

空间光电技术发展中的低维半导体电子操控

陆卫

中国科学院上海技术物理研究所，上海，200083

Email: luwei@mail.sitp.ac.cn

半导体低维材料结构对电子操控为空间光电子器件发展不断提供着新的科学机理，同时将半导体电子操控与空间光电子技术结合可推动空间光电技术发展，其中典型工作包括：

1. 半导体量子阱结构中电子态和光场的操控有效提升了长波与甚长波红外焦平面器件性能，新型器件成为了空间红外观测技术向长波与甚长波红外发展的有效方案之一；

2. 半导体二维电子气的操控形成了高带外抑制的紫外焦平面器件，应用在我国海洋卫星后大幅提升了海洋卫星的观测动态范围；

3. 半导体量子点的操控突破了空间应用LED可靠性难题，LED器件在卫星上的成功应用使得我国空间照明从传统的气体放电技术跨越到半导体照明技术。

上述工作初步展示了半导体光电子器件对空间光电技术跨代发展的核心作用。

Ultralow Threshold Polariton Condensate in a Monolayer Semiconductor Microcavity at Room Temperature

Jiixin Zhao^{1#}, Rui Su^{1#}, Weijie Zhao¹, Wei Du¹, Xue Liu¹, Carole Diederichs^{2,3}, Timothy C. H. Liew^{1,2}, Qihua Xiong^{1,2*}

¹Division of Physics and Applied Physics, School of Physical and Mathematical Sciences, Nanyang Technological University, Singapore 637371

²MajuLab, International Joint Research Unit UMI 3654, CNRS, Université Côte d'Azur, Sorbonne Université National University of Singapore, Nanyang Technological University, Singapore

³Laboratoire Pierre Aigrain, Département de physique de l'ENS, Ecole Normale Supérieure, PSL Research University, Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 06, CNRS, 75005 Paris, France

*To whom correspondence should be addressed. Email: qihua@ntu.edu.sg

Monolayer transition-metal dichalcogenides (TMDs) possessing valley degree of freedom and robust exciton effect emerge as promising candidates for novel valleytronic and optoelectronic devices. Constrained by the fast intervalley scattering, excitons in monolayer TMDs can only sustain valley polarization at cryogenic temperatures. By coherently superimposing excitons and cavity photons, exciton-polaritons in monolayer TMDs have shown a persisting valley polarization up to room temperature, resulting from the enhanced radiative decay before valley depolarization. As half-light, half-matter bosonic quasiparticles, polariton can condense to a single quantum state with spontaneous coherence at low threshold, which is crucial for the development of quantum technology. Particularly, in the context of TMDs with unique spin and valley degree of freedoms, this opens up the possibility of exploiting valley polarized polariton-polariton interactions for novel valleytronic devices. Robust polaritons have been demonstrated even at room temperature, however, further progress is hindered by the lack of coherent polariton lasing and condensation in bare TMDs. Here, we demonstrate for the first time the realization of polariton condensation in a monolayer tungsten disulphide (WS₂) microcavity at room temperature. The WS₂ microcavity working in the strong coupling regime exhibits clear anticrossing behavior with a large Rabi splitting of 37 meV at room temperature. Polariton condensation and lasing with ultralow threshold around 0.5 nW (~ 0.12 W/cm²) is further achieved with a continuous-wave laser pumping, which is evidenced by the macroscopic occupation of the ground state, a nonlinear increase of the ground state emission and the build-up of long-range spatial coherence. The realization of room-temperature polariton condensation in a TMD paves the way for manipulating nonlinear polariton-polariton interactions and presents a critically important step towards the practical utilization of polaritonic devices with valley functionality at room temperature.

Toward “quantum supremacy” with single photons

Chao-Yang Lu

University of Science and Technology of China, Hefei, P.R. China

Quantum computers can in principle solve certain problems faster than classical computers. Despite substantial progress in the past decades, building quantum machines that can actually outperform classical computers for some specific tasks—a milestone termed as “quantum supremacy”—remained challenging. Boson sampling has been considered as an intermediate step for linear optical quantum computing, and a strong candidate to demonstrate the quantum computational supremacy.

The experimental challenge for realizing a large-scale boson sampling mainly lies in the lack of a perfect single-photon sources. In this talk, I will report two routes towards building boson sampling machines with many photons. In the first path, we developed parametric down-conversion two-photon source with simultaneously a collection efficiency of 97% and an indistinguishability of 96% between independent photons [PRL 121, 250505 (2018)]. With this, we demonstrate genuine entanglement of 12 photons, scattershot boson sampling, and Gaussian boson sampling. We also made efforts to generate efficient and indistinguishable entangled photons from quantum dots [PRL 122, 113602 (2019)].

In the second path, using a quantum dot-micropillar, we produced single photons with high purity (>99%), near-unity indistinguishability for >1000 photons, and high extraction efficiency—all combined in a single device compatibly and simultaneously [PRL 116, 020401 (2016)]. The highest-quality single photons allowed us to perform quantum interference with sunlight with 80% raw visibility, which proved the quantum nature of thermal light [PRL online 2019]. We developed bichromatic laser excitation [Nature Physics online 2019] and elliptical microcavities [Nature Photonics online 2019] to overcome the polarization filtering to create truly optimal single photon sources. We build few photon boson sampling machines which runs 5-7 orders of magnitudes faster than all the previous experiments [Nature Photonics 11, 365 (2017)]. Plan is to achieve boson sampling with 20-30 photons in the near term. More relevant papers can be found at <http://staff.ustc.edu.cn/~cylu>.

高性能、低功耗二维晶体管与集成技术

王欣然

南京大学电子科学与工程学院, 江苏南京, 210023

*Email: xrwang@nju.edu.cn

二维层状半导体具有超薄厚度, 可以最大限度的降低短沟道效应, 是后摩尔时代微电子器件的重要候选材料。然而, 高界面态和介质层沉积等界面问题限制了高性能、低功耗二维晶体管器件的发展。本报告将以过渡金属硫族化合物 MoS_2 为例, 介绍我们在二维电子器件方面的进展。首先, 发展了缺陷修复、介电屏蔽、有机分子修饰等一系列界面工程协同策略, 大幅度降低了 MoS_2 中的界面态, 将单层 MoS_2 晶体管的迁移率和电流密度分别提高至 $150\text{cm}^2/\text{Vs}$ 和 $450\ \mu\text{A}/\mu\text{m}$ 。其次, 利用单层有机分子缓冲层, 首次在二维材料上实现高质量 1nm 有效厚度的高 k 氧化物介质层, 其漏电流与硅基晶体管可以比拟, 在此基础上实现了 $\text{SS}=60\text{mV}/\text{dec}$ 、 $V_{\text{dd}}=0.8\text{V}$ 的低功耗 MoS_2 晶体管。最后, 我们还利用铁电 HfZrO_x 的负电容效应, 探索了 $60\text{mV}/\text{dec}$ 以下的超低功耗 MoS_2 晶体管器件。我们的系统研究表明二维半导体在高性能、低功耗晶体管器件应用方面存在巨大的潜力。

参考文献:

- Hao Qiu et al. Nature Communications **4**, 2642 (2013)
Zhihao Yu et al. Nature Communications **5**, 5290 (2014)
Yang Cui et al. Advanced Materials **27**, 5230 (2015)
Zhihao Yu et al. Advanced Materials **28**, 547 (2016)
Zhihao Yu et al. Advanced Functional Materials **27**, 1604093 (2017)
Zhihao Yu et al. IEDM 23.6.1-4 (2017)
Zhihao Yu et al. IEDM 22.4.1-4 (2018)
Ying Zhu et al. Advanced Electronic Materials, 1900554 (2019)
Weisheng Li et al. Nature Electronics, submitted (2019)

太赫兹波段硅基全介质超材料结构研究

何晓勇^{1,*}、彭君¹、张浩¹

¹ 上海师范大学 数理学院物理系, 上海市徐汇区桂林路100号, 200234

*Email: xyehethz@hotmail.com

摘要: 近年来为实现对太赫兹(terahertz, THz)波的有效操控, 超材料结构器件的发展非常迅速。但是金属超材料(metamaterials, MMs)由于存在较大的欧姆损耗, 导致器件共振谱线品质因子较低, 很难满足太赫兹技术在通讯、成像和生物样品检测等方面的需求。相比之下, 基于高介电常数材质的全介质超材料(all-dielectrics metamaterials, ADMs)体系具有损耗小和模式限制作用强等诸多优点。因此我们以Si 作为构成材质, 研究了全介质超材料的共振谱线传播特性, 考虑了微结构参数、构成材料掺杂浓度和石墨烯费米能级等因素的影响, 并与金属超材料结构进行了对比研究。研究表明全介质超材料的共振谱线很窄, 具有很高的品质因子, 可以达到60 以上, 优化因子(figure of merits)也在20 左右。相比于金属超材料体系, 全介质超材料结构的厚度较大, 至少在几个微米的量级。另外, 通过改变石墨烯的费米能级, 非对称结构ADMs 的Fano 共振谱线的幅值调制深度可以达到40%以上。

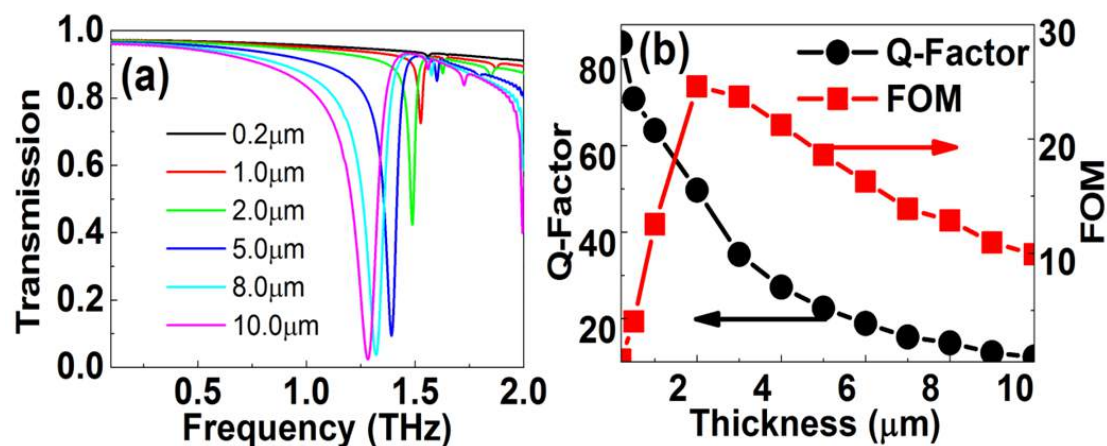


图1 太赫兹波段Si 基全介质超材料结构的共振谱线, 超材料的厚度分别为 0.2, 1, 2, 5, 8 和 10 μm 。Si 的掺杂浓度为。(b)

不同厚度下Si 基超材料结构共振谱线的品质因子和优化因子。

关键词: 太赫兹波, 超材料, 全介质, 品质因子

资助项目: 国家自然科学基金(61674106), 上海市浦江人才计划(15PJ1406500)。

【1】 C. G. Wade, N. Sibalic, N. R. de Melo, J. M. Kondo, C. S. Adams, and K. J. Weatherill, "Real-time near-field terahertz imaging with atomic optical fluorescence," *Nat. Photonics* 2017, 11(1), pp. 40–43.

【2】 Z. Zhou, T. Zhou, S. Zhang, Z. Shi, Y. Chen, W. Wan, X. Li, X. Chen, S. N. Gilbert Corder, Z. Fu, L. Chen, Y. Mao, J. Cao, F. G. Omenetto, M. Liu, H. Li, and T. H. Tao, "Multicolor T-Ray imaging using multispectral metamaterials," *Adv. Sci.* 2018, 5(7), p. 1700982.

【3】 X. Y. He, F. T. Lin, F. Liu, and W. Z. Shi, Graphene patterns supported terahertz tunable plasmon induced transparency, *Nanotechnology* 2018, 29(48), p.485205.

表面缺陷对 G/CdSe 复合材料协同非线性特性的调控与机制研究

朱宝华、王芳芳、顾玉宗

河南大学物理与电子学院, 开封 475000

Email: bhzhu@henu.edu.cn

摘要: 与石墨烯(G)单体不同, 石墨烯基复合纳米材料存在着协同效应, 大大增加其光学非线性。由于大的表面积-体积比, 表面态对调节石墨烯基纳米材料的协同效应非常重要^[1]。本文中, 我们研究了石墨烯表面缺陷态密度与 G/CdSe 杂化复合纳米材料的协同非线性光学效应之间的关系。结果表明, 在 30ps 脉冲 532nm 波长的激光激发下, 随着表面缺陷态密度的减少, G/CdSe 材料的非线性吸收从双光子吸收向饱和吸收转变(图 1a), 并且其三阶非线性极化率随表面缺陷态密度的减少先增加后减小^[2-4]。理论计算与分析表明, 其非线性协同效应的增加主要源于局域场和电荷转移效应, 而减小主要归因于 sp^3 和 sp^2 之间的转变以及 sp^2 之间逐渐形成的互联和增加的表面缺陷态密度对协同效应的减弱(图 1b)。我们的研究结果不仅为深入认识石墨烯基材料表面态特性提供了实验和理论支持, 而且还补充了前人实验研究中对表面动力学微观机制的解释。

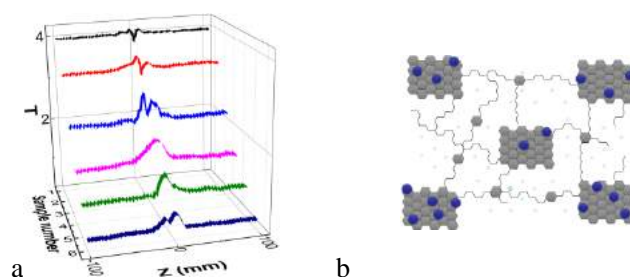


图 1 (a) 不同表面态 G/CdS 的开孔 Z 扫描曲线, (b) sp^2 与 sp^3 示意图

关键词: G/CdSe 复合材料, 光学非线性, 表面缺陷态密度, 协同效应, 光诱导偶极矩, 固有偶极矩

参考文献:

- [1] Zhu Baohua, Gu Yuzong, *et al.*, Nonlinear optical enhancement induced by synergistic effect of graphene nanosheets and CdS nanocrystals, *Appl. Phys. Lett.* 2016, 25, 252106.
- [2] Zhu Baohua, Gu Yuzong, *et al.*, Oxygen-containing-defect-induced synergistic nonlinear optical enhancement of graphene/CdS nanohybrids under single pulse laser irradiation, *Photonics Research*, 2018, 6, 1158-1169.

- [3] Zhu Baohua, Gu Yuzong, *et al.*, Surface oxygen-containing defects of graphene nanosheets with tunable nonlinear optical absorption and refraction, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2018, 20: 27105-27114.
- [4] Baohua, Zhang Jiayu, Cui Yiping, *et al.*, Size confinement and origins of two-photon absorption and refraction in CdSe quantum dots, *Optics Express*, 2019, 27, 1777-1785.

基金项目：感谢国家自然科学基金项目（NO. 61404045, U1404624, 61875053）对本工作的资助。

380K 居里温度的二维铁磁材料

修发贤

复旦大学物理系, 上海, 200433

Email: Faxian@fudan.edu.cn

摘要: 近期, 二维铁磁材料由于其在低维磁性研究和自旋电子器件应用的前景引起了广泛关注。对于二维铁磁材料, 如何获得大面积、高质量的原子晶体是极为重要的。这里, 我们通过分子束外延生进行了二维铁磁薄膜 Fe_3GeTe_2 (FGT) 的晶圆生长, 研究了磁性对薄膜厚度的依赖关系, 并且通过控制 Fe 的组成和 Fe_3GeTe_2 与反铁磁材料的超晶格结构来调控 FGT 的磁性。由材料的反常霍尔测量得到材料的易磁化轴沿 c 轴方向, 为面外方向, 8-nm-FGT 居里温度为 216.4 K【1】。随着样品厚度的减小, 居里温度降低, 四层 FGT 的居里温约为 140 K。在四层 FGT/CrSb 组成的超晶格样品中, 研究发现随着超晶格周期的增加, 居里温度增大, 在 10 个 FGT/CS 周期的样品中, 居里温度约为 230 K, 增幅高达 90 K。在磁性测量过程中, 我们发现超晶格的反常霍尔和磁滞回线均呈现出双台阶现象, 且该现象受超晶格周期及 FGT 厚度调控【2】。进一步地, Fe 掺杂的 10-nm-FGT 居里温度可提高至 320 K; 同时, 我们在 FGT 的另外一个晶体结构中发现了高达 380K 的居里温度【3】。大规模逐层生长和可操控磁性使 Fe_3GeTe_2 有望应用于未来电子器件的研究。

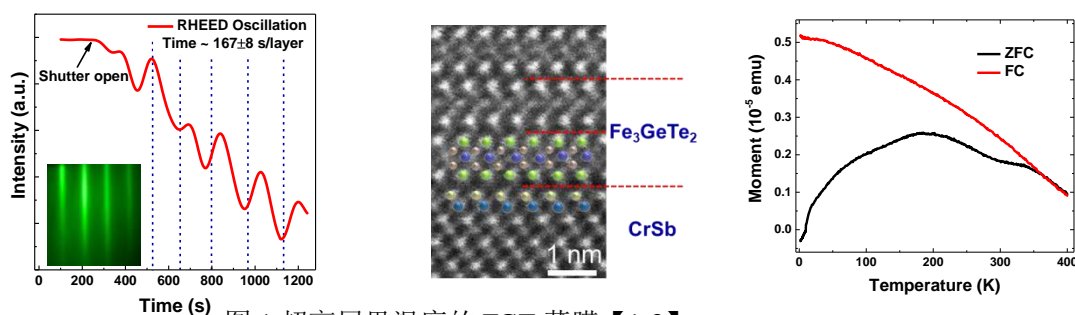


图 1 超高居里温度的 FGT 薄膜【1-3】

关键词: 二维铁磁材料, 分子束外延, 居里温度

资助项目: 国家自然科学基金 (11474058, 11874116, 61674040)

参考文献

- 【1】 S. S. Liu, *et al*, Wafer-Scale Two-Dimensional Ferromagnetic Fe_3GeTe_2 Thin Films Grown by Molecular Beam Epitaxy, *Npj 2D Mater. Appl.* 1 (1) (2017).
- 【2】 S. S. Liu, *et al*, Tunable Ferromagnetism in Two Dimensional $(\text{Fe}_3\text{GeTe}_2/\text{CrSb})_n$ Superlattice, submitted.
- 【3】 S. S. Liu, *et al*, Above-room-temperature Ferromagnetism in Wafer-scale Two-dimensional $\text{Fe}_{3+X}\text{GeTe}_2$ Films, submitted.

Hexagonal Layered Group IV-VI Semiconductors and Derivatives: Fresh Blood of 2D Family

Xiao-Qing Tian,^{†,§} Jin-Yi Duan,[†] Ya-Dong Wei,[†] Naixing Feng[‡], Zhi-Rui Gong,[†]
Xiang-Rong Wang,^{*,§,||} Yu Du,^{*,†} and Boris I. Yakobson[⊥]

[†]*College of Physics and Energy, Shenzhen University, Shenzhen 518060, Guangdong, P. R. China.*

[‡]*College of Electronic Sciences and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, Guangdong, P. R. China.*

[§]*Department of Physics, The Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong.*

^{||}*HKUST Shenzhen Research Institute, Shenzhen 518057, China.*

[⊥]*Department of Materials Science and NanoEngineering, Department of Chemistry, and the Smalley Institute for Nanoscale Science and Technology, Rice University, Houston, Texas 77005, United States.*

New phases of group IV-VI Semiconductors in the 2D hexagonal structures are predicted. The structures of monolayer group IV-VI Semiconductors are similar to blue phosphorene and each unit has the same ten valence electrons. The band gap of 2D hexagonal group IV-VI Semiconductors depends on both the thickness and stacking order. Atomic functionalization can induce ferromagnetism and the Curie temperature can be tuned. Gapped Dirac Fermions with zero mass are developed. The Fermi velocity can be compared to or even above that of graphene.

石墨烯类二维原子晶体材料的外延生长与物性研究

王业亮

北京理工大学 信息与电子学院

Email: yeliang.wang@bit.edu.cn

摘要: 石墨烯的蜂窝状结构及新颖特性激励人们研究其他二维原子晶体材料及应用。采用分子束外延生长技术可获得高质量的二维原子晶体材料及异质结构。本报告将涉及石墨烯, 硅烯¹、锗烯²、铅烯³, 铋烯⁴, 过渡金属硫化物 PtSe₂、VSe₂ 单层膜及面内结构的调制与功能化研究^{5,6}; 也将介绍一种具有超导和拓扑性质的二维叠层异质结构及在拓扑量子计算方面的潜力⁷。这些新型二维原子晶体材料及异质结构具有优异的物理化学性质, 在纳电子学器件及相关领域具有很好的应用前景。

参考文献

- [1] Lei Meng, *et al.*, Nano Lett. 13, 685 (2013).
- [2] Linfei Li, *et al.*, Adv. Mater. 26, 4820 (2014).
- [3] Linfei Li, *et al.*, Nano Lett. 13, 4671 (2013).
- [4] Xu Wu, *et al.*, Adv. Mater. 29, 1605407 (2017); Yan Shao, *et al.*, Nano Lett. 18, 2213 (2018); Shiyu Zhu, *et al.*, Nano Lett. (2019).
- [5] Yeliang Wang, *et al.*, Nano Lett. 15, 4013 (2015); X. Lin, *et al.*, Nature Materials 16, 717 (2017).
- [6] Zhong-Liu Liu, *et al.*, Science Bulletin 63,419 (2018); Nano Lett. 19,4897 (2019).
- [7] Y.Q. Wang, *et al.*, Adv. Electron. Mater. 2, 1600324 (2016); Y.Q. Wang, *et al.*, Adv. Mater. 28, 5013 (2016).

简介: 王业亮, 北京理工大学信息与电子学院教授, 博导。2012年优青, 2017年杰青、2019年国家“万人计划”科技创新领军人才。2004年在中科院物理所获得博士学位, 期间在德国明斯特大学物理系合作研究。博士毕业后在德国马普固体研究所做洪堡学者; 2008年回到中科院物理所工作; 2018年调入北京理工大学工作。主要研究方向为新型二维原子晶体材料与器件的构筑、物性及应用。利用分子束外延生长, 光电子能谱和扫描探针显微镜等技术, 在原子尺度上针对新型二维原子晶体材料及其异质结构的构建、物性测量和调控、器件设计和性能测试, 以及基础应用等方面开展研究。发表 SCI 收录学术论文 90 余篇, 包括 Nat. Mater.、Phys. Rev. Lett.、Adv. Mater.、J. Am. Chem. Soc.、Nano Lett.等; 英文书籍章节 4 篇(1 篇为封面)、申请国家专利 15 项。多项工作被 Nature 及其子刊作为研究亮点报道, 被引 3300 余次, 单篇最高他引 640 余次。主持基金委杰青项目, 科技部国家重点研发计划课题等。



二维过渡金属硫族化合物缺陷调制的磁光光谱

许秀来

中国科学院物理研究所

xlxu@iphy.ac.cn

二维过渡金属硫族化合物由于其原子级别的厚度、较强的自旋轨道耦合、激子束缚能和可见近红外光区的直接带隙，在后摩尔时代，逐渐成为研究的热点材料。近年来，除对材料的本征性质研究之外，缺陷在影响和调节谷的性质方面引起了人们的极大兴趣。本文主要研究了缺陷对二维过渡金属硫族化合物（ WS_2 、 MoS_2 、 WSe_2 ）磁光性质的调制作用。我们发现，大量不规则的缺陷，可以导致双层 WS_2 对称性破缺，从而引起不同层谷激子的复合跃迁。我们发现在磁场调制下双层 WS_2 具有显著的谷塞曼效应，和高达 16.5 的 g 因子，这和我们的理论预测是一致的。同时，我们在单层 MoS_2 局域态激子中发现了异常的抗磁现象，抗磁系数为 $100 \mu\text{eV/T}^2$ 。我们通过计算发现当缺陷的尺寸较大时，处于零维和二维之间的介观态，缺陷调制的激子就会表现出异常的抗磁现象，局域态的激子会同时具备零维和二维材料的性质。此外，我们在单层 WSe_2 的边界和单层与少层的界面处，发现了三种不同类型的单光子发射器，它们具有不同的精细结构劈裂和朗德 g 因子。我们在理论计算的基础上提出一个模型，材料的缺陷会在带隙内引入缺陷能级，这种有缺陷能级辅助的占据不同带的激子态，由于电子与空穴波函数有着不同的空间重叠程度，导致电子与空穴交换相互作用不同，从而导致不同的精细结构劈裂。这些有缺陷能级参与的不同带之间的跃迁，由于不同原子轨道磁矩的影响，会产生不同大小的异常的 g 因子。缺陷调制材料性质的研究对深入理解缺陷在二维材料中所扮演的角色有巨大的促进作用，同时对缺陷工程和利用缺陷性质进行量子信息处理有深远的意义。

新型半导体光电材料的优化设计

张立军

吉林大学，长春 130012

Email: lijun_zhang@jlu.edu.cn

摘要：具有一定带隙的半导体材料在光电领域中被广泛应用，例如太阳能电池、光电探测、发光二极管及光催化等。从光电功能性的需求出发，优化设计新型半导体材料，可实现光电器件性能的突破性提高。随着超级计算机计算能力的显著增强以及算法的不断发展，人们通过材料模拟，只需花费实验研究所需时间的一小部分，就可以探索巨大数量候选功能材料的特性。这使得功能导向的新材料设计在计算机模拟中得以实现。在这里，我将主要汇报我们近期在新型半导体光电材料的优化设计方面开展的工作。具体内容包括我们发展的具有自主知识产权的材料设计计算软件 JUMP²（全称为 Jilin University Materials-design Python Package）及应用其在钙钛矿光伏材料、透明导体材料、光电探测材料、光催化材料等光电半导体体系开展的新材料设计研究；部分理论设计的材料已得到实验证实并应用于光电器件。

关键词：半导体物理，光电转换，材料模拟与设计

资助项目：中组部青年千人计划，科技部重点研发计划（2016YFB0201204），国家自然科学基金优秀青年基金（61722403）

“窄”带隙、“宽”用途：新型红外探测材料与器件

胡伟达、王芳、王鹏、陈效双、陆卫

中国科学院上海技术物理研究所，红外物理国家重点实验室，上海 200083

Email: wdhu@mail.sitp.ac.cn

摘要：高性能红外探测器是遥感、侦查和夜视的眼睛，是远距离探测本领的核心部件。而制约红外探测器性能的关键是窄禁带红外探测材料。因此，在红外光电领域，人们已经有广泛共识：材料为王。以传统碲镉汞、锑化铟、铟镓砷、量子阱为代表的高性能红外探测材料已经广泛应用于航天航空、气象遥感、对地观测、天文、医学成像等领域。随着人类对红外探测不断增长的需求，尤其近几年来，人工智能、大数据、智慧城市等领域对红外信息探测和智能感知有着强烈的需求，迫切需要从材料和器件物理角度来抑制暗电流、提高光响应，大幅降低红外探测器的尺寸 Size、重量 Weight、功耗 Power 和价格 Price，以及提高探测器的性能 Performance（简称 SWaP3）迫在眉睫。要满足上述需求，必须要寻找新型的红外探测材料，以及由此形成的具有变革性特征的红外探测器件。本次邀请报告综述了近几年来中科院上海技术物理研究所胡伟达课题组在新型红外光电探测材料和器件方面的进展，同时也展望了红外探测材料和器件面临的机遇与挑战。

关键词：红外探测材料 红外探测器 窄禁带 暗电流 光响应 探测率

参考文献

- 【1】 Mingsheng Long, Peng Wang, Hehai Fang, Weida Hu*, Progress, challenges, and opportunities for 2D materials based photodetectors, *Adv. Funct. Mater.* 2019, 29 (19), 1803807.
- 【2】 Wenjin Luo, Qianchun Weng, Mingsheng Long, Peng Wang, Fan Gong, Hehai Fang, Man Luo, Wenjuan Wang, Zhen Wang, Dingshan Zheng, Weida Hu*, Xiaoshuang Chen, and Wei Lu*, Room-temperature single-photon detector based on single nanowire, *Nano Lett.* 2018, 18 (9), 5439-5445.
- 【3】 Hehai Fang and Weida Hu*, Photogating in Low Dimensional Photodetectors, *Adv. Sci.* 2017, 4 (12), 1700323.
- 【4】 Tiefeng Yang, Biyuan Zheng, Zhen Wang, Tao Xu, ChenPan, Juan Zou, Xuehong Zhang, Zhaoyang Qi, Hongjun Liu, Yexin Feng, Weida Hu*, Feng Miao, Litao Sun, Xiangfeng Duan, and Anlian Pan*, Van der Waals epitaxial growth and optoelectronics of large scale WSe₂/SnS₂ verticalbilayer p-n junctions, *Nat. Commun.* 2017, 8, 1906.
- 【5】 Xudong Wang, Peng Wang, Jianlu Wang*, Weida Hu*, Xiaohao Zhou, Nan Guo, Hai Huang, Shuo Sun, Hong Shen, Tie Lin, Minghua Tang, Lei Liao, Anquan Jiang, Jinglan Sun, Xiangjian Meng, Xiaoshuang Chen, Wei Lu, Junhao Chu, Ultrasensitive and broadband MoS₂ photodetector driven by ferroelectrics, *Adv. Mater.* 2015, 27 (42), 6575–6581.

基金项目：国家杰出青年基金项目（NO. 61725505）；国家基金委-重点项目（NO. 11734016）

Tunable Optical Properties of Atomically Thin Halide Perovskites through 2D PbI₂ Template Synthesis

孙研¹、黄振¹、刘博文¹、王琳^{1,*}、黄维^{1,2}

¹南京工业大学先进材料研究院, 南京 210009, 江苏省

²西北工业大学柔性电子研究院, 西安 710072, 陕西省

Email*: iamwang@njtech.edu.cn

Abstract:

Graphene-like van der Waals stacked two-dimensional materials have revolutionized many areas of electronics, optoelectronics and photonics. In the meantime, lead halide perovskites have also attracted tremendous research interest due to their tunable band gap and high-efficient photo-electric conversion, with great potential for optoelectronic application such as photovoltaic devices, light-emitting diodes and lasers. Here, we develop a general and facile 2D PbI₂ template approach to synthesize lead halide perovskites at the atomic scale, in a combination with the best of perovskites and two-dimensional materials. More importantly, this approach enables us to obtain atomically thin perovskites with controllable compositions, regular shape, and the ability of cyclic switch from/to PbI₂. We have also examined the morphology characterizations, advantageous optical properties and potential optoelectronic applications of these perovskites.

关键词: 二维半导体, 钙钛矿, 带隙可调, 可控生长

基金项目: 国家千人计划青年项目、国家自然科学基金青年项目

从 InP 纳米线到纳米片、圆环等形貌阵列的外延生长研究

袁小明

中南大学物理与电子学院，长沙 410012

Email: xiaoming.yuan@csu.edu.cn

摘要：近期科学研究对未来 III-V 族纳米结构提出了以下基本要求：第一，纳米结构能规模化制备且性质均匀；第二，纳米结构形貌可调且能维持高晶体质量；第三、纳米结构能实现网络化及异质结结构的生长。因此研究急需在纳米线领域之外开拓新的纳米结构的外延生长以满足未来光子学，光电等器件的需求。本研究在 InP 纳米线生长及力学研究的基础上，利用选区外延生长，实现 InP 纳米片、圆环等形貌阵列的外延生长。研究优化了不同形貌阵列的外延生长，最终生长了形貌可调分布均匀的 InP 纳米形貌阵列，如图 1 所示。研究利用热力学模拟探索了 InP 的形貌形成机制，构建了一套完整的 InP 纳米结构外延生长理论。使用高分辨透射电镜我们证明在最优条件下生长的圆环、纳米片等不同形貌都具有无缺陷的纤锌矿单晶结构。同时利用阴极射线发光证明所有的阵列都具有很强的发光强度，且发光强度在大尺度范围内分布均匀。高质量可控 InP 纳米形貌阵列的生长实现了非纳米线形貌 InP 纳米结构研究的第一步。高度的均匀性，可控性及优异光学性质使 InP 纳米结构阵列在未来光子学及光电应用领域具有重要应用。

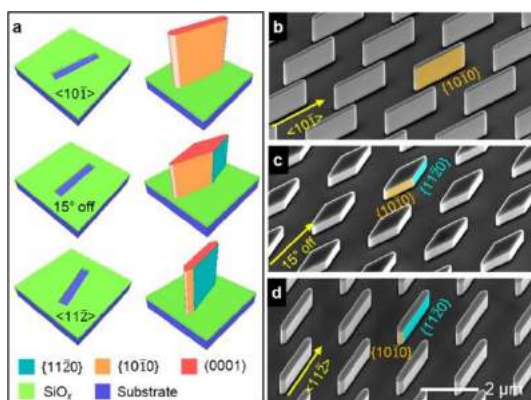


图 1 InP 纳米形貌阵列的选区外延生长：(a)外延生长示意图；(b-c)不同图形衬底生长得

到的 InP 阵列的扫描电子显微镜照片

关键词：(纳米线，InP，外延生长，光电半导体)

基金项目：国家自然科学基金青年项目（NO. 51702368）；湖南省自然科学基金青年项目（2018JJ3684）；中南大学创新驱动计划（2018CX045）

H015

专题代号：H

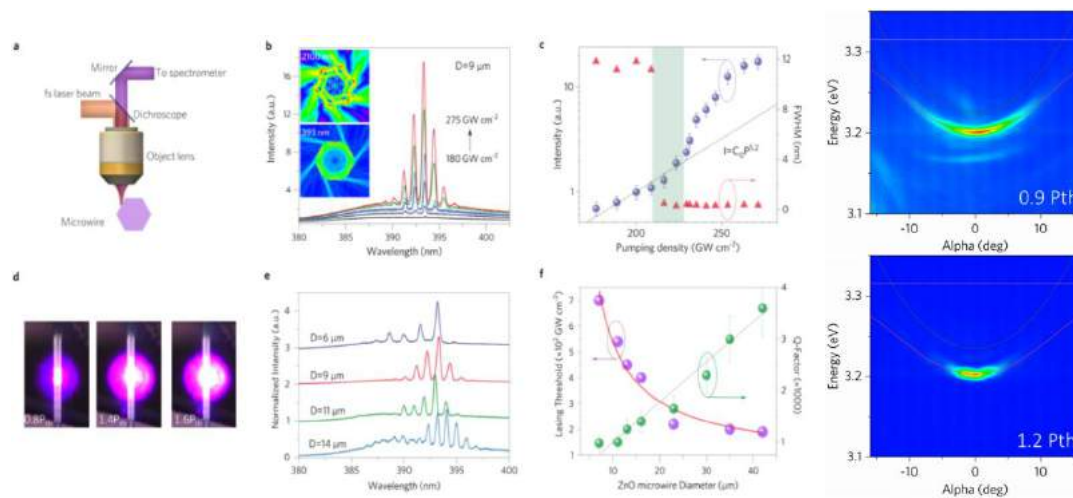
半导体微腔激光及激子 polariton 相干凝聚特性研究

朱海^{1,*}， 陈安琪¹， 黄莹¹， 郑湖颖¹， 汤子康^{1,2}

中山大学物理学院，广东广州，510275

*Email: zhuhai5@mail.sysu.edu.cn

介绍课题组近年在宽带隙半导体微腔紫外激光特性方面的研究结果。利用ZnO自形成的高品质因子光学微腔结构，在一维微米线结构中实现了室温下的低阈值的6光子吸收上转换 whisper-gallery mode激光输出。进一步利用ZnO微米线自形成的回音壁(WGM)微腔结构，实现了双光子吸收上转换光电探测，并详细分析了WGM对非线性双光子吸收的增强机制。探索宽带隙半导体光学微腔中激子-光子强耦合条件下的自发相干波色-爱因斯坦凝聚(BEC)，超低阈值polariton激光，参量散射及放大的实现途径。



左图 a, 半导体多光子吸收上转换激光电子跃迁示意图; b, 单根微米线的SEM图; c, 高Q值光学微腔对泵浦光的全内反射产生增强效应原理示意图; d, 微腔增强的低阈值6光子吸收上转换激光发射光谱, 上插图为激发的飞秒激光(2100nm)在微腔中传播光场模拟图, 下插图微腔中相干共振形成的回音壁模式激光光场模拟图。右图 f 为强耦合微腔激子 polariton 在不同泵浦功率下的自发相干激光 K 空间角分辨光谱

关键词：微腔，激子-光子耦合，多光子吸收，激光

弱光触发 GaAs PCSSs 产生超短电脉冲的研究

施 卫

西安理工大学, 西安 710048

Email: swshi@mail.xaut.edu.cn

摘要: 高功率超快(纳秒、亚纳秒、皮秒)电脉冲具有重要应用,属于国家重大需求,也是国际科学界的研究重点。在这个时间尺度的超快电学过程,用纯电学的方法难以完成。结合超快光学和半导体及器件技术,用光电导方法产生超快电脉冲是国际上公认的唯一解决方案。然而,如何用微焦乃至纳焦量级的弱光触发电导器件实现电学超快过程,产生高功率纳秒、亚纳秒以及皮秒量级的超快电脉冲,无论是在器件的物理机理还是在器件的研制方面都存在诸多国际难题,也成为超快光电技术领域中的瓶颈问题。本文研究了弱光触发下高功率超快砷化镓光电导器件(GaAs PCSSs)在强电场下的超快输出特性及用弱光触发 GaAs PCSSs 辐射太赫兹(THz)电磁波的机理。研制出高功率超快 GaAs PCSS。得出以下结果:(1)用脉冲宽度 23ns 的半导体脉冲激光器(LD)触发强电场偏置下的 GaAs PCSSs,基于 GaAs PCSSs 光激发电荷畴的猝灭模式,获得亚纳秒的电脉冲,其脉宽远小于触发光脉冲;(2)用纳焦量级的弱光触发 GaAs PCSSs 实现具有载流子雪崩倍增机制的太赫兹辐射;(3)弱光触发超快 GaAs PCSSs 器件在国家大科学工程中的应用。

关键词: GaAs 光电导开关 超短电脉冲 光激发电荷畴

参考文献

- 【1】 Zutavern F J, Glover S F, Swalby M E, et al. DC-Charged GaAs PCSSs for Trigger Generators and Other High-Voltage Applications[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2010, 38(10):2708-2715.
- 【2】 Shi, W. et al. Current limiting effects of photoactivated charge domain in semi-insulating GaAs photoconductive switch. Applied Physics Letters. 94, 072110-072110-072110-072113, doi: 10.1063/1.3086886 (2009).
- 【3】 Wei Shi, Shaoqiang Wang, Cheng Ma, Ming Xu, Generation of an ultra-short electrical pulse with width shorter than the excitation laser [J], Scientific Reports., 2016, 6. 6:27577
- 【4】 Shi, W. et al. Investigation of electric field threshold of GaAs photoconductive semiconductor switch triggered by 1.6 μ J laser diode. Applied Physics Letters 104, 042108-042108-3, 2014.

