

论坛五：二维半导体材料论坛

分论坛主席：何军 王荣明

05-01

叠层二维单晶原子制造

张志斌, 刘开辉

北京大学物理学院, 北京市海淀区成府路 209 号, 100871

二维材料以其种类丰富、结构稳定、性能优异的特点引起了广泛的研究热潮, 但目前的研究主要关注二维材料单层的制备技术和性质。叠层二维材料不仅集成了单层的优异性能, 同时还表现出超越单层的新奇材料物理特性, 例如摩尔关联电子态、自旋谷劈裂效应、铁磁与反铁磁相变以及奇异铁电极化等。叠层二维单晶材料的可控原子制造是研究其新颖性质并探索其高端应用的关键前提。在这个报告中我将介绍本课题组在该领域的近期研究进展, 包括界面调控米级二维单晶制造以及十万层单晶石墨连续外延制备等。发展的材料和技术有望应用于电子器件、声学器件、光电催化、热管理工程等领域。

关键词: 叠层; 二维材料; 单晶制备

参考文献:

Wu M., Zhang Z.B., Xu X., Zhang Z.H., et al. Nature 2020, 581: 406.

Zhang, Z.B.; Ding M.; Cheng T.; et al. Nat. Nanotechnol. 2022, 17: 1258.

05-02

Stacking-Controlled Growth of rBN Crystalline Films with High Nonlinear Optical Conversion Efficiency up to 1%

Jiajie Qi, Chenjun Ma, Quanlin Guo, Chaojie Ma, Zhibin Zhang, Fang Liu, Xuping Shi, Li Wang, Mingshan Xue, Muhong Wu, Peng Gao, Hao Hong, Xinqiang Wang, Enge Wang, Kaihui Liu* and Can Liu*

Nonlinear optical crystals lie at the core of ultrafast laser science and quantum communication technology. The emergence of two-dimensional (2D) materials provides a revolutionary potential for nonlinear optical crystals due to their exceptionally high nonlinear coefficients. However, uncontrolled stacking orders generally induce the destructive nonlinear response due to the optical phase deviation in different 2D layers. Therefore, conversion efficiency of 2D nonlinear crystals is typically limited to less than 0.01% (far below the practical criterion of >1%). Here, we controllably synthesize crystalline films of rhombohedral boron nitride (rBN) with parallel stacked layers. This success is realized by the utilization of vicinal FeNi (111) single crystal, where both the unidirectional arrangement of BN grains into a single-crystal monolayer and the continuous precipitation of (B, N) source for thick layers are guaranteed. The preserved inversion asymmetry in rBN films keeps the in-phase second harmonic generation field in each layer and leads to a record-high conversion efficiency of 1% in 2D material family within the coherence thickness of only 1.6 μm . Our work provides a route for designing ultrathin nonlinear optical crystals from 2D materials, and will promote the on-demand fabrication of integrated photonic and compact quantum optical devices.

05-03

二维半导体材料及其范德华异质结的生长制备与物性研究

丛春晓

复旦大学信息科学与工程学院

二维半导体材料因其超薄原子层厚度特性,不仅可有效抑制器件沟道尺寸缩小带来的短沟道效应,而且有利于器件在纵向高密度集成,是突破尺寸极限,实现下一代高性能电子器件的变革性材料。本报告以二维半导体及其异质结为材料基础,主要介绍二维半导体材料及其异质结的生长制备及其物性研究。通过结合衬底预处理工艺与化学气相法,生长制备出高质量二维半导体材料及其异质结,通过拉曼/发光光谱等光学手段和原子尺度的测量手段实现对二维半导体材料及其异质结的物理性质的研究和精确表征。这些研究对促进二维半导体材料的发展和应用具有极为重要的理论和实验指导意义。

05-04

面向可见与近红外光通信的高速 TMDCs 肖特基二极管

张有为 1,*¹, 湛望 1, 吴苏 1, 汤唯佳 1, 舒衍涛 1, 马衍衍 1, 张卜天 1, 周鹏 2,*², 王顺 2,*²

1 华中科技大学, 物理学院, 精密重力测量国家重大科技基础设施, 基本物理量测量教育部重点实验室, 引力与量子物理湖北省重点实验室, 武汉 430074

2 复旦大学, 微电子学院, 专用集成电路与系统国家重点实验室上海, 200433, 中国

*Email: youweizhang@hust.edu.cn

由于原子级的超薄厚度,过渡金属硫族化合物(TMDCs)基光电探测器的发展需要不同于传统半导体器件结构的设计。基于 WSe₂, MoTe₂ 和 WS₂ 三种不同的 TMDCs 材料,我们实现了一种场诱导的肖特基势垒光电二极管。由于高 κ 介电层的高栅控效率,金属接触处的肖特基势垒被外部偏置有效地调制,产生了具有高电流开关比的强二极管型整流特性。WSe₂ 光电二极管具有 0.17 A/W 的光响应度与 112 dB 的线性动态范围,并具有 8 ns 快速响应时间。当该快速 WSe₂ 器件用于可见光通信数据连接时,实现了最大 110 Mbps 的实时数据传输速率。同时,利用场诱导 MoTe₂ 肖特基势垒光电二极管作为光传感器,实现了最大数据传输速率为 30 Mbps 的红外光通信。这项工作为基于 TMDCs 的光电探测器提供了一种通用、可控以及 CMOS 兼容的制造策略。

