命和扩散长度，高的载流子迁移率，小的激子结合能等优异的特性而引起了广泛的关注，是制备高性能光电探测器的理想材料之一。但是钙钛矿材料和器件同时也存在着不可忽视的问题，如平板状结构有限的光吸收、电荷传输层和钙钛矿界面以及钙钛矿体相的大量缺陷、窄带/宽带响应难以调节、环境稳定性差，严重制约了其光电性能。本报告将主要介绍课题组在钙钛矿材料的可控合成以及在光电探测器等方面取得的研究成果，着重讨论钙钛矿材料的组分和形貌、器件结构以及光电响应特性之间的关联作用，为开发高性能的钙钛矿光电探测器提供新思路。

## D38-70

### 力致发光材料及其触觉传感器件

王春枫<sup>1,\*</sup>

1. 深圳大学

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，研究触觉传感器件与电子电路的集成，实现触觉传感器件在人机交互、智能机器人、可穿戴电子领域的应用。

## D38-71

### 单晶二维少层自由硼烯的规模化制备工艺及其光电应用

刘飞<sup>1,\*</sup>，林浩坚，廖峰波，张虎，郭泽堃，陈焕君，邓少芝

1. 中山大学

作为与碳最近邻的轻质半导体材料，硼具有高熔点、低密度、负电阻温度系数、高杨氏模量以及高的化学稳定性等优良的物理和化学特性。而作为硼的单质二维材料，理论预测二维硼烯具有与石墨烯相比拟的超高载流子迁移率( $2.84 \times 10^6 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ )、优良的力学特性(杨氏模量为 382 GPa)、优良的环境稳定性以及随表面构型而可调的带隙，因此吸引了国内外越来越多研究者的关注。<sup>[1, 2]</sup>但是，二维硼烯目前的制备

技术主要为 MBE 技术和 CVD 技术,其产量较低且脱离衬底后无法稳定存在,因此如何能够规模化制备出脱离衬底仍能够稳定存在的二维自由硼烯结构对于其未来的实际光电应用具有十分重要的意义。

本文中,我们首先利用实验室自主研发的低温液相超声辅助剥离工艺,成功实现了二维硼烯的低成本批量制备(亚克量级)。<sup>[3]</sup>此方法所制备的二维硼烯为少层  $\beta_{12}$ -硼烯单晶结构,其产率高达 20%,纳米片的平均平面尺寸和厚度分别为 3  $\mu\text{m}$  和 4 nm。同时,二维硼烯的电导率达到  $3.8 \times 10^4 \text{ S/m}$ ,呈现出金属型导电特性。其次,通过调控液相溶剂的类型,我们又实现了二维氧化硼烯纳米结构的规模化制备。该方法所制备的二维氧化硼烯纳米片的平均厚度约为 4 nm,平均平面尺寸为 5  $\mu\text{m}$ ,其表面呈现平面蜂窝状  $h\text{-B}_2\text{O}$  构型。而通过调控硼烯的氧化比例(20 ~ 70 at.%),可以将其带隙分布在 3.1 ~ 4.1 eV 的范围。最后,我们又将二维硼烯和二维氧化硼烯分别制作成薄膜型太赫兹屏蔽器件和湿度传感器等,它们各自呈现出超高的电磁屏蔽效能和非常灵敏的湿度传感特性,这表明二维硼烯在未来的高性能传感探测领域具有很好的发展前景。

## D38-72

### 非中心对称结构杂化钙钛矿晶体材料的体光伏效应及其自供能 X 射线探测

游世海<sup>1,2,\*</sup>, 余盼盼<sup>3</sup>, 官倩文<sup>2</sup>, 吴健博<sup>2</sup>, 罗军华<sup>2,3</sup>