基金项目：国家自然科学基金重大仪器研制项目（No. 61427814）

H017

专题代号：H

光学微腔中的光子自旋轨道耦合

李峰

西安交通大学电子科学与工程学院，西安 710049

Email: felix831204@xjtu.edu.cn

具有分布布拉格反射镜(DBR)的法布里-珀罗(F-P)微腔是研究二维光子气体和激子极化激元(exciton-polariton)流体重要工具平台。腔中的 TE-TM 模式劈裂对腔膜光子的作用，相当于一个恒定磁场对带电粒子的作用，因此可看做等效的光子磁场。光子在其中运动会发生自旋轨道耦合效应，即光子的偏振态会随着光子的运动轨道不断发生变化。在这种机制作用下产生了很多重要的物理现象，如光学自旋霍尔效应、类磁单极半孤子、拓扑数为半整数的自旋凝聚、以及极化激元拓扑绝缘体等。

在此报告中，我将首先描述开放式微腔中的自旋轨道耦合效应。开放式微腔由一个微米尺度的 DBR 凹面镜和一个 DBR 平面镜构成，能够提供可调谐的三维光子约束。腔中的自旋轨道耦合效应和这种约束共同作用，形成了以光子偏振涡旋态为基础的新本征态。通过这种腔体可实现超小模式体积的矢量涡旋激光，并通过调节腔长改变其模式偏振特性。进一步，我们把具有旋光性的有机半导体置于 FP 微腔中，观察到时间反演对称下的非平庸光子能带特征，直接测量到 Berry 曲率。

基于二维层状半导体的偏振光探测器

魏钟鸣*

中国科学院半导体研究所，北京，100083

*Email: zmwei@semi.ac.cn

近年来，二维材料由于其独特的光电性能而受到了广泛的关注。相比于零带隙的石墨烯，二维半导体材料如 MoS_2 ， WSe_2 等具有一定宽度的带隙，使其可以广泛应用于各种光电器件（包括存储器、探测器和晶体管等）。当前二维材料的实际应用还有很多问题亟需解决，这对我们而言，既是挑战，也是机遇。我们课题组针对二维半导体及光电器件进行了长期的探索，围绕材料的设计、制备和器件应用已经取得一些进展，部分材料在场效应晶体管和光探测器等方面显示出较好的性能。作为一种特殊的光电器件，偏振光探测器在光通信、成像等领域有非常重要的应用，这里我们主要针对新型二维半导体在偏振光探测方面的原型器件和工作机理进行汇报。我们发现具有二维层状堆积晶体结构和面内各向异性的 GeSe 与 GeAs 等材料表现出优异的偏振光探测性能，并且探测波段从可见区覆盖到红外区，这两种材料都在808 nm的短波近红外区获得最优性能。

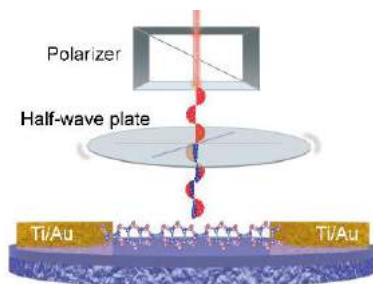


Fig. 1 二维半导体偏振光探测器示意图。

参考文献:

- [1] Ziqi Zhou, Mingsheng Long, Longfei Pan, Xiaoting Wang, Mianzeng Zhong, Mark Blei, Jianlu Wang, Jingzhi Fang, Sefaattin Tongay,* Weida Hu,* Jingbo Li, and Zhongming Wei.* *ACS Nano* 2018, 12 (12), 12416-12423.
- [2] Mianzeng Zhong, Qinglin Xia, Longfei Pan, Yuqing Liu, Yabin Chen, Hui-Xiong Deng, Jingbo Li, and Zhongming Wei.* *Adv. Funct. Mater.* 2018, 28 (43), 1802581..
- [3] Xiaoting Wang, Yongtao Li, Le Huang, Xiang-Wei Jiang, Lang Jiang, Huanli Dong, Zhongming Wei,* Jingbo Li,* and Wenping Hu.* *J. Am. Chem. Soc.* 2017, 139 (42), 14976-14982.
- [4] Bo Li, Tao Xing, Mianzeng Zhong, Le Huang, Na Lei, Jun Zhang, Jingbo Li and Zhongming Wei.* *Nat. Commun.* 2017, 8, 1958.

晶体硅的银超掺杂及光电探测器应用

余学功, 仇晓东, 杨德仁

浙江大学硅材料国家重点实验室, 浙江省杭州市, 310027

Email: yuxuegong@zju.edu.cn

摘要: 硅基光电子技术有着高速、低成本、低损耗和高集成度的优势, 在国家战略和市场需求带动下, 面临着大规模产业化和市场化的历史机遇, 是当今时代最具发展前景的技术领域。但是, 对于集成在波长超过 1100 nm 的光子学电路中的光电探测器, 硅材料受到其禁带宽度的限制, 被认为不是合适的材料, 这大大地制约了硅基光电集成的发展。飞秒激光非平衡掺杂硅材料可以显著改善硅晶体在次带隙波段的光吸收以及光电响应性能, 在材料科学领域受到了越来越广泛的关注。本文系统地介绍了我们在银非平衡掺杂硅材料的制备、基本性质以及在光电探测器上的应用的最新成果。我们通过离子注入以及飞秒激光辐照的工艺制备了峰值浓度超过 10^{20} cm^{-3} 的银非平衡掺杂硅样品, 在波长 300-1800 nm 范围内对光的吸收率均显著提高, 这一方面是由于表面织构化起到了减反的效果, 另一方面是由于杂质能级 $E_c-0.285 \text{ eV}$, 为次带隙光子的吸收提供了台阶, 但是这种扩展的次带隙吸收会发生退火失活的现象【1】。进一步, 我们研究了基于高能量通量的飞秒激光掺杂的银非平衡掺杂硅基光电探测器的近红外响应性能。在非平衡掺杂硅中引入高密度的表面缺陷, 利用强表面复合作用使短波激发的载流子发生淬灭, 因而探测器表现出短波截止近红外响应的特性; 在近红外波段, 由于杂质能级辅助的次带隙光激发以及电子陷阱中心诱导的光电响应增益, 器件的响应波长可以一直扩展到 1600 nm, 在 -3 V 偏压下对波长 1310 nm 和 1550 nm 的响应度分别达到 504 和 65 mA W^{-1} , 这是目前在非平衡掺杂硅基光电探测器中报道过的最高的红外响应水平【2】。最好, 我们将石墨烯用作电子传输层与银非平衡掺杂硅复合制备了近红外响应的杂化光电导探测器。还行啦石墨烯可以改善载流子在电极间的横向传输能力, 在 0.30 V 的测试偏压下, 器件对次带隙波长 1310 nm 和 1550 nm 的外量子效率分别达到了 97.26% 和 7.37%; 通过嵌入铂纳米颗粒 (Pt NPs) 引入局域等离子共振效应 (LSPR) 和散射效应, 可以进一步增强非平衡掺杂硅的次带隙光吸收能力和光电响应能力。

关键词: 硅基光电子 非平衡掺杂硅 红外次带隙吸收 探测器

参考文献

【1】 X. Qiu, X. Yu, S. Yuan, Y. Gao, X. Liu, Y. Xu, D. Yang, Trap assisted bulk silicon photodetector with high photoconductive gain, low noise, and fast response by Ag hyperdoping [J]. *Advanced Optical Materials*, 2018, 6(3), 1700638

【2】 X. Qiu, Z. Wang, X. Hou, X. Yu, D. Yang, Visible-blind short-wavelength infrared photodetector with high responsivity based on hyperdoped silicon [J]. *Photonics Research*, 2019, 7(3), 351-358.

碳量子点杂化体系电解水产氢性质研究**

卢思宇*

郑州大学化学与分子工程学院, 郑州市科学大道 100 号, 450001

* sylvu2013@zzu.edu.cn

化石能源大量使用造成严重的环境污染, 可持续发展亟需寻找更为清洁且可再生的绿色能源。氢能具有资源丰富, 燃烧热值高, 无污染等优点, 被认为是未来理想的能源。氢能来源多样化, 其中电解水产氢 (HER) 因效率高、产物纯度高优势广受关注。合理设计和合成低成本、高强度的析氢反应电催化剂是水电解技术发展的关键。本研究中, 我们采用结构简单、反应位点容易控制且表面易修饰的含有氨基等的小分子作为前驱体制备碳点, 与 Ru 基双金属 (RuNi, RuFe, RuCo 等) 进行组装复合, 成功构建氮掺杂碳点双金属纳米颗粒 (CDs@RuM, M=Fe, Co, Ni) 负载催化剂, 实现了高效, 稳定的电解水产氢, 并结合第一性原理计算 (密度泛函理论 DFT) 深入研究电解水产氢反应过程中双金属及碳点的电子态密度分布、反应吉布斯能变化情况及理论上真实活性位点的原子、分子层次电子结构, 揭示电解水产氢催化过程的反应机制。

参考文献

- [1] J. Mahmood, F. Li, S.-M. Jung, M. S. Okyay, I. Ahmad, S.-J. Kim, N. Park, H. Y. Jeong, J.-B. Baek, *Nanotechnol.* 2017, 12, 441- 446.
- [2] J. Su, Y. Yang, G. Xia, J. Chen, P. Jiang, Q. Chen, *Nat. Commun.* 2017, 8, 14969.
- [3] W. Li, Y. Liu, M. Wu, X. Feng, S. A. T. Redfern, Y. Shang, X. Yong, T. Feng, K. Wu, Z. Liu, B. Li, Z. Chen, J. S. Tse, S. Lu, B. Yang, *Adv. Mater.* 2018, 1800676.

简介

卢思宇, 博士, 郑州大学副教授 (校聘), 硕士生导师。主要从事荧光碳量子点的设计, 制备和机理研究, 及其在催化, 热电, LED, LSC 等领域的应用研究, 在 *Adv. Mater.* (3), *Angew. Chem. Int. Edit* (2), *Adv. Sci.*(2), *Nat. Commun.*(1), *Applied Catalysis b: Environmental* (1), *J. Mater. Chem. A.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 等期刊发表 SCI 论文 46 篇, 其中一作/通讯 31 篇; 影响因子>20 论文 3 篇; 影响因子>10 论文 9 篇; 影响因子>5 论文 27 篇; 7 篇论文曾入选 ESI 高被引论文; 他引用 1049 次; 在国际、国内大会做特邀报告 4 次

环境友好型钙钛矿材料合成及光电器件应用

史志锋、马壮壮、李营、李森、张飞

郑州大学物理学院, 郑州 450002

Email: shizf@zzu.edu.cn

摘要:

近年来, 金属卤化物钙钛矿材料因其优良的光电特性和简单、低成本的制备工艺等优点, 引起了研究人员的广泛关注, 在光伏电池、发光二极管、激光器和光探测等领域展现出应用潜力。然而, 目前在光电器件中广泛应用的钙钛矿材料多为传统铅基体系, 该型材料的稳定性较差, 对环境水、氧和热非常敏感; 同时重金属铅会不可避免地对环境造成污染, 这使得在实际应用时对封装工艺的要求更为苛刻。要使钙钛矿基光电器件真正的走向实用化, 摆脱“铅依赖”、建立基于无铅钙钛矿体系的器件结构、突破器件在效率、铅毒性和工作稳定性上的瓶颈是该领域亟待解决的问题。基于上述考虑, 我们近期开展了少铅和无铅钙钛矿材料的优化生长研究, 并在材料维度、光谱覆盖度、荧光量子效率等参数调控上获得了积极进展, 所制备的新型钙钛矿材料在光探测器和发光二极管中均得到应用。

关键词: 钙钛矿 无铅 少铅 纳米晶 光电器件

参考文献

- 【1】 **Z. F. Shi**, Y. Li, Y. T. Zhang, *et al.*, *Nano Lett.*, 2017, 17, 313.
- 【2】 **Z. F. Shi**, S. Li, Y. Li, *et al.*, *ACS Nano*, 2018, 12, 1462.
- 【3】 **Z. F. Shi**, Y. Li, S. Li, *et al.*, *Adv. Funct. Mater.*, 2018, 28, 1707031.
- 【4】 S. Li, **Z. F. Shi***, F. Zhang, *et al.*, *Chem. Mater.*, 2019, 31, 3917.
- 【5】 Y. Li, **Z. F. Shi***, L. Z. Lei, *et al.*, *Adv. Mater. Interfaces*, 2019, 6, 1900188.
- 【6】 L. Z. Lei, **Z. F. Shi***, Y. Li, *et al.*, *J. Mater. Chem. C*, 2018, 6, 7982.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11774318, 11604302) 等

太赫兹量子级联激光器频梳的色散研究

周康¹⁾²⁾ 黎华^{1)2)*} 曹俊诚¹⁾²⁾

1) (中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 中国科学院太赫兹固态技术重点实验室, 上海 200050)

2) (中国科学院大学, 材料与光电研究中心, 北京 100049)

Email: hua.li@mail.sim.ac.cn

摘要

光学频梳是一种频谱上由一系列等间距且具有相干关系的频率分量组成的激光源。由于其高频率稳定性和低相位噪声, 频梳在高分辨成谱、绝对频率测量、激光测距等领域具有重要应用^[1,2]。然而, 在太赫兹 (THz) 波段, 由于缺乏高效的 THz 辐射产生技术, THz 频梳的研究还处于起步阶段。太赫兹 (THz) 波是指频率位于 100 GHz 到 10 THz (波长从 3 mm 到 30 μm), 介于毫米波和红外光之间的电磁波谱。在低频端 (<1THz), 倍频链和单行载流子光电二极管 (UTC-PD) 是比较好的 THz 辐射源, 输出功率一般在微瓦和几个毫瓦之间。但是在高频端 (1-5 THz), 量子级联激光器 (QCL) 由于其高功率、可调谐等特性无异是最好的 THz 辐射源^[3-5]。

在 THz QCL 频梳研究中, 最关键的科学问题之一就是群速度色散 (group velocity dispersion, GVD), 尤其在频谱宽度较大时, 色散会导致相邻频率模式间距不稳定, 从而无法保证频率梳的工作模式, 因此, 在 THz QCL 频梳的设计中, 色散效应不可以忽略^[6, 7]。我们基于 THz QCL 的有源区增益、波导损耗、材料吸收三个方面, 系统的研究了半绝缘等离子体波导结构 THz QCL 频梳的 GVD^[8]。基于德鲁德 (Drude) 模型, 计算了器件各层材料的折射率实部和虚部随频率的变化, 从而可以利用有限元法计算宽谱范围内 THz QCL 的波导损耗; THz QCL 的有源区增益由其能级决定, 利用传输矩阵方法 (TMM) 计算得到有源区能级分布后, 利用费米黄金定则便可得到器件的有源区增益谱^[9]。然而, 实际工作的 THz QCL 存在增益钳制效应, 即器件的增益会被钳制到阈值增益^[10]。对此, 我们考虑到器件的波导损耗和镜面损耗后, 重新修正了有源区增益, 使得计算更加精准; 归因于一阶或二阶电子偶极矩或势能中的非谐波项, 材料吸收则通过剩余射线带理论计算得到; 最后利用 Kramers-Kronig 关系, 便可计算得到器件的增益和波导损耗、材料吸收引起的色散。通过对 100 μm 、150 μm 、200 μm 三种脊宽的 THz QCL 色散研究, 结果表明器件总的 GVD 主要由

钳制后的增益决定，虽然波导损耗引起的 GVD 数值较小，但是对增益钳制效应有巨大的影响，从而影响器件总的 GVD。其中 100 μm 脊宽的 THz QCL 由于无法在宽谱范围内提供本征模，从而导致其波导损耗存在震荡，而增益钳制效应会放大该震荡，并且影响有源区增益，从而导致 100 μm 脊宽的 THz QCL 总色散较差，而 150 μm 脊宽的 THz QCL 色散最小。为了验证计算结果，通过对三种脊宽 THz QCL 的测试，实验表明当 150 μm 脊宽的 THz QCL 工作在电流密度为 100 A/cm^2 情况下，其拍频信号 (beatnote) 线宽在三种器件中最窄，仅有 4.9 kHz。在考虑到器件的 beatnote 信号可能仅是两个模式的拍频结果，并不能完全表明器件实现了频梳功能。因此，我们将利用一种双光梳技术^[11]对器件进行测试，如果器件实现了频梳，其每个模式之间的相互差频后，将在低频上同样呈现出频梳。我们将两个激射频率为 4.2 THz，腔长为 6mm，150 μm 脊宽的半绝缘等离子体波导结构 THz QCL^[12,13] 并排封装在同一热沉上，从而实现双光梳。测试结果表明下变频后的光梳重复频率为 12.8 MHz，频谱上有 13 个模式，说明 150 μm 脊宽的半绝缘等离子体波导结构 THz QCL 成功实现了频梳功能，从而进一步验证了我们对器件的色散计算。

关键词：太赫兹，量子级联激光器，频梳，色散

参考文献：

- [1] T. Udem, R. Holzwarth, and T. W. Hansch, "Optical frequency metrology," *Nature* **416**, 233-237 (2002).
- [2] S. A. Diddams, "The evolving optical frequency comb," *J. Opt. Soc. Am. B* **27**, B51-B62 (2010).
- [3] J. Faist, F. Capasso, D. L. Sivco, C. Sirtori, A. L. Hutchinson, and A. Y. Cho, "Quantum cascade laser," *Science* **264**, 553-556 (1994).
- [4] M. Rösch, M. Beck, M. J. Suess, D. Bachmann, K. Unterrainer, J. Faist, and G. Scalari, "Heterogeneous terahertz quantum cascade lasers exceeding 1.9 THz spectral bandwidth and featuring dual comb operation," *Nanophotonics* **7**, 237 - 242 (2018).
- [5] W. J. Wan, H. Li, and J. C. Cao, "Homogeneous spectral broadening of pulsed terahertz quantum cascade lasers by radio frequency modulation", *Opt. Express* **26**, 980 (2018).
- [6] G. Villares, S. Riedi, J. Wolf, D. Kazakov, M. J. Suess, P. Jouy, M. Beck, and J. Faist, "Dispersion engineering of quantum cascade laser frequency combs," *Optica* **3**, 252-258 (2016).
- [7] H. Li, "Semiconductor-based terahertz frequency combs", *J. Semicond* **40**, 050402 (2019).
- [8] K. Zhou, H. Li, W. J. Wan, Z. P. Li, X. Y. Liao, and J. C. Cao, "Ridge width effect on comb operation in terahertz quantum cascade lasers," *Applied Physics Letters* **114**, 191106 (2019).
- [9] H. Liu and F. Capasso, *Intersubband Transitions in Quantum Wells: Physics and Device Applications* (Academic Press, 1999), Vol. 5.
- [10] H. Li, P. Laffaille, D. Gacemi, M. Apfel, C. Sirtori, J. Leonardon, G. Santarelli, M. Rösch, G. Scalari, M. Beck, J. Faist, W. Hänsel, R. Holzwarth, and S. Barbieri, "Dynamics of ultra-broadband terahertz quantum cascade lasers for comb operation," *Opt. Express* **23**, 33270-33294 (2015).
- [11] M. Rösch, G. Scalari, G. Villares, L. Bosco, M. Beck, and J. Faist, "On-chip, self-detected terahertz dual-comb source," *Appl. Phys. Lett.* **108**, 171104 (2016).
- [12] H. Li, M. Yan, W. J. Wan, T. Zhou, K. Zhou, Z. P. Li, J. C. Cao, Q. Yu, K. Zhang, M. Li, J. Y. Nan, B. Q. He,

- and H. P. Zeng, "Graphene-coupled terahertz semiconductor lasers for enhanced passive frequency comb operation," *Advanced Science*, online publication, DOI:10.1002/advs.201900460.
- [13] W. J. Wan, H. Li, T. Zhou, and J. C. Cao, "Homogeneous spectral spanning of terahertz semiconductor lasers with radio frequency modulation," *Sci. Rep.* **7**, 44109 (2017).

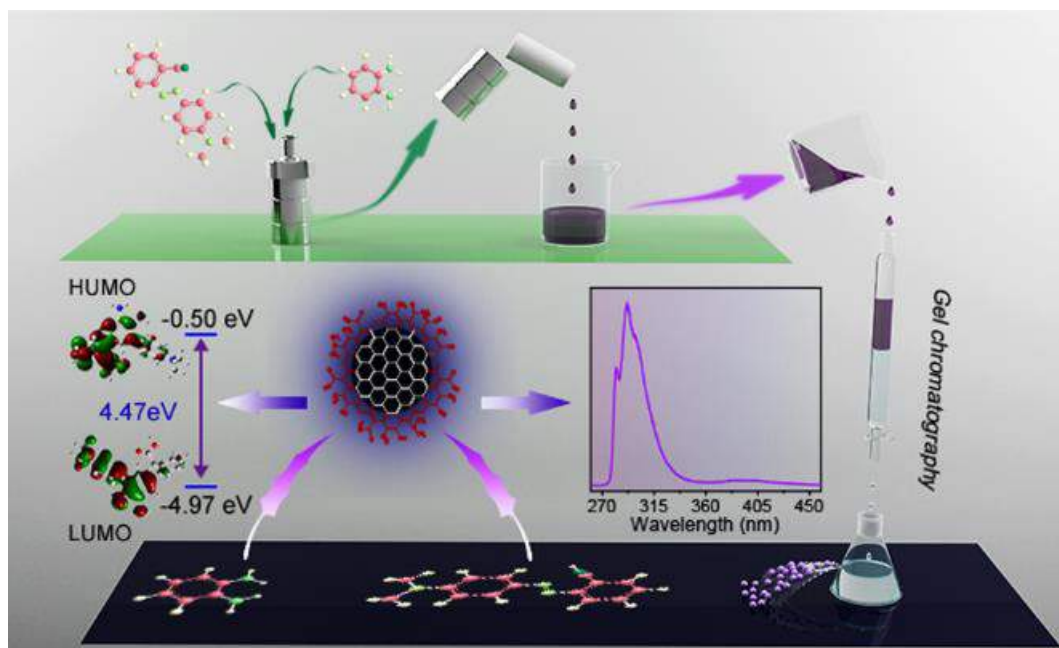
Deep-Ultraviolet Emissive Carbon Nanodots

宋世玉, 刘凯凯*, 单崇新*

E-mail:liukaikai@zzu.edu.com

Henan Key Laboratory of Diamond Optoelectronic Materials and Devices, School of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450052, People's Republic of China.

Abstract: Deep ultraviolet (DUV) emissive carbon nanodots (CNDs) are designed according to the result of first-principles density functional theory calculations. The emission of the CNDs is located in the range of 280 nm to 300 nm, which coincides well with the results of theory calculations. The photoluminescence (PL) quantum yield (QY) of the CNDs is up to 31.6%, and the strong emission of the CNDs origins from core-state ($\pi - \pi^*$) carriers radiative recombination and surface passivation. Benefiting from the core-state emission and surface groups passivation, the emission of the CNDs is independent on the excitation wavelength and ambient solvent. DUV light-emitting diodes (LEDs) have been fabricated based on the DUV emissive CNDs and the LEDs can be used as the excitation source to excite blue, green, and red CNDs, indicating their potential application in DUV light sources. This work paves a new way for designing and realizing DUV emissive CNDs.



Keywords: Carbon nanodots, Deep-ultraviolet, Emission, First-principles calculation

资助项目：国家自然科学基金（51602288, U1604263, 1180430）。

参考文献：

1. S. Y. Song, K. K. Liu*, C. X. Shan*,. Nano lett. 19 (8), 5553-5561 (2019).
2. K.-K. Liu, S.-Y. Song, L.-Z. Sui, S.-X. Wu, P.-T. Jing, R.-Q. Wang, Q.-Y. Li, G.-R. Wu, Z.-Z. Zhang, K.-J. Yuan and C.-X. Shan, Adv. Sci. 0 (0), 1900766 (2019).
3. K. K. Liu, X. M. Li, S. B. Cheng, R. Zhou, Y. C. Liang, L. Dong, C. X. Shan, H. B. Zeng and D. Z. Shen, Nanoscale 10 (15), 7155-7162 (2018).

忆阻类脑器件及其在神经形态运算中的应用

杨蕊、黄鹤鸣、寺部一弥² 郭新¹

¹华中科技大学材料学院，武汉 430074

²日本物质材料研究机构，日本筑波，邮编 305-0044

Email: yangrui@hust.edu.cn

摘要：生物大脑具有学习、记忆、推理等智能，得益于其由神经元经由突触相互连接形成的庞大神经网络。借鉴生物神经网络，构建人工神经网络计算机，实现与大脑可媲美的人工智能，是人类长期以来追求的目标。然而，目前主流的软件神经网络面临着能耗和数据吞吐量大的挑战，而基于传统CMOS三极管的硬件神经网络电路复杂集成极具挑战性，因此亟待开发本质上具有仿大脑学习记忆功能的紧凑纳米类脑器件，忆阻器就是其中最具有前途的器件之一。

忆阻器以其简单的三明治结构和与生物突触神经元相似的电学行为，成为构建新一代硬件神经形态运算系统的革命性纳米器件，具有重大的科学意义和应用价值。在本报告中，我们通过忆阻材料缺陷控制和器件界面设计，实现了忆阻器电阻态时间常数的精确调控，成功模拟了多种突触可塑性，如高级可塑性^[1]，三脉冲时序相关的可塑性^[2]和Bienenstock, Cooper and Munro (BCM) 学习法则^[3]等。同时，采用两种时间特性不同的忆阻器，设计了具有漏电-整合-发放功能的(Leaky-Integrate-Fire, LIF) LIF神经元^[2]和既具有信息整合功能又具有类生物脉冲的发放功能的Hodgkin-Huxley神经元^[4]，如图1所示。

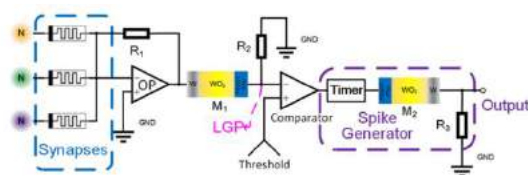


图 1 Hodgkin-Huxley 神经元电路

关键词：忆阻器 人工突触 人工神经元

参考文献

- 【1】Z.-H. Tan *et al.*, Synaptic metaplasticity realized in oxide memristive devices. *Adv. Mater.* 2016, 28, 377-384.
- 【2】R. Yang *et al.*, Synaptic suppression triplet-STDP learning rule realized in second-order memristors. *Adv. Funct. Mater.* 2018, 28, 1704455.
- 【3】J. Xiong *et al.*, Bienenstock, Cooper and Munro Learning Rules Realized in Second-Order Memristors with Tunable Forgetting Rate, *Adv. Funct. Mater.* 2019, 29, 1807316.
- 【4】H.-M. Huang *et al.*, Quasi-Hodgkin-Huxley Neurons with Leaky Integrate-and-Fire Functions Physically Realized with Memristive Devices, *Advanced Materials*, 2019, 31, 1803849.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 51772112 and U1832116）

高热导材料砷化硼和磷化硼的发现及其热膨胀系数研究

Sheng Li¹, Keith M. Taddei², Xiqu Wang³, Hanlin Wu¹, Jörg Neufeind², Davis Zackaria¹, Xiaoyuan Liu¹, Clarina Dela Cruz², Bing Lv¹

¹ Department of Physics, The University of Texas at Dallas, Richardson, TX 75080, USA

² Neutron Scattering Directorate, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 37831, USA

³ Department of Chemistry, University of Houston, Houston, TX 77204, USA

立方结构的砷化硼和磷化硼在 2013 年被预言具有超高热导性质，2018 年，砷化硼的高热导性质被 UT Dallas, UCLA, 和 UH 三个小组所证实，其结果同时发表于《科学》杂志^{1,2,3}。我们同时也证实了磷化硼的高热导率⁴。由于散热问题是限制电子学发展的一大关键因素，故这一高热导材料的发现具有特别重要的意义，可能会对电子学尤其是高功率电子元件的发展起到革命性的推动作用，并开启它们作为电子元件散热器的新发展趋势。就应用而言，散热器需要具备两个特点，首先需要具有很高的热导率用来传输半导体材料所发出的热量，其次需拥有和半导体材料相匹配的热膨胀系数以减少热膨胀带来的器件热缺陷。我们合成了高质量的 BAs 和 BP 单晶和多晶样品，证实其拥有高热导性质，并且通过 X 射线衍射和中子衍射确认了 BAs 和 BP 的室温热膨胀系数分别为 $3.6 \pm 0.15 \times 10^{-6}$ /K 和 $3.2 \pm 0.2 \times 10^{-6}$ /K⁵，这一结果表明这一类硼化物具有和一些常用半导体材料 Si 和 GaAs 更加接近的热膨胀系数，也为 BAs 和 BP 的应用奠定了基础。

[1] Sheng Li et al. *Science* **361**, 579 (2018)

[2] J. S. Kang et al. *Science* **361**, 575 (2018)

[3] Fei Tian et al. *Science* **361**, 582 (2018)

[4] Qiye Zheng et al. *Adv. Funct. Mater.* **28**, 1805116 (2018)

[5] Sheng Li et al. *APL* **115**, 011901 (2019)

半导体中的掺杂与缺陷物理

邓惠雄

中国科学院半导体研究所，北京 100083

Email: dhx@semi.ac.cn

摘要：材料从导电性可分为金属、半导体、和绝缘体。金属总是导电，绝缘体总是不导电，因此，不具有人为的可控性，然而，半导体由于其导电性具有可控性，因此，成为了当今电子科学技术基础材料。但是，纯净的半导体材料也不具有导电性，必须进行掺杂和缺陷控制后才能成为优良的 n 型或 p 型导体，才能制备出优良的微电子和光电子器件，因此，掺杂与缺陷控制是半导体科学的核心技术之一。在本报告中，我们将围绕半导体中的掺杂与缺陷的相关物理问题展开讨论。首先将讨论金属杂质在半导体中的扩散机理。一直以来，实验上发现金属杂质在不同的传统半导体材料中的扩散性质有着显著差异，但其中的物理机理并不清楚。我们成功阐明了铜和银等金属在不同半导体中扩散行为显著差异的物理根源，澄清了长期以来的混淆，总结出了影响金属杂质在半导体中扩散性质的主要因素。同时，我们也针对目前的缺陷计算理论展开了研究。近三十年来，第一性原理缺陷与掺杂计算理论都是采用周期性边界条件下的小原胞“凝胶”模型。然而，对于此理论，一直以来都存在很多修正模型和理论上的争议，尤其对于低维结构中带电体系。我们提出了计算带电缺陷态的真实态转移模型，成功地克服传统的“凝胶”模型对低维半导体结构中缺陷计算的困难，并统一了体材料和低维半导体中的缺陷计算理论。

偏压可调宽带太赫兹量子阱探测器

张桂雪, 郭旭光, 朱亦鸣*

上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海, 200093

*Email: ymzhu@usst.edu.cn

摘要: 近年来, 基于子带间跃迁 (ISBTs) 的太赫兹量子阱探测器 (THz QWP) 受到越来越多的关注。THz QWP是在太赫兹波段工作的重要光子型探测器, 相比较于热型探测器, 具有响应速度快、可设计的峰值响应频率、易于集成、灵敏度高优点。目前, 在结构参数的优化、高效光耦合器的设计、载流子输运特性的理解等方面取得了许多进展, 极大地提高了THz QWP的性能。

阶梯量子阱 (SQW) 作为最简单的非对称量子阱, 可以用于实现太赫兹偏压可调宽带量子阱探测器。通过设计量子阱的参数, 实现了4.0-7.0 THz的偏压可调宽带探测。此外, 在具有非对称SQW吸收层的THz QWP中, 发现了偏压极性依赖的光电流谱, 并从实验和理论两方面进行了系统分析。对称的暗电流特性表明器件没有内建电场, 漂移电子在SQW层中的停留时间不依赖于偏压极性。因此, 偏压极性相关的光响应谱并不起源于光激发电子在能量势垒上方的漂移。通过计算偏压为 ± 0.6 V时的波函数, 发现在正负偏压下, E_2 子带的波函数形状是强不对称的, 这导致了 E_2 能带中的光激发电子逃逸和再捕获概率不一致, 由此导致了偏压极性相关的光电流谱。结果表明, 在高性能宽带THz阶梯量子阱探测器的设计中, 能带结构和波函数的非对称分布都起着关键作用。

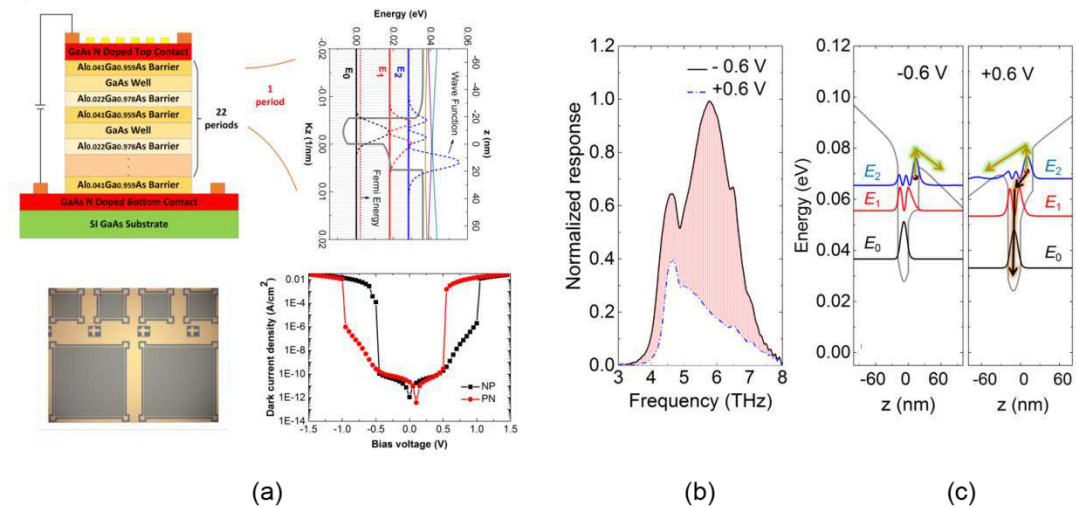


图1 太赫兹阶梯量子阱探测器, (a) 结构参数、能带结构、显微图、暗电流, (b) 归一化光响应, (c) 波函数。

关键词: 阶梯量子阱、偏压可调、宽带探测

参考文献:

- [1] G. X. Zhang et al., Bias-polarity-dependent photocurrent spectra of terahertz stepped-quantum-well photodetectors, *Phys. Rev. Applied* **12**, 024035 (2019).
- [2] X. G. Guo et al., Recent Progress in Terahertz Quantum-Well Photodetectors, *IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron.* **19**, 8500508 (2013).
- [3] X. G. Guo et al., Negative differential resistance induced by thermalization of two-dimensional electrons in terahertz quantum-well photodetectors, *J. Appl. Phys.* **113**, 203109 (2013)

超高空穴迁移率 GaSb 纳米线基超快响应红外探测器

孙嘉敏、杨再兴

山东大学微电子学院, 济南 250100

Email: zaixyang@sdu.edu.cn

摘要:

超快响应速度是新一代红外探测器的主要特征之一。提高器件沟道材料的迁移率将有利于提升红外探测器的探测速度。在 III-V 族半导体材料中, 由于具有较窄的禁带宽度(0.72 eV)和超高的理论空穴迁移率 ($1000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$), 锑化镓 (GaSb) 在制造高性能红外探测器方面具有先天的优势。同时, 随着光电子器件尺寸的不断减小, 一维纳米线材料越来越多的被研究于高性能光电器件沟道材料。然而, 受限于较低的空穴迁移率, GaSb 纳米线基光电子器件的发展比较缓慢。采用传统的化学气相沉积法 (CVD) 合成 GaSb 纳米线会遇到纳米线横向生长的问题, 导致其直径无法控制、晶体质量差、空穴迁移率一般小于 $40 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ [1]。值得一提的是, 在新近发展的硫表面活性剂辅助生长三五族半导体纳米线的方法中, 成功实现了直径可控、生长方向可控、本征空穴迁移率达理论极限值 ($330\text{-}400 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 载流子浓度 10^{18} cm^{-3}) 的 GaSb 纳米线[2-4]。

一般来讲, 掺杂可以调节半导体的载流子浓度、晶体缺陷等, 进而实现对半导体迁移率的调控。通过第一性原理计算可以预测: 在GaSb材料中, 通过Sn轻掺杂, GaSb的空穴浓度将减小, 有利于迁移率的提高; 同时, 杂GaSb后, 体系的禁带宽度及载流子有效质量均进一步减小, 空穴迁移率将增加。需要注意的是, 重掺杂将增加半导体的载流子浓度, 增强库仑散射, 减小半导体迁移率。因此, 如何实现Sn对GaSb纳米线的轻掺杂是研究的难点, 将进一步提升GaSb纳米线的空穴迁移率, 为实现超快响应的红外探测器提供理想的沟道材料。

课题组发现在纳米线的生长过程中, 所使用的金属催化剂会微量的掺杂到纳米线晶体中。通过表面活性剂辅助 CVD 方法, 采用 Sn 作为纳米线生长的催化剂和轻掺杂源, 得到了超高空穴迁移率的 GaSb 纳米线 (空穴迁移率超过 $1000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$), 是目前已报道的 GaSb 纳米线迁移率最高值。利用接触印刷技术, 实现了对 1550 nm 红外光具有超快响应 (上升/下降时间为 195.1 μs /380.4 μs) 的 GaSb 纳米线阵列红外探测器, 为纳米线在红外探测领域应用探索有效途径[5]。

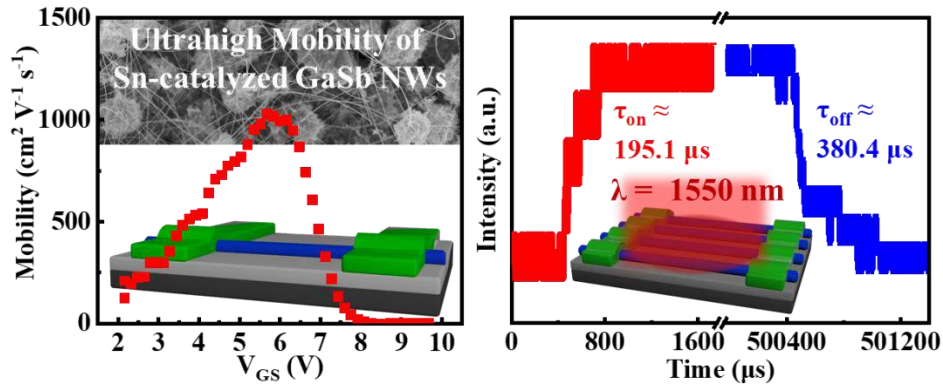


图 1 超高迁移率锡催化 GaSb 纳米线及纳米线阵列红外探测器件

关键词：GaSb 纳米线 锡轻掺杂 超高迁移率 快速响应 红外探测器

参考文献

- 【1】 Z. X. Yang *et al.*, Crystalline GaSb Nanowires Synthesized on Amorphous Substrates: From the Formation Mechanism to p-Channel Transistor Applications, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2013, 5(21), 10946
- 【2】 Z. X. Yang *et al.*, Surfactant-Assisted Chemical Vapour Deposition of High-Performance Small-Diameter GaSb Nanowires, *Nat. Commun.* 2014, 5, 5249
- 【3】 Z. X. Yang *et al.*, Approaching the Hole Mobility Limit of GaSb Nanowires, *ACS Nano* 2015, 9(9), 9268
- 【4】 Z. X. Yang *et al.*, Complementary Metal Oxide Semiconductor-Compatible, High-Mobility, (111)-Oriented GaSb Nanowires Enabled by Vapor-Solid-Solid Chemical Vapor Deposition, *ACS Nano* 2017, 11(4), 4237.
- 【5】 J. M. Sun *et al.*, Ultrahigh Hole Mobility of Sn-Catalyzed GaSb Nanowires for High Speed Infrared Photodetectors, *Nano Lett.* 2019, accepted (DOI: 10.1021/acs.nanolett.9b01503).