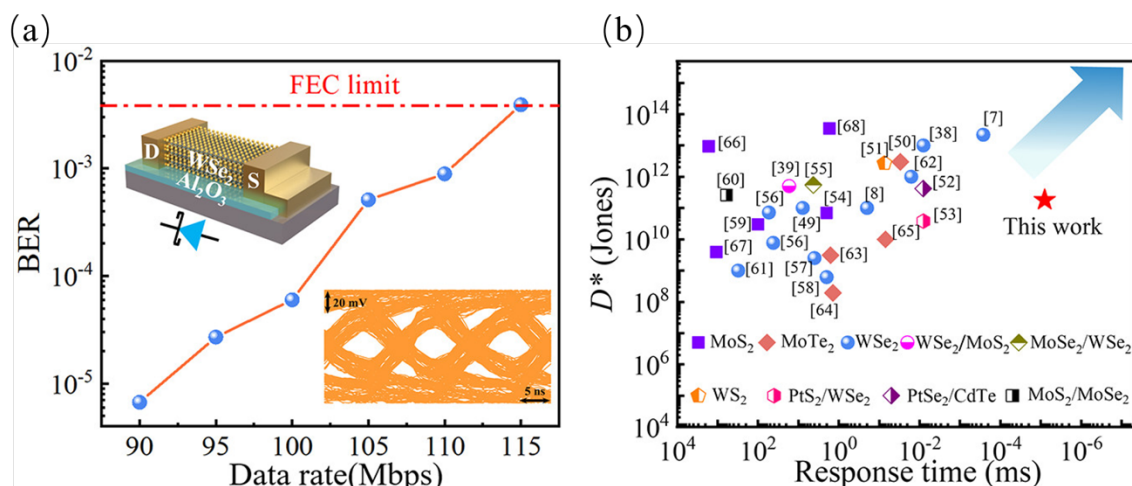


图1 (a) 通信误码率随数据传输速率变化的曲线, 红色短划线表示通过前向纠错实现可靠通信所允许的最大误码率值, 左上角插图为器件结构示意图, 右下角插图为80 Mbps传输速率下的眼图; (b) 基于TMDCs的光电探测器的比探测率和响应时间的对比[1]。

关键词: 过渡金属硫化物; 肖特基二极管; 光通信

参考文献

- [1] Youwei Zhang*, Wang Shen, Su Wu, Weijia Tang, Yantao Shu, Kankan Ma, Butian Zhang, Peng Zhou*, and Shun Wang* **ACS Nano** **2022**, **16** (11): 19187.

High-speed transition-metal dichalcogenides based Schottky photodiodes for visible and infrared light communication

Youwei Zhang^{1,*}, Wang Shen¹, Su Wu¹, Weijia Tang¹, Yantao Shu¹, Kankan Ma¹, Butian Zhang¹, Peng Zhou^{2,*}, Shun Wang^{1,*}

¹MOE Key Laboratory of Fundamental Physical Quantities Measurement & Hubei Key Laboratory of Gravitation and Quantum Physics, PGMF and School of Physics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, P. R. China.

²State Key Laboratory of ASIC and System, School of Microelectronics, Fudan University, Shanghai 200433, China

*Email: youweizhang@hust.edu.cn

Due to their atomically ultrathin thickness, the development of high-performance transition metal dichalcogenides (TMDCs) based photodetectors demands device designs distinct from architectures adopted in conventional bulk semiconductor devices. Here, we demonstrate a field-induced Schottky barrier photodiode with three different TMDCs materials WSe₂, MoTe₂ and WS₂. Owing to the high gate efficiency of high- κ dielectric film, the Schottky barrier at metal contacts is effectively modulated by external bias, giving rise to a strong diode-like rectifying characteristics with high current on/off ratio. The WSe₂ photodiode shows a linear dynamic range of 112 dB, a responsivity of 0.17 A/W and response time of 8 ns. When this fast WSe₂ device is employed to visible light communication data link, a maximum real-time data transmission rate of 110 Mbps is achieved. Meanwhile, infrared light communication was also realized with a maximum data rate of 30 Mbps using field-induced MoTe₂ Schottky barrier photodiode as light sensor. This work provides a general CMOS compatible and controllable fabrication strategy for TMDCs based photodetectors.

05-05

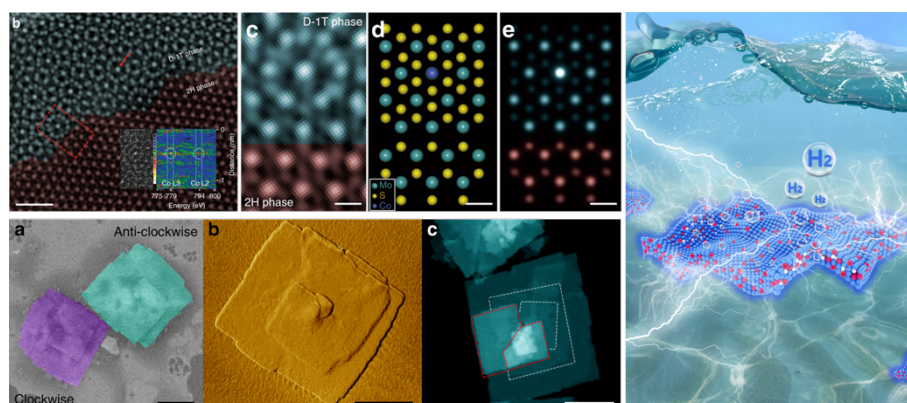
亚稳态二维析氢催化材料的设计与应用

崔小强*

吉林大学，长春，中国，130012

xqcui@jlu.edu.cn

氢能综合利用是当前国际研究热点，也是实现国家“碳达峰、碳中和”目标的关键技术。报告人立足于亚稳态二维析氢催化材料的精准构筑与构效关系解析，提出“氢”原子稳定金属烯[1]、应力诱导相变[2]、莫尔超晶格金属卤氧化物[3]等创新思路，针对性解决难溶合金形成焓高、金属硫化物本征活性低稳定性差、金属卤氧化物带隙宽和载流子寿命短等核心问



题，成功获得系列高活性和高稳定性的电/光催化分解水产氢材料，为高效析氢催化剂研究提供新思路、新机制、新方法。

图 1. 亚稳态二维析氢催化材料

参考文献

1. J. Fan, Z. Cui* et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 5710; *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 3645.
2. K. Qi, X. Cui* et al., *Nat Commun.* **2019**, *10*, 5231; J. Wu, X. Cui* et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, *61*, e2022075;
3. L. Liu, X. Cui* et al., *Nat Commun.* **2019**, *10*, 4472; X. Ruan, X. Cui* et al., *Adv. Mater.* **2023**, *35*, 2209141

05-06

Monitoring and engineering the interface interaction of WS₂-substrate through high-temperature in-situ Raman technology

Yue Xiaofei¹, Cong chunxiao^{1,*}

¹State Key Laboratory of ASIC & System, School of Information Science and Technology, Fudan University, Shanghai 200433.