1. 西南交通大学

2. 中国科学院福建物质结构研究所

3. 江西师范大学

自供能 X 射线探测器无需外部电源、便携且能有效抑制离子迁移,因此在医学和工业应用中备受关注。通常自供能光电探测器件主要通过构筑不对称电极、异质结来实现,面临比较复杂的器件设计和界面问题。结晶于非中心对称点群的有机/无机杂化钙钛矿材料在光照下能够产生显著的体光伏效应,为实现自供能光电探测提供了新的有效手段。本研究报道了系列具有非心结构的有机/无机杂化钙钛矿晶体材料(如(3-MNPA) $\text{PbBr}_4$ 、Mhy $\text{PbBr}_3$ 等)在 X 射线辐照下的体光伏效应,并利用其驱动光生载流子的自发分离和输运,实现了稳定的自供能 X 射线探测。特别是,在(4-AMP) $\text{BiI}_5$ 单晶( $C_c$ 空间群)中观察到了 X 射线响应的反常体光伏效应( $V_{oc} \sim 10 \text{ V}$ ),有效提升了自供能 X 射线探测器件的探测性能。进一步,提出引入单一手性有机胺配体来构筑杂化钙钛矿材料,利用“手性诱导策略”,大大提高了钙钛矿结晶于非心点群的概率,成功设计合成了系列具有不同结构维度的手性杂化钙钛矿材料(0D 的( $R/S$ -PPA) $_2\text{BiI}_5$ , 1D 的( $R/S$ -PPA) $\text{PbBr}_3$ , 2D 的( $R/S$ -BPEA) $_2\text{PbI}_4$ 、( $R/S$ -BPEA) $_2\text{CsPb}_2\text{Br}_7$ 、( $R/S$ -MPA) $_4\text{AgBiI}_8$ 等),得益于自发极化,它们在 X 射线辐照下均表现出了明显的体光伏效应,在零偏压下实现了灵敏的 X 射线探测,并表现出优异的工作稳定性。考虑到合适的手性有机配体仍然比较缺乏,我们提出了“半取代策略”,将非手性钙钛矿材料中的部分有机配体替换为手性有机配体,从而基于单一手性配体( $R/S$ -(+/-)-1-苯丙胺)和大量的非手性配体(乙胺、丙胺、丁胺、戊胺、溴乙胺、溴丙胺、苯乙胺等)成功合成了系列手性的有机/无机杂化钙钛矿材料,有力拓宽了非心结构金属卤化物钙钛矿的构筑路径。本研究聚焦于非中心对称结构有机/无机杂化钙钛矿材料的设计合成及其体光伏效应和 X 射线探测性能研究,为自供能高能射线探测器件的构建提供了新的思路<sup>[1-6]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] You, S.; Yu, P.; Zhu, T.; et al. *Adv. Funct. Mater.* **2024**, *34*, 2310916.
- [2] Guan, Q.; You, S.; Zhu, Z.-K.; et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2024**, *63*, e202320180.
- [3] You, S.; Zhu, Z.-K.; Dai, S.; et al. *Adv. Funct. Mater.* **2023**, *33*, 2303523.
- [4] Wu, J.#; You, S.#,\*; Yu, P.; et al. *ACS Energy Lett.* **2023**, *8*, 2809-2816.
- [5] You, S.; Yu, P.; Zhu, T.; et al. *Mater. Horiz.* **2023**, *10*, 5307-5312.
- [6] You, S.; Yu, P.; Wu, J.; et al. *Adv. Sci.* **2023**, *10*, 2301149.

## D38-73

## 高效稳定无机锡基钙钛矿太阳能电池

于海譞<sup>1</sup>, 王鸣魁<sup>1,\*</sup>

1. 华中科技大学

无机锡基钙钛矿因其低毒环保特性和合适的带隙而在光电应用领域受到广泛关注。然而, 由于前驱体中二价锡的高路易斯酸性, 使得低温溶液法制备锡基钙钛矿薄膜面临巨大挑战。在此, 我们提出贗卤素阴离子中间相工程改善无机锡基钙钛矿层结晶过程。通过引入贗卤素阴离子形成中间相, 明显减缓了锡基钙钛矿的结晶速率, 从而获得了具有微米级大晶粒形貌的高质量钙钛矿薄膜。并且贗卤素阴离子会进一步合金化进入钙钛矿晶格, 通过与二价锡离子之间的相互作用进一步提高二价锡的抗氧化性。基于此策略制造的反式平板结构的太阳能电池在 AM 1.5 太阳辐照 ( $100 \text{ mW cm}^{-2}$ ) 条件下, 获得认证效率超过 13%, 在已报道的无机锡基钙钛矿太阳能电池中名列前茅。