基金项目：国家重点研发计划（2017YFA0305500），山东省泰山学者青年专家项目（ZR2017MF037），深圳市自由探索项目（JCYJ20170307093131123），山东大学齐鲁青年学者启动项目及山东大学杰出青年学者等。

基于全二维材料的热电子晶体管

徐杨

信息与电子工程学院, 微电子学院, 浙江大学, 杭州 310027, 中国

石墨烯与其他二维层状材料例如氮化硼、硒化钨一起为设计新型电子器件提供了机会¹。在这里, 我们向大家介绍基于二维范德华异质结的全二维热电子晶体管(van der Waals Hot Electron Transistor, vdW HET)²。在该器件中, 少于3层的薄层石墨烯被用作基极, 宽禁带的氮化硼与窄禁带的硒化钨分别被用作发射极-基极和基极-集电极势垒。基极的薄层石墨烯可以减少载流子的散射, 有利于沟道中载流子的弹道输运, 对实现高收集效率和高速应用起到关键作用³⁻⁵。二维材料中禁带宽度的多样性使得器件制备过程中可以选择不同的禁带宽度材料来实现对载流子输运的操控。首先, 该vdW HET成功实现热载流子的注入和收集, 这一点可以从集电极电流 I_c 随注入热电子电流 I_e 增加而增加看到。其次, 我们观察到明显的饱和现象, 这对器件的应用来说是很优异的特性⁶。更重要的是, 该器件可以工作在热空穴(hot-h)和热电子(hot-e)模式下, 这一现象首次在基于二维材料的热电子晶体管中被观察到。通过进一步的计算, 我们发现该器件的收集效率在用hBN做为发射极势垒时能够接近100%的理论极限。另外, 由于器件全部由二维材料构成, vdW HET非常适合在柔性电子器件方面的应用。以上实验结果表明, 我们的vdW HET不但在柔性高性能器件方面具有很大潜力, 而且能够为研究热电子输运特性提供合适的平台。

参考文献

1. Geim, A. K.; Grigorieva, I. V., Van Der Waals Heterostructures. *Nature* 2013, 499, 419-425.
2. Rodriguez-Nieva, J. F.; Dresselhaus, M. S.; Levitov, L. S., Thermionic Emission and Negative Di/Dv in Photoactive Graphene Heterostructures. *Nano. Lett.* 2015, 15, 1451-1456.
3. Vaziri, S.; Lupina, G.; Henkel, C.; Smith, A. D.; Ostling, M.; Dabrowski, J.; Lippert, G.; Mehr, W.; Lemme, M. C., A Graphene-Based Hot Electron Transistor. *Nano. Lett.* 2013, 13, 1435-1439.
4. Zeng, C.; Song, E. B.; Wang, M.; Lee, S.; Torres, C. M., Jr.; Tang, J.; Weiller, B. H.; Wang, K. L., Vertical Graphene-Base Hot-Electron Transistor. *Nano. Lett.* 2013, 13, 2370-2375.
5. Chandni, U.; Watanabe, K.; Taniguchi, T.; Eisenstein, J. P., Evidence for Defect-Mediated Tunneling in Hexagonal Boron Nitride-Based Junctions. *Nano. Lett.* 2015, 15, 7329-7333.
6. Guo, H.; Li, L.; Liu, W.; Sun, Y.; Xu, L.; Ali, A.; Liu, Y.; Wu, C.; Shehzad, K.; Yin, W., *et al.*, All-Two-Dimensional-Material Hot Electron Transistor. *IEEE Electron Device Lett.* 2018, 39, 634-637.

基于半导体硅超材料光可调宽带太赫兹吸收器

王玥¹、赵晓光²、Xin Zhang²

¹陕西省超快光电技术与太赫兹科学重点实验室, 西安理工大学, 西安 710048

²Department of Mechanical Engineering, Boston University, Boston, Massachusetts 02215, United States

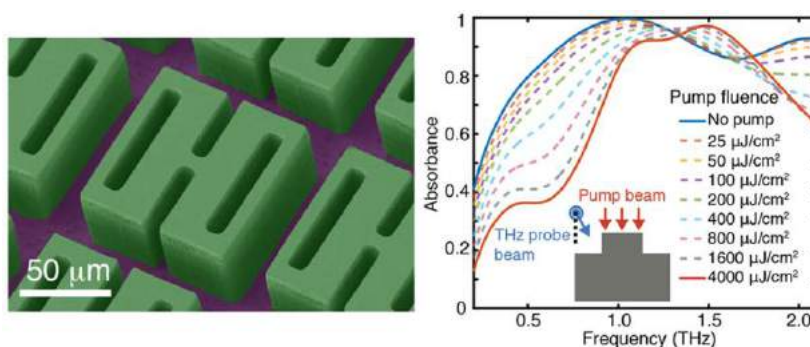
Email: wangyue2017@xaut.edu.cn

摘要: 人工电磁超材料吸收器的发展从微波波段跨越到了可见光波段, 这种吸收器具有完美吸收、超薄厚度、吸收频率设计方便灵活等优势, 为调制太赫兹波及其实现相关太赫兹功能器件提供一种思路, 在电磁隐身、生化检测、传感等领域具有重要应用价值。先前的报道集中在单频、多带太赫兹吸收器, 这些吸收器基于金属/介质/金属的“三明治”结构。而在实现宽带吸收时, 需要多层叠加, 这将增加了制备难度同时降低了集成度。基于半导体材料的全介质吸收器的设计为实现宽带吸收提供了一种新的方法, 同时可以实现宽带光可调吸收特性, 在与CMOS技术兼容的太赫兹探测与成像领域有重要应用。

本文作者在半导体硅材料衬底上设计了‘H’型超结构, 获得了静态宽带太赫兹波吸收, 同时, 通过光激发研究了动态可调吸收规律。设计的全硅超材料吸收器在中心工作频率1THz处可以实现吸收带宽为0.9THz的结果。并利用等效介质理论以及有限时域差分模拟方法分析了宽带共振吸收的物理机理。最后, 通过波长为800nm频率为100fs的光脉冲激发吸收器, 实现了宽带动态调制吸收以及共振频移结果。研究结果在实现太赫兹波的调制与开关器件中有潜在应用价值。

图1 光可调全介质太赫兹吸收器

关键词: 太赫兹波, 超材料, 全介质, 吸收器



参考文献

- 【1】 C.Watts *et al.*, Metamaterial electromagnetic wave absorber, *Adv. Mater.* 2012, 24, OP98-OP120.
 【2】 R. Kakimi *et al.*, Capture of a terahertz wave in a photonic crystal slab, *Nat. Photonics*, 2014, 8, 657-663.

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO. 61975163)和美国自然科学基金(NO.ECCS-1810252)

拓扑安德森绝缘体约瑟夫森结的量子干涉效应研究

伍滨和¹、公卫江²、徐晓峰¹、王春瑞¹、曹俊诚³

1、东华大学理学院, 上海 200620

Email: bhwu@dhu.edu.cn

2、东北大学理学院, 沈阳 110004

3、中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海, 200050

摘要:

无序杂质散射可以将普通绝缘体转变为边缘态导电的拓扑安德森绝缘体, 并显示出量子电导台阶等特征输运性质。研究拓扑安德森绝缘体的相变规律与独特输运性质成为了近年来的研究热点。特别是, 利用独特的边缘态导电特性, 将拓扑安德森绝缘体与超导体构成约瑟夫森结有望实现杂质散射与磁场调控的超导电流干涉器件, 有望实现本征的超导量子干涉器件 (SQUID)。当约瑟夫森结的主要导电机制是体电流或边缘态电流时, 约瑟夫森临近电流将受到外磁场的调制, 发生量子干涉现象, 随之导电机制由均匀体电流转变为边缘态电流时, 干涉图像也随之由夫琅和费曲线转变为正弦曲线。

基于松原格林函数方法, 我们理论研究包含拓扑安德森绝缘体的约瑟夫森电流的量子干涉效应[1]。数值结果证明, 杂质散射导致的边缘态在承载普通电流与超导电流时显示出了不同的输运特征。例如, 与普通电导在拓扑安德森绝缘体相时表现为量子化电导台阶不同, 约瑟夫森临近电流随无序强度增加显示为独特的超导电流峰, 且峰值恰好处于材料由普通导体转变为拓扑安德森绝缘体相的情况。我们分析了约瑟夫森结内的电流密度分布及电流与干涉图样与无序强度的关系。结果表明: 当材料处于拓扑安德森相时, 若无序强度较强, 尽管约瑟夫森临界电流强度被显著限制, 但是正弦干涉图样却可以较好的保持。这些结果证明, 超导电流的量子干涉效应可以更有效地表征拓扑安德森绝缘体的相变过程。

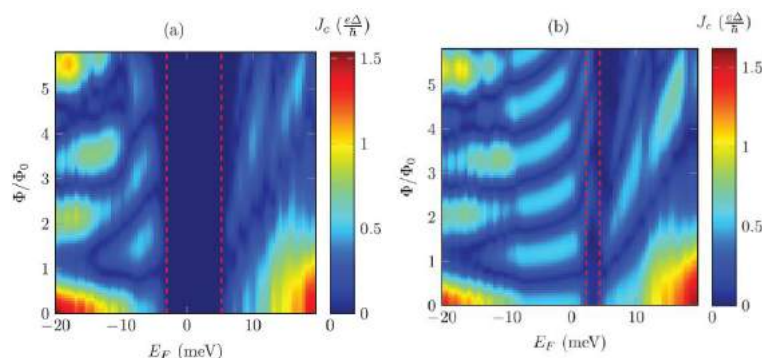


图1 普通导体与拓扑安德森绝缘体约瑟夫森临界电流与费米能和磁场的计算结果。

关键词: 拓扑安德森绝缘体 量子干涉 约瑟夫森效应

参考文献: [1] B.H.Wu, W. J. Gong, X. F. Xu, C. R. Wang, and J. C. Cao, J. Phys.:Condens. Matter **31**, 285301 (2019)

量子点发光二极管中的电容-电压曲线建模分析及负电容现象探究

肖翔天, 瞿祥炜, 肖华, 王恺*

南方科技大学, 电子与电气工程系, 深圳 518055

Email: wangk@sustech.edu.cn

摘要: 量子点发光二极管 (QLED) 是指利用量子点材料作为有源层的发光器件。该器件通过有源层两侧的电子和空穴传输层, 将载流子输运到量子点区域, 并复合产生电致发光。QLED 的发光性能与器件内部载流子的注入平衡与传输特性有着紧密的联系, 因此载流子输运机制和动力学研究对进一步优化 QLED 性能十分重要。

阻抗谱及其基础上延伸而来的电容-电压特性曲线 (C-V 曲线) 能够精确反映出非线性电容器中电荷量变化, 因此常常被应用于半导体器件的载流子输运特性研究中。目前, 半导体 LED、OLED、以及 PLED (聚合物 LED) 中的阻抗及电容特性已有报道, 而对于新兴的 QLED, C-V 曲线相关研究还处于初期阶段, 需要对 C-V 曲线开展深入分析, 指导 QLED 机理探究及器件制备。

本课题组针对这一问题, 采用理论建模仿真-实验协同验证的方法, 对目前常见的两类 QLED (包括有机无机杂化的钙钛矿 QLED, 以及 CdSe/ZnS QLED) 的 C-V 曲线进行了理论建模与分析。首先, 我们基于已有的 C-V 曲线分析理论, 给出了描绘低电压下 QLED 的几何电容与扩散电容公式。同时, 针对大电压下 QLED 中载流子开始复合发光后电容的变化, 我们提出了相关理论模型及定量描述公式, 并首次观察到钙钛矿 QLED 的负电容现象。进一步的, 基于我们提出的模型理论, 对 QLED 负电容的形成机理及变化趋势进行较为详细的分析。此外, 我们制备了相应的 QLED 器件, 并测试了 C-V 曲线。实验结果与理论模型的吻合度较高, 进一步验证了 QLED 中 CV 建模及负电容分析的指导性和可行性。基于该模型指导, 优化了钙钛矿 QLED 器件结构, 器件外量子效率 EQE 从 8% 显著提升到 16.7%。

关键词: 量子点发光二极管, 电容-电压特性, 负电容, 建模

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 61875082), 国家重点研发计划项目 (NO. 2017YFE0120400).

p-GaN 功率 HEMT 栅极载流子注入及阈值电压漂移机制

李百奎¹、唐曦¹、王建农²、Sima Dimitrijević³

1深圳大学物理与光电工程学院，深圳518060，

2香港科技大学物理系，3澳大利亚昆士兰微纳电子研究中心

Email: libk@szu.edu.cn

摘要：氮化镓异质结功率高迁移率场效应管（AlGaIn/GaN powerHEMTs）具有开关频率高、导通损耗低、耐高温等优点，是发展高效、集约功率转换系统的核心器件。AlGaIn/GaN 异质结界面处源于极化不连续的二维自由电子气（2DGE）在提供高迁移率沟道的同时，也决定了 AlGaIn/GaN HEMT 为常开型。而在应用中，基于安全及控制简化等考虑，常关型器件具有更大的优势。目前，p-GaN 栅技术已经成为实现沟道耗尽、制造常关型 AlGaIn/GaN HEMT 的主流方案，被各主要器件制造商和研究机构所采用的。栅电极与 p-GaN 之间可以是欧姆接触或者肖特基接触，后者由于具有更低的漏电和更大的栅压摆幅而被广泛采用。近两年来，研究发现，肖特基型 p-GaN 栅 HEMT 的阈值随驱动栅压表现出复杂的漂移现象，给 GaN 功率 HEMT 走向实用带来新的挑战。

本文研究了 p-GaN 栅功率 HEMT 的阈值电压随栅极驱动电压及驱动时间的漂移规律。在负栅极驱动电压下，阈值电压正向漂移，漂移幅度随驱动电压和驱动时长增加而增加。在正栅极驱动电压下，阈值电压先增加后降低，栅极驱动电压转变点为 6V；随驱动时长的增加，阈值漂移表现出复杂的变化规律。相关结果如图 1 所示。通过研究具有半透明上电极的“金属/p-GaN/AlGaIn/GaN(2DEG)”二极管（图 2）的电致发光光谱、光电压谱和电流电压特性，我们揭示了 p-GaN 栅结构中的电子和空穴的注入规律，阐明了 p-GaN 栅 HEMT 阈值漂移的物理机制。负栅极电压下，电子由栅金属注入到 p-GaN，被电子陷阱俘获，导致正向的阈值漂移；而在正向栅极电压下，电子由 2DEG 沟道注入到 p-GaN，被电子陷阱所俘获，导致正向阈值漂移，当正向栅压超过 6V 时，大量空穴由 p-GaN 注入到沟道层，与 2DEG 电子结合辐射 GaN 带边紫外光子，这些高能量的光子可以激

发电子陷阱，从而导致阈值电压漂移的降低。p-GaN 栅极结构在不同偏压下的能带图及载流子注入过程如图 3 所示。

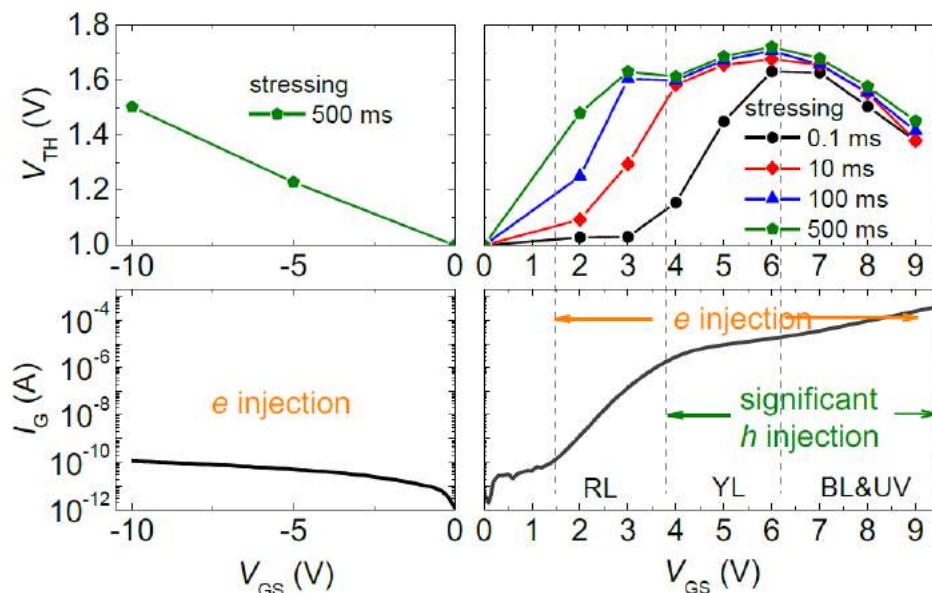


图 1 p-GaN 栅 HEMT 阈值漂移特性与栅极电流-电压特性。

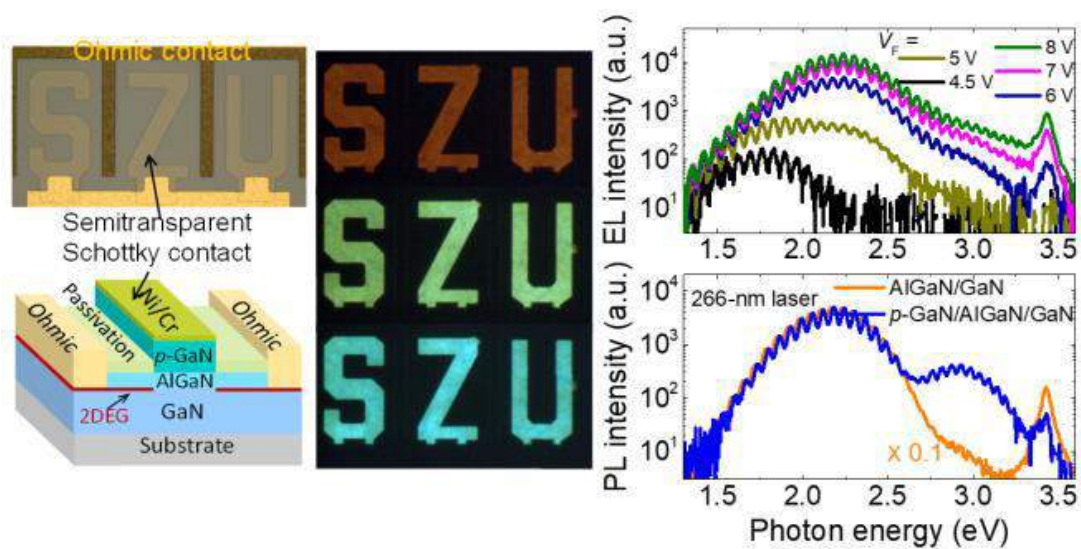


图 2 具有半透明电极的‘金属/p-GaN/AlGaIn/GaN(2DEG)’二极管，及其电致发光和光致发光光谱。

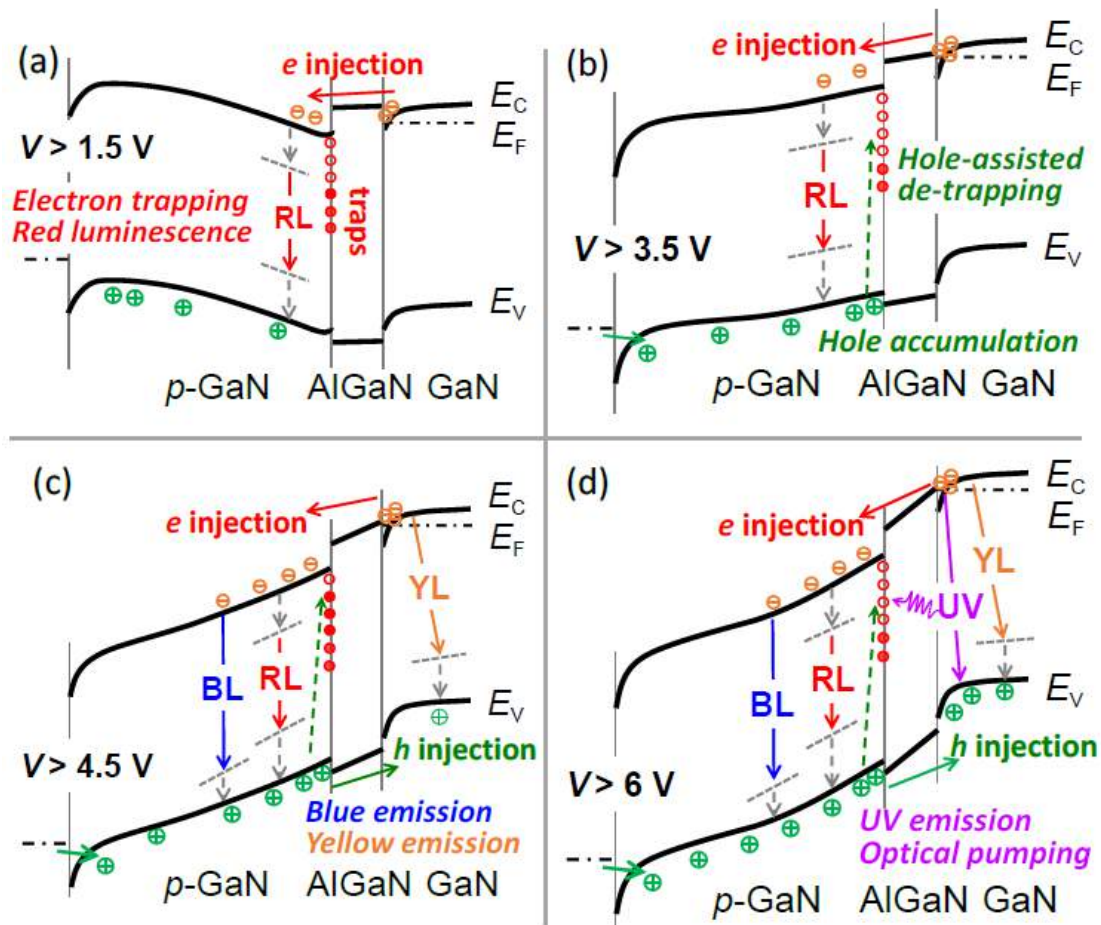


图 3p-GaN 栅极在不同偏压的能带示意图，及载流子注入过程。

关键词：氮化镓，HEMT，常关型，阈值，电致发光

参考文献

- [1] Xi Tang, Baikui Li*, et al., "Mechanism of Threshold Voltage Shift in p-GaN Gate AlGaIn/GaN Transistors" *IEEE Electron Device Lett.*, vol 39, pp1145, 2018.
- [2] Xi Tang, Baikui Li*, et al., "Effect of Hole-Injection on Leakage Degradation in a p-GaN Gate AlGaIn/GaN Power Transistor", *IEEE Electron Device Lett.*, vol 39, pp1203, 2018.
- [3] Baikui Li, et al., "Impact of carrier injections on the threshold voltage in p-GaN gate AlGaIn/GaN power HEMTs", *Appl. Phys. Express*, vol 12, p 064001, 2019.
- [4] Baikui Li, et al., "Asymmetric Bipolar Injection in a Schottky-Metal/p-GaN/AlGaIn/GaN Device under Forward Bias", *IEEE Electron Device Lett.*, early access, 2019. doi:10.1109/LED.2019.2926503

Enhanced Terahertz All-Optical Modulation Based on Manganese Ferrite Nanoparticles

Weien Lai^{1*} Peng Huang,² Beatriz Pelaz,³ Pablo del Pino³ and Qian Zhang³

¹National Engineering Laboratory of Special Display Technology, National Key Laboratory of Advanced Display Technology, Academy of Photoelectric Technology, HeFei University of Technology, HeFei, 230009, China

²Key Laboratory for Thin Film and Microfabrication Technology of the Ministry of Education, Department of Instrument Science and Engineering, School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, 800 Dongchuan RD, Shanghai, 200240, China

³Centro Singular de Investigación en Química Biolóxica e Materiais Moleculares (CIQUS), and Departamento de Física de Partículas, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 15782, Spain

Email: wnlai@hfut.edu.cn

Abstract: The development of interdisciplinary science is facilitating the integration of nanotechnology with terahertz (THz) technology, which makes the nanomaterials play a key role in the field of THz technology. Furthermore, THz technology has become increasingly attractive for its potential applications, such as THz imaging and THz communication. With the development of high-speed telecommunications, THz communication has become an increasingly attractive research area. In THz communication systems, there are desired demands for THz modulators with excellent performance, which include some important parameters such as modulation bandwidth, modulation depth and modulation speed. In the past, various THz modulators, which based on metamaterials, graphene, superconductors, and vanadium dioxide, were demonstrated. However, these modulators have complex fabrication requirements and are limited by the properties of materials, which restrict their practical applications. Here, we present an all-optical modulator based on manganese ferrite nanoparticles (MnFe_2O_4 NPs), which provides an enhanced attenuation of broadband terahertz waves. A wide-band modulation of THz transmission was observed in a frequency range from 0.15 to 1.2 THz. Our work demonstrated that coatings of MnFe_2O_4 NPs can be efficiently used to improve the performance of THz modulators based on optical modulation. This paper describes a new route to increase the surface photoconductivity of semiconductors by coating of MnFe_2O_4 NPs. This work demonstrates that the THz modulator based on MnFe_2O_4 NPs can significantly boost the overall performance of THz communication systems, and MnFe_2O_4 NPs may offer some useful solutions for future THz devices.

Acknowledgements

We thank the financial support from HeFei University of Technology, MINECO (MAT2015–74381-JIN to B.P., RYC-2014–16962 to P.dP.) and the Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria (Centro singular de investigación de Galicia accreditation 2016-2019, ED431G/09).

衬底与二维材料耦合机理及其再红外光电探测器的应用

王芳、王鹏、陈效双、陆卫、胡伟达

中国科学院上海技术物理研究所, 红外物理国家重点实验室, 上海 200083

Email: wdhu@mail.sitp.ac.cn

摘要: 自从 2004 年石墨烯作为第一种原子薄二维(2D)材料被 Andre Geim 分离出来以来, 至今已经有 2000 多种具有弱范德华力的层状二维材料被发现。在基于二维材料的物性研究以及应用研发中, 二维材料都需要附着或者悬挂在衬底上。衬底不仅会在制备过程中对材料内禀特性产生影响, 更是在红外探测领域对材料的性能优化调控起着不可忽略的作用。首先, 由于二维晶体与衬底之间的范德瓦尔斯力作用以及热膨胀系数差异, 当环境温度变化时, 衬底施加在材料上的耦合应力会导致材料晶格发生畸变, 从而影响材料的缺陷态能级分布、荧光跃迁、声子震动特征、载流子传输等特征。其次, 在红外光电探测领域, 适当的光敏衬底会在光照时积累单载流子于界面, 从而产生衬底光栅效应, 达到提高二维材料光增益的目的。本次报告从材料衬底诱导内禀缺陷和衬底激励高增益红外光电探测两方面出发, 揭示了衬底在二维材料发展过程中的重要性。

关键词: 二维材料 红外光电探测器 衬底耦合应力 残余畸变 photogating

参考文献

- 【6】 F. Wang, B. Zhou, H.M. Sun, A.Y. Cui, T. Jiang, L.P. Xu, K. Jiang, L.Y. Shang, Z.G. Hu, and J.H. Chu, Difference analysis model for mismatch effect and substrate-induced lattice deformation in atomically thin materials, *Phys. Rev. B* 98 (24): 245403 (1-9) (2018).
- 【7】 X. Guo, W. Wang, H. Nan, Y. Yu, J. Jiang, W. Zhao, J. Li, Z. Zafar, N. Xiang, Z. Ni, W. D. Hu, Y. You, and Z. Ni, High-performance graphene photodetector using interfacial gating, *Optica* 3 (10), 1066 (2016).
- 【8】 F. Wang, J.Y. Wang, S. Guo, J.Z. Zhang, Z.G. Hu, and J.H. Chu, Tuning coupling behavior of stacked heterostructures based on MoS₂, WS₂, and WSe₂, *Sci. Rep.* 07: 44712 (1-10) (2017).

基金项目: 国家杰出青年基金项目 (NO. 61725505)

国家基金科学基金重点项目 (NO. 11734016)

中国博士后科学基金第 1 批特别资助 (站前) (NO. 2019TQ0333)

InGaAs/GaAs 亚单层量子点激光器的温度特性和缺陷研究

徐章程

百色学院信息工程学院, 广西百色市中山二路 21 号, 533000

E-mail: zcxu@foxmail.com

摘要: 利用分子束外延技术, 在 GaAs 衬底上, 通过交替沉积亚单层 InAs 和几个单层的 GaAs 的方法可以生长 InGaAs 量子点材料。通过控制交替沉积的周期、循环数量以及 InAs 与 GaAs 的厚度比来控制量子点结构和尺寸, 从而可以调节量子点的复合能量。与传统的基于 S-K 模式生长的 InGaAs 量子点不同, 亚单层量子点具有均匀性好、面密度高和量子点尺寸可控性好等优点。亚单层 InGaAs 量子点已经成功应用于高功率激光器、红外探测器和太阳电池等光电器件中【1-3】。本文将系统研究 InGaAs/GaAs 宽面量子点激光器的温度特性及其中的缺陷。InGaAs 亚单层量子点激光器外延结构是利用固态分子束外延技术在 n 型 (10^{18}cm^{-3}) GaAs (100) 衬底上生长的。它是由 0.5 微米厚的 n 型 (10^{18}cm^{-3}) 的 GaAs 缓冲层、1.5 微米厚的 n 型 (10^{18}cm^{-3}) Al_{0.2}Ga_{0.8}As 下包层、100 nm 厚的 p 型 (10^{17}cm^{-3}) GaAs 限制层、亚单层 InGaAs 量子点激活层、100 nm 厚的 n 型 (10^{17}cm^{-3}) GaAs 限制层、1.5 mm 厚的 p 型 (10^{18}cm^{-3}) 上包层, 以及 200 nm 的 p 型 (10^{19}cm^{-3}) 的 GaAs 覆盖层 (用于欧姆接触) 构成的。亚单层 InGaAs 量子点激活层是通过 10 次交替沉积 0.5ML InAs 和 2.5ML GaAs 而形成的。利用该外延结构制备了宽面量子点激光器, 腔长为 525 微米, 面宽为 100 微米。该激光器的发射谱随温度的变化如图 1 所示, 特征温度为 81K。利用 Hakki-Paoli 方法测量了该激光器的增益谱, 我们发现该激光器的模增益高达 44cm^{-1} , 但是内损耗为 33cm^{-1} 。较大的内损耗是由于激光器内部的缺陷引起的, 为此, 对其放大的自发发射光谱 (ASE) 进行了傅里叶分析。结果表明, 在离开端面 91 微米和 434 微米处有两个缺陷峰, 对应于外延结构内部的晶体缺陷。这些结果为进一步优化亚单层量子点激光器的生长工艺和制备工艺提供参考依据。

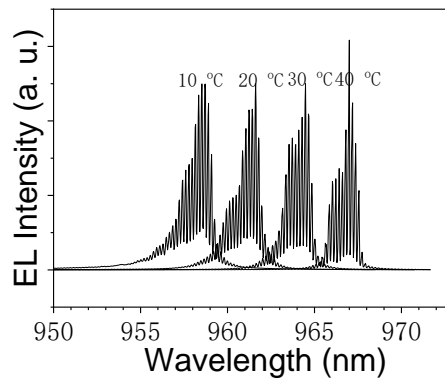


图 1 InGaAs/GaAs 量子点激光器的发射光谱随温度的变化

关键词： 亚单层沉积，量子点激光器，特征温度，缺陷

参考文献：

- 【1】 Zhangcheng Xu *et al.*, Submonolayer InGaAs/GaAs quantum-dot lasers with high modal gain and zero-linewidth enhancement factor, *Applied Physics Letters*, 2004, 85(15), 3259.
- 【2】 David Ting *et al.*, The sub-monolayer quantum dot infrared photodetector revisited, *Infrared Physics & Technology*, 2015, 70, 20.
- 【3】 Phu Lama *et al.*, Submonolayer InGaAs/GaAs quantum dot solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2014, 126, 83.

金属硫族二维半导体材料及其异质结

何军

国家纳米科学中心

Email: hej@nanoctr.cn

当材料的特征尺寸降低到纳米级别时,半导体就会展现出一些常规尺寸下所不具有的特性,例如量子限域效应、高的静电调控能力、以及强的光-物质相互作用。在众多的低维结构中,由于二维结构与传统微电子加工技术以及柔性基底具有非常好的兼容性,使得二维结构的半导体材料在电子和光电子方面的革新浪潮中处于领导地位。因此,对二维半导体的研究具有重要意义。目前为止,本身具有层状和非层状结构的材料都可以以二维的形态被制备出来。其中,对于二维层状材料,尤其是过渡金属双硫族化物的研究已经取得了很大的进展。然而,这方面的研究还仍处于初始阶段,很多重要问题还亟待解决,更系统深入的研究还有待进行。另外值得注意的是,由于大多数半导体都具有非层状的晶体结构,因此实现非层状半导体的二维生长将具有重要的意义。基于以上的问题和挑战,我们的研究主要集中于二维金属硫族化物及其异质结的设计、合成以及应用方面。在本报告中,我将集中讨论以下两个方面:

1. 二维层状金属硫族化合物及其异质结的可控制备、物理性质以及电子和光电子器件应用。
[1, 3, 4, 7, 8, 10]
2. 二维非层状材料的范德华外延、电子和光电子性质研究,包括 CdTe、PbS 以及 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$ 等纳米片。^[2, 5, 6, 9]

关键词: 二维层状材料, 二维非层状材料, 异质结, 范德华外延, 电学性能

参考文献

- 【1】 R. Q. Cheng, L. Yin, F. Wang, Z. X. Wang, J. J. Wang, Y. Wen, W. H. Huang, M. Sendeku, L. P. Feng*, Y. F. Liu* and J. He*, Anti-Ambipolar Transport with Large Electrical Modulation in 2D Heterostructured Devices, *Adv. Mater.* **2019**, 31, 1901144.
- 【2】 J. W. Chu, Y. Zhang, Y. Wen, R. X. Qiao, C. C. Wu, P. He, L. Yin, R. Q. Cheng, F. Wang, Z. X. Wang, J. Xiong*, Y. R. Li and J. He*, Sub-millimeter Scale Growth of One-unit-cell Thick Ferrimagnetic Cr_2S_3 Nanosheets, *Nano Lett.* **2019**, 19, 2154.
- 【3】 N. N. Li, Y. Zhang, R. Q. Cheng, J. J. Wang, J. Li, Z. X. Wang, M. G. Sendeku, W. H. Huang, Y. Y. Yao, Y. Wen, and J. He*, Synthesis and Optoelectronic Applications of a Stable p-Type 2D Material: $\alpha\text{-MnS}$, *ACS Nano*. **2019**, accepted

- 【4】 Y. Zhang, J. W. Chu, L. Yin, T. A. Shifa, Z. Z. Cheng, R. Q. Cheng, F. Wang, Y. Wen, X. Y. Zhan, Z. X. Wang and J. He*, Ultrathin magnetic 2D single-crystal CrSe, *Adv. Mater.* **2019**, 31, 1900056.
- 【5】 R. Q. Cheng, F. Wang, L. Yin, Z. X. Wang, Y. Wen, T. Shifa and J. He*, High-performance, multifunctional devices based on asymmetric van der Waals heterostructures, *Nature Electronics.* **2018**, 1, 356.
- 【6】 Y. Wen, Q. S. Wang, K. M. Cai, R. Q. Cheng, L. Yin, Y. Zhang, J. Li, Z. X. Wang, F. Wang, F. M. Wang, T. A. Shifa, C. Jiang*, H. Lee*, and J. He*, Nonvolatile infrared memory in MoS₂/PbS van der Waals heterostructure, *Sci. Adv.* **2018**, 4, eaap7916.
- 【7】 F. Wang, Z. X. Wang, L. Yin, R. Q. Cheng, J. Wang, Y. Wen, T. Shifa, F. M. Wang, Y. Zhang, X. Y. Zhan, and J. He*, 2D Library beyond Graphene and Transition Metal Dichalcogenides: A Focus on Photodetection, *Chem. Soc. Rev.* **2018**, 47, 6296.
- 【8】 Y. Zhang, L. Yin, J. Chu, T. Shifa, J. Xia, F. Wang, Y. Wen, X. Zhan, Z. Wang*, J. He*, Edge-epitaxial growth of two-dimensional NbS₂-WS₂ lateral metal-semiconductor heterostructures, *Adv. Mater.* **2018**, 30, 1803665.
- 【9】 R. Q. Cheng, Y. Wen, L. Yin, F. M. Wang, F. Wang, K. Liu, T. A. Shifa, J. Li, C. Jiang, Z. X. Wang*, J. He*, Ultrathin Single-crystalline CdTe Nanosheets Realized via Van der Waals Epitaxy, *Adv. Mater.* **2017**, 29, 1703122.
- 【10】 K. Xu, D. Chen, F. Yang, Z. X. Wang, L. Yin, F. Wang, R. Q. Cheng, K. Liu, J. Xiong*, Q. Liu*, J. He*, Sub-10 nm Nanopatterns Architecture for 2D Materials Field-Effect Transistors, *Nano Lett.* **2017**, 17, 1065.