*Email: cxcong@fudan.edu.cn

Two-dimensional (2D) materials especially the family of transition metal dichalcogenides (TMDs) has attracted giant attention owing to their superior physical properties and promising potential applications. The sustainable progress of 2D TMDs prompts extensive interests in developing the advanced electronic and optoelectronic devices, such as transistors, photodetectors, etc. With few exceptions, the fundamental investigations or device fabrications are inseparable with the support of the substrates, which offer an effective protection for 2D TMDs with a fragility feature due to their atomic thickness. However, the introduction of substrates may result in an obvious variation of the intrinsic nature of 2D TMDs through doping, straining and dielectric screening effect, etc. Therefore, the TMD-substrate interaction plays a crucial role in exploring the novel physics and optimizing device performances. The Raman and photoluminescence (PL) spectroscopy have been widely employed to study the interaction between 2D materials and substrates. However, there are still some ambiguities in understanding such interface effect due to the lack of a direct targeting technology that is highly sensitive to 2D TMD-substrate interaction. Herein, we develop the high-temperature in-situ Raman technology to systematically investigate the WS₂-substrate interaction through monitoring the low-wavenumber Raman mode. With the assistances of PL and AFM measurements, the interlayer distance and interlayer impurity molecules are demonstrated to have a significant impact on the interface interaction. What's more, by combining the in-situ high-temperature annealing and rapid cooling technologies, we have successfully realized the resultful regulation of the interface interaction between WS₂ and substrates. Our results not only suggest the feasibility that the low-wavenumber Raman mode could be used as an indicator to monitor the sample-substrate interaction in 2D TMDs, but also develop a convenient method to regulate the interface interaction, which contributes important guiding significance for the design of high-performance devices.

05-07

低维金属铋基化合物中的谷电子学

梁佳, 复旦大学, jialiang@fudan.edu.cn

摘要: 谷电子器件由于具有处理速度快、存储密度高、能耗低、非易失性等优点, 在下一代电子器件的信息存储和传递中具有重大发展前景。半金属铋的体相材料制备相对容易, 被认为是一类有望发展的谷电子材料, 然而由于这些谷的简并度较高, 谷极化的载流子在这种情况下难以调控与探测。为了解决以上问题, 我们提出在半金属铋基化合物 $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{I}_9$ 中实现谷自由度的调控。这是一种全新的谷材料体系, 避免了半金属铋简并度较高问题的同时, 突破了传统二维金属硫族化合物仅在单层薄膜中存在谷载流子的束缚, 实现了可以在较高温度下对谷载流子进行调控与探测的目的, 为推动谷电子学的应用奠定构筑材料和调控机制的重要基础。

关键词: 铋基化合物; 二维材料; 谷电子学

参考文献:

[1] Jia Liang, et al. submitted.

05-08

大面积二维材料的晶体学快速表征

柳鹏, 姜开利, 范守善

清华大学物理系, 北京 100084

通讯作者邮箱: pengliu@tsinghua.edu.cn

针对当前二维材料研究中大面积高质量材料合成的问题, 我们设计开发了一套能够快速表征得到大面积二维材料晶体学特征的方法和设备, 利用二维材料的电子易于透过和容易观察到衍射的特点, 可以实现在一张电子衍射成像图片中对于厘米量级尺寸样品的晶向及其组成进行表征。相比较商用的选区电子衍射以及低能电子衍射, 该方法具有非常高的表征效率。由于该方法采用的电子束能量仅为百电子伏到千电子伏, 该方法还适合于研究二维材料表面的吸附现象。我们采用这套方法观察到了一种独特的链状结构, 并与第一性原理计算进行了比对。我们还研制了一套具有优异性能的表征设备, 已经为多种不同类型的大面积二维材料完成表征工作。

关键词: 石墨烯; 低能量电子衍射; 成像; 晶体学表征

05-09

二维半导体异质界面结构原位表征与光电器件应用

孙颖慧

北京科技大学

*Email: yhsun@ustb.edu.cn

报告摘要: 以二维过渡金属硫族化合物为代表的二维半导体, 由于具有原子级光滑表面、纳米级厚度、特殊的能带结构, 以及独特的电学、光学、磁学和力学特性, 成为实现更高集成度、更低功耗的下一代信息器件的候选材料之一。在基于二维半导体及其异质结的电子器件和光电器件中, 界面的设计制备和原子级表征是研究的关键。其中二维半导体与金属和栅极介电层的界面原子构型、界面相互作用, 对器件性能有决定性的影响。我们的研究聚焦在金属/二维半导体、介电氧化物/二维半导体异质界面的设计构筑、原位结构演化和光电性能优化方面, 在原子尺度揭示界面结构、界面相互作用与材料性质和器件性能的关联和物理机制, 为基于二维半导体异质结构的器件研制及其在光电领域的应用提供实验基础。

参考文献:

[1] Y. D. Cao, Y. H. Sun*, H. H. Yang, et al., Nano Lett., 2023, 23: 1211

[2] C. Y. Li, Z. J. Wang, Y. H. Sun*, J. Li*, K. Liu* et al., Nat. Commun., 2022, 13: 3338