## D38-74

## LED 硼酸盐蓝青色荧光粉的制备及性能优化研究

张文博<sup>1,\*</sup>

1. 兰州理工大学

随着生活水平的不断提高, 人们对照明的品质要求越来越高, 全光谱照明已成为世界范围内“高质量、健康绿色照明”的新趋势, 而实现全光谱照明关键是填补位于 460-520 nm 区间的青光的缺失。通过填补青色间隙来提高显色指数相关色温等参数, 从而满足光源具有与自然光接近的连续性和高显色性。1-1-1-3 型硼酸盐材料由于合成温度低, 对紫外具有较强的吸收而受到广泛关注, 为此选用  $\text{NaMgBO}_3\text{:Ce}^{3+}$  荧光粉作为研究对象, 通过缺陷控制和第二相复合的方法对其发光效果进行优化, 因基质具有特殊的结构在掺杂了三价离子后导致电荷不平衡, 伴随各种复杂的缺陷出现, 影响材料的性能表现。而这些缺陷可能对发光材料带来正反两方面的影响: 一方面造成晶体场改变、结构的不稳定或者难以制备, 另一方面也可能起到能量传递的途径, 进而促进发光。事实上, 共掺离子受限于基质格位和掺杂离子种类的影响, 可选择的方案有限, 也限制了改性的效果。因此, 进一步通过复合第二相荧光粉来改善原荧光粉的性能。这种复合不仅可以作为生长模板对原荧光粉的形貌和结晶性能进行改善, 而且不受原基质对于掺杂离子的限制, 有望实现能量传递从而提高发光效果。通过选取优异的基质, 对其本身进行优化, 既减少了其他元素的影响, 同时起到了优化性能的效果, 这对于实现全光谱照明提供可行的指导意义。

## D38-75

 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x\text{-Cs}_2\text{SnI}_6$  复合膜的制备及其光电性能研究吴乔越<sup>1,\*</sup>

1. 合肥工业大学

以  $\text{CsSnI}_3$  为代表的全无机锡基钙钛矿材料被认为是有机-无机杂化卤化铅钙钛矿材料最有潜力的替代品。但是,  $\text{CsSnI}_3$  因具有  $\text{Sn}^{2+}$  而展现出较差的空气稳定性。同属全无机锡基材料的  $\text{Cs}_2\text{SnI}_6$ , 则因其 +4 价 Sn 和更短的 Sn-I 键而具有比  $\text{CsSnI}_3$  更优异的空气稳定性, 从而受到研究者的广泛关注。本工作以二维材料  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$  为添加剂, 通过喷涂法制备了  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x\text{-Cs}_2\text{SnI}_6$  复合膜, 并探讨了不同  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$  添加量对

复合膜光电性能的影响规律。研究表明,  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x\text{-Cs}_2\text{SnI}_6$  复合膜不仅表现出比  $\text{Cs}_2\text{SnI}_6$  膜高 4.3 倍的光电流密度, 而且具有更低的载流子复合率, 从而具有更高的光电转换效率。

### D38-76

#### 基于 $\text{BiFeO}_3/\text{XTiO}_3$ (Sr, Zn, Pb) 多层膜的高灵敏度自供电柔性光电探测器

李泽<sup>1,\*</sup>

1. 内蒙古工业大学

铁电基光电探测器因其合适的带隙和不受限制的光电压而备受关注。然而, 它们较低的光电流、响应度和探测率仍然是巨大的挑战。本文中制备了  $\text{BiFeO}_3/\text{XTiO}_3$  (X=Sr, Zn, Pb) 多层薄膜, 以实现自供电的柔性紫外-可见光光电探测器。该自供电光电探测器利用紫外吸收层  $\text{XTiO}_3$ 、 $\text{BiFeO}_3$  中的强内建电场以及异质结电场, 实现了对紫外-可见光的快速和灵敏的光电探测。通过测试  $J$ - $V$  和  $J$ - $t$  曲线来确定紫外-可见光照射下的光伏效应, 其中零偏压下光电流密度的上升和下降时间接近 20 ms, 并表现出优异的疲劳特性。此外, 零偏压时  $\text{BiFeO}_3/\text{ZnTiO}_3$  薄膜分别在 365 和 500 nm 光照下获得了良好的光探测响应度 (7.4, 1.3 mA/W) 和探测率 ( $7.5 \times 10^{11}$ ,  $3 \times 10^{10}$  Jones)。最后, 验证了  $\text{BiFeO}_3/\text{XTiO}_3$  多层膜在柔性衬底上的光电探测性能。本工作为基于铁电自供电紫外-可见光探测器的应用奠定了基础。