基金项目：国家重点研发计划（Nos. 2018YFA0703700、2016YFA0200700）、国家自然科学基金项目（Nos. 61625401, 61851403, 11674072）等

Breaking the Memory Wall by 2D Materials Transistor and Architecture

Peng Zhou^{*†}

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

Abstract:

The need for continuous size down-scaling of a silicon transistor, the industry is sinking strategies for further footprint reduction. The atomic thickness of two-dimensional materials provides the potential for realizing a high area efficiency transistor architecture. However, the architectures of two-dimensional materials devices still mainly depend on the basic architectures which are similar to silicon circuit. Here we show a transistor based on two-dimensional materials, which can realize photo-switching logic (OR, AND) computing in a single cell. Interestingly, materials thickness can also change the logic behaviors. The architecture can be flexibly expanded to achieve in situ memory (logic computing and data storage integration in same transistor). These devices could be potential candidates to construct brand new chip which can perform computing and storage with high area efficiency and own fancy functions.



周鹏教授，复旦大学微电子学院副院长。2000年和2005年分别获复旦大学学士和博士学位。主要研究方向包括新型二维层状半导体电子器件与特性研究和下一代CMOS兼容非易失存储器。主持了国家自然科学基金应急、优秀青年科学基金、面上基金等项目，获得中组部万人计划科技创新领军人才、科技部中青年科技创新领军人才、上海市青年科技启明星、上海市曙光计划等人才计划支持。

近5年第一/通讯作者发表SCI论文48篇，影响因子10以上期刊17篇，包括2篇Nature Nanotechnology, 3篇Advanced Materials, 4篇Advanced Functional Materials, 3篇ACS Nano, 1篇Nano Lett, 5篇Advanced Science等，其中ESI高引论文4篇。近三年受邀在国内外会议做邀请报告30余次，包括Nature conference的Keynote报告、中国物理年会秋季会议、全国半导体物理大会、中国真空物理学会、China Nano等邀请报告。作为客座编辑主持了Small, Advanced Electronic Materials和Nanotechnology等期刊专刊。

Spontaneous condensation of exciton polaritons in the single-shot regime

Tingge Gao

Institute of molecular plus, Tianjin University, Tianjin300072

Email: tinggegao@tju.edu.cn

摘要:

Bose-Einstein condensate of exciton polaritons in a semiconductor microcavity is a macroscopically populated coherent quantum state subject to concurrent pumping and decay. Debates about the fundamental nature of the condensed phase in this open quantum system still persist. Here, we will gain a new insight into the spontaneous condensation process by imaging long-lifetime exciton polaritons in a high-quality inorganic microcavity in the single-shot optical excitation regime, without averaging over multiple condensate realisations. In this highly non-stationary regime, a condensate is strongly influenced by the ‘hot’ incoherent reservoir, and reservoir depletion is critical for the transition to the ground energy and momentum state. Condensates formed by more photonic exciton polaritons exhibit dramatic reservoir induced density filamentation and shot-to-shot fluctuations. In contrast, condensates of more excitonic quasiparticles display smooth density and are second-order coherent. Our observations show that the single-shot measurements offer a unique opportunity to study formation of macroscopic phase coherence during a quantum phase transition in a solid state system.

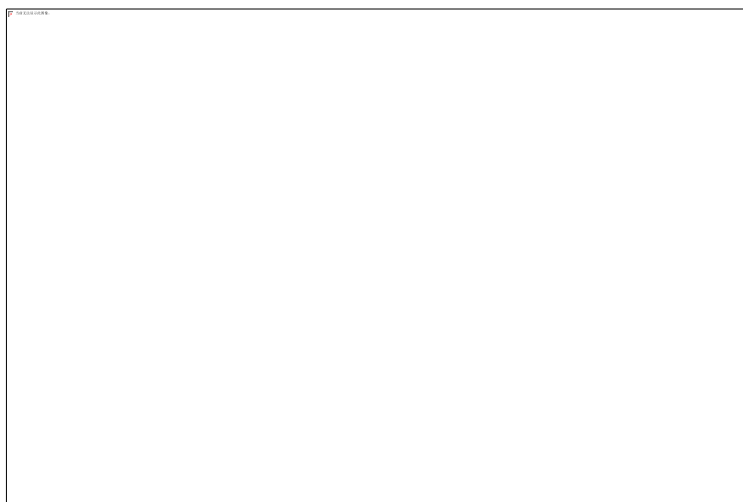


Fig1 Single-shot real space images of the photoluminescence intensity (proportional to polariton density) above condensation threshold P_{th} at 10 mW, in the far red-detuned (large negative detuning, -22 meV) regime for various pump powers. Each panel represents a single realisation, of a spontaneous condensation process. The intensity is plotted on a log scale for the experimental images to elucidate the details of regions with low density emission. Far right column shows corresponding images obtained by numerical modeling.

关键词: Exciton polariton Bose Einstein condensate

[1] Estrecho, E; Gao, T; Bobrovska, N; Fraser, MD; Steger, M; Pfeiffer, L; West, K; Liew, TCH; Matuszewski, M; Snoke, DW; Truscott, AG; Ostrovskaya, EA, Nature Communications 9,2944(2018)

Yb³⁺掺杂的钙钛矿纳米晶的发光调控及光电器件应用探索

徐文*, 周东磊, 李东宇, 季亚楠, 陈旭, 宋宏伟

吉林大学电子科学与工程学院/集成光电子国家重点实验室, 长春市前进大街2699号

*通讯作者邮箱: wen_xu@jlu.edu.cn

由于优异的光学性质和在 QLED 显示等领域潜在的应用价值, 近年来全无机钙钛矿量子点 CsPbX₃ (X=Cl, Br, I) 的发光引广泛关注。但总体来说, 钙钛矿发光材料还存在蓝光体系的效率不够、红光体系的稳定性不足且缺乏红外发光的问题, 限制了其实际应用。针对上述问题, 我们采用稀土离子掺杂以及局域光场调控的手段显著地改善了其光学性质。一、在国际上最早报道了 CsPbCl₃ 钙钛矿量子点中稀土离子的掺杂、并在 Yb: Ce, Yb 共掺杂; Ce, Pr, Yb 三掺杂的量子点中获得了钙钛矿量子点近红外的量子剪裁发光且量子效率大于 100%, 并用于大幅度提高硅电池效率; 二、采用贵金属表面等离子体和光子晶体对钙钛矿量子点发光进行调控, 显著提高了蓝光钙钛矿量子点发光强度/效率, 并进一步探索了其在紫外光电探测器的应用。

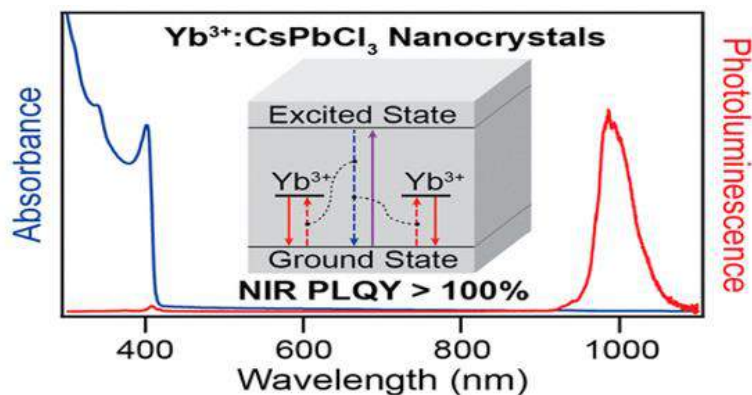


图 1. Yb³⁺ 掺杂的 CsPbCl₃ 纳米晶发光机理。

参考文献:

- [1] D. Zhou, W. Xu*, H. Song, *Adv. Mater.*, 2017, 29, 1704149.
- [2] G. Pan, W. Xu, X. Bai*, H. Song*, *Nano Lett.*, 2017, 17, 8005.
- [3] D. Li, W. Xu*, H. Song*, *Adv. Funct. Mater.*, 2018, 28, 1804429.
- [4] W. Xu, X. Chen, H. Song*, *Nano Today*, 2017, 17, 54-78
- [5] Milstein, T.J.; Gamelin, D.R.; *Nano Lett.* 2019, 19, 1931-1937.
- [6] Milstein, T. J.; Kroupa, D. M.; Gamelin, D. R. *Nano Lett.* 2018, 18, 3792-3799.

半导体功能材料中的热输运性质调控：声子散射相空间

付钰豪¹, David J. Singh², 张立军^{3,*}

¹ 吉林大学物理学院, 长春 130012

² 密苏里大学物理与天文系, Columbia MO 65201

³ 吉林大学材料科学与工程学院, 长春 130012

*Email: lijun_zhang@jlu.edu.cn

摘要: 半导体功能材料通过与光电磁热等作用后表现出特定的功能, 如光伏效应、铁电效应、热电效应等。这些功能性的优劣往往与材料内部温度密切相关。理解、调控材料内部热输运性质对寻找、设计新型性能优异的半导体功能材料有方向性的指导意义。通常, 控制半导体材料热输运性质的主要因素有: 热容、声速、散射相空间和三阶原子间力常数。对于同种材料由于它们具有类似的化学性质导致热容和声速对热导率差异的贡献很小, 散射相空间和三阶原子间力常数通常是材料热输运过程中的主要控制因素。在这个报告中, 我们选取两类重要的半导体功能材料(铁基方钴矿热电材料、 ABO_3 铁电钙钛矿材料)作为例子, 基于第一性原理计算求解玻尔兹曼声子输运方程, 分析、讨论如何通过调控材料内部声子散射相空间来实现对热输运性质的有效调节。

关键词: 半导体功能材料、热输运、第一性原理计算

参考文献

- [1] Yuhao Fu, David J. Singh, "Thermal conductivity of perovskite $KTaO_3$ and $PbTiO_3$ from first principles", *Phys. Rev. Matter.* 2, 094408.
- [2] Yuhao Fu, Xin He, Lijun Zhang and David J. Singh, "Collective-Goldstone-mode-induced ultralow lattice thermal conductivity in Sn-filled skutterudite $SnFe_4Sb_{12}$ ", *Phys. Rev. B* 97, 02430.
- [3] Yuhao Fu, David J. Singh, Wu Li, Lijun Zhang, "Intrinsic ultralow lattice thermal conductivity of the unfilled skutterudites $FeSb_3$ ", *Phys. Rev. B* 94, 075122.

Sn(II)-containing phosphates as promising *p*-type optoelectronic semiconductors

李天姝¹, 彭浩为², 张立军^{1,*}

¹ 吉林大学材料科学与工程学院, 长春 130012

² 天普大学物理学院, 美国费城 19122

*Email: lijun_zhang@jlu.edu.cn

Abstract: High-performance and stable *p*-type optoelectronic semiconductors, such as transparent conductors, have been searched for with decades of efforts. We herein proposed based on first-principles straightforward calculations and structure searches Sn(II)-containing phosphates $\text{Sn}_n\text{P}_2\text{O}_{5+n}$ ($n=2, 3, 4, 5, \dots$) as promising *p*-type semiconductors for optoelectronic applications [1]. We found that these materials have large band gaps and at the same time still can have moderate effective masses for both holes and electrons. Calculations of optical properties show that interband transitions in the visible are weak under hole doping. We also find an interesting inverse Burstein-Moss shift, which can be understood in terms of the Sn character of both the states at the valence band maximum and the conduction band minimum. By investigating the intrinsic defects properties with the state-of-the-art supercell calculations, we identified deep defects that are detrimental to the carrier transport and revealed ideal growth conditions for *p*-type Sn(II) phosphates. The results indicate that $\text{Sn}_n\text{P}_2\text{O}_{5+n}$ with large n may be doped to *p*-type with promising attainable hole density [2]. The unusual combinations of relatively high band gap, low carrier masses and high chemical stability suggests possible optoelectronic applications of these Sn(II) phosphates.

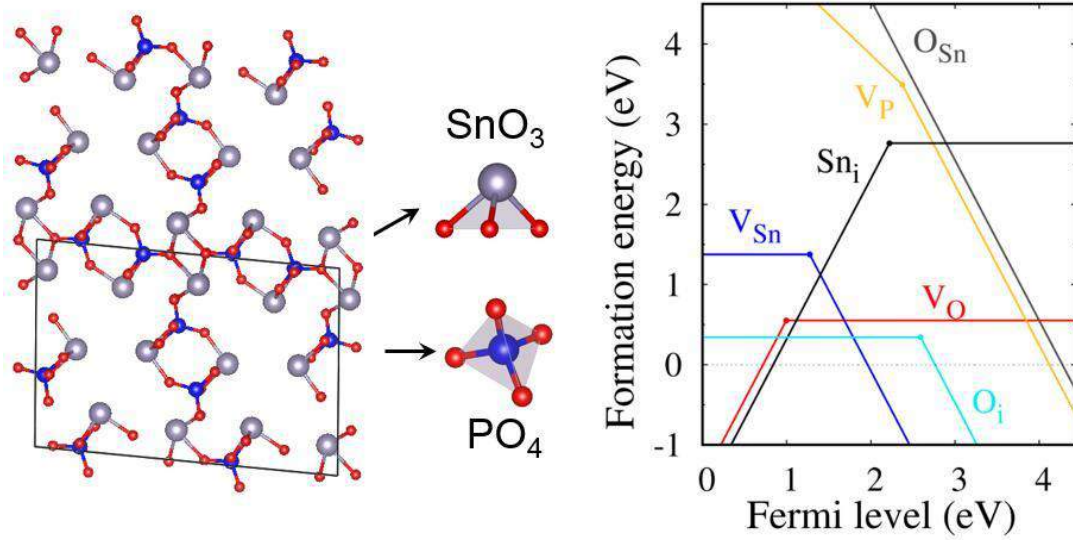


FIG. Crystal structure of $\text{Sn}_3\text{P}_2\text{O}_8$ (left) and calculated formation energies of defects in $\text{Sn}_3\text{P}_2\text{O}_8$, as a function of E_F (right)

Key words: oxides, *p*-type conduction, optoelectronic applications, first-principles calculations

This work is supported by National Natural Science Foundation of China under Grant Nos. 61722403 and 11674121

参考文献

- [1] Q. Xu, Y. Li, L. Zhang *et al.* Sn(II)-containing phosphates as optoelectronic materials. *Chem. Mater.* 2017, 29, 2459-2465
- [2] T. Li, Y. Li, H. Peng and L. Zhang. Dopability of divalent tin containing phosphates for *p*-type transparent conductors. *Phys. Rev. Mater.* (in revision)

In-Plane Anisotropy and Carrier Transport Characteristics of Black Arsenic

夏庆林¹, 陈亚彬², 钟绵增¹, 魏钟鸣³, 李京波⁴, 吴军桥⁵

1 中南大学物理与电子学院, 长沙 410083; 2 北京理工大学宇航学院, 北京 100081;

3 中国科学院半导体研究所, 北京 100083; 4 华南师范大学半导体科学技术研究院, 广州 510631; 5 加州大学伯克利分校材料系, 伯克利 CA 94720

Email: qlxia@csu.edu.cn

ABSTRACT: 2D layered materials have emerged in recent years as a new platform to host novel electronic, optical, or excitonic physics and develop unprecedented nanoelectronic and energy applications. By definition, these materials are strongly anisotropic between the basal plane and cross the plane. The structural and property anisotropies inside their basal plane, however, are much less investigated. Black phosphorus, for example, is a 2D material that has such in-plane anisotropy. Here, a rare chemical form of arsenic, called black-arsenic (b-As), is reported as a cousin of black phosphorus, as an extremely anisotropic layered semiconductor. Systematic characterization of the structural, electronic, thermal, and electrical properties of b-As single crystals is performed, with particular focus on its anisotropies along two in-plane principle axes, armchair (AC) and zigzag (ZZ). The analysis shows that b-As exhibits higher or comparable electronic, thermal, and electric transport anisotropies between the AC and ZZ directions than any other known 2D crystals. Such extreme in-plane anisotropies can potentially implement novel ideas for scientific research and device applications. The properties of field-effect transistors (FETs) strongly depend on the thickness of crystals. In the monolayer limit, the performance shows relatively high carrier mobilities and large on/off ratios. Moreover, the b-As crystals exhibit a relatively good ambient stability. The few-layer arsenic based FET still function after exposure to air for about one month. Therefore, b-As is expected to be a promising

2D material candidate in nanoelectronic devices.

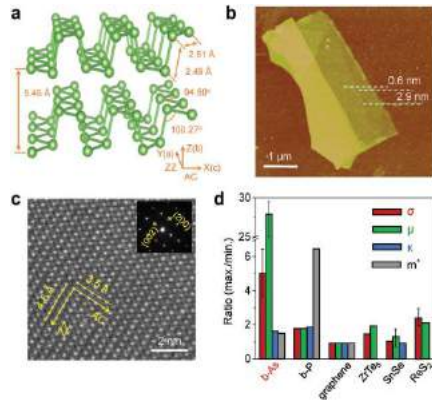


Fig1. Anisotropic lattice and properties of layered b-As.

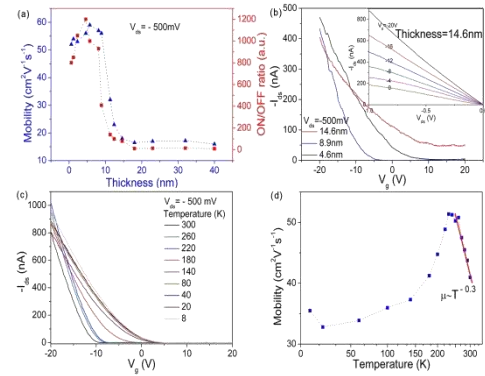


Fig 2. Thickness and temperature dependence of carrier transport of b-As FET.

Keywords: 2D, anisotropy, black arsenic, layered semiconductors, field-effects transistors, monolayers, thickness-dependent properties

References:

- 【1】 Y. Chen, C. Chen, M. Zhong, Q. Xia*, M.C. Asensio*, J. Wu*, *et al.*, Black Arsenic-A Layered Semiconductor with Extreme In-Plane Anisotropy, *Adv. Mater.*2018, 30, 1800754.
- 【2】 M. Zhong, Q. Xia, Y. Chen, J. Li, Z. Wei*, *et al.*, Thickness-Dependent Carrier Transport Characteristics of a New 2D Elemental Semiconductor-Black Arsenic *Adv. Funct. Mater.*2018, 28, 1802581.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61622406, 11674310, 11674400, 61775241）等

原位分子束外延高质量窄禁带半导体/超导体异质纳米结构

潘东、赵建华

中国科学院半导体研究所，半导体超晶格国家重点实验室，北京，100083

Email: pandong@semi.ac.cn

InAs和InSb是两种重要的III-V族窄禁带半导体，它们具有高的电子迁移率、小的电子有效质量、大的朗德g因子及强的自旋轨道耦合相互作用等特征，在高速低功耗电子器件、红外光电子器件以及前沿物理研究方面有重要应用。特别是，从2010年理论预言到2018年实现量子化的电导平台，以InAs和InSb为材料基础的窄禁带半导体/超导体异质结纳米线已被证明是用于Majorana费米子拓扑量子计算的理想体系[1-4]。开展高质量窄禁带半导体/超导体异质结纳米线及纳米线交叉结构的分子束外延原位制备，是在该体系实现Majorana束缚态并进行编织操作等研究的重要基础。目前，只有哥本哈根大学和魏兹曼研究所实现了超导金属在InAs纳米线侧壁上的原位外延[5,6]；只有代尔夫特理工大学和美国加州大学圣塔芭芭拉分校合作，联合使用金属有机化学气相沉积和分子束外延技术，实现了超导金属在InSb纳米线及InSb纳米线交叉结构上的外延[7]。我们利用分子束外延技术，以Ag作催化剂，在Si衬底上制备出了纯相单晶InAs纳米线、InAs/InSb轴向异质结纳米线、立式二维单晶InSb纳米片等高品质低维窄禁带半导体材料[8-11]。在此基础上，我们在高质量的InAs纳米线(如图1所示)、 $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0 < x < 0.7$)纳米线、InSb纳米线及相关纳米线交叉结构的侧壁上开展了超导金属Al的低温原位外延。结果表明，我们制备出了界面达原子级平整的窄禁带半导体/超导体异质结纳米线及纳米线交叉结构[12]，这些结果为下一步基于该材料体系的拓扑量子计算研究奠定了基础。

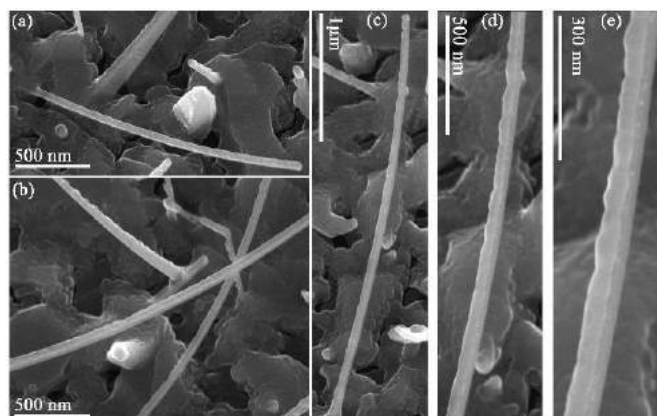


图 1. (a-c) 利用分子束外延技术, 原位制备的 InAs/Al 异质结纳米线扫描电镜图; (d)和(e)为 (c)的局部放大图。

关键词: 窄禁带半导体/超导体, 纳米线, 原位分子束外延, 拓扑量子计算

参考文献:

- [1] J. D. Sau, S. Das Sarma *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **104**, 040502 (2010).
- [2] V. Mourik, L. P. Kouwenhoven *et al.*, *Science*, **336**, 1003 (2012).
- [3] M. T. Deng, H. Q. Xu *et al.*, *Nano Lett.*, **12**, 6414 (2012).
- [4] H. Zhang, L. P. Kouwenhoven *et al.*, *Nature*, **556**, 74 (2018).
- [5] P. Krogstrup, C. M. Marcus *et al.*, *Nature Mater.*, **14**, 400 (2015).
- [6] J. H. Kang, H. Beidenkopf *et al.*, *Nano Lett.*, **17**, 7520 (2017).
- [7] S. Gazibegovic, E. P. A. M. Bakkers *et al.*, *Nature*, **548**, 434 (2017).
- [8] D. Pan, J. H. Zhao *et al.*, *Nano Lett.*, **14**, 1214 (2014).
- [9] D. Pan, J. H. Zhao *et al.*, *Nano Lett.*, **16**, 834 (2016).
- [10] L. X. Li, D. Pan, J. H. Zhao *et al.*, *Nano Lett.*, **17**, 622 (2017).
- [11] D. Pan, J. H. Zhao *et al.*, *Nano Lett.*, **19**, 1632 (2019).
- [12] D. Pan, J. H. Zhao *et al.*, unpublished.

资助项目: 国家自然科学基金青年项目 (61504133) 及面上项目 (61974138)、北京市自然科学基金面上项目 (1192017)、中科院青促会项目 (2017156)

太赫兹超导探测器及天文应用

史生才、李婧、张文、缪巍、任远

中科院紫金山天文台/射电天文重点实验室, 南京 210033

Email: scshi@pmo.ac.cn

摘要：太赫兹谱段一般定义为 0.1~10 THz（对应的波长为 3 毫米至 30 微米）。该谱段是最新发展的宇宙探测窗口，在恒星及行星系统形成与演化、早期宇宙演化等前沿领域研究中有不可替代的作用。太赫兹天文学的兴起得益于超导探测器技术的发展，包括高光谱分辨率探测器和大规模阵列成像探测器。本报告首先介绍四种主流超导探测器（即超导隧道结 SIS 混频器、超导热电子 HEB 混频器、超导相变边缘探测器 TES 和超导动态电感探测器 KID）的发展现状和在太赫兹天文中的应用，然后介绍紫金山天文台团队在这一领域的最新研究结果及其在空间、南极等太赫兹天文计划中的应用前景。

- 【1】 Sheng-Cai Shi *et al.*, Terahertz and far-infrared windows opened at Dome A in Antarctica, *Nat. Astron.* 2016, 1, 0001.
- 【2】 史生才、李婧, 超导隧道结在事件视界望远镜黑洞成像及射电天文中的应用, *科学通报* 2019, 64 (20), 2067.

H046

专题代号：H

LCT 太赫兹望远镜的升级技术及其进展

石旺舟

上海师范大学数理学院，上海 200235

Email: wzshi@shnu.edu.cn

摘要：基于太赫兹波段探测对天文学研究的重要意义，介绍 LCT 亚毫米波望远镜的特点与性能指标。围绕 LCT 望远镜的功能提升，提出望远镜的升级计划：发展太赫兹多波束超导 SIS 探测技术，提高望远镜的巡天探测效率。聚焦多波束超导 SIS 探测过程中的关键技术问题，结合望远镜特点提出相应的解决方案和途径。同时，报告我们目前在芯片研制、系统设计与系统集成方面的工作进展。

双层 CrI_3 中层间反铁磁诱导的巨大非互易二次谐波效应

孙泽元^{1†}、易扬帆^{1†}、宋天城²、Genevieve C.³、Bevin H.²、单雨薇¹、
吴双¹、黄迪¹、高春雷^{1,4}、陈张海^{1,4}、Michael M.⁵、曹霆^{3,6}、肖迪⁷、
刘韡韬^{1,4}、姚望⁸、许晓栋^{2,3*}、吴施伟^{1,4*}

¹应用表面物理国家重点实验室,微纳光子结构教育部重点实验室,复旦大学物理系,复旦大学 上海 200438

²Department of Physics, University of Washington, Seattle, Washington 98195, USA

³Department of Materials Science and Engineering, University of Washington, Seattle, Washington 98195, USA

⁴人工微结构科学与技术协同创新中心, 南京 210093

⁵Materials Science and Technology Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 37831, USA

⁶Geballe Laboratory for Advanced Materials, Stanford University, Stanford, California 94305, USA

⁷Department of Physics, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania 15213, USA

⁸物理系与理论计算物理中心, 香港大学 香港

Email: swwu@fudan.edu.cn, zysun14@fudan.edu.cn

摘要: 三碘化铬 (CrI_3) 作为一种二维范德瓦尔斯磁性材料, 其绝缘性和寡层呈现的层间反铁磁性, 为二维磁性材料的电、光学器件提供了潜在的应用前景。这里我们将介绍在双层 CrI_3 中发现的巨大非互易光学非线性二次谐波效应 (SHG)。该 SHG 的信号强度比已知磁致 SHG 信号高数个量级, 并和目前 SHG 信号最强的二维非线性光学材料 (如二硫化钨等) 在同一量级。我们发现, 由于双层 CrI_3 的晶格为中心反演对称结构, 因此晶格本身不产生 SHG。被观察到的巨大且非互易的 SHG 信号, 几乎全部来自于双层 CrI_3 的层间反铁磁态, 这是因为层间反铁磁结构同时打破了中心反演对称性和时间反演对称性。与此同时, 我们对双层 CrI_3 的 SHG 信号进行了偏振分析的测量, 发现其结构满足 C_{2h} 的晶格对称性, 并由此推导出其层间晶格结构为单斜堆叠, 为研究范德瓦尔斯作用下层间反铁磁的形成机制提供了关键性的实验证据。我们的测量结果表明, SHG 是一种极其敏感的探测二维材料磁结构的实验手段, 并且为二维磁性材料的非线性光学器件应用提出了新的可能。

关键词: 非线性二次谐波, 二维反铁磁, 三碘化铬

【1】 Zeyuan Sun, *et al*, Giant nonreciprocal second-harmonic generation from antiferromagnetic bilayer CrI_3 , *Nature* in press (2019); preprint: [arXiv: 1904.03577](https://arxiv.org/abs/1904.03577).

基金项目: 国家自然科学基金

新型室温工作低维半导体光电探测器

王鹏、王芳、陈效双、陆卫、胡伟达

中国科学院上海技术物理研究所, 红外物理国家重点实验室, 上海 200083

Email: wdhu@mail.sitp.ac.cn

摘要: 光电探测器的基本功能就是将接收到的光信号转换为电信号, 并达成某种应用目的, 如光电成像、气象观测、夜视、遥感等。近几十年来, 随着半导体技术的快速发展, 光电探测技术取得了长足进步。其中, 以 Si、InGaAs、HgCdTe 等为代表的传统半导体薄膜光电探测器以其成熟的集成技术与稳定的探测性能而在商业化产品与国防军工等领域占据主导地位, 且已广泛应用于地球观测、环境监测、目标识别、空间遥感等领域。目前, 新一代光电探测技术正朝着高性能、低成本、大面阵、低噪声以及非制冷等方向发展, 对光电探测材料提出了更高的要求。现有薄膜半导体探测器虽然性能高但成品率低, 且由于部分材料晶格质量、位错密度、缺陷态等因素严格限制其器件性能, 导致探测器需在低温下工作, 因此增加探测器组件的体积。此外, 受材料理论极限限制等因素, 传统探测材料还不能满足现阶段发展需求。因此, 不断深入和优化现有材料体系研究、拓展应用方向的同时, 持续开展新材料、新结构的研究和开发, 是光电探测器技术发展的必然要求。本次报告将围绕新一代红外探测器技术的发展需求, 介绍当前红外探测器发展现状, 汇报我们在低维半导体光电探测器研制与新颖探测机理研究等方面进展。

关键词: 光电探测器 红外探测器 低维半导体 室温工作

- 【1】 Peng Wang, Shanshan Liu, Wenjin Luo, Hehai Fang, Fan Gong, Nan Guo, Zhi-Gang Chen, Jin Zou, Yan Huang, Xiaohao Zhou, Jianlu Wang, Xiaoshuang Chen*, Wei Lu, Faxian Xiu* and Weida Hu*, Arrayed van der Waals Broadband detectors for Dual band detection, *Adv. Mater.* 2017, 29, 1604439.
- 【2】 Peng Wang, Yang Wang, Lei Ye, Runzhang Xie, Xudong Wang, Xiaoshuang Chen, Mingzai Wu, Jianlu Wang* and Weida Hu*, Ferroelectric Localized Field-Enhanced ZnO Nanosheet Ultraviolet Photodetector with High Sensitivity and Low Dark Current, *Small* 2018, 14, 1800492.
- 【3】 Xudong Wang, Peng Wang, Jianlu Wang*, Weida Hu*, Xiaohao Zhou, Nan Guo, Hai Huang, Shuo Sun, Hong Shen, Tie Lin, Minghua Tang, Lei Liao, Anquan Jiang, Jinglan Sun, Xiangjian Meng, Xiaoshuang Chen, Wei Lu, Junhao Chu, Ultrasensitive and broadband MoS₂ photodetector driven by ferroelectrics, *Adv. Mater.* 2015, 27 (42), 6575–6581.
- 【4】 Yicheng Tang, Zhen Wang, Peng Wang*, Feng Wu, Yueming Wang, Yunfeng Chen, Hailu Wang, Meng Peng, Chongxin Shan, Zhihong Zhu*, Shiqiao Qin, and Weida Hu*, WSe₂ Photovoltaic Device Based on Intramolecular p-n Junction, *Small* 2019, 15, 1805545.

【5】 Yang Wang, Peng Wang*, Yuankun Zhu, Jinrao Gao, Fan Gong, Qing Li, Runzhang Xie, Feng Wu, Ding Wang, Junhe Yang, Zhiyong Fan, Xianying Wang* and Weida Hu*, High performance charge-transfer induced homojunction photodetector based on ultrathin ZnO nanosheet, *Appl. Phys. Lett.* 2019, 114, 011103.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61905266）

上海市科委“扬帆计划”项目（NO. 19YF1454600）

超快高灵敏度太赫兹量子阱探测器

张真真, 符张龙, 黎华, 曹俊诚

中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 中国科学院太赫兹固态技术重点实验室

中国上海, 200050

Email: zgzhang@mail.sim.ac.cn

摘要: 太赫兹 (Terahertz, THz) 量子阱探测器 (Quantum Well Photodetector, QWP) 的响应频率范围可覆盖 3~7 THz。基于子带间跃迁的 THz QWP 具有体积小、易集成、响应率高、响应速度快等优点, 是 THz 超快、高灵敏度探测领域的一种极有竞争力的光子型探测器。我们设计并制作了两种高探测灵敏度 THz QWP 器件 (如图 1 所示), 光耦合方式分别为常规的 45° 斜面入射耦合和亚波长金属微腔阵列耦合, 峰值探测频率均为 4 THz, 器件的探测灵敏度高达 $10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm Hz}^{0.5}/\text{W}$ 。与常规的 45° 斜面入射耦合相比, 亚波长金属微腔阵列耦合结构有两个优点, 第一, 微腔上表面的亚波长周期性金属阵列结构可做天线使用, 能够有效增加表面的光吸收区域, 也可以使正入射 THz 光的传播方向发生改变, 顺应子带间跃迁选择定则而被器件有源区吸收; 第二, 亚波长尺寸的双面金属结构可以将光限制在一个很小的体积范围内, 当腔的模式与 QWP 峰值响应频率一致时, 介质腔内的电场发生共振增强, 有效抑制了暗电流, 提高了器件的光耦合效率。微腔阵列耦合结构的 THz QWP 可以达到比常规 45° 端面耦合器件高十几倍的响应率, 使器件的探测灵敏度和工作温度大幅提高, 有望使 THz QWP 成为 THz 波段高速、高灵敏度探测应用的核心器件。

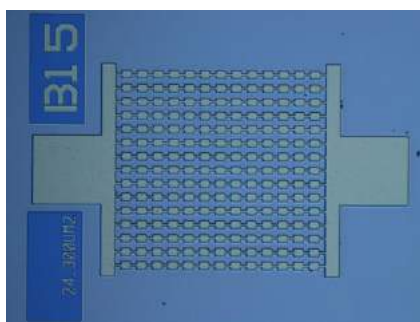


图 1 亚波长金属微腔阵列耦合结构的 THz QWP 器件显微照片

关键词: 太赫兹, 量子阱探测器, 微腔, 高灵敏度

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFF0106302)、国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2014CB339803)、国家自然科学基金(批准号: 61775229, 61575214)资助项目。

Realization of self-powered photodetectors by regulating interface barrier

Lin Li, Hong Gao, Xuanzhang Wang and Xitian Zhang

Key Laboratory for Photonic and Electronic Bandgap Materials, Ministry of Education, School of Physics and Electronic Engineering, Harbin Normal University, Harbin 150025, People's Republic of China

Physics_lin@hotmail.com

Abstract: MSM Structure Ultraviolet photodetectors have been fabricated based on amorphous InGaZnO (a-IGZO) on sapphire and PET substrates. The PD show self-powered photoresponse. A physical model based on band energy theory is proposed to explain the origin of the photoresponse at zero bias in our device. The flexible PD shows good photoresponse characteristics and fast response speed. The devices reported in this paper provide a way to realized self-powered and high performance PD based on simple MSM structure..

OCIS codes: (000.0000) General; (000.0000) General [8-pt. type] For codes, see <http://www.osapublishing.org/submit/ocis/>

Ultraviolet (UV) photodetectors (PDs) have drawn increasing attention due to their potential applications in air-pollution/waste-water monitoring, missile plume detection, flame alarm, and secure communication.^[1,2] From the application and energy saving point of view, the PDs working without consuming external power are very important. In this work, the self-powered ultraviolet photodetector has been fabricated based amorphous InGaZnO (a-IGZO) film on sapphire and PET substrates at room temperature. The photodetectors show the responsivity of 4 mA/W and 0.1 mA/W, respectively. The self-powered characteristic is attributed to the hole-trapping process occurred in the electrode/a-IGZO interface of MSM device structure, and a physical model based on band energy theory is proposed to explain the origin of the photoresponse at zero bias in our device. The unbiased photoresponse characteristic is attributed to the hole-trapping process occurred in the M_1/a -IGZO interface, which has been confirmed by the responsivity characteristics of the PD and an asymmetric Schottky barrier formed at the two sides of the Au/a-IGZO interdigital electrodes under reverse bias. Our flexible PD shows relatively good photoresponse characteristics before and after bending, and retains good folding reproducibility after repeated bending up to 500 cycles. More importantly, it shows a fast speed with response and recovery times of 0.8 ms and 2.0 ms, 33.8 ms, which are much faster than that of most reported flexible ultraviolet detectors. Our results may provide a way to realize self-powered photoresponse on rigid and flexible based on the simple MSM structure.