- [3] H. Y. Ye, F. Yang, Y. H. Sun*, et al., Small Methods, 2022, 6: 2200171
[4] B. X. Liu, Y. H. Sun*, Y. H. Wu, et al., Nano Res., 2021, 14: 982
[5] Y. H. Sun, H. F. Zhao, D. Zhou, et al., Nano Res., 2019, 12: 947

05-10

MXene-based Flexible and Wearable Electronics for Personal Healthcare Monitoring

G.C. Shan^{1,*}, R. Qin¹, W. Fan¹, X. Li¹, J.C. Li², S. Ramakrishna^{2,b*}

(¹ School of Instrumentation and Optoelectronic Engineering & Beijing Advanced Innovation Center for Big Data-based Precision Medicine,

Beihang University (北京航空航天大学), Beijing 100191, China

² Department of Mechanical Engineering & Circular Economy Taskforce, National University of Singapore (新加坡国立大学), Singapore)

*Email: gcshan@buaa.edu.cn, bEmail: seeram@nus.edu.sg

Flexible electronics have been receiving tremendous attention due to its highly flexible and stretchable and highly sensitive characteristics. On one hand, flexible MXene-based composite films have developed rapidly in recent years due to the advantages of highly sensitivity, lightweight and high tensile strength. Taking advantage of the high conductivity of MXenes and the porous structure of polyvinyl butyral (PVB), we have fabricated a highly sensitive piezoresistive sensor with a wide detection range (~ 31.2 Pa to ~ 2.205 MPa), low detection limit (6.8 Pa), low detection voltage (0.1 mV), low power consumption ($\sim 3.6 \times 10^{-10}$ W), fast response time (~ 110 ms) and good mechanical stability (over 10 000 maximum-pressure cycles). Meanwhile, MXene-based textile electronics are of great promising wearable device due to their potential applications in personal healthcare and human-machine interface (HMI) for artificial intelligence, which are yet generally hindered by the long response time and absence of signal details. And a novel MXene-based textile pressure sensor has also been fabricated by assembling MXene into the scuba knit with a hollow structure. Furthermore, a personalized smart health monitoring system integrated with the MXene-based textile sensor was made to collect and analyze physiological signals from different people at multiple time periods, suggesting a new advance in wearable and textile applications for healthcare monitoring.

05-11

一维范德华 W_6Te_6 线中的关联物态观测与调控

邓京昊, 张晨栋

武汉大学物理科学与技术学院

*Email: dengjh@whu.edu.cn

报告摘要: 多体相互作用在一维体系的扮演着重要角色, 并会导致一系列新奇的关联量子态。因此, 确定一维体系中的电子基态对于理解其中的电子行为具有着重要的意义。我们通过分子束外延的方法, 制备了具有少根极限尺寸的一维范德华 W_6Te_6 纳米线及其阵列。通过结合扫描隧道显微镜与扫描隧道谱研究, 我们发现单根纳米线中的超窄带隙半导体特性, 而多根纳米线的范德华堆叠会关闭这一带隙, 使材料发生半导体-金属转变。进一步研究表明, 在近乎无缺陷与无序的纳米线阵列中, 其能谱特征表现为绝缘态, 并伴有皮米量级的周期性晶格畸变与电荷序, 表明了其 Peierls 型电荷密度波基态。无序态的出现会打破电荷序的长程有序, 使体系从绝缘态演化为无能隙态。幂律型的零偏压异常和准粒子干涉分析表明, 该无能隙态表现出一维 Tomonaga-Luttinger 液体的特征。通过针尖操控的纳米线折叠技术与

统计分析，我们进一步地演示了范德华堆叠对电荷密度波基态的抑制作用。这些研究表明，一维 W_6Te_6 线具有丰富的关联物态，并可以受到范德华堆叠与无序态的调控，是一个极有潜力的一维量子物态研究平台。

05-12

二维阻错晶格及电子平带研究

杜轶

北京航空航天大学 物理学院

*Email: yi_du@buaa.edu.cn

报告摘要：拓扑电子平带是一种有望实现包括超导、室温分数量子霍尔效应的新型电子态，由于其新奇的物理性质在近些年得到了广泛关注。理论预测，在强自旋轨道耦合的二维阻错结构中，电子波函数交叠引起的量子干涉可产生拓扑平带。本报告将介绍我们近期在二维阻错晶格构筑及电子平带探索的研究工作。在多种二维体系中通过层间旋转、表面化学吸附、层间结构控制等手段，实现了二维 Kagome 或者相似阻错势场，并观察到其对应的电子平带结构。在充分探索二维 kagome 材料制备和精确控制结构-电性耦合的基础上，再结合各种超高真空原位分析手段对所产生的 Kagome 阻错势场进行深入的分析和研究，探究其产生的拓扑平带的物理本质。利用掺杂元素与吸附原子/分子发展出多种电子平带的调控手段。我们期望通过这些工作为了解和调控拓扑平带量子特性奠定实验基础，并为在二维体系中实现拓扑电子平带提供可行的技术路线。

参考文献：

- [1] Li, Z.; et al, Sci. Adv. 2018, 4: eaau4511
- [2] Feng, H.; et al, Nano Lett. 2019, 20: 2537
- [3] Zhao, M.; et al, Nano Lett. 2021, 21:6117
- [4] Xi, Y.; et al, J. Am. Chem. Soc. 2022, 144:18887
- [5] Zhang, H. ; et al, Adv. Mater. 2023, 2301790
- [6] Zhong, J. ; et al, Nat. Commun. 2023, 14: 4964

05-13

前驱体调控制备高质量 BiOCl 转角同质结

冯丽萍

(西北工业大学材料学院)