### D38-77

#### 构型熵增电催化析氢材料

何洪波<sup>1,\*</sup>, 蒋建宏<sup>1</sup>, 叶丽娟<sup>1</sup>, 邓斌<sup>1</sup>

1. 湘南学院

电解水制氢技术能将波动性可再生电能转换成绿色氢能, 是可持续清洁能源研究的重要方向之一。针对目前析氢电极材料的过电势高、反应能耗大和规模制备难等问题, 开发大电流密度高效析氢电极材料尤为关键。构型熵变可以优化催化位点的空间结构和电子性质, 对催化性能具有积极的调控作用。通过相变诱导掺杂和氧化刻蚀等策略设计系列构型熵增过渡金属化合物 (钴基/镍基) 析氢电极材料, 基于构型熵增调控催化位点微环境, 实现电极材料在大电流密度下的长效电催化析氢。结合实验表征和理论计算, 解析构型熵增对析氢反应中的扩散传质、电荷传递和催化位点的本征活性的积极作用, 为构型熵增过渡金属基电极材料的设计及其在大电流密度析氢应用提供理论和实验参考价值。

### 墙报

### D38-P01

#### $\text{Sm}^{2+}$ 在氮氧化物中的近红外发光特性研究

吕营<sup>1,2</sup>、李云凯<sup>1</sup>、李中元<sup>3</sup>、解荣军<sup>2,\*</sup>

1. 南昌工程学院

2. 厦门大学

3. 安徽师范大学

...

近红外发光材料在近红外光谱技术中具有广阔的应用前景。目前, 近红外发射剂主要基于过渡金属, 但这些金属仍然稀缺且效率不高。因此, 探索新型高效的 NIR 发射剂对于近红外发光材料的发展是一项紧迫而具有挑战性的任务。在这里, 我们报道了一种意外的  $\text{Sm}^{2+}$  激活的 NIR 发射和高稳定性的荧光体, 其同时表现出线性跃迁 (682nm) 和宽带发射 (778nm), 在宽带激发 (300-600nm) 下, 半峰全宽 (FWHM)

为 141 nm。温度依赖的光致发光光谱和衰减曲线证明了热辅助电子隧越 (TAEC) 过程有助于增强宽带 NIR 发射。制作的近红外荧光转换发光二极管 (pc-LED) 显示出作为近红外照明源的潜力, 并在高温老化测试中证明了其稳健的热稳定性。 $\text{Sm}^{2+}$  在高稳定性氧氮化物中的出乎意料的近红外发射为探索适用于商用 LED 芯片的高效可靠的近红外荧光体开辟了新的研究思路。

参考文献:

[1] Y. Lv, Y. Li, Z. Li and R.-J. Xie. Near-Infrared Emission of  $\text{Sm}^{2+}$  in Oxynitrides. **2024**, *12*, 2302303.

## D38-P02

### 二维晶体管中超薄高 $\kappa$ 复合介电层的规模化集成

徐永善<sup>1</sup>, 刘开朗<sup>1</sup>, 翟天佑<sup>1,\*</sup>

1. 华中科技大学

二维半导体具有原子级厚度和优异的栅极控制能力, 是构筑下一代场效应晶体管 (FET) 的理想沟道材料。然而, 二维晶体管中高质量栅极介电层的集成却面临多重挑战。首先, 传统高  $\kappa$  介电材料 ( $\text{HfO}_2$  等) 与二维半导体结构不兼容, 且介电层在其表面难以均匀集成; 其次, 新型二维介电材料 ( $\text{hBN}$  等) 虽与二维半导体界面兼容, 但其介电常数低且难以进行规模化集成。针对上述难题, 我们利用无机分子晶体  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  作为缓冲层构筑复合介电层, 在二维 FET 中实现了兼具高质量界面与高介电性质的  $\text{HfO}_2/\text{Sb}_2\text{O}_3$  介电层的规模化集成, 使其性能全面提升。该方法能在不同二维材料 (石墨烯、 $\text{MoS}_2$  等) 上实现超薄介电层的均匀集成, 具有极高的普适性。在性能方面, 基于  $\text{HfO}_2/\text{Sb}_2\text{O}_3$  复合介电层的二维 FET 的等效氧化层厚度 (EOT) 可低至 0.67 nm, 为当前二维晶体管介电层的最低值。优异的界面质量降低了界面态密度, 以  $\text{MoS}_2$  为沟道的 FET 的亚阈值摆幅低至 60 mV/dec, 达到理论极限。晶体管阵列器件呈现出优异的均一性, 满足二维晶体管规模化集成要求。得益于超低的 EOT 与优异的界面质量, 该晶体管在 0.4 V 的超低工作电压下即可获得超过  $10^6$  的开关比, 实现了对 IRDS 所规划最先进硅基晶体管 (3 nm 制程 FinFET) 的超越, 是目前 FET 中最高栅极控制效率, 为未来二维半导体在高集成度、低功耗电子器件中的应用铺平了道路。