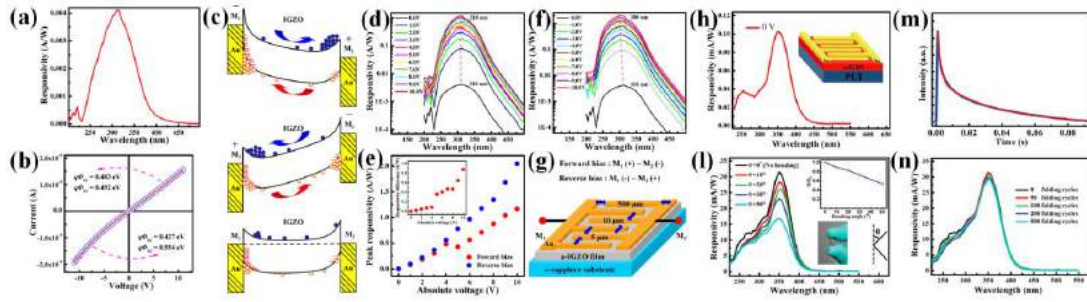


Fig. 1. **UV photodetector (PD) based on IGZO film on sapphire:** (a) The photoresponse characteristic of PD at 0V bias. (b) Fitting results of the I-V curve of the PD and (c) Energy band diagrams of the PD in UV light: at reverse bias, forward bias and 0V bias. (d),(f) The photoresponse spectra of the PD as a function of the incident light wavelength under different forward bias and reverse bias. (e) The responsivity of the PD under each absolute value of forward (red spot) or reverse (blue triangle) bias. (g) The schematic diagram of the PD. **UV photodetector (PD) based on IGZO film on PET:** (h) The photoresponse characteristic of the flexible PD at 0 V bias, (m) the temporal response spectrum of the flexible PD in a single on/off cycle. (l) The photoresponse spectra of the flexible PD as function of incident light with different bending angles under 2 V bias. (n) Typical photoresponse spectra of the flexible PD after different folding cycles under 2 V bias.

References

- [1] X. J. Xu, et al., "A Real-Time Wearable UV-Radiation Monitor based on a High-Performance p-CuZnS/n-TiO₂ Photodetector" *Adv. Mater.* **30**, 1803165 (2018).
- [2] D. Y. Guo, "Self-Powered Ultraviolet Photodetector with superhigh Photoresponsivity (3.05 A/W) Based on the GaN/Sn:Ga₂O₃ pn Junction" *ACS Nano* **12**, 12827-12835 (2018).

表面吸附对金属/二维材料界面耦合的调控机制

王建伟、牛晓滨

电子科技大学材料与能源学院, 成都 610054

Email: jianwei_wang@uestc.edu.cn

摘要: 自从石墨烯被发现以来, 二维材料及其复合结构因为其新奇的物理特性和潜在的广泛应用, 日益受到人们的重视。从应用的角度讲, 金属与二维材料的界面成为重要的研究内容, 这是因为: (1) 金属衬底往往用于二维材料的生长, 比如硅烯在金属 Ru(0001)表面生长[1]和锗烯在 Cu(111)面生长[2]等, 这对于调控二维材料的生长过程以及二维材料晶体质量具有重要意义; (2) 金属与二维材料(比如石墨烯)的复合结构已经广泛被用于多种催化反应, 已经有大量的实验结果证明, 金属与二维材料的复合结构能够有效地提升催化效率【3】, 因此, 正确理解界面处耦合机制将有助于理解相应催化机制的物理原因。除了以上实际应用问题的驱动之外, 金属与二维材料之间的界面耦合也具有丰富的物理内容, 比如人们已经研究了费米能级钉扎在金属/二维材料界面肖特基势垒的调制【4】。考虑到无论是在生长还是催化过程中, 杂质的引入都不可避免。那么, 这些杂质原子或者分子会附着和吸附在二维材料表面, 从而会对金属/二维材料的界面结合产生的影响。目前, 人们对吸附原子或分子对金属/二维材料界面的影响规律还不是十分清楚, 需要进一步的研究。

基于第一性原理计算方法, 我们研究了不同吸附原子或者分子对石墨烯/Cu(111)和 BN/Cu(111)界面耦合性质的影响, 主要研究了不同原子(H, O, N)、分子(H₂, N₂, H₂O)以及官能团(OH, OOH)等在二维材料(如石墨烯或者 BN)表面吸附, 从而引起二维材料/Cu(111)界面处电荷转移以及层间距的变化。层间距与吸附能量的变化, 反映了界面结合能力的强弱。我们的研究发现, 界面结合强度依赖于二维材料表面吸附原子或者分子的性质。表面吸附原子或者分子在界面处引入了新的电荷转移过程, 意味着界面结合是范德瓦尔斯作用力与类共价键作用力的共同作用。

关键词: 金属/二维材料, 界面, 表面吸附, 耦合机制

参考文献

- 【1】 Li Huang, *et al.*, Sequence of Silicon Monolayer Structures Grown on a Ru Surface: from a Herringbone Structure to Silicene, *Nano Lett.* 2017, 17(2)1161-1166
- 【2】 Zhihui Qin, *et al.*, Direct Evidence of Dirac Signature in Bilayer Germanene Islands on Cu(111), *Adv. Mater.* 2017, 29, 1606046.
- 【3】 Dehui Deng, *et al.*, Catalysis with two-dimensional materials and their heterostructures, *Nature Nanotech.* 2016, 11, 218-230
- 【4】 Yuanyue Liu, *et al.*, Van der Waals metal-semiconductor junction: Weak Fermi level pinning enables effective tuning of Schottky barrier, *Sci. Adv.* 2016, 2(4), e1600069

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (NO. 61604140)

太赫兹功能材料电磁特性与器件研究

常胜江、范飞

南开大学电子信息与光学工程学院, 天津市津南区海河教育园同砚路 38 号, 邮编 300350

Email: sjchang@nankai.edu.cn

摘要: 太赫兹 (THz, $1\text{THz}=10^{12}\text{Hz}$) 波的频率范围通常定义为 0.1-10THz, 是介于微波与红外光波之间的一段尚未完全开发的电磁波[1-3]。由于自然界中对太赫兹波有强电磁响应的材料极为匮乏, 因此利用人工电磁材料的谐振和场局域效应增强材料与太赫兹波的相互作用是实现高性能功能器件的有效途径, 同时把人工微结构与功能材料相结合也是实现器件主动调控的重要手段。

在太赫兹波段, 新型功能材料及其关键器件的研究一直都是太赫兹科学与技术领域的基础和前沿热点。本报告在扼要介绍相关领域国内外研究进展的基础上, 对磁光材料 (InSb)、纳米材料 (磁流体、碳纳米管、三维石墨烯泡沫等) 在太赫兹波段的电磁性质进行了研究、分析和总结。在此基础上, 详细介绍了亚波长硅光栅的高双折射特性、三维石墨烯泡沫在电场和光场作用下的电磁屏蔽特性、InSb 材料的圆二向色性及其随温度和外磁场强度的变化规律。把太赫兹功能材料与人工微结构相结合, 研制了主动调控的电磁屏蔽器件、偏振变换器件以及非互易单向传输器件, 并对器件的性能进行了分析和表征。本报告综述了南开大学近一年在基于人工电磁材料的太赫兹功能器件的研究进展。

关键词: 太赫兹 功能材料 隔离器 偏振变换

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (NO. 61831012) 和国家重点研发专项 (NO. 2017YFA0701002)

光电超高速太赫兹通信: 现状和趋势

余显斌、张鹿

浙江大学信息与电子工程学院, 杭州 310027

Email: xyu@zju.edu.cn

摘要: 本报告将首先概述太赫兹技术的潜在应用, 并特别关注光电超高速太赫兹无线通信系统及其关键技术。受益于光电技术的大带宽优势, 光电超高速太赫兹通信系统方面最近取得了快速进展, 已经展示了超 100Gbit/s, 甚至几百 Gbit/s 的超高速无线传输能力。课题组团队近年来采用光电方式实现了 300-500GHz 频段单天线超高速无线通信传输, 单信道速率 131Gbit/s 和多信道高达 260Gbit/s。另外, 本报告还将讨论进一步推进 THz 通信容量的技术趋势。

关键词: 太赫兹通信, 光子太赫兹, 光电集成

参考文献

- 【1】 T. Nagatsuma, G. Ducourmau, and C. C. Renaud, "Advances in terahertz communications accelerated by photonics," *Nature Photon.*, vol. 10, no. 6, pp. 371–379, Jun. 2016.
- 【2】 X. Pang, S. Ji, O. Ozolins, X. Yu, H. Hu, L. Marcon, P. Guan, F. Da Ros, S. Popov, G. Jacobsen, M. Galili, T. Morioka, D. Zibar, and L. K. Oxenløwe, "260 Gbit/s photonic-wireless link in the THz band," in *Proc. IEEE Photonics Conf. (IPC)*, Waikoloa, HI, USA, Oct. 2016, pp. 1-2.
- 【3】 X. Yu, S. Jia, H. Hu, M. Galili, T. Morioka, P. U. Jepsen, and L. K. Oxenløwe, "160 Gbit/s photonics wireless transmission in the 300-500 GHz band," *APL Photonics*, vol. 1, issue. 8, July 2016, pp. 081301.
- 【4】 S. Jia, M.-C. Lo, L. Zhang, O. Ozolins, A. Udalcovs, D. Kong, X. Pang, X. Yu, S. Xiao, S. Popov, J. Chen, G. Carpintero, T. Morioka, H. Hu, and L. K. Oxenløwe, "Integrated dual-DFB laser for 408 GHz carrier generation enabling 131 Gbit/s wireless transmission over 10.7 meters," *2019 Optical Fiber Communications Conference and Exposition (OFC)*, 2019: Th1C. 2.
- 【5】 X. Yu, R. Asif, M. Piels, D. Zibar, M. Galili, T. Morioka, P. U. Jepsen, and L. K. Oxenløwe, "400-GHz wireless transmission of 60-Gb/s Nyquist-QPSK signals using UTC-PD and heterodyne mixer," *IEEE Trans. THz Sci. Technol.*, vol. 6, no. 6, pp. 765-770, Nov. 2016.
- 【6】 K. Liu, S. Jia, S. Wang, X. Pang, W. Li, S. Zheng, H. Chi, X. Jin, X. Zhang, and X. Yu, "100 Gbit/s THz photonic wireless transmission in the 350-GHz band with extended reach," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 30, no. 11, pp. 1064-1067, April 2018.
- 【7】 S. Jia, X. Pang, O. Ozolins, X. Yu, H. Hu, J. Yu, P. Guan, F. D. Ros, S. Popov, G. Jacobsen, M. Galili, T. Morioka, D. Zibar, and L. K. Oxenløwe, "0.4 THz photonic-wireless link with 106 Gbit/s single channel bitrate," *J. Lightw. Technol.*, vol. 36, no. 2, pp. 610-616, Jan. 2018.

基金项目: 国家重点研发计划项目 (NO. 2018YFB1801500 & NO. 2018YFB2201700), 国家自然科学基金项目 (NO. 61771424) 和浙江省自然科学基金重点项目 (NO. LZ18F010001)

基于半导体介质磁偶极子谐振增强的太赫兹辐射产生

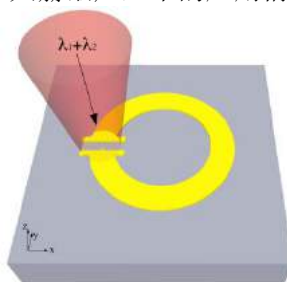
韩张华

山东师范大学物理与电子学院, 济南 210358

Email: zhan@sdnu.edu.cn

摘要: 基于光学方法(光电导技术、光整流及拍频等)仍然是目前产生太赫兹辐射, 尤其是 0.3-2.0THz 频段太赫兹的有效手段。由于光至太赫兹的能量转换效率较低, 研究人员采用多种方法提高转换效率, 例如在半导体或非线性材料上制作光学纳米天线等¹。但是目前的研究大多集中在如何在局域尺度上提高光-太赫兹转换效率。本课题组发现, 局域尺度上光-太赫兹的转换效率固然重要, 如何将太赫兹辐射更加有效地辐射到自由空间是另一个关键。我们采用开口谐振环作为太赫兹谐振器, 将光学中辐射增强 Purcell 效应扩展到太赫兹波段。由于谐振环是工作在太赫兹波段, 其开口较大, 从而可以在其开口处制作谐振于泵浦光的光学纳米天线。这种多频段谐振天线能够同时增强局域尺度上太赫兹转换效率, 同时将所产生的太赫兹辐射最大限度耦合出去。我们的计算结果发现, 采用这两种谐振结构协同工作, 基于非线性拍频效应, 所产生的太赫兹能量比没有采用任何谐振结构时, 增强 2×10^5 倍²。

此外, 除了金属纳米光天线以外, 我们还研究了基于半导体 GaAs 光学结构的磁偶极子谐振所实现的光至太赫兹转换增强。GaAs 材料由于同时具有较高的折射率, 其光学谐振结构同时支持电偶极子谐振及磁偶极子谐振。同时, 这种材料具有较高的二阶非线性系数, 因此, 其光-太赫兹转换效率在两种谐振时分别有不同的增强特性。我们将汇报基于 GaAs 光学谐振结构, 尤其是磁偶极子谐振在太赫兹产生中的应用情况。



关键词: 太赫兹辐射, Purcell 效应, 开口谐振环, 磁偶极子共振

参考文献:

【1】 Lepeshov, S.; Gorodetsky, A.; Krasnok, A.; Rafailov, E.; Belov, P. Enhancement of Terahertz Photoconductive Antenna Operation by Optical Nanoantennas. *Laser Photonics Rev.* 2017, 11 (1), 1600199.

【2】 Z. Han, Y Cai, U Levy and S Bozhevolnyi, Novel terahertz sources in the form of multi-spectral resonators boosted by both pump light local field enhancement and terahertz Purcell effect, to appear in *ACS Photonics*.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11974221) 等

半导体太赫兹量子器件及其成像应用

王长，谭智勇，万文坚，黎华，曹俊诚

中国科学院太赫兹固态技术重点实验室
中国科学院上海微系统与信息技术研究所
上海市长宁路 865 号，上海 200050
*E-mail: cwang@mail.sim.ac.cn

太赫兹 (THz) 波 (频率范围: 0.1-10 THz; $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$) 位于微波与红外光之间, 处于毫米波电子学与红外光子学的交叉过渡区域。太赫兹技术在医学成像、空间通信等领域具有重要应用前景。长期以来, 由于缺乏高效 THz 辐射源和探测器, THz 频段未得到充分研究, 很多新奇的物理性质没有被完全认知, 所以其被称为 THz 间隙 (“terahertz gap”)。

THz 量子级联激光器 (quantum cascade laser, QCL) 是一种基于电子在子带间跃迁辐射机制的半导体光子学器件。THz QCL 工作于 2-5 THz 频率范围, 自发明以来, 其输出功率和工作温度等性能指标得到和很大提升, 在 THz 通信与成像方面具有很好的应用前景。基于多量子阱结构的 THz 量子阱探测器 (quantum well photodetector, QWP) 能够实现 2-7THz 频段的 THz 波探测, 具有响应速度快、结构简单、易于集成等特点, 与 THz QCL 辐射源具有很好的频率匹配特性。我们开展了 THz QCL 和 THz QWP 的设计与研制工作, 得到了瓦级输出功率的 THz QCL 和探测灵敏度达到 $\text{pW/Hz}^{1/2}$ 的 THz QWP 器件。基于这些高性能的半导体 THz 光子学器件, 设计了快速扫描成像系统, 实现了基于 THz QCL 的共焦显微成像。成像系统采用双轴反射式共焦显微成像光路, 搭配快速旋转平移扫描系统, 获得了优于 110 μm 的空间分辨率。THz 显微成像技术将在生物医学研究、无损检测以及快速物理化学过程表征等方面具有很好的应用前景。

致谢: 本工作得到国家重点研发计划 (2017YFF0106302、2017YFA0701005) 资助。

ZnSnN₂ 的导电机制和迁移率的散射机制

蔡兴民、陈倩倩、邱奕斌、王博、叶凡

深圳大学物理与光电工程学院, 深圳 518060

(Email: caixm@szu.edu.cn)

摘要: ZnSnN₂ belongs to the family of Zn-IV-N₂ (IV=Si, Ge and Sn) whose properties are similar to III-nitrides (III=Al, Ga and In). ZnSnN₂ has a direct band gap and the forbidden band gap depends on the crystalline structure. It also has high absorption coefficients, Earth-abundance of constituent elements and nontoxicity, etc. It has the potential to be used in photocatalysis, photovoltaics and light-emitting devices, etc. ZnSnN₂ has been prepared with many methods. All the obtained polycrystalline or single-crystalline samples are n-type conductive, usually with a degenerate electron density and a mobility lower than 10 cm²V⁻¹s⁻¹, which hinders its device application. In this report, we will analyze the conduction mechanism and scattering mechanism of ZnSnN₂ prepared at different sputtering pressure. Our results show that relatively lower sputter pressure results in unintentional oxygen doping of ZnSnN₂. Oxygen is from the residual in the sputtering chamber. It substitutes nitrogen and substitutional oxygen atoms are donors inside ZnSnN₂. Substitutional oxygen leads high electron density, impurity band conduction with lower mobility well below 10 cm²V⁻¹s⁻¹. On the contrary, higher sputtering pressure can reduce unintentional oxygen doping. This leads to low electron density, conduction band conduction and higher mobility limited by ionized impurity scattering. We will also report our recent progress about reducing the electron density of ZnSnN₂.

关键词: ZnSnN₂, 导电机制 散射机制

ZnO 纳米线的表面离子栅调控及新型紫外光检测器

程纲

河南大学特种功能材料教育部重点实验室, 材料学院, 河南省, 开封市 475007

Email: chenggang@henu.edu.cn

摘要: ZnO 纳米线具有高比表面积和高表面活性, 因此, 表面态成为控制 ZnO 纳米线光电传输特性的关键因素, 调控表面态是发展基于 ZnO 纳米线的高性能光电器件的重要策略。在本文中, 我们利用摩擦纳米发电机电离气体产生的离子和电荷, 发展了原位的表面离子栅调控技术, 通过有效调控表面态, 实现了对 Ag/ZnO 纳米线肖特基势垒的高度和电学传输特性的调控。将表面离子栅与紫外光照相结合, 可以实现对势垒高度的可逆调控。另外, 利用气体离子栅调控技术, 使 ZnO 纳米线肖特基势垒紫外光检测的恢复时间从 77 s 降低到 0.3 s, 成为在空气、氧气、氮气等不同的环境中实现快速紫外光检测的普适方法。本文所提出的表面离子栅调控技术, 可以实时、原位地调控纳米线的表面态, 这为研究表面态产生和弛豫的动态过程, 发展高性能光电纳米器件, 提供了新的思路, 具有广阔的应用前景。

关键词: ZnO 纳米线; 肖特基势垒; 表面态; 表面离子栅; 快速紫外光检测器

基金项目: 国家自然科学基金委优秀青年基金 (61522405)、河南省中原千人计划科技创新领军人才项目 (194200510004)。

单根氧化锌微米线异质结发光二极管的研究

姜明明

南京航空航天大学理学院, 南京市 210016

Email: mmjiang@nuaa.edu.cn

摘要: 随着光电子电路集成的飞速发展, 光电功能型器件的特征尺寸不断减小, 制备具有优异光学和电学特性的低维半导体材料成为目前研究的迫切需求。氧化锌 (ZnO) 最为典型的宽禁带半导体材料之一, 且具有强的抗辐射性, 高的热导率, 环境友好, 丰富的微纳结构等特点, 有利于制备新型的微纳尺度光电子器件。本课题组采用化学气相沉积的方式合成 ZnO 微米线, 通过调控材料生长条件, 比如生长温度、载气、生长环境等, 生长具有不同横截面结构的微米线、微米带等。以 Ga_2O_3 作为有效掺杂源, 制备单根 Ga 掺杂 ZnO (ZnO:Ga) 微米线, 最终实现对单根 ZnO 微米线电学特性的可调谐。因其较高的结晶质量、优异的光学电学特性, 可用于构筑高效异质结基发光器件。因此, 在单根微米线异质结基发光二极管的研究方面: (1) 单根 ZnO:Ga 微米线其较高的电子浓度和优异的导电能力, 可实现异质结结区耗尽层的调控实现以 ZnO:Ga 微米线近带边发光为主导的紫外发光二极管; (2) 横截面为四边形的 ZnO:Ga 微米线、微米带, 可用于构筑 Fabry-Perot (F-P) 微腔谐振模式的电注入激子-极化发光二极管, 以及电泵浦 F-P 微腔模式激光二极管; (3) 以横截面为六边形的单根 ZnO:Ga 微米线, 将产生的光子限域在横截面内形成 WGM 模式的谐振, 为电注入激子-极化发光二极管的构筑提供优异的载体。

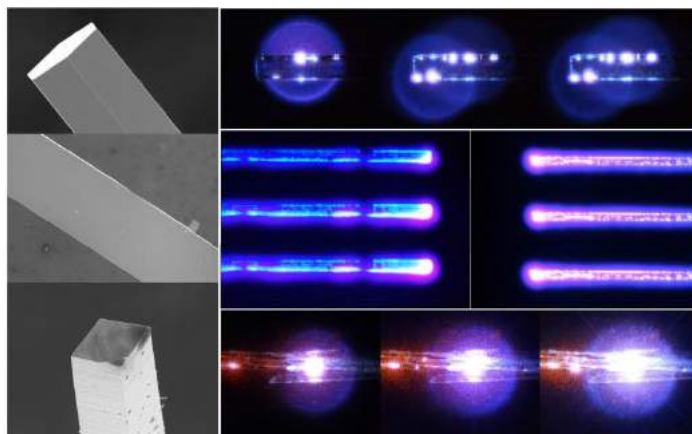


图 1 微米线的生长以及单根微米线异质结基二极管的发光

关键词: 氧化锌, 微米线, 异质结发光二极管, 激子极化, 光学微腔

文献: Mingming Jiang, Wangqi Mao, Xiangbo Zhou, Caixia Kan, and Daning Shi. Wavelength-Tunable Waveguide Emissions from Electrically Driven Single ZnO/ZnO:Ga Superlattice Microwires. ACS Appl. Mater. Interfaces 2019, 11, 11800–11811

纤锌矿晶体结构的 GaAsBi 纳米线的能带结构

王兴军、张斌、陈平平、陆卫

中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083

Email: xjwang@mail.sitp.ac.cn

摘要: 基于 GaAs 的 III-V 族半导体纳米线的表现出的诸如表面积效应, 量子尺寸效应, 介电限域效应等一系列低维体系所特有的性质使其在光电子领域如单光子光源、单纳米线激光器【1】、光电探测器、太阳能电池等具有广泛的应用。通常 GaAs 体材料的晶体结构为闪锌矿结构, 当由体材料过渡到纳米线体系时, 由于纳米线较高的表面积体积比, III-V 族半导体纳米线通常呈现两种晶体结构—闪锌矿 (ZB) 结构和纤锌矿 (WZ) 结构。不同晶体结构直接影响半导体纳米线的能带结构, 从而导致其半导体纳米线的吸收和发光偏振的各向异性。而 GaAsBi 稀铋半导体材料体系, 具有一些独特的优点: 具有直接带隙, 只需要很少量的 Bi 就可以进行较大的禁带宽度调节【2】, 这对未来基于 GaAs 的光电器件是非常有利的。

本课题组首先利用分子束外延技术成功制备了高质量的纤锌矿 (WZ) 结构的 GaAsBi 纳米线, 并利用偏振依赖的发光谱, 发光激发谱, 共振拉曼实验并结合高分辨透射电镜研究了纤锌矿 (WZ) 结构的 GaAsBi 纳米线能带结构。实验表明: Bi 的引入会导致纤锌矿结构 GaAs 的能带减小同时强烈影响价带子带的分裂, 我们考虑到各向异性的类 p 的 Bi 态和价带的杂化并利用价带反交叉理论 (valence-band anticrossing theory) 成功解释了观察到的现象。更进一步, 我们发现通过 Bi 的引入可以大大减小其带间跃迁能量对温度的敏感度, 这种特性有益于提高未来基于 GaAsBi 纳米线的光电器件的性能。

关键词: 纤锌矿 GaAsBi 纳米线 偏振依赖的发光 共振拉曼

参考文献

- 【1】 B. Mayer *et al.*, Lasing from individual GaAs-AlGaAs core-shell nanowires up to room temperature, *Nat Commun*, 2013, 4, 2931.
- 【2】 B. Zhang, *et al.*, Photoreflectance and photoreflectance excitation study of optical transitions in GaAsBi/GaAs heterostructure." *Journal of Applied Physics* 2018, 123(3), 035702.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11874377), 上海自然科学基金 (NO. 18ZR1445700)

体内氧空位对二氧化钛光催化性能和介电性能的影响

王国景、汪春昌、王舒婷

兰州大学物理科学与技术学院, 兰州 730000

Email: wanggj@lzu.edu.cn

摘要: 在众多的宽禁带半导体材料中, 二氧化钛 (TiO_2) 是当代材料科学研究的热门材料之一。 TiO_2 具有十分宝贵的光学性质, 还具有很高的化学稳定性、热稳定性、超亲水性、非迁移性, 所以被广泛应用于抗紫外材料、纺织、光催化触媒、自洁玻璃、防晒霜、涂料、油墨、食品包装材料、造纸工业、航天工业中、锂电池中。在光催化触媒领域, 由于 TiO_2 的禁带宽度约为 3.2 eV, 仅能利用紫外光, 太阳光利用率低; 此外, 在光生电子和空穴的转移与复合阶段, 光生电子和空穴复合率很高[1-3]。在众多调控手段中, 引入氧空位等缺陷的方案可以在禁带中引入杂质能级改善 TiO_2 光催化活性, 是当前光催化研究的热点。

针对表面氧空位不稳定, 课题组团队采用简单的高温氮气气氛退火处理在工业制造的金红石 TiO_2 粉末体内引入了大量的氧空位缺陷, 造成了 Ti^{3+} 离子自掺杂, 且样品在空气中存放一年样品性能并未发生明显变化。该 TiO_2 粉末可见光波段吸收明显增强, 将金红石 TiO_2 粉末降解亚甲基蓝的效率提高了 1.7 倍, 光照两个小时亚甲基蓝被降解了 90%。光催化活性的明显改善是因为氧空位可以束缚光生电子, 且电子在 Ti^{3+} 和 Ti^{4+} 之间的跳跃增大电子迁移率。此外, 该 TiO_2 陶瓷表现出了巨介电性能, 室温介电常数高达 2.5×10^4 。课题组进一步研究发现巨介电现象的出现是因为 TiO_2 粉末体内正负离子缺陷形成了大量的电偶极子, 低温区域出现了与偶极子跳跃和转向弛豫, 极低温区出现了类铁电现象的低温 Maxwell-Wagner 弛豫。该方案操作简单, 且改性后的 TiO_2 粉末光催化性能和介电性能得到明显改善, 样品性能稳定, 该 TiO_2 粉末适合作为太阳能电池和低温服役电子器件的原材料。

关键词: 二氧化钛 氧空位 电偶极子

参考文献

- [1] J. X. Low, J. G. Yu, M. Jaroniec, S. Wageh, and A. A. Al-Ghamdi, Heterojunction photocatalysts, *Adv. Mater.*, 2017, 29, 1601694 (20pp).
- [2] K. A. Rahman, T. Bak, A. Atanacio, M. Ionescu, and J. Nowotny, Toward sustainable energy: photocatalysis of Cr-doped TiO_2 : 2. effect of defect disorder, *Ionics*, 2018, 24, 327-341.
- [3] 李明辉, 宋武林, 曾磊, 曾大文, 谢长生, 氧空位的引入对纳米 TiO_2 光催化性能的影响及其研究进展, *材料导报 A: 综述篇*, 2014, 28, 22-26.

基金项目: 西南大学中央高校基本科研业务费专项资金资助 (No. XDJK2018C003) 和兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金资助 (NO. lzujbky-2019-23)。

室温激子极化激元凝聚体的类自旋链

罗松, 廖李明, 张喆, 王俊, 沈学础, 陈张海*

复旦大学物理系, 上海 200433

Email: sluo14@fudan.edu.cn

摘要: 目前, 传统的数字计算机仍然不能处理大多数现实生活中存在的诸如神经网络的动力学[1]、蛋白质折叠[2]、金融市场的投资优化[3]等极其复杂的问题。幸而许多这种问题可以通过将其映射到伊辛模型中, 并且通过寻找相应伊辛哈密顿量的全局最小值来得到有效地解决[4]。近些年来, 寻找有效的物理体系对伊辛模型进行模拟, 对解决这种及其复杂的问题提供了一些可行的思路。半导体中的激子极化激元是激子和光子强耦合形成的一种半光半物质、具有波色子特性的准粒子。激子成分的存在导致其具有很强的非线性; 光子成分赋予了它极轻的有效质量, 使其能够实现室温下的波色爱因斯坦凝聚。近年来, 利用特定的激光图形对这种准粒子进行调控使其成为量子计算的潜在物理体系[5]。

氧化锌中的激子具备较大的束缚能和振子强度, 是研究室温激子极化激元的理想材料。本课题组利用周期性激光泵浦氧化锌微米棒, 制备了一维周期性的激子极化激元凝聚体超晶格。在此基础上, 我们发现在稳态的周期性凝聚体之间, 其相对相位是锁定的。依赖于选择的晶格常数, 相邻凝聚体之间的相位差要么是 0 (同相位), 要么是 π (反相位)。这促使我们想到, 这样的锁相体系相当于一个自旋伊辛链, 可以作为经典一维伊辛自旋体系的模拟器。更进一步的研究发现, 当我们使用更大功率的激光泵浦氧化锌时, 粒子间的非线性相互作用增强, 这使原来类自旋伊辛链中凝聚体的稳定性被打破, 导致体系在更低能态形成另一个完全不同的周期性类自旋耦合凝聚对。这些结果为实现基于激子极化激元凝聚体超晶格的类自旋量子模拟器打下良好的基础。

关键词: 激子极化激元, 超晶格, 伊辛模型

【1】R. Rojas, *Neural Networks-A Systematic Introduction* Springer-Verlag. (New York, 1996).

【2】Pierce N A, Winfree E. Protein design is NP-hard[J]. *Protein engineering*, 2002, 15(10): 779-782.

【3】Hayashi M, Yamaoka M, Yoshimura C, et al. Accelerator chip for ground-state searches of ising model with asynchronous random pulse distribution[J]. *International Journal of Networking and Computing*, 2016, 6(2): 195-211.

【4】De las Cuevas G, Cubitt T S. Simple universal models capture all classical spin physics[J]. *Science*, 2016, 351(6278): 1180-1183.

【5】Berloff N G, Silva M, Kalinin K, et al. Realizing the classical XY Hamiltonian in polariton simulators[J]. *Nature materials*, 2017, 16(11): 1120.

基金项目: 国家重点R&D项目(No. 2018YFA0306304);国家自然科学基金项目(No. 11674069)。

新型二维层状材料的物性调控与理性设计

王金兰

东南大学物理学院, 南京 211189

Email: jlwang@seu.edu.cn

以石墨烯、二硫化钼为代表的二维层状材料展现了极其丰富的光、电、磁性及催化活性, 在光电器件、新能源等方面具有广泛的应用前景。本报告将介绍本课题组近年来在二硫化钼光电性质调控、黑磷的降解机制与保护策略以及新型二维磁性材料的设计方面的进展。这些研究作为二维材料的性能优化及其在光电子器件与新能源利用等方面提供了理论基础和理论指导。

关键词: 二维材料 磁性 环境稳定性 光电性质 第一性原理计算

参考文献

- [1] H. Qiu, J. Wang*, et al., **Nat. Commun.** 4, 2642 (2013).
- [2] Z. Yu, J. Wang*, et al., **Nat. Commun.** 5, 5290 (2014).
- [3] H. Nan, J. Wang*, et al., **ACS Nano** 8, 5738 (2014).
- [4] H. Shu, J. Wang*, et al., **ACS Appl. Mater. Inter.** 8, 13150 (2016).
- [5] Q. Li, J. Wang*, et al., **Angew. Chem. Int. Ed.** 56, 10501 (2017).
- [6] Zhou, Q., J. Wang*, et al., **Angew. Chem. Int. Ed.** 55, 11437 (2016).
- [7] B. Yang, J. Wang*, et al., **Adv. Mater.** 28, 9408 (2016).
- [8] Y. Zhao, J. Wang*, et al., **Adv. Mater.** 29, 1603990 (2017).
- [9] Q. Li, J. Wang*, et al., **J. Phys. Chem. Lett.** 7, 4540 (2016).
- [10] B. Wang, J. Wang*, et al., **Nanoscale Horizon** 3, 551 (2018).
- [11] Y. Guo, J. Wang*, et al., **Nanoscale**, (2018).
- [12] Q. Wu, J. Wang*, et al., **J. Phys. Chem. Lett.** 9, 4260 (2018).
- [13] Y. Zhao, J. Wang*, et al., **Nano Lett.** 18, 2943 (2018).

窄带隙二维材料与器件

张凯*

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所, 江苏苏州, 215123

*Email: kzhang2015@sinano.ac.cn

窄带隙半导体及其带间跃迁、子带级联器件构筑推动了红外、太赫兹技术的发展, 在国防安全、生物医疗、环境、通信等领域发挥着重要的作用。伴随着器件小型化、低功耗、CMOS兼容集成的发展趋势以及宽光谱、室温工作等性能突破的需要, 该领域主流技术瓶颈越来越突出, 主要体现在器件的复杂结构、外延成本、与硅工艺的兼容性等局限。二维材料的兴起, 尤其是窄带隙二维材料的研究为高性能红外、太赫兹光电子器件的发展带来了契机。近些年, 我们从材料设计、能带工程、输运性质调节、表面等离子激元等方面着手, 探究了以黑磷为典型代表的新型窄带隙二维半导体材料生长及其红外和太赫兹光电器件应用, 获得的进展包括:

(1) 通过成核点设计实现了介质基底上高质量黑磷薄膜的直接生长, 并发展了原子取代和场效应诱导等掺杂路径, 获得了黑磷能带及输运性能的调控[1-4]; (2) 利用石墨烯/氮化硼异质结、石墨烯纳米点阵、石墨烯/超材料复合体系等结构设计构筑, 获得了红外-太赫兹波段表面等离子激元器件的宽频动态调谐和局域场增强[5-8]; (3) 黑磷等窄带隙二维半导体于红外、太赫兹室温宽光谱探测器、激光器的应用探索与性能突破[9-14]。

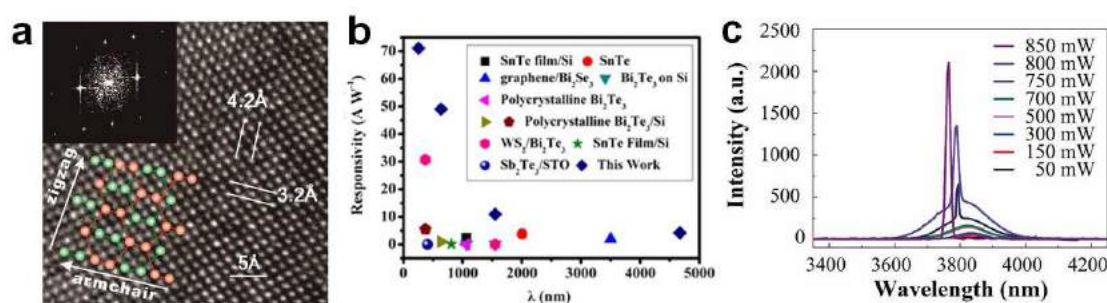


Fig. 1. (a) 高质量黑磷薄膜生长; (b) 基于 SnTe 的超宽谱探测器, 4.65 μm 截止波长室温响应率达 4.17 AW⁻¹; (c) 基于黑磷的室温中红外激光器, 获得 3.76 μm 工作波长的室温激射。

参考文献:

- 【1】 K. Zhang*, *et al.*, *Adv. Funct. Mater.* **27**, 1702211 (2017)
- 【2】 K. Zhang*, *et al.*, *Adv. Mater.* **30**, 1707433 (2018)
- 【3】 K. Zhang*, *et al.*, *Nature Commun.* **9**, 4573, (2018)
- 【4】 K. Zhang*, *et al.*, *ACS Appl. Mater. & Inter.* **11**, 5938 (2019)

- 【5】 K. Zhang *et al.*, *Adv. Funct. Mater.* **24**, 731 (2014)
- 【6】 K. Zhang *et al.*, *Small* **12**, 1302 (2016)
- 【7】 K. Zhang* *et al.*, *Opt. Express* **25**, 23302 (2017)
- 【8】 K. Zhang*, *et al.*, *Opt. Lett.* **43**, 3630 (2018)
- 【9】 K. Zhang*, *et al.*, *Small* **12**, 5000 (2016)
- 【10】 K. Zhang*, *et al.*, *Small* **14**, 1802598 (2018)
- 【11】 K. Zhang*, *et al.*, *Adv. Opt. Mater.* **7**, 1801563 (2019)
- 【12】 K. Zhang*, *et al.*, *ACS Photonics*, DOI: 10.1021/acsp Photonics.9b00096 (2019)
- 【13】 K. Zhang*, *et al.*, *Adv. Electron. Mater.*, Accepted (2019)
- 【14】 K. Zhang*, *et al.*, *Adv. Sci.*, Accepted (2019)

Polaron flux Qubit Based on Macroscopic Two-level Quantum Systems

Yan Xue^{1,2}, Igor Chestnov¹, Evgeny Sedov¹, Stefan Schumacher³, Xuekai Ma³, Alexey Kavokin¹

¹Institute of Natural Sciences, Westlake University, No.18, Shilongshan Road, Cloud Town, Xihu District, Hangzhou, China)

²College of Physics, Jilin University, Changchun, 130012, China

³Department of Physics and Center for Optoelectronics and Photonics Paderborn (CeOPP),

Universitat Paderborn, Warburger Strasse 100, 33098 Paderborn, Germany

Email: xy4610@jlu.edu.cn, xuekai.ma@gmail.com, a.kavokin@westlake.edu.cn

Superconducting flux qubits are based on a superposition of clock-wise and anti-clockwise currents formed by millions of Cooper pairs. In order to excite the system in a superposition state, the half-quantum flux of magnetic field is passed through the superconducting circuit containing one or several Josephson junctions. The system is forced to generate a circular current to either reduce the magnetic flux to zero or to build it up to a full-quantum flux. Circular currents of exciton-polaritons mimic the superconducting flux qubits being composed by a large number of bosonic quasiparticles that compose a single quantum state of a many-body condensate. The essential difference comes from the fact that polaritons are electrically neutral, and the magnetic field would not have a significant effect on a polariton current. We note however, that the phase of a polariton condensate must change an integer number of 2π , when going around the ring. If one introduces a π -phase delay line in the ring, the system is obliged to propagate a clockwise or anticlockwise circular current to reduce the total phase gained over one round-trip to zero or to build it up to 2π . We show that such a π -delay line can be provided by a dark-soliton embedded into a ring condensate and pinned to a potential well created by the C-shape non-resonant pump-spot. The physics of resulting split-ring polariton condensates is essentially similar to the physics of flux qubits. In particular, they exhibit pronounced Bloch oscillations passing periodically through clockwise and anticlockwise current states as Figure 1 shows. We argue that qubits based on split-ring polariton condensates may be characterized by a high figure of merit that makes them a valuable alternative to superconducting qubits.