*Email: lpfeng@nwpu.edu.cn

报告摘要：具有相近或相同晶格参数的二维材料通过转角堆叠后形成的莫尔超晶格体系是许多新奇物理现象的研究平台，例如非常规超导、莫特绝缘态、反常量子霍尔效应等。然而，目前通过机械转移法堆叠制备的二维材料转角体系存在因制备过程污染导致的界面耦合作用较弱的问题，导致二维材料转角堆叠体系无法形成理想的莫尔周期势，从而大大限制了二维材料转角体系的相关研究。因此，通过原位生长的策略制备具有有效界面耦合作用的二维转角同质结对于进一步探索莫尔超晶格相关科学问题具有重要意义。在本工作中，我们利用 BiOCl 不同晶面对水分子和氧气分子的吸附能差异。通过交替通入两种前驱体源的化学气相沉积策略制备了高质量 BiOCl 转角同质结，获得了具有不同转角和厚度的 BiOCl 同质结。第一性原理计算表明在二次成核阶段，极性水分子的吸附降低了 BiOCl 转角晶核的形成能，从而导致不依赖于螺位错形核机理的 BiOCl 二次转角生长。拉曼和低温光致发光谱表明原位生长的 BiOCl 转角同质结能够形成有效的莫尔周期势。

05-14

二维尖晶石型锰氧化物的相工程

冯小强

(武汉大学)

*Email: xqfeng@whu.edu.cn

报告摘要：二维铁磁有序，长期以来根据 Mermin-Wagner 定理被认为很难存在，已经在一些二维磁性晶体中观察到，如 CrI_3 ， $\text{Cr}_2\text{Ge}_2\text{Te}_6$ ， CrSe_2 和 CrTe_2 ，打开了探索磁传感和信息存储等新应用的大门。目前，大多数研究都集中在层状范德华磁性材料上，这种材料稳定性差，种类稀少。尖晶石氧化物具有良好的环境稳定性和丰富的磁性能。然而，各向同性键和紧密排列的非层状晶体结构使其二维生长具有挑战性，更不用说相工程。因此，迫切需要一种简便的方法来实现二维非层状铁磁半导体的相可控制备。在这里，我们首次报道了二维单晶尖晶石型金属氧化物的相控合成，并进一步证明了其铁磁性和半导体性质。(1) 为了突破上述限制，我们首次开发了一种范德华外延策略来合成相可控的高质量 Mn_3O_4 纳米片，所获得的四边形和六边形 Mn_3O_4 纳米片的厚度可以分别降低到 7.1 nm 和一个单胞厚度 (0.7 nm)。本文还首次系统地研究了相相关的微观结构和拉曼散射。(2) 磁性测量和理论计算揭示了一种典型的铁磁性半导体，表明二维 Mn_3O_4 在磁存储技术方面的潜力。(3) 得益于其超薄的几何结构，二维 Mn_3O_4 纳米片具有优异的紫外探测性能，具有 $0.126 \text{ pA/Hz}^{1/2}$ 的超低噪声功率密度、良好的探测比和快速的响应时间，优于其他大多数已报道的一维和二维紫外光电探测器。更重要的是，这种通用而简便的方法将对其他可调材料体系的相工程产生启发。

05-15

二维过渡金属碳化物/氮化物的光热性能研究

姜丽，郑烨锴

(中国计量大学)

*Email: lijiaang@cjl.edu.cn

报告摘要：光热转换是指入射光能被光热材料吸收，转化为热能并被进一步利用的能量转换过程。由于其具有高效率、空间和时间可控性等特点，在医学治疗中引起了极大关注。而光热转换效率与光热材料直接相关。二维过渡金属碳化物/氮化物 (MXene) 因其出色的电磁波吸收能力和局部表面等离子体共振效应，表现出优异的光热转换性能，在光能蒸汽发电和生物医学等各个领域得到应用。如其可作为一种优秀的抗菌材料，对细菌进行局部加热，以达到高效灭菌的目的。我们制备了不同的二维 MXene，如碳化钛 (Ti_3C_2)、碳化铌 (Nb_2C) 和碳化钒 (V_2C) 等，证明了二维纳米片具有近红外光 (NIR) 触发的高光热转换特性。抗菌实验证明所制备的二维材料对于常见的菌种 (如大肠杆菌，金黄葡萄球菌等)，或者不同耐药菌，都表现出十分优异的杀菌效率，体现出 MXene 光热杀菌的高效性和普适性。考虑到光热治疗中的激光最大允许暴露 (MPE，生物体所受的安全激光功率)，我们制备出了纸基 Ti_3C_2 ，以及通过冷冻干燥制备的 Ti_3C_2 ，极大的降低了光热转换所需的激光功率，使其能够在 MPE 之下有高效的高光热转换。此外，我们还发现 MXene 与金属材料复合，可以拥有 MXene 和该金属材料的优点，增强其光热性能。通过金纳米双锥与 Ti_3C_2 的复合，得到了优异的光热性能，而不同尺寸金纳米棒与 Ti_3C_2 复合，使得 Ti_3C_2 在第二个 NIR 生物窗口 (NIR-II) 也有了极强的光热转换能力，有利于其进行深层生物组织的光热治疗。将二维 MXene 复合入水凝胶体系，表现了良好的生物相容性，同时又能在较低功率实现的光热性能，有利于生物体伤口的高效光热抗菌治疗。

05-16

核壳异质结的构筑及光电探测性能研究

刘风景
(山东大学)

*Email: liufj@sdu.edu.cn

报告摘要: 由于径向界面的晶格失配问题, 生长高质量的核壳异质结构纳米线仍然具有挑战性。本研究利用硫族半导体的表面活性剂和非晶态性质, 开发了一种无晶格失配限制的 III-V/硫族核壳异质结构纳米线构筑策略。具体来说, 我们成功构筑了多种 III-V/硫族核壳异质结构纳米线, 这些纳米线具有可控的壳厚、组分和光滑的表面。得益于获得的高质量核壳异质结构纳米线, 在 I 型 GaSb/GeS 核壳异质结构纳米线中实现了波长依赖的双向光响应行为和可见光辅助红外光探测能力。此外, 与纯 InGaAs 纳米线相比, II 型 InGaAs/GeS 核壳异质结构纳米线的红外光探测能力显著增强, 其响应率和探测能力都提高了 2 个数量级以上。总之, 这项作为通过化学气相沉积方法构筑无晶格失配限制的核壳异质结提供了新的思路, 有助于下一代高性能光电子器件的发展。