## D38-P03

### 源漏注入阈值开关型浮栅晶体管及其神经形态器件研究

路元龙<sup>1</sup>, 诸葛福伟<sup>1</sup>, 翟天佑<sup>1,\*</sup>

1. 华中科技大学

近年来新型的神经形态器件受到广泛关注, 但由于传统的浮栅晶体管缺乏阈值开关特性而无法模拟神经元的激活行为, 多数的研究仍停留在利用浮栅晶体管模拟突触功能的层面。而本文介绍一种通过酞菁锌分子表面修饰  $\text{MoS}_2/\text{hBN}/\text{FLG}$  二维浮栅晶体管, 当施加在源漏电极偏压达到阈值时可以实现陡峭的开关行为 (晶体管电导提升四个数量级且亚阈值摆幅低于 30 mV/dec), 与传统的浮栅晶体管不同, 本器件的陡峭的阈值开关行为来源于沟道碰撞电离效应, 并利用阈值开关特性成功模拟了异质调节的神经元激活行为以及利用背栅作为异源调控端模拟 sigmoid 型异源突触可塑性。通过将光信号作为调制输入, 可以实现基于异源调控的神经元自适应行为, 包括避障以及视觉自适应。该工作结果有助于为利用较低的硬件成本模拟生物神经元的异质调节行从而实现仿生神经形态处理提供一种新的思路。

## D38-P04

### 二维垂直-横向混合异质结构用于超灵敏光电探测和图像传感

张娜<sup>1</sup>, 李渊<sup>1</sup>, 翟天佑<sup>1,\*</sup>

1. 华中科技大学

基于二维材料的异质结构允许在相邻结区产生各种光电耦合效应，异质结的构建对于补偿单个材料的局限性以及进一步提高其光电性能至关重要。然而，目前研究的横向和垂直异质结构的实际应用通常受到较差的光载流子产生和传输能力的限制，这主要是由于它们固有的耗尽区和界面面积的不平衡。基于此，我们设计并构筑了一种新型的硒化铋/铋硒氧化物二维混合异质结构，其横向和垂直界面共存。独特的混合结构为异质结构提供了巨大的界面面积和宽的耗尽区，以实现充分的光载流子产生和分离，显著提高了器件的整体光电性能。所得光电探测器表现出显著降低的暗电流和超快光响应速率 ( $\tau_{\text{上升}} = 50 \mu\text{s}$  和  $\tau_{\text{衰减}} = 20 \mu\text{s}$ )。此外，该光电探测器具备出色的图像传感能力，可以在从紫外线、可见光到近红外区域的宽光谱范围内以高分辨率记录各种复杂图案。这些结果表明，设计和制造具备新型几何形状的异质结构为下一代高性能光电应用提供了一个非常有潜力的方法。

## D38-P05

### 硅晶体杂质缺陷对太阳能性能影响研究

黄春来<sup>1,\*</sup>

1. 南昌工程学院

硅太阳能电池的激光加工具有独特的优势，为低成本高效光伏器件提供了潜力。对硅中激光诱导缺陷的理解、监测和控制成为限制光伏效率的重要挑战。在这项工作中，通过识别不同激光能量密度状态下的缺陷类型和起源、评估缺陷浓度以及评估它们对表面电学特性和光伏器件性能的影响，实现了对激光诱导缺陷的基础研究。研究表明，在激光熔化以下，电性能几乎没有下降，但没有发现缺陷；在激光熔化和烧蚀之间，主要发生点缺陷和氧掺入；在激光烧蚀上方，主要产生位错和应变。发现激光诱导的位错密度和应变可能随着激光能量密度呈指数增加，并且激光诱导的应变被确定为位错产生的可能主要来源。为了了解激光加工的硅表面中的载流子复合和电荷传输，我们量化了各种激光能量密度和位错水平下的漂移迁移率、电导率、载流子寿命和漏电流。激光缺陷引起的表面电性能退化受激光能量密度的可能指数关系的控制，这表明应仔细选择硅熔化附近的激光加工能量密度，以最大限度地减少引起的缺陷和电性能退化。最后，通过激光加工的太阳能电池器件的激光或炉后退火证明了对激光诱导缺陷的控制。经过两次激光退火步骤后，开路电压、填充因子、串联电阻和分流电阻都得到了显著改善，从而提高了光伏效率。硅太阳能电池的激光加工具有独特的优势，为低成本高- 高效光伏器件。