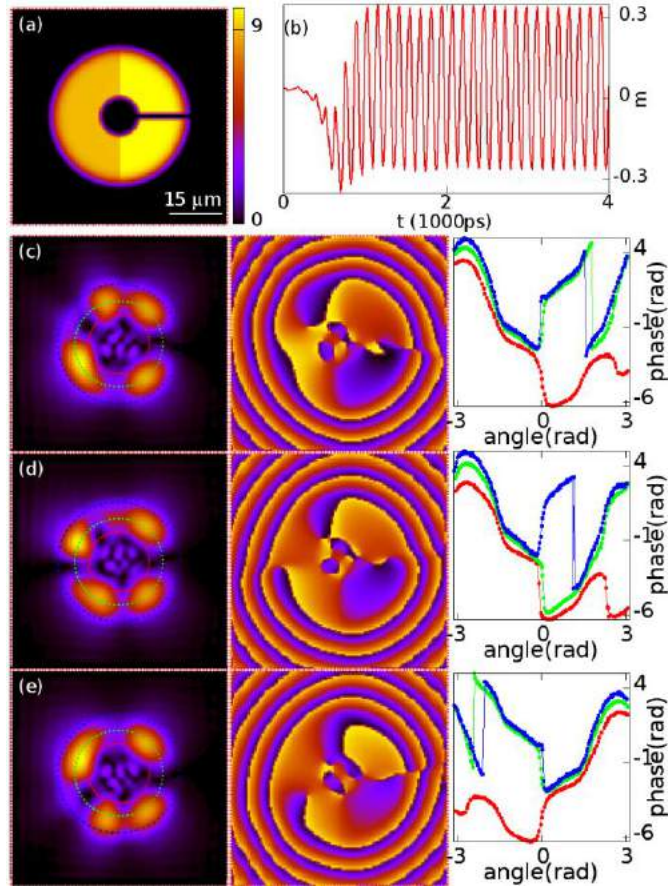


Figure 1. The considered shape of a non-resonant pump spot (a), the oscillations of the topological charge of the resulting split-ring polariton condensate (b), snap-shots of the absolute value of the many-body wave-function of the polariton condensate (left panels), its phase (middle panels) and phase for the fixed radius (right panels) at different stages of the time evolution ((c): $m=0.3$, (d): $m=0$, (e): $m=-0.3$).

This work is supported by the Westlake University (Project No. 041020100118) and Jilin University (the Fundamental Research Funds for the Central Universities). XM and SS acknowledge the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) through the TRR142 (grant No. 231447078, project A04) and Heisenberg program (Grant No. 270619725)

基于自组织量子点和门控型量子点的片上单光子源

F. Liu^{1,2*}, A.J. Brash¹, J. O'Hara¹, L.M. P. P. Martins¹, T. Descamps³, C.L. Phillips¹, R.J. Coles¹, B. Royall¹, E. Clarke⁴, C. Bentham¹, N. Prtljaga¹, I.E. Itskevich⁵, L.R. Wilson¹, M.S. Skolnick¹, H. Bluhm⁵ and A.M. Fox¹

1Department of Physics and Astronomy, University of Sheffield, Sheffield, UK.

2College of Information Science & Electronic Engineering, Zhejiang University, China

3JARA-FIT Institute for Quantum Information, Forschungszentrum Julich GmbH and RWTH Aachen University, Germany

4EPSRC National Epitaxy Facility, University of Sheffield, Sheffield, UK.

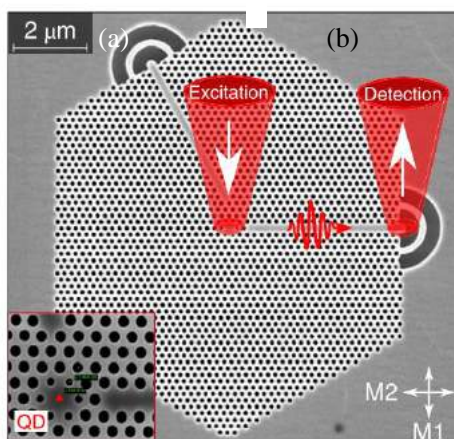
5School of Engineering and Computer Science, University of Hull, Hull, UK.

*Email: feng_liu@zju.edu.cn

可在芯片上产生单个光子的片上单光子源是实现集成量子光学技术的关键器件之一。半导体自组织量子点是一种近乎理想的单光子源,然而当集成到芯片上之后,其发射出的光子的不可区分度会由于靠近量子点的表面电荷的扰动急剧下降。解决这一问题的一个方案之一是利用光子晶体微腔的Purcell效应来加速量子点的辐射速率,然而长久以来,实验上在量子点-光子晶体微腔体系中测得的Purcell因子都远小于其最高理论值。

在本工作中,我们用脉冲共振激发的方式在一个集成了量子点、光子晶体微腔和光子晶体波导的系统中测得了被Purcell效应加强的超短的量子点辐射寿命(22.7 ps, 对应于高达42的Purcell因子)[1]。强Purcell效应既有效遏制了由器件表面电荷和固体晶格振动造成的电子-空穴对的能量偏移和量子退相干,从而将光子不可区分度提升至93.9%,又使单光子源的功耗(激发脉冲功率)降低了97%(至 nW 水平),并提高了光子的发射速率(理论最高值10 GHz)。最终,我们结合脉冲共振激发和电场调控,展示了一个可按需发射光子的高辐射速率且波长可调的片上单光子源。

除此之外,为了解决自组织量子点在位置和能量上的均一性难题。我们正在发展一种新型的高度可控的可发光门控型量子点。在本报告中,我将介绍这一工作的进展。



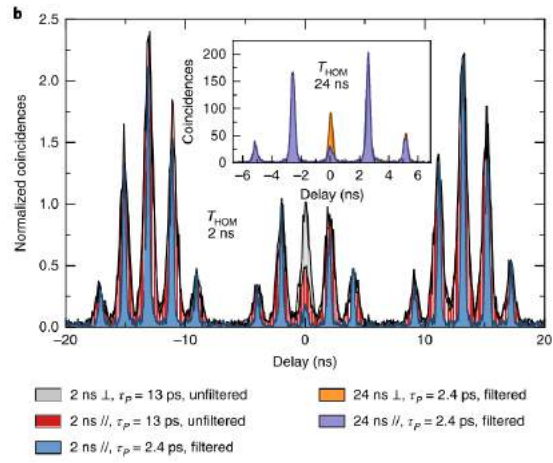


Fig. 1. (a) 基于量子点—光子晶体微腔—光子晶体波导系统的片上电控单光子源。(b) 在脉冲激发条件下的双光子干涉实验 (Hong-Ou-Mandel measurement)。 τ_p : 激发脉冲时延。

参考文献:

[1] F. Liu et al, Nature Nanotechnology 13, 835 (2018).

高效率铜基薄膜太阳能电池研究进展

张毅闻

上海师范大学数理学院, 上海 200235

Email: zhang_yw@shnu.edu.cn

摘要: 铜基化合物 $\text{CuInGa}(\text{S,Se})_2$ 和 $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S,Se})_4$ 为直接带隙半导体材料, 具有光吸收系数高, 禁带宽度可调, 长期稳定性好, 抗辐射性能强等特点。以其为光吸收层材料制备的薄膜太阳能电池在地面发电站以及空间卫星电源等方面具有广阔的应用前景。 $\text{CuInGa}(\text{S,Se})_2$ 薄膜太阳能电池的实验室转换效率最高已经达到 23.35%, 展现了其优异的发展潜力。在技术进步和对能源需求不断增长的背景下, 需要进一步提高太阳能电池的转换效率。铜基薄膜太阳能电池属于多种元素构成的异质结器件。其多元材料的特性和异质界面结构决定了精确控制体光吸收层的缺陷浓度和减少异质界面的载流子复合是提高器件转换效率的关键。在本次报告中, 介绍了我们在发展高效率铜基化合物薄膜太阳能电池方面, 调控界面微结构减少载流子复合, 以及通过晶界钝化降低缺陷浓度的技术方案和工作进展。通过阐明界面结构、缺陷性质和器件特性的关系, 在 $\text{CuInGa}(\text{S,Se})_2/\text{CdS}$ 界面优化能带结构得到转换效率高于 19% 的 $\text{CuInGa}(\text{S,Se})_2$ 太阳能电池; 通过减少晶界的富 Cu 缺陷制备了转换效率高于 11% 的 $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S,Se})_4$ 太阳能电池。

关键词: 太阳能电池 $\text{CuInGa}(\text{S,Se})_2$ $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S,Se})_4$ 界面微结构 晶界钝化

参考文献

http://www.solar-frontier.com/eng/news/2019/0117_press.html, Solar Frontier Achieves World Record Thin-Film Solar Cell Efficiency of 23.35%.

Y. Zhang *et al.*, Nanoparticle-Based $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S,Se})_4$ Solar Cells With a 9.1% Efficiency Obtained by an Optimization of Sintering Process, *Solar RRL*, 2017, 1, 1700063.

基金项目: 上海市千人计划, 上海市科委基金 (No. 18070502800)

一种有前景的新型光伏材料 CuO/SeInGaAs/GaAs

高斐、高蓉蓉、刘浩、华晓冬、刘生忠

陕西师范大学材料科学与工程学院, 西安 710119

Email: feigao@snnu.edu.cn

摘要: 提高已有电池性能和探索新型光伏材料电池是太阳电池研究和发展的两条基本途径。CuO 原材料丰富, 成本低, 无毒, 光吸收系数大 ($\sim 10^6/\text{cm}$), 带隙合适 ($\sim 1.4 \text{ eV}$), 理论上电池效率可超过 30%, 是一种非常有发展潜力的光伏材料。但是, CuO 熔点高 (1026°C) 且在熔点附近会分解, 不能用真空热蒸发制备和用高温退火改善结晶性。用现有技术 (磁控溅射、化学溶液等) 制备的 CuO 薄膜结晶性差 (主要是非晶/纳晶), 缺陷多, 载流子复合严重, 电池效率低 (小于 6%), 目前研究遇到了瓶颈。

本课题组经多年探索, 首次提出将 CuO 与 Se 混合, 经过低温退火, 通过熔化的 Se 对 CuO 的浸润以消除 CuO 薄膜中的空洞和悬挂键, 减少缺陷, 改善 CuO 的性能。我们用磁控溅射及低温退火制备出了 CuO/Se 复合材料薄膜。结果显示, 该薄膜在整个太阳光谱范围内对光都有强的吸收 (平均吸收率接近 80%), 如图 1。虽然该薄膜仍是非晶/纳晶薄膜, 但是其光生载流子扩散长度特别大 (3.147 mm) (如图 2), 远大于最好的 p 型单晶硅的光生载流子扩散长度 (1.95 mm),^{1,2} 远远大于目前研究热点的有机-无机杂化钙钛矿材料的光生载流子扩散长度 (单晶 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 为 0.32 mm,² 多晶薄膜为 0.014 mm)。以该薄膜材料作为光吸收层, 有望研制出高效率太阳电池。

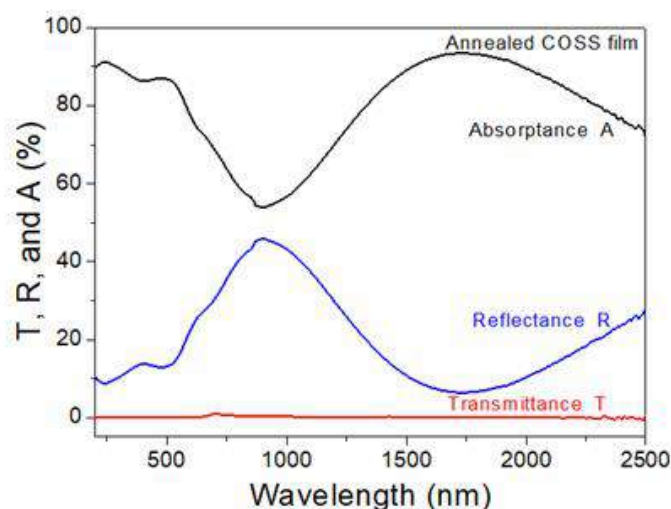
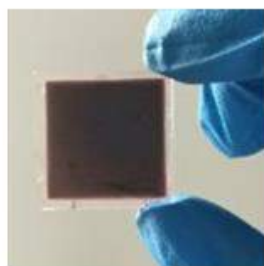


图 1. 制备的 CuO/Se 复合材料薄膜（左）及其透射、反射和吸收光谱（右）

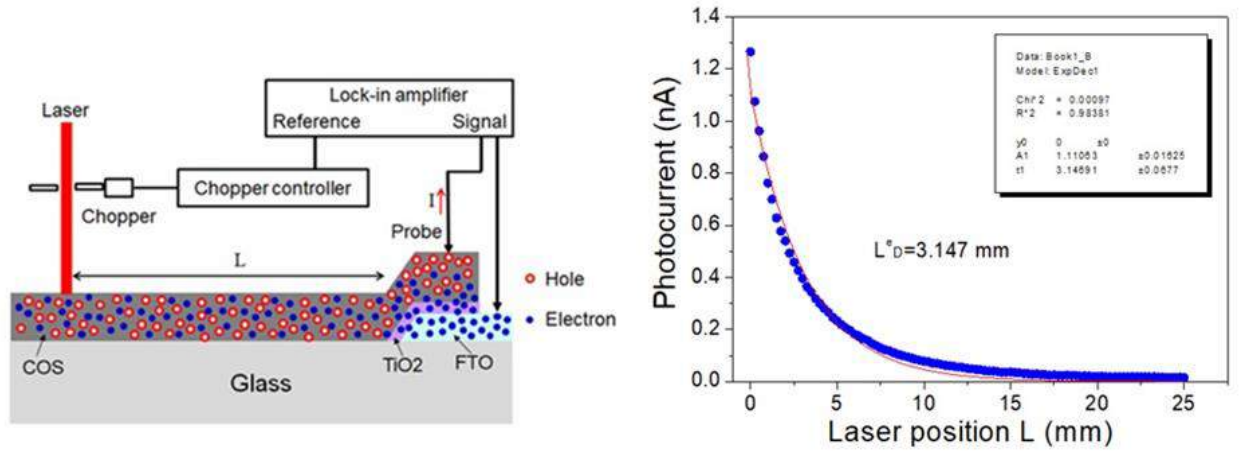


图 2 光生载流子扩散长度测量示意图（左）及光电流随激光斑位置的变化（右）

关键词：CuO/Se 复合薄膜，全光谱，强吸收，超长载流子扩散

参考文献

- 【1】 Jacoboni C, Canali C, Ottaviani G, Alberigi Quaranta A. A review of some charge transport properties of silicon. *Solid-State Electronics* 1977, 20, 77-89.
- 【2】 Semonin, O. E., Elbaz, G. A., Straus, D. B., Hull, T. D., Paley, D. W., Zande, A. M., Hone, J. C., Kymissis, I., Kagan, C. R., Roy, X., Owen, J. S. Limits of Carrier Diffusion in n-Type and p-Type CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Single Crystals. *J. Phys. Chem. Lett.* 2016, 7, 3510–3518.

InAs 纳米线红外光电器件

张旭涛^{††}、姚晓梅[‡]、Chen Zhou[〃]、Jin Zou[〃]、甘雪涛[†]、陈平平[‡]、陆卫

[‡]中科院上海技术物理研究所红外物理国家实验室, 上海 200083

[†]西北工业大学理学院, 西安 710072(710129)

Email: luwei@mail.sitp.ac.cn

摘要:近年来, 军事及民用领域(如人工智能、智慧城市等)对中长波红外信息的探测需求不断增加, 小尺寸、低重量、低成本、低功耗以及高灵敏探测性能的红外探测器的研究变得愈加迫切。InAs 纳米线由于具备较窄的带隙、较小的电子有效质量、超高的电子迁移和内禀光电增益等优异物理特性, 有望在新型低维红外器件中得到广泛应用。

本报告简述了 Au 催化高质量 InAs 纳米线的分子束外延(MBE)制备, 在此基础上制备单根纳米线 FET 器件, 探索了 InAs 纳米线表面态引起的电子束缚能级在器件光电转变中对载流子输运的影响, 产生了反常负光电导效应。进而设计并制备了铁电有机薄膜 P(VDF-TrFE)/单根 InAs 纳米线复合顶栅结构器件, 通过外加栅压极化 P(VDF-TrFE)后可以产生了一个极大的剩余极化电场($\sim 10^9 \text{ Vm}^{-1}$)¹。当极化电场方向向下时, 可以有效抑制纳米线芯中的载流子浓度, 降低了器件漏电流, 实现了器件在中长波红外波段的超高灵敏光电探测性能。超强的极化电场同时造成了纳米线能带弯曲并产生 Franz-Keldysh 效应, 将器件的探测波长拓展至 $4.3 \mu\text{m}^2$ 。当极化电场方向向上时, 不同波长光照可以调控纳米线表面态中束缚电子的数目, 器件在不同光照下有着不同的电流输出, 实现了新颖的非易失性存储特性³。相关研究将推动低维红外光电器件的发展。

关键词: 纳米线、InAs、MBE、光电器件

参考文献

1. Wang, Xudong. *et al.*, Ultrasensitive and Broadband MoS(2) Photodetector Driven by Ferroelectrics. *Adv. Mater.* **2015**, 27 (42), 6575-81.
2. Zhang, Xutao *et al.*, Ultrasensitive Mid-wavelength Infrared Photodetection Based on a Single InAs Nanowire. *ACS Nano* **2019**, 13 (3), 3492-3499.
3. Zhang, Xutao *et al.*, Light-Induced Positive and Negative Photoconductances of InAs Nanowires toward Rewritable Nonvolatile Memory. *ACS Applied Electronic Materials* **2019** (Online).

基金项目: 国家自然科学基金 (Nos. 61376015, 91321311) 等。

氮化镓基器件电子辐照诱生缺陷表征和分析

于莉媛、韩斌、牛萍娟

天津工业大学电气工程与自动化学院, 天津 300387

Email: yuliyuan1219@126.com

摘要: 氮化镓(GaN)材料作为目前半导体研究的前沿和热点,其应用领域不断在拓展,从而使愈来愈多的GaN器件工作在辐照环境中,辐照环境中的辐射粒子会在GaN器件内部诱生各种缺陷,进而影响器件的性能,另外,电子辐照作为一种加工技术已经应用于半导体材料改性等方面,因此研究辐照对GaN材料及器件的影响,一方面可以为GaN器件在更加恶劣辐照环境中应用时提供数据支撑;另一方面,通过不同能量剂量的电子辐照引入不同类型的缺陷比热力学平衡产生的缺陷浓度大很多,这对非平衡条件下和退火处理后的点缺陷形成以及半导体材料基本物理的深入研究提供了重要数据信息。本课题组通过一系列的测试表征方法来具体的分析电子辐照诱生缺陷的类型、位置、密度及其形成过程的演化规律。测试结果表明不同剂量电子辐照使AlGaIn/GaN异质结内部产生Ga受主缺陷,在异质结表面和异质界面均产生界面态缺陷,且Ga受主缺陷密度,表面态和界面态缺陷密度均随辐照剂量的增加而增加;XRD测试结果表明不同剂量电子辐照在AlGaIn/GaN异质结中产生 V_N 和 V_{Ga} 空位缺陷,以及GaAl替位缺陷,且缺陷密度随辐照剂量的增加而增大;XPS测试结果表明电子辐照使异质结表面Al-O键断裂生成Ga-O导致异质结表面 Al_2O_3 减少, Ga_2O_3 增多,同时使异质结表面产生Ga空位和N空位,且空位密度随辐照剂量的增加而增大。后续工作中可添加几组大剂量的电子辐照实验,从而获得比较全面的电子辐照诱生缺陷情况,为进一步研究辐照对GaN材料器件产生的缺陷及其对器件性能的影响。

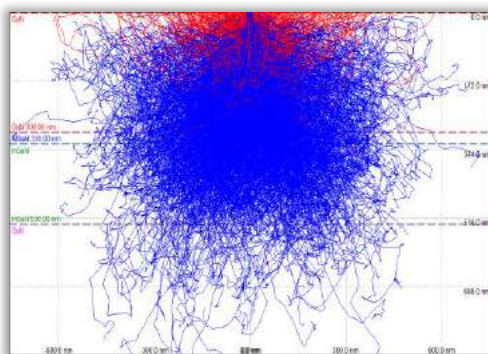


图 1 电子辐照 GaN 基器件中的运动轨迹

关键词：电子辐照 GaN AlGaIn/GaN 异质结 诱生缺陷

参考文献（中文小五号宋体，其中英文和数字为 Times New Roman 小五号字）

- 【1】 Yakimov E B, Vergeles P S, Polyakov A Y, et al. Low energy electron beam irradiation effect on optical properties of nanopillar MQW InGaIn/GaN structures[J]. AIP Conference Proceedings, 2014, 1583: 268—271.
- 【2】 He Jingang, Yu Liyuan, Han Bin et al. Study on annealing experiment of AlGaInP - based LED wafer by electron beam irradiation[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, 382: 1-7.
- 【3】 In-Hwan Lee, A Y Polyakov, N B Smirnov, et al. Electron irradiation of near-UV GaN/InGaIn Light emitting diodes[J]. Phys.Status. Solidi A, 2017, 1700372.

基金项目：国家自然科学基金项目(NO. 61504095);天津市教委科研计划项目(NO. 2017ZD06)

高速太赫兹成像芯片研究

符张龙¹、邵棣祥^{1,2}、李锐志^{1,3}、张真真¹、顾亮亮²、郭旭光²、谭

智勇¹、万文坚¹、曹俊诚¹

1.中国科学院上海微系统与信息技术研究所，中科院太赫兹固态技术重点实验室，上海 200050；

2.上海理工大学，光电信息与计算机工程学院，上海 200093；

3.中国科学院大学，北京 100049

Email: zlfu@mail.sim.ac.cn

摘要：太赫兹成像在人体安检、生物医学成像、天文观测、火灾灾情探测等方面均具备重要应用价值。[1-6] 然而，缺少高速成像芯片是太赫兹成像技术和相关应用发展的最重要障碍[6,7]。为此，我们设计并制备了频率上转换光子型成像芯片来实现高速太赫兹成像。该芯片采用分子束外延技术依次堆叠生长太赫兹量子阱光电探测器（THz QWP）和近红外发光二极管（LED）构成。其工作原理为 THz QWP 部分吸收照射的太赫兹光，吸收光子通过子带跃迁效应激发出自由电子，并在外加偏压作用下形成光电流驱动 LED 发射近红外光，最后通过商用 CCD 相机观察器件发光图像。芯片峰值响应为 $0.50 \text{ A/W} @ 4.8 \text{ THz}$ ，NEP 可达 $\text{pW}/\sqrt{\text{Hz}}$ 量级，可实现微秒单帧成像速度。如图 1 (a) 所示为太赫兹量子级联激光器（THz QCL）和 THz QWP-LED 高速成像系统装置图，THz QCL 发出 $10 \mu\text{s}$ 单脉冲太赫兹激光，并由 THz QWP-LED 与 CCD 相机同步成像（相机曝光时间： $10 \mu\text{s}$ ）。成像结果如图 1 (b) 所示，高斯平滑处理后如图 1 (c) 所示，激光光斑为圆形，且能量呈高斯分布，与 NEC 太赫兹相机实时成像结果一致。该器件的成功研制为实现高速太赫兹成像提供了新方法，将在太赫兹成像领域发挥重要作用。

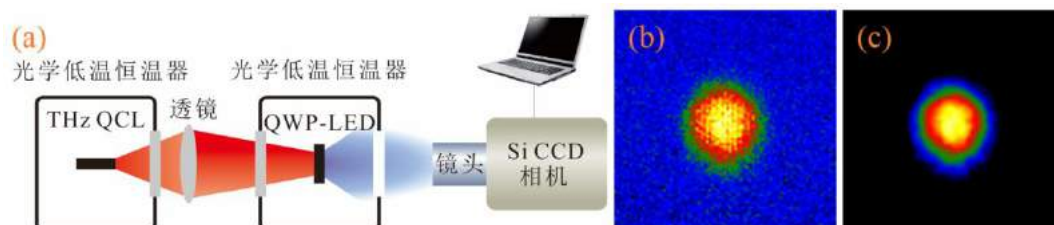


图 1 (a) THz QCL 和 THz QWP-LED 高速成像系统装置图，(b) 使用商用 CCD 相机（相机同步曝光时间 $10 \mu\text{s}$ ）观察 THz QWP-LED 对 THz QCL $10 \mu\text{s}$ 单脉冲激光光斑成像图，(c) 高斯平滑处理成像图。

关键词：太赫兹、频率上转换、成像

参考文献

- 【1】 W. L. Chan, J. Deibel, & D. M. Mittleman, *Rep Prog. Phys.*, 70, 1325–1379 (2007).
- 【2】 A. Rogalski, & F. Sizov, *Opto-Electron. Rev.*, 19(3):346–404 (2011).
- 【3】 R. Knipper, A. Brahm, E. Heinz, et al., *IEEE T. THz. Sci. Tech.*, 5(6):999-1003 (2015).
- 【4】 Z.T. Zhou, T. Zhou, S.Q. Zhang, et al., *Adv. Sci.*, 1700982 (2018).
- 【5】 S.C. Shi, S. Paine, Q.J. Yao, et al., *Nat. Astron.*, 1:0001 (2016).
- 【6】 Z. L. Fu, L. L. Gu, X. G. Guo, et al., *Sci. Rep.*, 6:25383 (2016).
- 【7】 G. C. Trichopoulos, H. L. Mosbacker, D. Burdette, et al., *IEEE T. Antenn. Propag.*, 61(4):1733-1740 (2013).

基金项目：国家重点研发计划资助项目（2017YFF0106302）；国家自然科学基金资助项目（61775229, 61575214）；上海市青年科技英才扬帆计划资助项目（17YF1429900）。

THz 光谱和图像的非线性降维及多特征提取方法研究

葛宏义^{1,2}, 蒋玉英^{1,2}, 张元^{2*}, 廉飞宇^{1,2}

1 河南工业大学 信息科学与工程学院 郑州 450001

2 河南工业大学 粮食信息处理与控制教育部重点实验室 郑州 450001

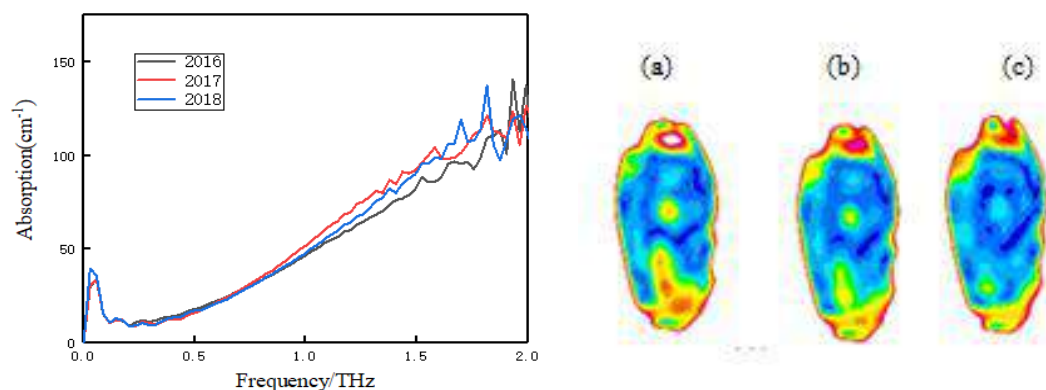
THz 光谱图像数据量大、维数高、结构复杂, 存在多重共线性, 造成数据冗余。在建立预测模型时, 需对原始光谱图像数据进行预处理和数据降维。在获取 THz 光谱图像数据的基础上, 对数据进行降维处理, 剔除冗余变量, 提取特有的本质信息, 建立基于非线性降维方法的模型, 验证该方法在提升数据质量和检测精度上的有效性。

本文采用 THz 技术, 以不同储藏时间小麦样品为检测对象, 获得样品的 THz 光谱数据和图像数据, 结合稀疏特征学习方法对样品的 THz 光学数据进行约简, 实现以较少数据表示 THz 光谱图像中的特征信息。基本思想是: 学习 THz 光谱字典所用的稀疏模型为: $J = \phi a + \varepsilon$, $\phi \in R^{N \times M \times L}$ 为所求的冗余字典, $\phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_l]$ 中 l 为原子数目, 稀疏表示的系数 a , 噪声为 ε 。为学习出符合 J 的空间光谱字典, 最小化以下代价函数:

$$J_r(x, \{a_i\}, \{\phi_i\}) = \arg \min \|J - \phi a\|_F^2 \quad s.t. \forall i, \|a_i\|_0 \leq k \text{ 且 } a \geq 0$$

k 为稀疏度, 要求稀疏表示系数 a 中, 非 0 元素个数尽量少, 少于 k 个。采用梯度下降法训练冗余字典, 通过迭代, 使得系数稀疏。

图 1 为不同储藏时间的样品 THz 光谱及 THz 重构图像 a)2016 b)2017 c) 2018



结合样品光谱特征向量组合的多维特征向量反映不同年份样品的特征, 包括 THz 时域光谱信息和 THz 图像信息, 上述 THz 光谱和图像降维后的特征, 进而对特征向量进行优化, 建立特征信息矩阵, 全面反映样品多元特征状态信息。

New compounds $Mg_3IV_6V_8$ (IV=Si, Ge, Sn; V=P, As, Sb) and their potential application to photovoltaic materials

P. Tuo¹ and B. C. Pan^{1, 2, a)}

¹⁾ Key Laboratory of Strongly-Coupled Quantum Matter Physics, Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, People's Republic of China.

²⁾ Hefei National Laboratory for Physical Sciences at Microscale, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, People's Republic of China.

^{a)} bcp@ustc.edu.cn

A new Mg-based ternary compounds $Mg_3Si_6As_8$ was recently discovered¹. The finding of $Mg_3Si_6As_8$ indicates a novel member in the form of $II_3IV_6V_8$ in II-IV-V family. In order to gain deep insight of this new member, we predicted the $Mg_3IV_6V_8$ compounds through substituting the IV and V elements in $Mg_3Si_6As_8$ crystal. Using DFT, we systematically studied their elastic, electronic and optical properties, and explored their photovoltaic potentials.

Nine crystals of $Mg_3IV_6V_8$ (IV=Si, Ge, Sn; V= P, As, Sb) are respectively predicted. These predicted compounds are stable both energetically and dynamically. They are all pseudo-direct bandgap semiconductors, with bandgaps ranging from 2.5 eV to 0.88 eV.

We calculated the absorption coefficient and reflectivity of these compounds. Using these parameters and the graphical method addressed in the work of Henry C. H.², we estimated the photovoltaic (PV) efficiencies of the compounds. The predicted PV efficiencies of both $Mg_3Ge_6Sb_8$ and $Mg_3Sn_6P_8$ are close to that of crystalline silicon ($26.7 \pm 0.5\%$)³, and larger than that of CIGS ($21.7 \pm 0.6\%$)³ and perovskite ($19.7 \pm 0.6\%$)³.

We note that the lattice constants of the different $Mg_3IV_6V_8$ compounds predicted above are quite close to each other, thus some of them could be formed in tandem with small mismatch in lattices. Double, triple and quadruple layer solar cells stacked with different $Mg_3IV_6V_8$ cells are respectively considered. The tandem cells with maximum PV efficiencies are presented in Fig. 1.

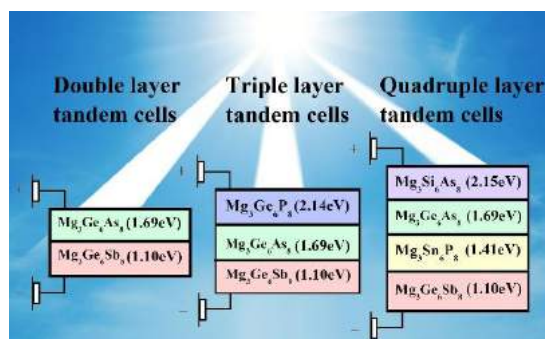


Figure 1. Schematic of the tandem cells.

As shown in Fig. 1, The maximum PV efficiencies obtained for the double layer tandem cell is predicted to be 27.52%; The maximum PV efficiencies obtained for the triple layer tandem cell is

predicted to be 27.10%; The maximum PV efficiencies obtained for the triple layer tandem cell is predicted to be 31.25%.

The optimum efficiencies obtained for double and quadruple layer tandem cells exceed that of a-Si/nc-Si/nc-Si ($14.0\pm 0.4\%$)², and perovskite/Si ($23.6\pm 0.6\%$)² and is close to that of InGaP/GaAs/InGaAs ($31.2\pm 1.2\%$)². We can conclude that the Mg₃IV₆V₈ compounds hold promising potential for PV devices.

Keywords: photovoltaic, semiconductor

This work is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 11275191 and No. 11875247).

Reference:

- [1] K. E. Woo, J. Wang, K. Wu, K. Lee, J.-A. Dolyniuk, S. Pan, and K. Kovnir, "Mg-Si-As: An unexplored system with promising nonlinear optical properties," *Advanced Functional Materials*, 1801589 (2018).
- [2] C. H. Henry, "Limiting efficiencies of ideal single and multiple energy gap terrestrial solar cells," *Journal of applied physics* **51**, 4494 - 4500 (1980).
- [3] M. A. Green, Y. Hishikawa, W. Warta, E. D. Dunlop, D. H. Levi, J. Hohl-Ebinger, and A. W. Ho-Baillie, "Solar cell efficiency tables (version 50)," *Progress in Photovoltaics* **25**, 668 - 676 (2017).

铯铅卤化钙钛矿量子点 (PQDs) 稳定性提升

杨伟强, 刘为振*, 徐海阳*, 刘益春

东北师范大学紫外光发射材料与技术教育部重点实验室, 长春 130000

Email: yangwq031@nenu.edu.cn

摘要: 铯铅卤化钙钛矿量子点 (PQDs) 因具有优异光学和电子特性成为了制作各种光电器件的优良材料^[1-2]。然而, 它们的不稳定性极大地阻止了它们的实际应用。在各种高分子聚合物中, 具有大表面积和深交联通道的介孔聚苯乙烯微球 (MPMs) 是大量填充荧光 QDs 的理想载体^[3-4]。因此, 我们研究了一种简单的水解封装的方法, 将 PQDs 嵌入到介孔聚苯乙烯微球 (MPMs) 中, 然后是二氧化硅壳为包覆基质, 而后产生了具有明显荧光增强效果和发光稳定的 PQDs/MPMs@SiO₂ 杂化微球。得到的 PQDs/MPMs@SiO₂ 杂化微球展示出了高达 84% 的荧光量子产率。更重要的是, MPMs@SiO₂ 保护壳可以有效地切断外界环境的侵蚀与内嵌 PQDs 之间的直接接触, 并用超长烷基链改性了混合微球, 以提高耐溶剂性和耐热性。因此, 这些 CsPbBr₃-PQDs/MPMs@SiO₂ 杂化微球即使暴露于恶劣环境中, 例如: 去离子水, 异丙醇溶液, 酸/碱溶液, 阴离子交换反应和加热等条件, 也表现出良好的化学和物理稳定性。特别是在水中进行了长达 30 天的存储, 水稳定性的结果表明剩余~48% 的初始荧光强度, 是 PQDs 荧光粉稳定性相关研究报道的最佳水平。同时, 通过在蓝色芯片上将绿色 CsPbBr₃-PQDs/MPMs@SiO₂ 荧光微球与红色商用荧光粉混合来实现白色发光的 LED, 并且获得 81 lm/W 的流明效率并且具有的良好电致发光稳定性。

关键词: 钙钛矿量子点, 增强稳定性, 发光二极管, 介孔微球, 二氧化硅封装

参考文献

- 【1】 J. Z. Song *et al.*, Nanocrystals: Quantum Dot Light - Emitting Diodes Based on Inorganic Perovskite Cesium Lead Halides (CsPbX₃), *Advanced Materials*, 2015, 27(44):7162-7167.
- 【2】 Z. F. Shi *et al.*, A Strategy of Solution-Processed All-Inorganic-Heterostructure for Humidity/Temperature-Stable Perovskite Quantum Dot Light-Emitting Diodes, *ACS Nano*, 2018: 12, 1462.
- 【3】 D. S. Zhang *et al.*, Polymers mediate a one-pot route for functionalized quantum dot barcodes with a large encoding capacity, *Nanoscale*, 2018, 10(26): 12461-12471.
- 【4】 H L, Liao, *et al.*, Brilliant Pitaya - Type Silica Colloids with Central-Radial and High - Density Quantum Dots Incorporation for Ultrasensitive Fluorescence Immunoassays. *Adv. Funct. Mater.*, 2018, 28(4): 1705380.