05-17

二维范德华材料的界面工程和高温智能器件应用

刘锴*

清华大学材料学院, 北京 100084

*Email: liuk@tsinghua.edu.cn

报告摘要: 伴随着半导体产业开启亚 10 nm 节点时代, 现代信息技术和人工智能的高速发展使纳米电子器件在高度集成化的同时也面临复杂的使用环境。一方面, 纳米晶体管器件的高度集成化伴随着越来越集中的局域发热, 使器件常常工作在局部高温环境中; 另一方面, 在可穿戴电子器件、汽车电子和航空航天等领域, 纳米电子器件常常需要适应 125 °C 以上高温、高湿度等复杂的工作环境。因此, 发展耐受苛刻环境甚至极端环境的纳米电子材料和器件势在必行。由一维或二维纳米材料通过范德华界面作用形成的低维范德华薄膜材料, 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 MoS₂ 等低维范德华薄膜材料的界面性质研究、新型纳米异质结构制备以及新原理高温纳米电子器件应用等方面的探索工作。通过这些研究, 有望为高温等极端环境下新型纳米电子材料和器件的研发探索出新的思路。

05-18

磁性二维硫族化合物的合成与自组装

刘洋

复旦大学 材料科学系

*Email: liuyang_fd@fudan.edu.cn

报告摘要: 二维磁性材料因其新奇的特层数依赖物性而备受关注, 在高密度信息存储、高速运算等领域具有重大应用价值。其中, 二维碲化物因其丰富的电子和集合结构, 高居里温度和新奇的磁学性质尤其具有特色。然而, 大多数金属硫族化合物有多种亚稳态中间组分, 同一组分有不同的晶体构型, 这给定向设计合成磁性二维硫族化合物带来一定的困难。针对这一难题, 我们利用模板-离子交换法和配体工程策略, 设计并构造出一系列磁性二维硫族化合物纳米片。利用聚合物接枝的方法, 解决了各向异性磁性二维纳米片平面自组装结构调控的难题, 制备了手性孔状纳米三角架自组装结构, 有效地调节了超晶体薄膜中二维纳米片的间距、取向和排列方式, 为发展二维磁电器件提供了新思路。

05-19

二维材料的液相制备与光/电化学性能研究

祁 祥

(湘潭大学 物理与光电工程学院, 湖南 湘潭 411105)

*Email: xqi@xtu.edu.cn

报告摘要: 二维材料因其独特的结构特征展现出众多优异的性质, 在信息、能源、环境等领域应用广阔。二维材料的规模化高效可控制备是实现其应用开发的必要前提。基于层状母体材料的液相剥离方法以其高的制备效率和好的可操作性受到广泛关注; 同时, 在液相环境还极易通过一些经典的溶液方法将异质物质负载到二维材料表面, 为二维材料基异质结构合成提供了可行的实验方案。我们发展了一种通过锂离子插层/剥离工艺制备高质量少层二维材料的方法, 即首先将锂离子插入到层状材料的层间, 锂离子遇水体积迅速膨胀使得层状母体的层间距离增大, 摆脱范德瓦耳斯力的约束, 进而得到少层的二维材料; 这种方法普适性强, 能够用于制备 h-BN、金属硫属化合物、黑磷、铋烯等多种二维材料。同时, 以液相剥离获得的二维材料作为载体, 我们通过湿化学的方法成功合成了金属纳米颗粒/二维材料、半导体纳米颗粒/二维材料、量子点/二维材料等多种异质结构。将二维材料应用于光电探测和催化裂解水领域, 我们构建了一种基于光电化学电池构型的新型光电化学型光电探测器, 将二维材料作为光敏电极, 其表现出自供能的光响应特征和良好的稳定性; 通过优化电解质的浓度、以及构筑异质结构等方式有效提升了其光电探测性能。此外, 我们还开发了一些具有良好电催化裂解水性能的二维材料, 并提出通过减小二维材料的厚度来增加活性位点数目、构筑二维材料基异质结构来改善其导电能力和催化活性、引入外场(光场、磁场)等手段优化了其电催化性能。

05-20

低维半金属半导体接触

魏洋*

(清华大学物理系&清华-富士康纳米科技研究中心)

*Email: weiyang@tsinghua.edu.cn

报告摘要: 低维半金属半导体接触已经在二维半导体的电接触优化中显示出巨大潜力, 深入研究半金属半导体接触体系的界面行为, 开发新型高性能半金属接触具有重要科学意义。我们研究了半金属单壁碳纳米管(SWCNT)和石墨烯(Graphene)中的接触诱导的费米能级偏移(CIFS)及其电场调控行为, 发展了电阻率比方法和费米能级追击模型对CIFS进行了深入的测量和分析, 并修正了Schottky-Mott规则使其适用于半金属半导体接触。在此基础上, 我们进一步提出并构建了二维半导体的一维半金属接触, 将半金属单壁碳纳米管用做二维半导体的源漏电极, 实现了具有亚 2 nm 接触长度的场效应晶体管器件。这种混合维度半金属半导体接触可以在外部电场的调控下实现欧姆接触, 并且由纵向传输线模型测得的接触电阻说明碳纳米管是二维半导体的理想超短接触。半金属半导体接触对未来新型可重构器件的研究和电子器件的进一步小型化具有重要意义。

参考文献

- [1] Li, X.; Wei, Y.; Wang, Z.; Kong, Y.; Su, Y.; Lu, G.; Mei, Z.; Su, Y.; Zhang, G.; Xiao, J.; Liang, L.; Li, J.; Li, Q.; Zhang, J.; Fan, S.; Zhang, Y. Nat. Commun. 2023, 14: 111.
- [2] Li, X.; Wei, Y.; Lu, G.; Mei, Z.; Zhang, G.; Liang, L.; Li, Q.; Fan, S.; Zhang, Y. PNAS 2022, 119 (17): e2119016119.