## D38-P06

### Ag<sub>2</sub>BiI<sub>5</sub> 膜的绿色制备及其光电性能研究

王夏利<sup>1</sup>, 吴乔越<sup>1</sup>, 鲁颖炜<sup>1,\*</sup>

1. 合肥工业大学

全无机无铅钙钛矿材料中的碘化银铋 (Ag<sub>2</sub>BiI<sub>5</sub>) 具有无毒、稳定，及高光电转换效率的特点，因而成为具有巨大发展潜力的光电转换材料之一。然而，Ag<sub>2</sub>BiI<sub>5</sub> 膜目前主要通过一步溶液旋涂法来制备，其常用的溶剂为二甲基亚砜 (DMSO) 和 N-N 二甲基甲酰胺 (DMF)，不但具有毒性，而且用于旋涂前驱体液时所需浓度较高 (0.1~1M)。此外，避免使用毒性溶剂的真空热蒸发成膜法及高温固相反应后旋涂制膜法的成本均较高。因此，研制一种绿色、低成本的 Ag<sub>2</sub>BiI<sub>5</sub> 膜制备方法具有重要的应用价值。本工作以无水乙醇为溶剂，在利用溶剂热法获得 Ag<sub>2</sub>BiI<sub>5</sub> 粉末的基础上，采用易于大规模生产的喷涂法，将低浓度浆料制备成具有良好光电性能的 Ag<sub>2</sub>BiI<sub>5</sub> 膜。

## D38-P07

### 水热法制备纳米级逆热淬灭发光材料

张晗<sup>1</sup>、邹华<sup>2</sup>、侯军伟<sup>1,\*</sup>

1. 中国石油大学（北京）克拉玛依校区
2. 海南大学

上转换发光材料具有特殊的光学性质，可吸收长波低能量的光转化成短波高能量的光，近年来在生物探测、光学信息防伪、温度传感等领域逐渐成为热点。上转换发光材料存在的热淬灭问题即发光强度会随着温度的升高而不断降低甚至不发光，一直是制约上转换发光材料应用的瓶颈之一。我们利用部分稀土钨酸盐具有的“负热膨胀”（Negative Thermal Expansion NTE）性质，与传统材料“热胀冷缩”相反，NTE 材料体积随着温度升高而收缩，制备出一种逆热淬灭材料，为解决上转换发光材料的热淬灭问题提供了补充。传统的制备方法温度高、制备周期长、颗粒分布不均匀，我们用水热法成功在较低的温度下制备了形貌可控、粒径均匀的稀土钨酸盐上转换发光材料，通过调控光谱等将其应用于光学信息防伪和荧光测温，拓展了上转换发光材料在纳米材料领域更多的应用可能，为其走向工业化生产提供了补充。

参考文献：

- [1] LU Y, MA Y, ZHU J, et al. Molten Salt Synthesis and Upconversion of Cubic ZrO<sub>2</sub> Submicron Phosphors for Temperature Sensor and Anticounterfeit Applications [J]. *Crystal Growth & Design*, 2024, 24(1): 499-505.
- [2] LU Y, LIN D, LI Y, et al. Thermal enhancement of upconversion luminescence in Sc<sub>2</sub>Mo<sub>3</sub>O<sub>12</sub>: Nd/Yb/Er crystals for optical temperature sensing [J]. *Ceramics International*, 2023, 49(17, Part B): 29370-4.