* 基金支持: (小五号宋体)

二维界面原子尺度电接触质量的建模

宋爱生、马天宝

清华大学机械工程系, 北京 100083

Email: sas17@mails.tsinghua.edu.cn

摘要: 对于传输电信号或能量的界面来说, 为了实现高效和稳定的传输, 调控接触电阻一直是一个关键的问题。从宏观的多粗糙峰接触到原子尺度的弹道输运接触, 接触电阻已经被证明了和“接触数量”, 即真实接触面积有着密切的联系。另一方面, 在很多情况下, 例如对于二维电子器件中广泛存在的二维材料/金属界面或者二维材料/二维材料界面, 接触电阻也与“接触质量”密切相关。Landauer 公式或 Richardson 公式揭示了接触质量与界面的电子透射概率或界面势垒的性质的关系。然而, 目前仍然缺乏一个能够将接触质量与界面原子堆垛结构直接联系起来的实空间模型¹。

课题组团队采用了导电原子力显微镜 (c-AFM), 密度泛函理论 (DFT) 和非平衡格林函数 (NEGF) 相结合的方法, 研究了二维界面的原子尺度电输运机理。在此基础之上, 我们提出了描述二维界面的接触质量与原子堆垛结构之间的关系的理论模型 (ACQ 模型)。这个模型可以进一步用来描述接触电阻的原子尺度空间调制现象以及双层石墨烯层间电阻的转角依赖性。

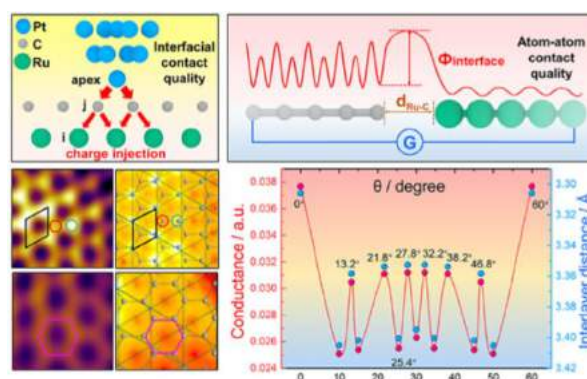


图 1 ACQ 模型及其应用

关键词: 二维材料, 异质结构, 电接触, 原子分辨成像, 第一性原理计算, 实空间模型
参考文献

【1】 Allain, A.; Kang, J.; Banerjee, K.; Kis, A. Electrical contacts to 452two-dimensional semiconductors. Nat. Mater. 2015, 14 (12), 1195– 4531205.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 51527901, 61390501, 11772169, 61504149, 51705017, 11890671)

具有高圆偏振发光度的手性二维钙钛矿

马佳琪、李德慧

华中科技大学光学与电子信息学院, 武汉 430074

Email: jqma@hust.edu.cn

摘要: 手性材料在生命科学、材料科学、自旋电子和光电子器件等领域都有着广泛的应用前景。二维钙钛矿具有良好的光电性能, 包括高度可调谐的带隙、量子限域效应及高光学吸收系数等, 在发光二极管、激光器、光电探测器和太阳能电池等光电器件方面具有独特的优势。因此, 集手性材料与二维钙钛矿优势于一体的二维手性钙钛矿是下一代生物学、光学与自旋电子学器件的有力候选材料。然而, 目前对二维手性钙钛矿的研究尚处于起步阶段, 仍需要进一步探索其光电性质与应用。

我们将手性有机分子引入到二维碘化铅钙钛矿中, 成功合成了具有手性的二维钙钛矿, 实现了手性二维钙钛矿低温下的圆偏振发光 (圆偏振发光度在 77 K 时最高可达 17.6 %), 并对比分析了两种不同手性的二维钙钛矿材料在低温下的圆偏振发光差异。通过改变温度, 发现样品的圆偏振发光度随温度升高而减弱, 意味着钙钛矿的手性可能起源于手性分子的引入导致的晶格扭曲或者自旋翻转。随后制备了手性二维钙钛矿/MoS₂ 异质结构器件, 利用两种相反手性的二维钙钛矿中对不同圆偏光的吸收差异成功实现了具有检测圆偏光功能的光电探测器。

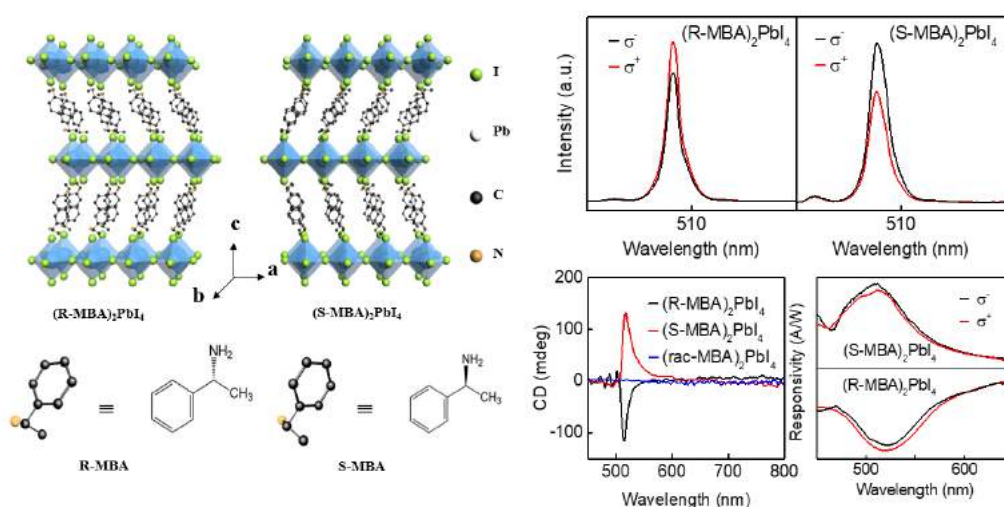


图 1 手性二维钙钛矿结构、圆偏振发光及探测

关键词：手性二维钙钛矿 高圆偏振发光度 圆偏光探测器

参考文献

【1】 J. Q. Ma *et al.*, Chiral 2D Perovskites with High Degree of Circularly Polarized Photoluminescence, *ACS Nano*. 2019, 13 (3), 3659-3665.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61674060）和中央大学基础研究基金项目（NO. 2017KFYXJJ030, 2017KFYKJC003, 2017KFYKJC002）等

InN 超导中的涡旋转变与光响应的关系

宋志勇^{1,2}、康亭亭²

1. 华东师范大学 极化材料与器件教育部重点实验室, 上海 200062
 2. 中国科学院上海技术物理研究所 红外物理国家重点实验室, 上海 200083
- *通讯作者: 康亭亭 电话/传真: 021-2505 1863 邮箱: kang@mail.sitp.ac.cn

InN 作为一种 III-V 族半导体, 在光电领域有着重要的应用价值, 此外, 它也是 III-V 族氮化物里唯一被证明具有超导性质的材料。我们首次发现 InN 超导中存在由偏置电流驱动的涡旋无序-有序的转变, 转变点对应于微分电阻曲线的峰值位置, 如图 1(a)所示。在较小的偏置电流下, InN 中涡旋呈无序运动, 临界电流密度近似为双峰高斯分布, 随着电流密度的增加, 临界电流密度分布向小电流下移动, 最终变为陡峭的单峰高斯分布, 这表明增大偏置电流可以使涡旋的有序程度增加。InN 在超导状态下的光响应测试表明, 这是一种 Bolometer 型的光响应机制。涡旋无序-有序的转变使得 InN 超导光响应与偏置电流的关系存在如图 1(c)所示的峰值, 这是区别于其他超导光探测器的。

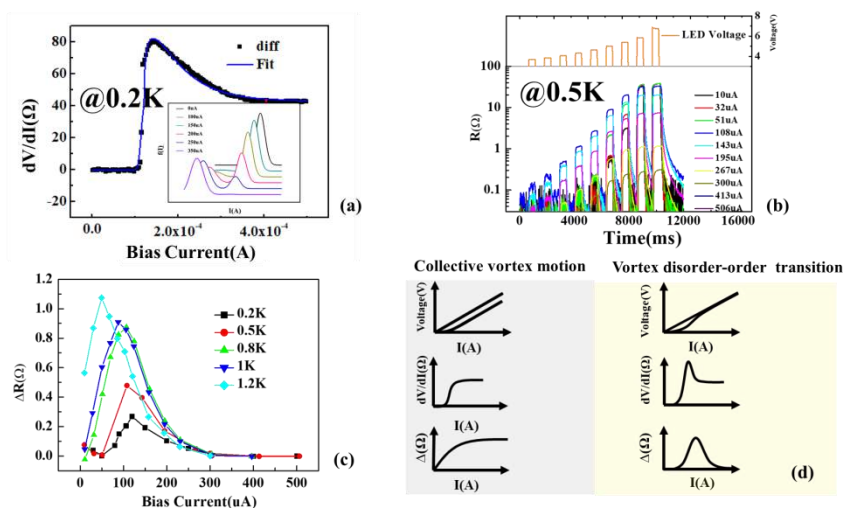


图 1 InN 在超导状态下的微分电阻曲线和用涡旋转变模型拟合的结果 (a); InN 超导 bolometer 光响应结果

(b); 不同温度下的光电阻与偏置电流的关系 (c); 涡旋无序-有序转变对光响应的影响 (d)

关键词: InN 超导 涡旋相变 Bolometer 探测器

参考文献

- 【1】 G.Grimaldi et al., Dynamic ordering and instability of the vortex lattice in Nb films exhibiting moderately strong pinning, *Phys. Rev. B.* 2009, (80), 144521.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11204334)

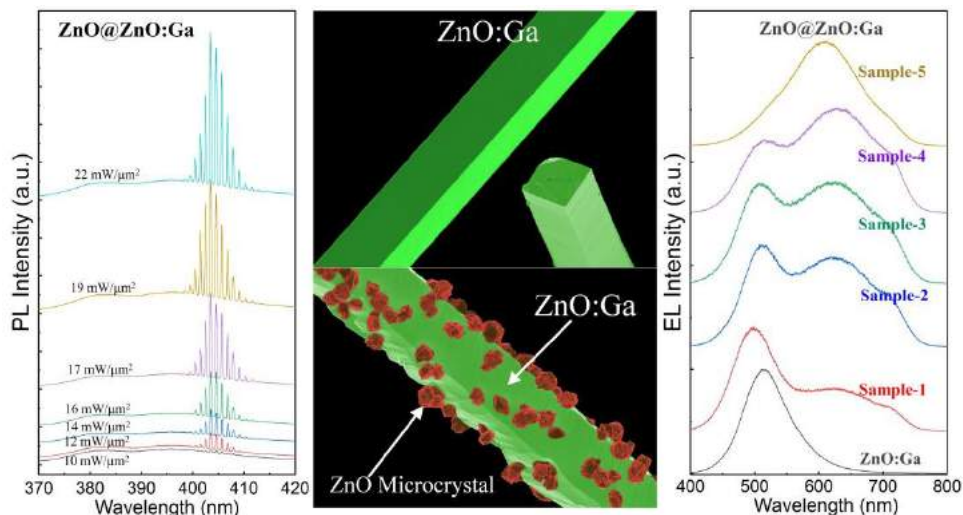
Interfacial Energy Transfer Induced Tuning Emissions from Single Microwire Based Homogeneous Architecture

Wangqi Mao, Mingming Jiang, Caixia Kan

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106

Email: mwqangqi@126.com

Abstract: Due to controlled sizes, surface morphology and crystal structure, semiconducting micro/nanocrystals have been utilized as a pivotal platform for multifunctional optoelectronic devices, such as solar concentrators, photodetectors, light-emitting diodes, lasers, etc. Especially, the crystal being foreseen as the key elements can be employed to tailor the fundamental optical and electronic transport properties of the integrated hetero/homo structures. Herein, the synthesized ZnO microcrystals deposited on the pre-synthesized Ga-doped ZnO microwires (ZnO:Ga MWs) can be utilized to construct optically pumped violet Fabry-Perot mode lasers, with the lasing band ranged from 398.5 nm to 413 nm. In addition, the green/red dual-emission with color-tuning in wide spectral regions can also be achieved from electrically driven single ZnO:Ga MW prepared with controlled ZnO microcrystals decoration based fluorescent emitters. To probe into the working principle of redshift of the lasing, as well as green/red dual-color electroluminescence, the feature of these homogeneous architectures may be attributed to the built-in electric field at the interface of ZnO/ZnO:Ga and the dual-color response originates from asymmetric junction barriers between conduction bands of ZnO and ZnO:Ga. Therefore, individual ZnO:Ga MW prepared with ZnO microcrystals decoration can endow a new sense of the oldest and simplest incandescent light bulb. Meanwhile, the construction of ZnO microcrystals sheathed ZnO:Ga radial structures can also supply potential applications in high performance



photonic and optoelectronic devices, such as laser, multicolor emitters, white-light sources, optical switches, optical barcodes, etc.

Figure 1. The characterization of single ZnO:Ga MW prepared with ZnO microcrystals decoration:

(a) PL spectra. (b) SEM (c) EL spectra

Keywords: Tuning Emissions, ZnO microstructures, Homogeneous Architecture, dual-emission

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11874220, 11774171), 南京航空航天大学校开放基金 (NO. kfjj20180802)

Broadband polarized photodetector based on p-BP/n-ReS₂ herterojunction

Wenkai Zhu^{1,2}, Xia Wei^{1,2}, Faguang Yan^{1,2}, Quanshan Lv^{1,2}, Ce Hu^{1,2}, Kaiyou Wang^{1,2,3,4,†}

¹State Key Laboratory of Superlattices and Microstructures, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China

²Center of Materials Science and Optoelectronics Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

³Center for Excellence in Topological Quantum Computation, University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China

⁴Beijing Academy of Quantum Information Sciences, Beijing 100193, China

†Corresponding author; E-mail: kywang@semi.ac.cn

Abstract:

Two-dimensional (2D) atomic crystals, such as graphene, black phosphorus (BP) and transition metal dichalcogenides (TMDCs) are attractive for use in optoelectronic devices, due to their unique crystal structures and optical absorption properties. In this study, we fabricated BP/ReS₂ van der Waals (vdWs) heterojunction devices. The devices realized broadband photoresponse from visible to near infrared (NIR) (400~1800 nm) with stable and repeatable photoswitch characteristics, and the photoresponsivity reached 1.8 mA W⁻¹ at 1550 nm. In addition, the polarization sensitive detection in the visible to NIR spectrum (532~1750 nm) was demonstrated, and the photodetector showed a highly polarization sensitive photocurrent with an anisotropy ratio as high as 6.44 at 1064 nm. Our study shows that van der Waals heterojunction is an effective way to realize the broadband polarization sensitive photodetection, which is of great significance to the realization and application of multi-functional devices based on 2D vdWs heterostructures.

圆柱形纤锌矿核-多壳层纳米线中光学声子及其三元混晶效应

王建霞, 屈媛, 班士良

内蒙古大学物理科学与技术学院, 呼和浩特 010021

Email: slban@imu.edu.cn

半导体核-多壳层纳米线(CMSNW)具有集成度高等优点, 有望成为太阳能电池、二极管、激光器等光电子器件的基本单元[1]。三元混晶材料通常可以通过调节组分来改变半导体 CMSNW 的光电性能[2]。在室温下, 光电性能受电子-声子相互作用的影响较大[3], 由于引入多个弯曲界面使得 CMSNW 中的光学声子(OP)尤为复杂。

本文基于介电连续模型和 Loudon 单轴晶体模型, 从麦克斯韦方程组获得 $\text{GaN}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 圆柱形 CMSNW 中各层材料的准局域模(CO)和传播模(PR) OPs 的含未知系数的解析表达式。然后, 依据材料在界面处静电势连续及电位移矢量沿界面法线方向连续的边界条件, 逐层递推将各层声子静电势的系数之间的关系用转移矩阵的形式给出。并且根据声子静电势的边界条件, 得到了 CO 和 PR OPs 的色散关系。最后, 在求解色散关系所得频率的基础上进一步求出静电势的系数后获得声子势。本文结合本课题组前期的工作(界面光学声子(IF)) [4]分析了纤锌矿三族氮化物 $\text{GaN}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 圆柱形 CMSNW 中整个光学声子谱, 得到光学声子谱的三元混晶(TMC)效应及其模式转化。

结果表明, 在三层 CMSNW 中, 共存在六种类型的 CO OP 和一种 PR OP。对于任何固定组分, OP 可有的两种转换: 一种是调整不同层的组分, PR 与 IF OPs 之间转换; 另一种是在每个组分区间都存在五种具有相邻的频率区间 OP 模式的依次转换。全 OP 谱的色散关系和相应的静电势对今后理解频率依赖的电子-声子相互作用有一定的帮助。本文的分析过程可推广到任意氮化物圆柱形 CMSNW, 理解对其 OP 相关性质的调制。

关键词: 核-多壳层纳米线; 全声子谱; 模式转化

参考文献:

- [1] Tomioka K, Motohisa J, Hara S, Hiruma K and Fukui T 2010 *Nano Lett.* **10** 1639-44.
- [2] Liu W H, Yang S, Feng H M, Yang L, Qu Y and Ban S L 2015 *Superlattice Microst.* **83** 521-9
- [3] Požela J, Požela K, Sužiedelis A, Jucienė V and Paškevič Č 2010 *Lith. J. Phys.* **50** 397-402
- [4] Xue Z X, Qu Y, Xie H and Ban S L 2016 *AIP Adv.* **6** 125207

基金项目: 本课题获国家自然科学基金(项目编号 61864010、61764012)的资助。

基于 $\text{MoTe}_2/\text{MoS}_2$ 范德瓦尔斯异质结的高性能自驱动光电探测器

李尚栋、唐雨晴、贺振北、郭俊雄、黄文

电子科技大学电子科学与工程学院（示范性微电子学院），成都 610054

Email: lsd@std.uestc.edu.cn

摘要：基于二维 TMDs 的垂直范德瓦尔斯异质结具有出色的光电性能，可应用于如太阳能电池，发光二极管，光探测器等光电器件中。目前，基于二维 TMDs 范德瓦尔斯异质结的光电探测器普遍仍存在着光响应范围窄，响应度低，响应速度慢的缺点，而且大多需要偏置电压。

课题组团队采用“机械剥离-转移”的方法，制备了 $\text{p-MoTe}_2/\text{n-MoS}_2$ 范德瓦尔斯异质结。并在采用激光直写图形化的氧化铟锡（ITO）电极上，成功制备了基于 $\text{p-MoTe}_2/\text{n-MoS}_2$ 范德瓦尔斯异质结的光电探测器。禁带较窄的 MoTe_2 有利于提高光电探测器的近红外波段范围的探测能力。同时， MoTe_2 与 MoS_2 形成 type-II 型的异质结，能促进光生载流子的分离，有助于提高光电探测器的响应度和响应速度。团队制备得到的光电探测器，可实现对从 450 nm 到 980 nm 近红外波长光波的灵敏响应，且无需外加偏压。器件对 520 nm 光波具有高达 146 mA W^{-1} 的响应度，响应速度仅有 $\sim 172 \text{ } \mu\text{s}$ ，快于目前绝大多数的 $\text{MoTe}_2/\text{MoS}_2$ 异质结光电探测器。此外，由于 ITO 电极与 MoTe_2 之间势垒的存在，该器件对可见光和近红外光表现出独特的双向光电流响应特性。这一特性可用于可见光和近红外光的特异性识别。该工作为二维 TMDs 范德瓦尔斯异质结在光电领域的应用探索了有效途径。

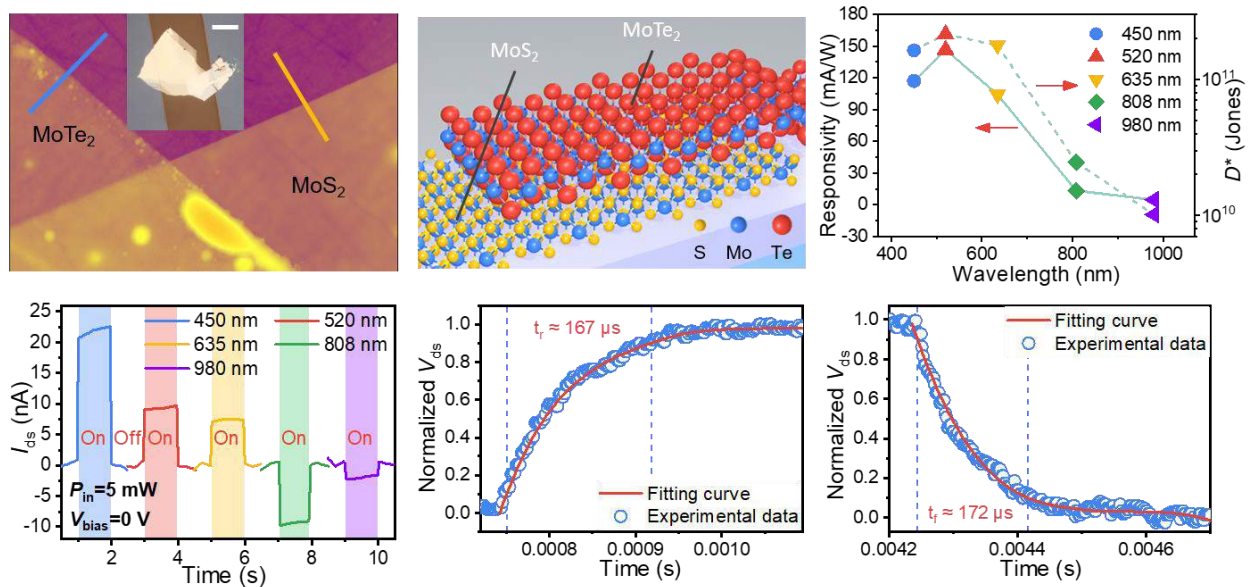


图 1 MoTe₂/MoS₂ 异质结光电探测器结构和光电性能

关键词: MoTe₂/MoS₂ 异质结 自驱动 ITO 电极 超快响应 光电探测器

参考文献

- 【1】 Manzeli, S., 2D transition metal dichalcogenides. *Nature Reviews Materials* **2017**, 2 (8), 17033.
- 【2】 Radisavljevic, B., Single-layer MoS₂ transistors. *Nature nanotechnology* **2011**, 6 (3), 147.
- 【3】 Tsai, M.-L., Monolayer MoS₂ heterojunction solar cells. *ACS nano* **2014**, 8 (8), 8317-8322.
- 【4】 Lien, D.-H., Large-area and bright pulsed electroluminescence in monolayer semiconductors. *Nature communications* **2018**, 9 (1), 1229.
- 【5】 Lopez-Sanchez, O., Ultrasensitive photodetectors based on monolayer MoS₂. *Nature nanotechnology* **2013**, 8 (7), 497.
- 【6】 Hao, L., Nitrogen-doped MoS₂/carbon as highly oxygen-permeable and stable catalysts for oxygen reduction reaction in microbial fuel cells. *Journal of Power Sources* **2017**, 339, 68-79.
- 【7】 Jaramillo, T. F., Identification of active edge sites for electrochemical H₂ evolution from MoS₂ nanocatalysts. *science* **2007**, 317 (5834), 100-102.
- 【8】 Geim, A. K.; Grigorieva, I. V., Van der Waals heterostructures. *Nature* **2013**, 499 (7459), 419.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 61804023), 四川省重点项目 (No. 18GZ0527)

不同层 WS₂ 中基于激声耦合作用的线宽展宽分析

蒋耐、申超

中国科学院半导体研究所, 北京 100083 Email: jiangnai@semi.ac.cn

摘要:

近年来层状过渡金属二硫族化合物 (TMDCs) 一直备受科研人员的关注, 在层数减小为单层的限制下, 其能带结构会发生由间接带隙向直接带隙的转变, 在光电器件、高速光电探测、纳米激光等领域都取得了重大突破。在这些材料中, 激子的线宽展宽是一项重要参数, 且受到温度依赖的声子调制的影响。因此研究不同温度下的激-声耦合作用对线宽展宽的贡献具有重要意义。

我们的工作基于自行搭建的反射型显微磁圆二向色谱 (MCD) 系统, 同时得到了单层、双层和三层 WS₂ 的反射光谱和 MCD 谱。MCD 谱的测试优势在于单纯的反射光谱或透射光谱测试中, 激子跃迁导致的谱峰往往叠加在一个较强的背底信号上, 需要扣除背景信号后再进行峰型拟合来提取谱线线宽。根据 MCD 的测试原理, MCD 测试排除了背底信号的干扰, 可以直接通过确定极值点的方式提取较为精确的谱线线宽。我们测试了不同层的 WS₂ 在 78K~280K 下的变温 MCD 谱, 得到了线宽展宽随温度的变化曲线, 并拟合出了各部分的激声耦合常数。分析表明由于不同层的能谷结构差异, 参与谷间散射的声子类型不同, 导致双层 WS₂ 线宽展宽大于单层和三层。我们的工作对于理解以声子相互作用为主导的激子弛豫和寿命具有重要意义。

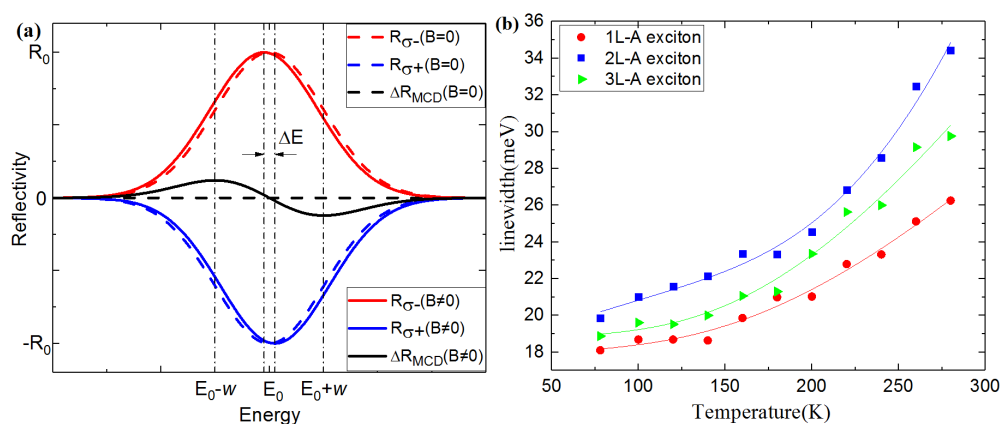


图 1 (a) MCD 测试原理分析 (b) 不同层 WS₂ 的线宽展宽与温度的依赖关系

关键词: WS₂、线宽展宽、激-声耦合作用、MCD

参考文献

- 【1】 Archana, Raja , et al. Enhancement of exciton-phonon scattering from monolayer to bilayer WS₂. 2018, acs.nanolett.8b01793.

基金项目： Youth Innovation Promotion Association, Chinese Academy of Sciences (No. 2019114)

二维及三维有机无机杂化钙钛矿的磁相关光谱

陈定薇、申超

中国科学院半导体研究所，北京 100000

Email: 409116353@qq.com

摘要：磁光检测是得到半导体电子自旋信息的重要方式，同时，通过改变磁场对材料的电子自旋进行调控能够拓展半导体的信息储存。传统电子学靠电荷的产生和转移来产生和传递信息，而自旋电子学则利用电子的自旋自由度带来更多的信息。对于自旋电子器件来说，需要控制不同自旋态下的电子数来建立自旋极化控制。这就需要通过磁光的研究方法，利用外加磁场，来改变材料的电子自旋状态，产生极化，再通过偏振光的吸收，反射或光致发光谱等来反映材料内部自旋自由度的变化。而具有大的自旋轨道耦合的材料对于自旋电子学是特别有价值的。同时，由于铅以及卤素重元素的存在，有机无机杂化钙钛矿存在着极大的自旋轨道耦合，因此在磁光方面，它产生了很多有趣的新现象，如巨 Rashba 型分裂等。这些发现极大地引起了人们对其作为自旋应用材料的兴趣。但是由于目前人们对于自旋相关光学过程的理解有限，很多对其本质物理过程的讨论还停留在较浅的层面。因此，磁光方面的研究，即半导体自旋电子学相关研究就显得至关重要。它来源于对自旋自由度的调控来发现新的现象，进而扩展传统电子器件的功能，去发掘自旋相关物理过程的本质。

课题组团队采用化学气相沉积法、机械剥离法和旋涂法制备了高结晶质量、高光学质量的单晶二维 $(\text{BA})_2\text{PbI}_4$ 以及三维 MAPbI_3 有机无机杂化钙钛矿。测试了二维 $(\text{BA})_2\text{PbI}_4$ 的变温，变磁场以及变功率的光致发光性质，同时在更基础的角度，对三维 MAPbI_3 的吸收以及磁圆二色性性质进行了测量和探讨。结果表明，低温下二维 $(\text{BA})_2\text{PbI}_4$ 出现新的激子峰以及鼓包峰，得到了更精细的能带结构。同时计算得到其长自旋寿命，这意味着它能够在保持独特自旋性质的同时辐射发光。另外在 75k 时，测算得到了三维 MAPbI_3 的 g 因子约为 1.62。该研究可为有机无机杂化钙钛矿的自旋电子应用提供实验以及理论依据，具有一定的发展价值。

关键词：有机无机杂化钙钛矿 磁光效应 磁圆二色性 光致发光

基金项目：Youth Innovation Promotion Association, Chinese Academy of Sciences (No. 2019114)

FePc 半导体自旋阀中自旋传输的研究

仝军伟, 张宪民*

东北大学材料各向异性与织构教育部重点实验室, 沈阳 110819

E-mail: zhangxm@atm.neu.edu.cn

近年来, 有机半导体材料由于具有小的自旋轨道耦合, 柔性以及可大面积制备等优点在自旋电子学领域受到广泛的关注。酞菁(Phthalocyanine, Pc)做为有机半导体材料, 在有机电子学领域得到了广泛的应用。许多新奇的磁性现象也在酞菁有关的材料和界面被发现, 如 Spinterface, Spin crossover 等。但关于酞菁自旋阀的报道和电子自旋在酞菁中的传输研究相对较少。

本文通过磁控溅射和热蒸发的方法制备了 Co/FePc/Co 结构的自旋阀器件。通过变化测试温度系统的研究了电子自旋在器件中的传输性能, 并在 10K 时观测到了 4% 的磁电阻响应。发现器件的磁电阻响应对温度有大的依赖关系, 随着温度的升高器件的磁电响应逐渐下降。通过计算我们发现电子自旋在 FePc 中的扩散长度大约为 30 nm。通过对 IV 曲线的分析, 我们确定了缺陷能级的存在, 在低温区缺陷能级的激活能为 1.36 meV。随着温度的升高激活能为 21.6 meV 的缺陷能级也参与了载流子的传输。在高的偏压下, 器件载流子的传输会进入空间电荷限制区, 通过对空间电荷限制区的拟合我们计算出在 290 K 时载流子的迁移率为 $2.95 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$, 证明了所制备的 FePc 薄膜具有较高的质量, 这也是磁电阻效应存在的前提条件。为了分析 FePc 薄膜中缺陷类型, 我们做了 FePc/Co 的 XRD, 发现与 FePc 生长在玻璃上不同的是, 在 Co 上生长的 FePc 没有了 α 相的衍射峰。这也证明 FePc 分子平躺在 Co 电极上, 并失去了原有的晶型, 而这种无序可能导致了所观察到的缺陷能级。证明了 Pc 类有机半导体材料在自旋电子器件领域具有潜在的应用和学术价值。

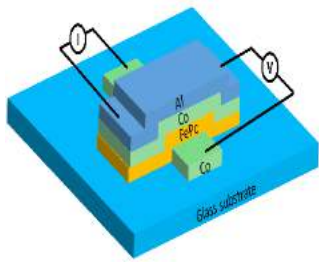


图1 器件结构
对数R vs T^{-1}

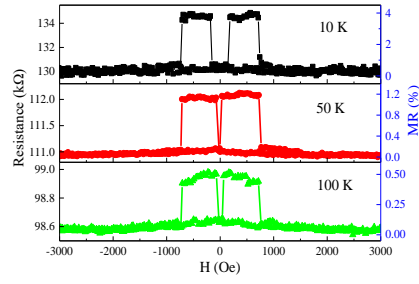


图2 自旋阀的磁电阻测量

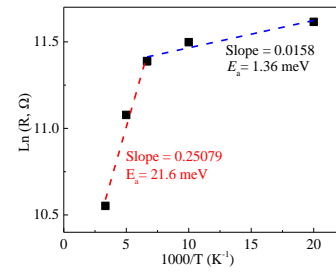


图3 FePc薄膜器件的

关键词: FePc, 磁电阻, 缺陷能级

参考文献:

- [1] J Tong, L Ruan, X Yao, G Qin and X Zhang*, Phys. Rev. B, **99**, 054406 (2019).
- [2] T Liu, F Zhang, L Ruan, J Tong, G Qin and X Zhang*, Mater. Lett, **237**, 319 (2019).

ReSe₂ 中与其晶向相关的压阻性能研究

刘一鸣、杨涛、陈凯建、李星*

郑州大学物理工程学院, 郑州 450002 Email: yimingl@qq.com

摘要: 应变工程由于可实现对材料能带结构的有效调控而在其光学, 电学等物性调控方面具有较好的应用前景^[1]。二维材料通常具有原子层的厚度, 优异的力学, 电学和光学特性, 因此有望通过应变工程来对其物理性质实现有效调控^[2]。ReSe₂ 具有低对称的 1T' 相晶体结构, Re 链沿 *b* 轴的一维排列导致面内各向异性的光学和电学性质^[3]。当应变沿不同的晶轴施加时, 各项异性的 ReSe₂ 可能表现出不同的力电特性^[4]。

在本工作中, 我们采用光刻、镀膜等微纳加工方法在 PEN 衬底上制备了基于 ReSe₂ 的柔性器件, 通过弯曲柔性衬底对少层 ReSe₂ 施加拉/压应变, 同时对其电学性能进行测量。实验结果显示, ReSe₂ 的电阻随着拉应变 (压应变) 的增加而减小 (增大), 其电学性质对周期性应变的响应敏感且稳定。我们通过对其光致发光谱的研究, 揭示了 ReSe₂ 中的力电响应是由拉应变 (压应变) 导致的带隙的减小 (增大) 造成的。此外, 我们的实验结果还表明, ReSe₂ 中的压阻效应还与应变的施加方向密切相关: 应变沿 *b* 轴方向施加时的应变响应因子是其垂直方向的 4.29 倍。

ReSe₂ 中存在的与晶向相关的压阻特性使其在多维应变传感器件方面有着重要的应用前景, 对于构筑透明、柔性应变传感元件有较好的意义。

关键词: ReSe₂; 应变工程; 压阻效应; 各向异性; 能带结构

参考文献:

- [1]. Dai, Z.; Liu, L.; Zhang, Z., Strain Engineering of 2D Materials: Issues and Opportunities at the Interface. *Advanced Materials* 2019, 1805417.
- [2]. Roldan, R.; Castellanos-Gomez, A.; Cappelluti, E.; Guinea, F., Strain engineering in semiconducting two-dimensional crystals. *Journal of physics. Condensed matter : an Institute of Physics journal* 2015, 27, 313201.
- [3]. Hafeez, M.; Gan, L.; Li, H.; Ma, Y.; Zhai, T., Chemical Vapor Deposition Synthesis of Ultrathin Hexagonal ReSe₂ Flakes for Anisotropic Raman Property and Optoelectronic Application. *Adv Mater* 2016, 28, 8296-8301.
- [4]. Kim, S. K.; Bhatia, R.; Kim, T.-H.; Seol, D.; Kim, J. H.; Kim, H.; Seung, W.; Kim, Y.; Lee, Y. H.; Kim, S.-W., Directional dependent piezoelectric effect in CVD grown monolayer MoS₂ for flexible piezoelectric nanogenerators. *Nano Energy* 2016, 22, 483-489.

基于双层 MoS_2 - WS_2 平面异质结的高性能光探测器

叶坤，柳丽轩，聂安民，向建勇，温福昇，翟昆，牟从普

燕山大学亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室，秦皇岛 066004

Email: anmin@ysu.edu.cn

摘要：二维过渡族金属硫属化物，即 MX_2 ($\text{M} = \text{Mo}, \text{W}; \text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$)，由于其丰富电学性质和潜在应用而引起了极大的关注。过渡族金属硫属化物的兴起，不仅为基础物理提供研究方向，而且为设计新半导体器件提供平台。二维异质结是由两种材料通过面内或者层间堆叠而成。研究表明，通过机械转移方法可以构建具有不同堆叠层数的二维垂直范德华异质结构。然而，该方法不但产率低，步骤多，而且层与层的界面容易受污染。相比之下，化学气相沉积是低成本且高效的方法之一，已经广泛用于生长二维异质结构。 MoS_2 - WS_2 平面异质结是一种 II 型异质结构，其中自由电子和空穴被限制在不同的材料中并且可以自发分离。双层 TMC 具有相对大的带隙，有利于抑制暗电流并提高响应度。然而，具有可控厚度的大规模高质量横向异质结构的合成仍然是一个巨大的挑战。

本论文报告了通过两步法化学气相沉积途径成功的合成大规模的平面双层 WS_2 - MoS_2 异质结构。通过拉曼、光致发光和二次谐波图像表明了异质结构中 WS_2 和 MoS_2 区域之间的尖锐边界。原子分辨扫描透射电子显微镜进一步揭示了通过 WS_2 和 MoS_2 之间的横向锯齿形外延连接形成的尖锐边界且无过渡合金区域。在光电探测方面，基于双层平面 WS_2 - MoS_2 异质结构表现出高的光响应率和探测率 ($6.72 \times 10^3 \text{ A/W}$ 和 $3.09 \times 10^{13} \text{ Jones}$)。

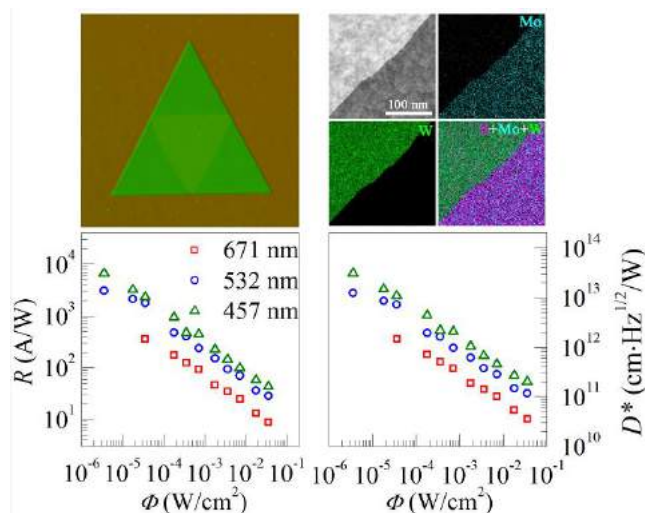


图 1 双层平面异质结光学照片、能量色散光谱和光电性能

关键词：双层异质结，面内，硫化钨，硫化钼，光探测器

【1】 K. Ye *et al.*, Lateral Bilayer MoS₂-WS₂ Heterostructure Photodetectors with High Responsivity and Detectivity, *Adv. Opt. Mater.* 2019, 1900815.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 51732010, 51672240, 51801175）

Al_yGa_{1-y}N/Al_xGa_{1-x}N 三角量子阱中流体静压力对类氢杂质态能量和结合能的影响

代晓梅, 赵凤岐

内蒙古师范大学物理与电子信息学院, 呼和浩特 010022

Email: zhaofengqi@126.com

摘要: 纤锌矿氮化物 (GaN, AlN 和 Al_xGa_{1-x}N) 是一种重要的宽禁带半导体, 具有良好的化学稳定性和热稳定性, 被认为是最有前途的纳米电子和光电材料之一[1,2]。GaN 基量子阱材料已经应用于激光二极管、发光二极管、光电管、紫外光电探测器和其他器件[3-5]。本文采用变分法研究了流体静压力对纤锌矿 Al_yGa_{1-y}N/Al_xGa_{1-x}N 三角量子阱和 GaN/Al_xGa_{1-x}N 方量子阱中类氢杂质态结合能和基态能量的影响。给出了类氢杂质态结合能和基态能量随流体静压力 p 、阱宽 d 、组分 x 的变化关系以及结合能随杂质中心位置 z_0 的变化关系。数值计算中考虑了系统参数的各向异性, 以及电子有效质量、介电常数、带隙对压力和坐标的依赖性。研究表明, 流体静压力对类氢杂质态结合能和基态能量有明显的影响。在给定阱宽的 Al_yGa_{1-y}N/Al_{0.3}Ga_{0.7}N 三角量子阱中, 随着流体静压力 p 的增大, 类氢杂质态结合能增大, 而基态能量减小。当给定阱宽和压力情况下, 在 Al_yGa_{1-y}N/Al_xGa_{1-x}N 三角量子阱中, 类氢杂质态结合能和基态能量随组分 x 增大而增大。当给定压力和组分时, 在 Al_yGa_{1-y}N/Al_{0.3}Ga_{0.7}N 三角量子阱中, 类氢杂质态结合能和基态能量随阱宽 d 的增大而减小, 阱宽较小时, 减小程度较快, 阱宽较大时, 减小程度比较缓慢。在 Al_yGa_{1-y}N/Al_xGa_{1-x}N 三角量子阱中, 类氢杂质态结合能与基态能量随压力 p 、组分 x 和阱宽 d 的变化规律与 GaN/Al_xGa_{1-x}N 方量子阱中相应规律基本相同, 但量值上有所不同, 三角量子阱中杂质态结合能和基态能量大于方量子阱中相应值。

关键词: 三角量子阱, 流体静压力, 类氢杂质态, 结合能

参考文献

- [1] W. Shan, et al., Phys. Rev. B, 62, (2000) 4211.
- [2] K.Nomura, et al., Science 300 (2003) 1269.
- [3] F.A.Ponce, et al., Nature 386(1997)351.
- [4] Z.H.Zhang, et al., Appl. Phys. Lett., 108(2016) 151105-1.
- [5] X. Y. Yi et al., Superlatt. Microstruct. 104, (2017) 19.