05-21

低维纳米能源材料的可控制备及高效应用

夏田雨
(郑州大学)

*Email: tyxia@zzu.edu.cn

报告摘要：在“碳达峰、碳中和”的“双碳”背景下，“绿色低碳技术”关乎我国经济社会发展和科技战略进步，具有前沿性、革命性，同时又涉及众多交叉学科关键技术和基础科学问题。20 世纪 50 年代爆发的石油危机和环境问题（如全球变暖，雾霾天气等），让人们深刻意识到若不改变能源消费结构，必然导致能源和环境危机。在这种局势下，以新型绿色能源为代表的“绿色低碳技术”应运而生，人们寄希望于发展这种可持续供应的绿色能源来代替传统化石能源。在这些新型可持续能源中，低维纳米能源催化材料具有不可替代的位置和非常广泛的应用，能够催化其中的多种反应，常见的有氧还原 ORR，甲醇氧化 MOR，析氢反应 HER，析氧反应 OER，以及全水解等。本报告介绍了调控低维纳米材料微结构的几种方法，以提高其在能源领域的应用。

05-22

铋化物低维结构与光电器件

杨再兴
(山东大学)

*Email: zaixyang@sdu.edu.cn

报告摘要：铋化物被认为是继砷化物、磷化物、氮化物等 III-V 族体系获得巨大成功后的新的前沿方向。美、日、德等发达国家竞相开展相关研究，并从 2009 年起将铋化物半导体和器件列为出口封锁和垄断技术。在众多的铋化物中，铋化镓（GaSb）的带隙（0.72 eV）在近红外波段且具有 III-V 族半导体中最高的空穴迁移率（ $1000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ），被认为是实现新一代高性能红外探测器和高速集成电路中空穴组元的理想沟道新材料之一。低维化半导体光电材料是新一代信息材料研究的核心。将 GaSb 低维化为一维纳米线，一方面可以研发新一代高性能室温红外探测器，另一方面可以结构和演绎出全新的集成电路（后摩尔时代 Beyond Moore 的主要发展方向之一）。国内外众多的研究团队一直致力于高性能 GaSb 纳米线光电子器件的研发，然而，器件的性能仍受限于较低的空穴迁移率。首先，铋元素的“趋肤效应”会引起严重的侧表面无序生长，导致 GaSb 纳米线直径不可控，表面态丰富，迁移率低；其次，GaSb 纳米线的晶体结构丰富，极性各异，导致载流子散射作用、载流子浓度不可控，迁移率的均一性难以保证；最后，迁移率与光电探测性能的关联在实验上仍是空白。针对以上科学难题，杨再兴立足“精确控制铋元素趋肤效应”、“调控载流子输运性质”和“调控纳米线表面态”，长期致力于“铋化物低维结构与光电器件”的研究，旨在解决铋化物低维化成纳米线结构的过程中的众多物理难题，力争引领新一代超快红外探测技术和高速集成电路的发展。

05-23

表界面调控二维单晶形核生长研究

张智宏
新金属材料国家重点实验室，北京科技大学

*Email: zhzhang@ustb.edu.cn

报告摘要：二维材料由于具有极限薄的原子级厚度、表面平整无悬挂键、优越的光电功能特性、可通过任意堆垛构筑多功能异质结且兼容硅基互补金属氧化物半导体（CMOS）工艺等优势成为后摩尔时代电子材料的领跑者。二维电子材料走向实际应用所面临的首要问题就是实现器件的功能化与集成化，其前提条件是大面积高质量二维单晶的规模化制备。单晶

生长已经有上百年的历史，人们发展了各种生长方法，也逐渐建立了晶体生长理论。但是，已经建立的晶体生长科学与技术都基于传统体材料，而由于二维材料结构特异性，传统体单晶生长方法不完全适用于二维单晶生长，因此探索适用于二维材料的单晶制备方法具有十分重要的意义。我们采用化学气相沉积法，通过表界面工程调控材料形核、生长热力学及动力学过程，重点关注材料形核生长机制，发展二维材料形核生长有效调控手段，实现了大尺寸单晶金属衬底以及二维单晶的制备，推动二维单晶材料的制备与应用研究进程。

05-24

米级二维单晶原子制造

赵翀，刘开辉

松山湖材料实验室 轻元素先进材料与器件团队，广东省东莞市中子源路松山湖材料实验室，523000

摘要：随着芯片尺寸不断缩小，短沟道效应、热效应日趋显著，开发全新的量子材料体系以实现高性能芯片器件应用已成为当前科技发展的迫切需求。二维材料因其天然具备原子层厚度和平面结构，能够有效克服短沟道效应并兼容当代微纳加工工艺，非常有望应用于新一代高性能器件方向。二维材料芯片级器件应用必须基于高质量、大尺寸的二维单晶材料制造。因此，亟需发展新的制备策略以实现大尺寸、高质量的二维单晶原子制造。本海报将介绍本团队在表界面调控二维单晶大尺寸制备技术的最新研究进展，包括米级二维单晶原子制造技术及 12 英寸晶圆级二硫化钼制备技术等。相关研究为二维材料在未来规模化芯片器件方向的潜在应用提供关键支撑。