### D38-P08

#### 基于 WSe<sub>2</sub>-GaN 的 2D-3D 集成双通道浮栅晶体管宽光谱神经形态器件

高志祥<sup>1</sup>，苏子佳<sup>1</sup>，陈炜<sup>1</sup>，孙海定<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学技术大学

人工宽谱视觉有利于增强人类的色彩感知和辨别能力，从而在不同的环境中为人类活动提供更有效的引导作用。本文提出了一种基于二硒化钨(WSe<sub>2</sub>)-氮化镓(GaN)2D-3D 垂直堆叠结构的双通道浮栅晶体管，构建了人工四色感知突触器件。在电、光协同刺激作用下，该器件成功地模拟了基本的突触行为，包括短期增强(STP)、弱长期增强(wLTP)、长期增强(LTP)、双脉冲易化(PPF)、脉冲数依赖可塑性(SNDP)和脉冲频率依赖可塑性(SRDP)。值得注意的是，该器件的可塑性可以在紫外光刺激下进一步调制，这是通过 GaN 沟道中光生载流子动力学来调节突触可塑性。这些结果表明，具有双通道特性的基于 WSe<sub>2</sub>-GaN 的浮栅结构晶体管集成了光电传感和突触模拟功能。为下一代人工视觉感知系统的发展提供途径，对于未来追求高性能的人工神经形态应用具有借鉴意义。

### D38-P09

#### 动态压力和速率依赖的力致发光响应及其潜在应用

王毫<sup>1,\*</sup>

1. 北京高压科学研究中心

力致发光 (ML) 是一种借由外部刺激 (诸如压缩、拉伸、摩擦等) 将机械能转换为光发射的饶有趣味的现象，因其于应力传感、成像、照明、生物成像、防伪以及可穿戴设备等诸多领域的潜在应用而备受愈发广泛的关注。然而，鉴于多方面因素的限制，实现高效的 ML 依旧颇具挑战性。与之前通过调节浓度、掺杂发光离子的类别或者在常规 MPa 压力范围内合成新的主体材料以提升 ML 性能的研究有所不同，我们运用先进的动态金刚石对顶砧以及微秒时间分辨荧光方法，对过渡/镧系金属掺杂 ZnS 及其衍生物在 GPa 压力范围内于不同压缩速率下的 ML 行为展开了研究。从环境压力至 12 GPa 的压缩过程中 ZnS:Mn 的 ML 呈现出从黄色到深红色的颜色变化，并且在压力和速率依赖的 ML 发射效率方面呈现出火山形状

态, 在约 3.5 GPa 和 211.1 GPa/s 时具备最优发光效率, 这要比在 MPa 范围和慢加载下所测得的至少高出三个数量级。分析结果显示, 在高压状态下, 主体晶格与发光离子之间存在着较强的相互作用, 同时伴有 Mn 离子能级以及晶体压电场的显著变化。这致使 GPa 范围内的 ML 效率和发射颜色均具有极大的可调节性。在循环压缩/卸压过程中的机械到光转换中表现出可再生的光发射, 并且 ML 行为能够在微米尺度上加以操控, 这意味着其在动态压力可视化和多色显示方面具有广阔的应用前景。

### D38-P10

#### 基于全 vdW 铁电场效应管的感存算一体化人工视觉系统

王鹏<sup>1</sup>, 许小红<sup>1,\*</sup>

1. 山西师范大学磁性分子与磁信息材料教育部重点实验室

人工智能的发展和應用促使研究者开发集成传感、存储和计算功能的低功耗、紧凑型神经形态智能信息处理系统。二维范德华材料具有丰富的储层, 可根据功能进行任意堆叠并可实现器件尺寸的持续缩小, 为不断促进人工智能的发展提供了一种极具吸引力的选择。本研究设计了基于 SnS<sub>2</sub>/h-BN/CuInP<sub>2</sub>S<sub>6</sub> 的全二维铁电场效应晶体管, 并利用光诱导铁电极化反转实现了优异的存储特性和多功能传感-存储-计算融合的视觉模拟。该器件表现出高于 10<sup>5</sup> 的电流开关比、优异的电流保持特性 (>10<sup>4</sup> 秒)、稳定的循环耐久性 (>350 次) 和 128 个多级电导状态 (7 位)。器件成功模拟了基本的突触可塑性功能, 包括配对脉冲促进、短期可塑性、长期可塑性、长期增强和长期抑制等。同时, 基于光电协同作用演示了类视网膜光适应性和巴甫洛夫条件反射行为。利用非线性光学响应和多态存储特性构建了铁电储备池计算系统, 手写字母识别准确率高达 93.62%。本工作为开发高性能多级存储和集传感-存储-计算于一体的新型神经形态视觉系统提供了一种策略。