关键词：二维材料；单晶制备；晶圆级二硫化钼

05-25

聚合物诱导的“缓释效应”与“限域作用”对钙钛矿生长动力学的调控研究

周聪华*，林思远，吴书越，喻禧

（中南大学物理学院先进材料超微结构与超快过程研究所，超微结构与超快过程湖南省重点实验室，长沙，410083）

* Email: chzhou@csu.edu.cn

报告摘要：两步法（Two-step method）是钙钛矿薄膜生长的常用方法[1]。然而，离子盐与 PbI_2 之间的反应速率快，使得膜层出现针孔、多晶界、多缺陷等问题。针对该问题，报告人近期采用聚合物对钙钛矿生长动力学进行调控，发现：1，PAA 分子与离子盐之间存在的相互作用，诱导“缓释效应”（slow-release effect），延缓反应速率与钙钛矿结晶过程，提高钙钛矿结晶度。同时分子中的 CO 官能团可以钝化 Pb^{2+} 。利用该效应将平面 n-i-p 型 PSCs 的光电转换效率（PCE）从 $19.96 (\pm 0.41) \%$ 提升至 $21.84 (\pm 0.25) \%$ ，2D 分子辛基碘化铵（OAI）表面修饰后可将效率提升至 24.19%。[2]

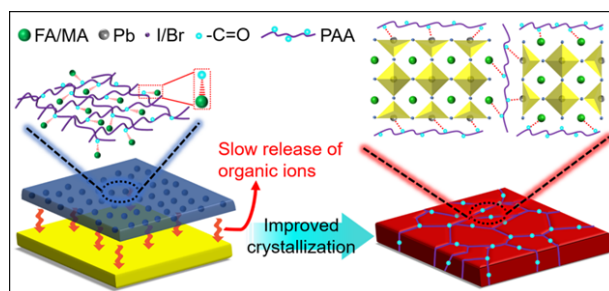


图 1. PAA 诱导的“缓释效应”示意图

2. 发现 PVP 对钙钛矿生长产生“限域作用”，遏制钙钛矿薄膜表面起伏度与粗糙度，将器件 PCE 从 $19.46 (\pm 2.80) \%$ 提高到 $21.50 (\pm 0.99) \%$ ，OAI 表面修饰可将效率提升至 24.11% ；同时提高薄膜与钙钛矿器件热稳定性。[3] 进一步研究发现，PVP 对 PbI_2 同样存在限域作用，该作用可降低反应势垒，改善钙钛矿结晶度，同时抑制离子移动。报告人同时将汇报在碳基钙钛矿太阳能电池中的研究进展。

关键词：缓释效应；限域作用；聚合物；生长动力学；稳定性；光电转换效率。

参考文献：

- [1] Xiao, Zhengguo; Huang, Jinsong*, et al., Efficient, high yield perovskite photovoltaic devices grown by interdiffusion of solution-processed precursor stacking layers. *Energy & Environmental Science*, 7(2014), 2619.
- [2] Lin, Siyuan; Zhou, Conghua*, et al. Improved crystallization of lead halide perovskite in two-step growth method by polymer assisted “slow-release effect”. *Small methods*, 7(2023), 2201663.
- [3] Wu, Shuyue; Zhou, Conghua*, et al. Improved Thermal Stability and Film Uniformity of Halide Perovskite by Confinement Effect brought by Polymer Chains of Polyvinyl Pyrrolidone. *Small*, 19(2023), 2207848.

05-26

低维材料的原子制造

杨阳，孔德男，周家东

北京理工大学，物理学院

*Email: jdzhou@bit.edu.cn

报告摘要：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_2 ， Cr_5Te_8 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-VS2 的原子制造，并基于该超结构实现室温内大反常霍尔效应。。

关键词：二维材料，化学气相沉积，原子构筑，磁性，超导

05-27

单质新原理开关器件

朱敏

中科院上海微系统与信息技术研究所

*Email: minzhu@mail.sim.ac.cn

报告摘要：三维相变存储器由存储单元与开关单元组成，已经成功地实现了商业化。为进一步提高存储密度，三维相变存储器需要极限微缩，不仅需要采用最先进的工艺，10 nm 甚至 5-3 nm 工艺，而且需要开关材料尽可能的组分简单，保持纳米尺度均匀性，在避免材料相引发的器件寿命缩短的同时，降低器件间的性能差异。通过系统地研究已发现的开关材料，溯本求源，发现了最简单的单质碲（Te）开关器件。单质 Te 开关器件的驱动电流密度超过 11 MA/cm²，与 Intel 的五元 OTS 相当，并具有速度快（<15 ns）、低漏导（~0.4 uA）、寿命长（>2×10⁸）等优点。“关态”时单质碲为半导体，和氮化钛电极形成~0.95 eV 肖特基势垒，降低了器件在关态的漏电流（~0.4 uA）；“开态”时单质碲处于熔融状态，是类金属，能够提供强大的电流驱动能力（见图 1）。该单质碲开关器件基于晶态-液态新型开关机理，与传统晶体管等完全不同，是一种全新的开关器件。单质碲具有原子级组分均一性，结构简单，可极度微缩，为海量三维存储芯片提供了新方案。该成果发表在国际顶尖 Science 杂志上（Science, 2021, 374, 1390），并入选 2022 年中国科学十大进展。

05-28

二维半导体光电探测性能增强研究

熊自仁

（武汉大学）

*Email: ZRXiong@whu.edu.cn

报告摘要：二维半导体因其独特的结构还有优异的物理性能，成为了最近的研究热点。二维半导体材料的带隙涵盖了可见光到红外的光谱范围，在新型的光电探测领域有着巨大的应用前景。如何充分利用光电转换机理，在器件性能和功能方面发挥二维半导体的优势，一直是研究人员重点关注的研究领域。本报告以研究二维 InPOCl 纳米片的光电探测器的光电性能，并利用退火和改变源材料的比例，来调控所生长的纳米片的质量，使器件在零栅压下获得了极低的暗电流，并且极大的提高了器件的灵敏度。