### D38-P11

#### 番茄生长用 SrMg<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Al<sub>10</sub>O<sub>17</sub> 红色发光材料的制备及性能研究

张泽宇<sup>1</sup>, Takatoshi Seto<sup>1,\*</sup>, 王育华<sup>1,\*</sup>

1. 兰州大学

植物的光合作用和光形态的构建离不开植物可吸收的红光和近红外光, 优异的 600-700 nm 的红光发射可促进大部分叶绿素 a 和全部的叶绿素 b 分子的光吸收和光运输。为了满足植物生长在自然条件下对红光的需求量, 需要人造光源作为补充光源, 但目前广泛使用的 LED 植物灯存在着照射范围小, 配套设备昂贵等问题。本文使用 Mn<sup>4+</sup> 作为激活剂离子, 通过高温固相法合成制备了一系列新型的 SrMg<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Al<sub>10</sub>O<sub>17</sub> 红色荧光粉, 通过 X 射线衍射、电子扫描显微镜、X 射线能谱仪、紫外可见吸收光谱等表征手段详细对荧光粉的物相结构、形貌特征、发光性质等机理开展研究。

#### 参考文献

- [1]. Bailey-Serres J, Parker J E, Ainsworth E A, et al. Nature, 2019, 575(7781): 109-118.
- [2]. GOLODKOVA, Lepaev L N, Dmitriev A F, et al. AU565143B2. 1987.
- [3]. Zhang, Xiaodan, et al. Energies 13.5 (2020): 1108.

关键词: Mn<sup>4+</sup> 荧光粉; 光致发光; 植物生长

### D38-P12

#### 硅基太阳能电池用无机荧光粉研究

王杜希平<sup>1</sup>, Takatoshi Seto<sup>1,\*</sup>, 王育华<sup>1,\*</sup>

1. 兰州大学

21 世纪是高速发展的世纪,随着工业技术等领域的发展,环境问题逐渐成为国家社会关注的重中之重。为实现双碳目标,发展清洁能源是最有效的方向之一。其中,太阳能发电更是增速显著。目前,商用的太阳能电池以硅基太阳能电池为主。近年来其光电转换效率已提高到 26%[1],但太阳能电池的吸收光谱与太阳光谱失配问题尚待解决:硅基太阳能电池近紫外到蓝光波段吸收较弱,这限制了硅基太阳能电池的光电转化效率的进一步提升[2]。本文围绕无机荧光粉提升硅基太阳能电池光电转换效率进行了研究: $\text{K}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{SrMgWO}_6:\text{Mn}^{4+}$ 体系荧光粉在近紫外到蓝光范围有较高吸收,同时红光到近红外范围的发射光谱与太阳能电池用光转换材料有着较高的匹配。采用聚合络合法制备获得  $\text{K}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{SrMgWO}_6:\text{Mn}^{4+}$  荧光粉与 EVA 结合,成功将硅基太阳能光转换效率提升。

#### 参考文献

[1] Solar Power Europe, Global Market Outlook for Solar Power 2022–2026.

[2] Richards B S. Enhancing the performance of silicon solar cells via the application of passive luminescence conversion layers[J]. Solar energy materials and solar cells, 2006, 90(15): 2329-2337.

关键词: 太阳能电池; 光转换材料;

#### 仅发表论文

#### D38-PO01

### 超薄非铅卤化物钙钛矿制备及光电性能研究

丁东<sup>1</sup>, 刘洪亮<sup>1,\*</sup>

1. 烟台先进材料与绿色制造山东省实验室

具有二维形貌的超薄非铅卤化物钙钛矿具有优异的光电性质和稳固的环境稳定性,然而受限于合成卤化物钙钛矿过程中较快的结晶速度和三维成键特性,制备超薄非铅卤化物钙钛矿单晶仍然具有挑战。本文利用反溶剂介导的快速结晶法合成出具有毫米级横向尺寸的 Bi 基卤化物钙钛矿单晶薄片,通过调节反溶剂类型和比例,实现了产物的形貌和尺寸的有效控制,且超薄单晶的光电性能较传统方法合成出的多面体晶体有了较大提高。本研究丰富了卤化物钙钛矿晶体生长动力学机制,为后续其它卤化物钙钛矿的形貌控制和定向生长提供指导。