基金项目: 国家自然科学基金(批准号: 11664031)资助的课题.

氧化锌纳米颗粒中的超灵敏机械刺激荧光增强

梁亚川、赵琪、刘凯凯、单崇新

郑州大学物理工程学院，郑州 450002

Email: liukaikai@zzu.edu.cn

摘要：早期感知材料或周围环境中的危险信号对于避免灾难性损失非常重要。刺激响应材料是响应于热，光，电和机械刺激的材料，其将有益于动态功能材料和装置的开发。实际上，机械响应发光材料可以通过响应机械刺激（例如压，剪切，研磨，摩擦或拉伸）来显示发光颜色/强度的变化或开启/关闭过程的变化。

在本文中，通过简单的水热方法制备了金字塔形状的氧化锌纳米颗粒，并在其中观察到超敏感的机械刺激光致发光增强。本文制备的氧化锌纳米颗粒对机械刺激响应极其敏感，即使小蚂蚁走在上面都能使其光致发光增强。这种异常行为的机制归因于晶界之间的电子注入过程。因此，这项工作开辟了无线，快速和灵敏地检测轻微机械刺激的可能性。重要的是，氧化锌纳米颗粒对声波的敏感响应可以在听力受损人群的设备中找到潜在的应用

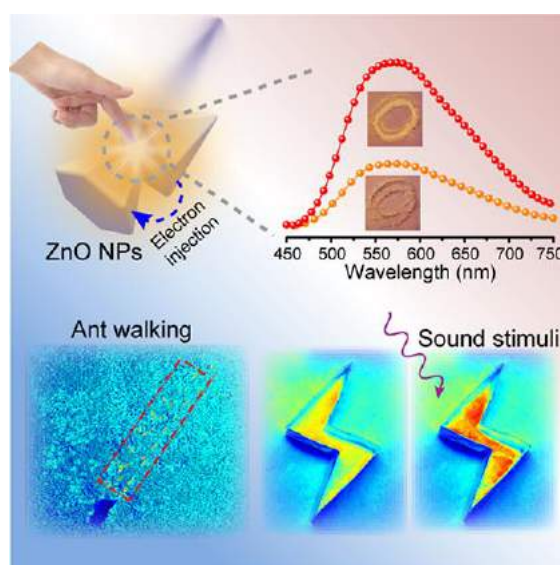


图 1 氧化锌纳米颗粒机械刺激发光增强

关键词： 氧化锌 机械刺激 超灵敏

参考文献

- 【1】 Y. C. Liang *et al.*, Ultrasensitive Mechano-Stimuli Luminescence Enhancement in ZnO Nanoparticles, *J. Phys. Chem. Lett.* 2019, 10 (13), 3557.

基金项目： 国家自然科学基金项目（NO. 21601159 , No. 61604132）等

不同含量铌掺杂非晶二氧化钒薄膜的热敏性能及其相变特性研究

李昊、王歆茹、陆浩、李派*、黎明锴、卢寅梅、何云斌*

湖北大学材料科学与工程学院, 武汉 430062

Email: ybhe@hubu.edu.cn*

摘要: 非制冷红外焦平面技术的热敏薄膜材料主要有氧化钒、多晶硅、多晶锗硅和 Ti 等, 其中二氧化钒备受人们关注。二氧化钒(VO_2)在 68°C 存在可逆 Metal-to-insulator(MIT) 转变^[2], 同时伴随着低温单斜相到高温四方相的结构转变, 进而引起电阻率等突变(10^3 - 10^4), 材料在此温度转变区域可提供高的电阻温度系数 TCR ($-2.0\%/\text{K}$ 左右), 此外, 合适的电阻率, 低的热导率, 制备工艺与硅兼容以及其制得的器件具有较低的 $1/f$ 噪声与较高的帧数(60 Hz) 等优点, 也使得二氧化钒薄膜成为最广泛使用的非制冷红外微测辐射热计热敏材料。

本工作采用溶胶-凝胶技术在石英玻璃衬底上制备了高热敏性能的非晶二氧化钒薄膜。在此基础上, 通过掺杂不同含量的铌元素来提升材料的热敏性能并改变其相变特性。此方法制备的薄膜具有工艺简单, 成本低, 镀膜均匀且效率高等优点。随着铌掺杂含量的升高, 材料的 MIT 转变温度降低至 42°C , 热滞宽度呈现先降低后增加趋势, 室温 (28°C) 下的 TCR 逐渐增加至 $-3.32\%/\text{K}$ 。这项研究为设计和制备高 TCR 性能的二氧化钒薄膜提供了新的思路与实施途径。

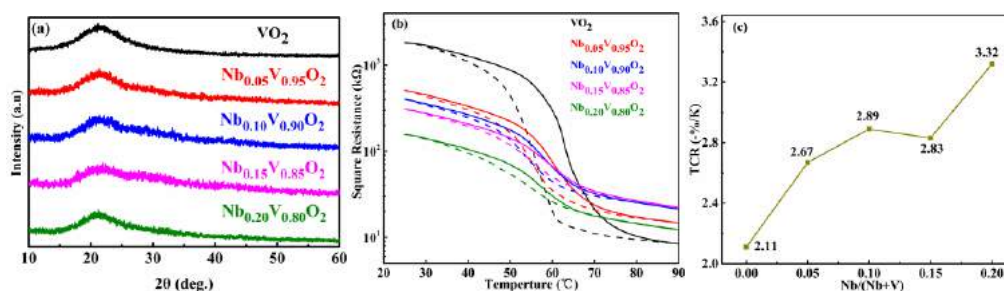


图 1 石英玻璃上制备 $\text{Nb}_x\text{V}_{1-x}\text{O}_2$ 薄膜 (a) XRD 图谱 (b) 电阻温度曲线 (c) 电阻温度系数

TCR 随铌掺杂含量的变化曲线图 ($x=0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$)

关键词: 二氧化钒薄膜 铌掺杂 电阻温度系数 TCR 相变特性

参考文献

- 【1】 H. Y. Lee *et al.*, Investigated performance of uncooled tantalum-doped VO_x floating-type microbolometers, *Applied Surface Science*. 2015, 354, 106-109.

【2】 F. J. Morin *et al.*, Oxides Which Show a Metal-to-Insulator Transition at the Neel Temperature, Phys. Rev. Lett. 1959, 3, 34-36.

基金项目：国家自然科学基金项目(NO. 51572073) ,湖北省教育厅科研计划项目(NO. Q20181002)

高亮度锂锰共掺硫化锌应力发光材料及其发光机理

邓圆、董林*

郑州大学物理工程学院，郑州 450002

Email: ldong@zzu.edu.cn

摘要：应力发光是指各种由机械力作用在物体上引起受力物体或周围介质发光的现象，通常产生于一些固体受力过程。ZnS 基应力发光材料稳定性高，易于掺杂，且无需紫外照射便可由机械能激发^[1-2]，因此在应力应变传感、应力成像、微裂纹检测、可穿戴发光器件、机械能收集转化等方面具有广泛的应用前景^[3]。但是，ZnS 基应力发光材料的机械激发阈值高，发光强度低，目前仍旧是限制其实际应用的重大障碍。

本工作中，我们通过高温烧结的方法成功制备了具有优良发光性能的 ZnS:Mn²⁺,Li⁺荧光粉。离子掺杂浓度对材料的应力发光特性具有显著影响，电子顺磁共振数据表明 Li⁺的掺入是通过调控材料中的硫空位而影响材料的光学性能。

关键词：应力发光 ZnS 发光机理 离子掺杂

【1】 Xu, C.-N.; Watanabe, T.; Akiyama, M.; Zheng, X.-G., Direct view of stress distribution in solid by mechanoluminescence. *Applied Physics Letters* **1999**, *74* (17), 2414-2416.

【2】 Xu, C.-N.; Zheng, X.-G.; Akiyama, M.; Nonaka, K.; Watanabe, T., Dynamic visualization of stress distribution by mechanoluminescence image. *Applied Physics Letters* **2000**, *76* (2), 179-181.

【3】 Wang, X.; Peng, D.; Huang, B.; Pan, C.; Wang, Z. L., Piezophotonic effect based on mechanoluminescent materials for advanced flexible optoelectronic applications. *Nano Energy* **2019**, *55*, 389-400.

基金项目：国家自然科学基金(NO. U1704138, 11674290)

MoS₂-based 2D-0D heterojunction Photodetector

Shirong Qin、 Kai Li、 Huizhen Wu

Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou 310000

Email: 427325@zju.edu.cn

Abstract: In recent years, 2D materials is becoming an increasingly popular hot area. These low dimensional materials have attracted much attention in application of Photodetector, Phototransistor etc. due to its unique advantages in low dimension scale and optoelectronic properties compared to its bulk counterpart—MoS₂ is a air-stable 2D semiconductor that have suitable band gap (1.8 eV) and low dark current and thus high on/off current ratio. These properties make 2D MoS₂ a promising material for photodetectors. While it suffer from poor absorption efficiency due to its low dimensional nature. Here we propose to build a 2D-0D hetero-structure MoS₂-CuInS₂ to improve the photo-electric performance by carrier-transfer between 2D MoS₂ and QDs. And when Au NPs is further added, the electric-performance of the photodetector is significantly improved due to SPR.

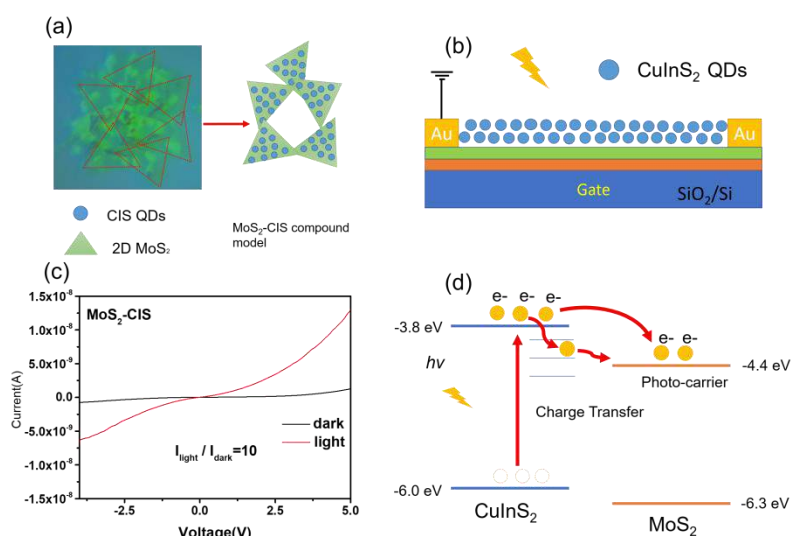


Fig1. The photocurrent response of MoS₂-CIS photodetector and its charge transfer mechanism
 Keywords: MoS₂, CuInS₂QDs, photodetector, 2D-0D heterojunction, charge transfer, surface plasma resonance

Reference:

1. Jing-Yuan Wu, Young Tea Chun, Shunpu Li, et al. *Adv. Mater.* 30(7),1705880, 2018
2. Dominik K. Ivan N. Tania L. et al. *Adv. Mater.* 27(1), 176, 2014
3. Shengye J. Erica D. Michael J. et al. *J. Phy. Chem. Lett.* 4, 3527, 2013

理论预测新型碱土金属二价锡(铅)硫族化合物

李欲伟¹、David J. Singh²¹ 北华航天工业学院, 廊坊 130012² *Department of Physics and Astronomy, University of Missouri, Columbia, MO 65211-7010 USA*

Email: lyw@calypso.cn; singhdj@missouri.edu

摘要: Sn 和 Pb 具有相同的电子构型, $(n-1)d^{10}ns^2np^2$, 和物化性质。Sn(II)和 Pb(II)化合物, 特别是二元化合物, 具有很高的环境稳定性。最近几年, Sn(II)和 Pb(II)化合物因其广泛的应用行而经引起科研研究者的广泛关注。比如, 有机-无机杂化钙钛矿太阳能电池($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$, $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) 的光电效应已经搞到 17% 以上; 后续的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_{3-x}\text{Br}_x$ 太阳能电池是廉价、无毒的新型太阳能电池材料; SnO 薄膜制成的透明导电材料是迄今已知性能最为优异的材料, 其电导率高达 300 Scm^{-1} ; PbSe, PbS, PbTe 和 SnTe 是优异的热电材料, 等等。这些研究表明 Sn(II)和 Pb(II)化合物, 特别是硫族元素化合物, 在功能材料设计及其实际应用中具有举足轻重的作用, 成为近年来研究热点。

课题组利用晶体结构预测方法 (CALYPSO) 并结构第一性原理计算, 对碱土金属二价锡(铅)硫族化合物体系, $\text{M}_m\text{IV}_n\text{VI}_{m+n}$ ($\text{M} = \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}$ 和 Ba ; $\text{IV} = \text{Sn}$ 和 Pb ; $\text{VI} = \text{S}$ 和 Se ; $m, n = 1$ 和 2), 进行系统的结构及性质研究, 发现: 在 $m:n=1:1$ 体系存在稳定的新型 SrSnS_2 , SrSnSe_2 , SrPbSe_2 , BaSnSe_2 , BaPbS_2 结构。它们具有宽泛的能带调节性 (0.80-1.85 eV)、较低的载流子有效质量 ($<1 m_0$) 和强的可见光吸收。价带顶处 s - p 电子的反键耦合作用可引起 p 型导电特性。我们的研究结构表明新发现的碱土金属二价锡(铅)硫族化合物有望成为可现实应用的半导体功能材料。

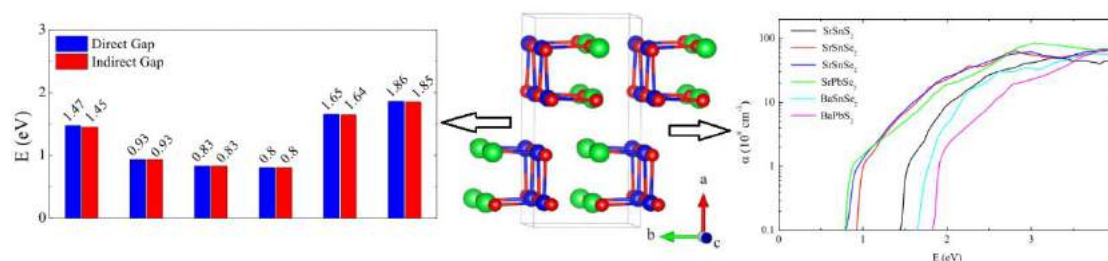


图 1 预测出的稳定结构及其物性

关键词: 二价锡(铅)硫族化合物 半导体 功能材料

参考文献

- 【1】 Y. Li, D. J. Singh, M.-H. Du, Q. Xu, L. Zhang, W. Zheng, and Y. Ma, *J. Mater. Chem. C* 2016, 4, 4592.
 【2】 Y. Li, L. Zhang, and D. J. Singh, *Phys. Rev. Mater.* 2017, 1, 055001.

高压下 CaWO_4 的结构和电学性质研究

王丽、韩永昊*、高春晓*

北华航天工业学院, 廊坊 130012

吉林大学超硬材料国家重点实验室, 长春 130012

Email: 771270503@qq.com

摘要: ABO_4 型化合物作为地球上广泛存在的一类副矿物和重要的功能材料, 其高压研究对于深入了解地球内部相应矿物的存在状态以及改善此类材料的物理、化学和机械性能都有重要意义。钨(钼)酸盐是 ABO_4 型化合物的重要代表, 尤其是白钨矿, 还是锆石, 独居石以及 CrVO_4 结构类化合物的高压相, 因此, 对其进行高压物性的研究对于了解上述 ABO_4 化合物的高压行为具有重要的参考价值。

我们以白钨矿型 CaWO_4 为研究对象, 系统地研究了它在高压下的结构相变行为和电输运性质。通过第一性原理结构预测, 同时经高压 X 射线衍射研究验证, 我们发现 CaWO_4 在 10.0 GPa 处发生压致结构相变, 从四方白钨矿结构(空间群: $I4_1/a$) 转变为单斜褐钨铋矿结构(空间群: $I2/a$), 在 38.0 GPa 发生第二次压致结构相变, 新相的结构为层状的单斜结构(空间群: $P2_1/m$)。两次相变的类型分别为二级结构相变和一级结构相变。通过计算 $P2_1/m$ 相的电子能带结构, 我们发现 $P2_1/m$ 相的带隙比前两相的带隙要窄。通过交流阻抗谱测量, 我们发现压致结构相变还显著改变了 CaWO_4 的电子结构, 导致电输运性质的异常变化。此外, 我们还找到一个最低能量的单斜结构(空间群: $P2_1/c$), 是一个潜在的高温高压相。我们的工作高压 X 射线衍射实验中发现了 $I2/a \rightarrow P2_1/m$ 这一结构相变, 丰富了 ABO_4 高压相图中的相变序列, 将为其它 ABO_4 化合物的高压研究提供重要参考。

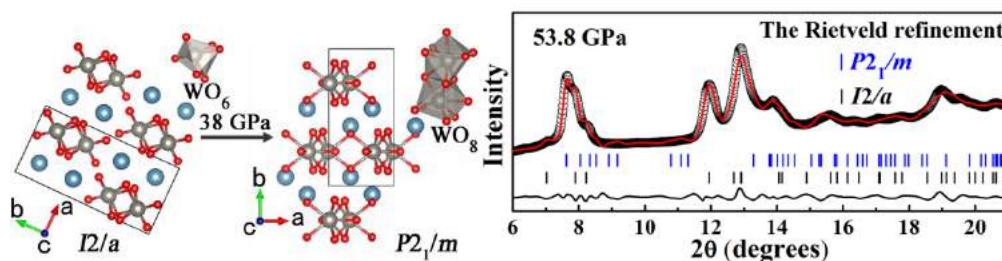


图 1 CaWO_4 的结构示意图及 53.8 GPa 下 CaWO_4 的结构精修结果

关键词: CaWO_4 高压 结构相变 阻抗谱

- 【1】 D. Errandonea *et al.*, Pressure effects on the structural and electronic properties of ABX_4 scintillating crystals, *Prog. Mater. Sci.*, 2008, 53(4), 711-773.
- 【2】 R. Vilaplana *et al.*, Quasi-hydrostatic X-ray powder diffraction study of the low- and high-pressure phases of CaWO_4 up to 28 GPa, *Solid State Sci.*, 2014, 36, 16-23.
- 【3】 **基金项目:** 国家自然科学基金项目(NO. 11374121 、11404133) 吉林省科技发展计划项目(NO. 20140520105JH)

氧化镓基日盲紫外光电探测器研究

陈彦成

郑州大学物理工程学院

紫外（UV）光电探测技术在民用和军事等众多领域具有广泛的应用，比如生物/化学分析、火焰传感、保密通信、导弹跟踪和环境监测等。由于大气中臭氧层和水蒸气颗粒物对深紫外光具有极强的吸收和散射作用，使得波长短于 280 nm 的太阳辐射无法穿透大气层，在地球表面的辐射几乎为零，因此这一波段的光被称为日盲光。由于日盲光的自然背景低，在此光谱范围内工作的光电探测器具有背景噪声低和虚警率低等优点。然而，目前商用的日盲光电探测器通常是体积庞大并且易碎的光电倍增管，需要外加大的偏置电压，这就限制了它在很多方面的使用。宽禁带（WBG）半导体有许多优点，如高辐射强度和本征日盲光谱选择性等，这为开发高性能宽禁带半导体基日盲光电探测器提供了可能，宽禁带日盲光电探测器被认为是光电倍增管的潜在替代品。近年来，已经有各种各样的宽禁带半导体被用于研究设计日盲光电探测器，其中包括 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ 、氧化镓（ Ga_2O_3 ）和金刚石等。其中 Ga_2O_3 的禁带宽度通常在 4.4~5.1 eV 之间，对应的吸收截止波长约为 250~280 nm，可以用于制备具有本征日盲选择性的紫外探测器。然而目前制备的氧化镓探测器还存在响应度低、响应速度慢等缺点，制约了氧化镓在光电探测领域的应用。本论文针对此问题展开研究，以制备高性能氧化镓日盲紫外探测器为研究目标，取得的主要研究结果归纳如下：

(1) 提出利用金刚石/ Ga_2O_3 异质结构建自驱动日盲紫外探测器：使用微波等离子体化学气相沉积合成的高质量金刚石单晶片上利用等离子体化学气相沉积技术沉积 Ga_2O_3 薄膜，构建了金刚石/ Ga_2O_3 异质结器件。器件具有明显的整流特性，并可以在无需任何外部电源供电情况下实现对光信号的探测。在零偏压下，光谱响应峰值位于 244 nm，响应度约为 0.2 mA W^{-1} ；紫外/可见抑制比超过两个数量级；截止波长为 270 nm，表明光电探测器具有良好的日盲光谱选择性。作为自驱动器件，在零偏压下表现出良好的可重复性和周期稳定性。利用此器件作为成像系统的感光元件，在无外加偏压下获得了高质量的日盲成像。

(2) 构建 Ga_2O_3 阵列探测器件，实现日盲光二维阵列成像。利用等离子体化学气相沉积技术，制备大面积均匀的 Ga_2O_3 薄膜，并利用紫外光刻技术制作 4×4 光电探测器阵列。其中，每个探测器单元为一个 MSM 结构的 Ga_2O_3 探测器。在 10 V 电压下，单个光电探测器的暗电流低于 4.0×10^{-10} A，响应峰位于 256 nm，峰值响应度约为 1.2 A W^{-1} 。器件紫外/可见光抑制比超过 4 个数量级，截止波长位于 265 nm，表明此光电探测器对日盲光具有高的光谱选择性。此外，阵列器件的 16 个光电探测器单元的光电性能具有较好的一致性和稳定性。利用此光电探测器阵列作为感光元件搭建了日盲光成像系统，获得了清晰的二维图像。

关键词：日盲探测器；氧化镓；自驱动探测器；探测器阵列；日盲光成像

268nm 深紫外激光器波导层厚度优化

邢中秋、王芳、刘玉怀

郑州大学信息工程学院, 郑州 450001

Email: iezqxing@gs.zzu.edu.cn, iefwang@zzu.edu.cn, ieyhliu@zzu.edu.cn

摘要: 在过去的几十年中, 基于 III-N 族半导体的激光器已被广泛用作从紫外到可见光光谱光源^[1-2]。根据激光器产生激光的原理, 有源区的作用主要是对载流子进行限制, 波导层的作用是用来传输并限制光束, 所以波导层可以改善激光光束、降低阈值电流和提高输出功率等电学特性^[3-4]。因此, 研究波导层对于激光器的性能改善具有十分重要的作用^[5]。本文设计的深紫外激光器结构图如图 1 (a) 所示, 器件由 0.1 μm 厚的 $n\text{-Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{N}$ 接触层, 1 μm 厚的 $n\text{-Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{N}$ 包层, $n\text{-Al}_{0.68}\text{Ga}_{0.32}\text{N}$ 下波导层, 由两个 6 nm 厚的 $\text{Al}_{0.58}\text{Ga}_{0.42}\text{N}$ 的阱和三个 10 nm 厚的 $\text{Al}_{0.68}\text{Ga}_{0.32}\text{N}$ 的势垒构成的有源层, 0.11 μm 厚的 $p\text{-Al}_{0.68}\text{Ga}_{0.32}\text{N}$ 上波导层, 10 nm 厚的 $u\text{-Al}_{0.99}\text{Ga}_{0.01}\text{N}$ 电子阻挡层, 0.4 μm 厚的 $p\text{-Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{N}$ 包层和 0.1 μm 厚的 $p\text{-Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$ 接触层构成。在该结构中, 激光器的宽度为 4 μm , 腔长为 540 μm , 前后镜面反射率为 30%, 在室温下进行仿真。发射波长对应的增益如图 1 (b) 所示, 不同载流子浓度的增益在 268 nm 时具有最大值。

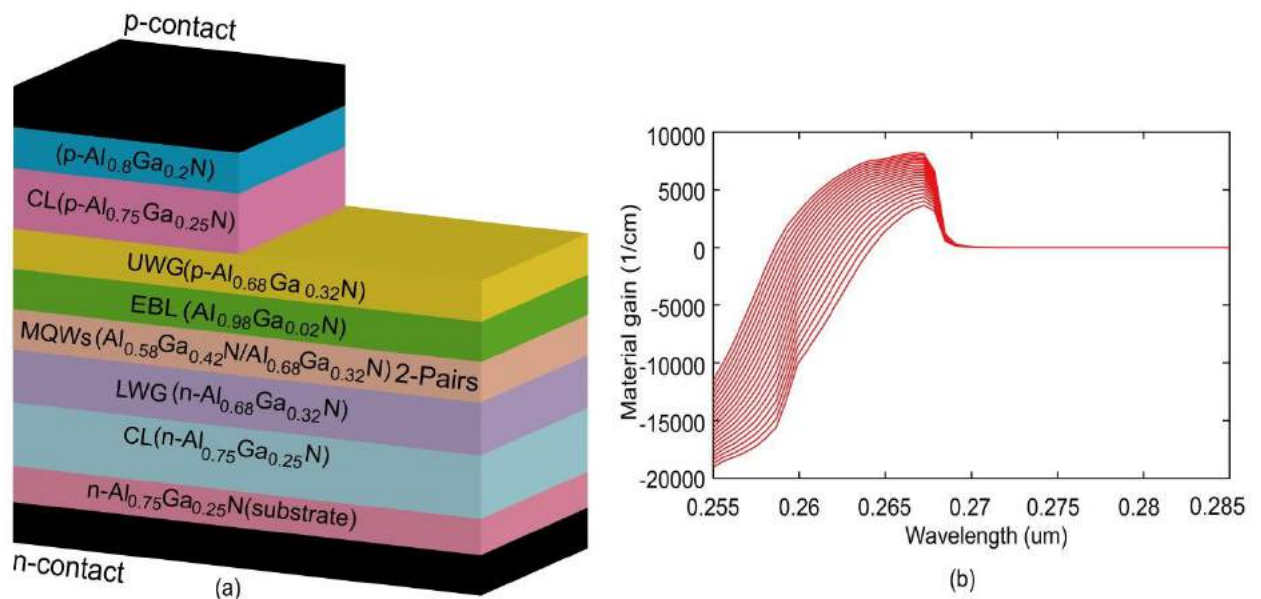


图 1 (a) 激光器的结构图, (b) 不同载流子浓度下发射波长对应的增益

本文主要研究下波导层的厚度对器件结构性能的影响。由图 2 看出, 当下波导层的厚度

由 $0.06\ \mu\text{m}$ 增加到 $0.12\ \mu\text{m}$ 时，激光器的输出特性并不是 n 型波导层越厚越好，太宽的下波导层反而会降低激光器的输出特性。当下波导层厚度设定为 $0.11\ \mu\text{m}$ 时，激光器的输出特性最好，对应的阈值电流最低，约为 21.6mA ，对应的斜率效率最高，约为 2.2W/A 。

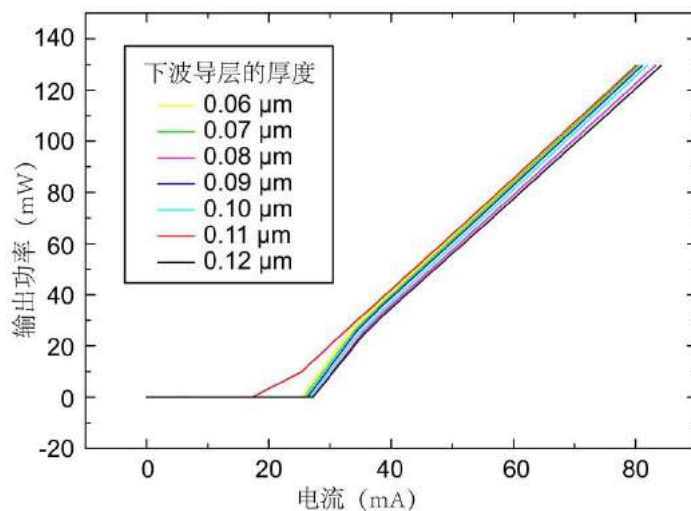


图 2 激光器输出 P-I 特性曲线

关键词：深紫外激光器 波导层 阈值电流 斜率效率

- 【1】 Moustakas T D , Paiella R . Optoelectronic Device Physics and Technology of Nitride Semiconductors from the UV to the Terahertz: a review[J]. Reports on Progress in Physics, 2017.
- 【2】 Mehta K , Liu Y S , Wang J , et al. Theory and Design of Electron Blocking Layers for III-N Based Laser Diodes by Numerical Simulation[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 2018:1-1.
- 【3】 Yi-Fu Wang, Mussaab I. Niass, Fang Wang, Yu-Huai Liu, "Reduction of Electron Leakage in a Deep Ultraviolet Nitride Laser Diode with a Double-Tapered Electron Blocking Layer", *Chin. Phys. Lett.*, 2019, 36 (5): 057301.
- 【4】 Mussaab I. Niass, Muhammad Nawaz Sharif, Yifu Wang, Zhengqian Lu, Xue Chen, Yipu Qu, Zhongqiu Du, Fang Wang , Yuhuai Liu, "A contrivance of 277 nm DUV LD with $\text{B}_{0.313}\text{Ga}_{0.687}\text{N}/\text{B}_{0.40}\text{Ga}_{0.60}\text{N}$ QWs and $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ heterojunction grown on AlN substrate", *Journal of Semiconductors*, 2019.
- 【5】 Mussaab I. Niass, Junwei Zang, Zhengqian Lu, Zhongqiu Du, Xue Chen, Yipu Qu, Fang Wang , Yuhuai Liu, "Structure optimization of 266 nm $\text{Al}_{0.53}\text{GaN}/\text{Al}_{0.75}\text{GaN}$ SQW DUV-LD", *Journal of Crystal Growth* 506 (2019) 24–29.

基金项目：国家重点研发计划项目(NO. 2016YFE0118400)、国家自然科学基金河南省联合基金重点项(NO. U1604263)、国家自然科学基金项目(NO. 61176008)、河南省科技攻关项目(NO. 172102410062)。

微米级空间分辨的泵浦探测系统

尚玲玲、施婷婷、钱轩、姬扬*

中国科学院半导体研究所超晶格室，北京市海淀区 100083

Email: aurora_shang@semi.ac.cn

超快脉冲激光的时间分辨泵浦-探测系统可以用来探测半导体中的自旋随时间演化的过程，从而获得载流子的g因子和自旋弛豫等方面的信息。搭建的时空分辨的微米级泵浦探测系统使用飞秒激光器作为光源，选择合适的波长模式，然后输出的脉冲光经偏振分束镜分为两束正交的线偏振光，分别为泵浦光和探测光。利用光弹调制器将泵浦光从线偏振光变成圆偏振光，经过时间延迟线后经过透镜聚焦在样品上，从而注入自旋极化的载流子。另一束线偏振光作为探测光，经过显微物镜聚焦于样品上，并且和泵浦光的聚焦光斑重合。泵浦光和探测光是同一波长的两束光，为了仅使探测光进入探测系统，我们将泵浦光倾斜照射在样品上，而探测光垂直入射。为了选择样品探测点的位置、精确地实现泵浦与探测光斑的聚焦重合，我们借助CCD相机观察和调节。最后利用平衡光桥和锁相放大技术实现微弱的克尔旋转角信号的测量。基于时空分辨的微米级泵浦探测系统可以用来探测0~2000ps的自旋弛豫过程，探测样品的空间分辨率在1 μm 以下。

关键词：超快脉冲激光 时空分辨 自旋极化 泵浦探测 克尔旋转信号

参考文献

- 【1】 Yang L , Sinitsyn N A , Chen W , et al. Nature Physics, 2015.
- 【2】 Xuan Q, Gu X, Yang J. Review of Scientific Instruments, 2010, 81(10):3546.
- 【3】 Xuan Q, Jian M, Yang J, et al. Journal of Applied Physics 121, 15(2017).

Highly Stable Perovskite Photodetector Based on Vapor-Processed Micrometer-Scale CsPbBr₃ Microplatelets

李营, 史志锋, 李新建

Key Laboratory of Material Physics of Ministry of Education, and School of Physics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

Email: 907195346@qq.com

Recently, the halide perovskites have attracted our tremendous attention because of their great abilities in large-scale and cost-effective manufacturing in optoelectronic devices. However, the study of photodetectors is still short of important breakthroughs that can promote perovskite-based photodetectors into practical applications, which is mainly because of the difficulty in preparing high-quality perovskite light absorbers with a good compactness and a good crystallinity and also the undesired hypersensitivity of perovskites in air with moisture. It is well known that when organic-inorganic hybrid perovskites are exposed to air ambient, they suffer rapid deterioration. However, inorganic perovskites CsPbX₃ show remarkable stability except for all the superior characteristics inherited from the organic-inorganic perovskites, and many reports have argued that CsPbX₃ has a high thermal stability until its melting at ~500 °C. Here, a novel photodetector configuration was proposed by employing vapor-processed micrometer-scale inorganic CsPbBr₃ microplatelets as the light absorber. Temperature-dependent steady-state and time-resolved photoluminescence spectrum were firstly performed to study the emission mechanisms and carrier recombination dynamics of the CsPbBr₃ microplatelets. Further, a photoconductive detector was prepared, and the device exhibits good performances with a high on/off photocurrent ratio of 4.6×10^3 , a responsivity of ~1.33 A/W, and a specific detectivity of 0.86×10^{12} Jones. Additionally, temperature-dependent current-voltage and current-time characteristics of the photodetector were studied to assess the thermal effects on its photodetection ability. In particular, the unencapsulated photodetector demonstrates a prominent stability over the long-term temperature endurance measure in air ambient. Even operated at 373 K, the photodetector can operate properly, showing a high temperature resistance. Moreover, the device performance can almost be retained even with a 7-month storage in air. The experimental results obtained above suggest that the CsPbBr₃ microplatelets can serve as a good candidate for the fabrication of high-performance photodetectors compatibility for practical applications.

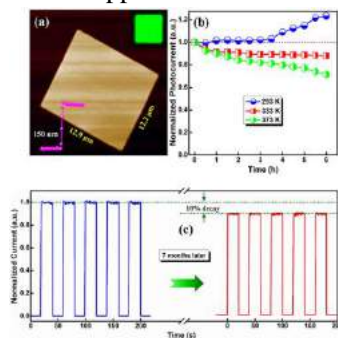


Figure 1. Stability study of CsPbBr₃ microplatelets.

Key words: perovskite, vapor evaporation, CsPbBr₃ microplatelets, Photodetector

Acknowledgements: This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 11604302, 61605174, 61176044 and (11504331), the China Postdoctoral Science Foundation (2015M582193), the Postdoctoral Research Sponsorship in Henan Province (2015008), the Outstanding Young Talent Research Fund of Zhengzhou University (1521317001), and the Startup Research Fund of Zhengzhou University (1512317003).

References

[1] W. S. Yang, et al, High-performance photovoltaic perovskite layers fabricated through intramolecular exchange, *Science*, 2015, 348, 1234.

半绝缘 GaAs 的双调制反射光谱研究

刘雪璐、吴江滨、罗向东*、谭平恒*

中国科学院半导体研究所半导体超晶格国家重点实验室, 北京 100083

南通大学江苏省专用集成电路设计重点实验室, 江苏南通 226019

Email: luoxd@ntu.edu.cn, phtan@semi.ac.cn (Times New Roman 五号字)

摘要: 半导体材料电子能带结构的确定对研究其物理性质及其在半导体器件方面的应用有重要意义。光调制反射光谱是一种无损和高灵敏度的表征半导体材料电子能带结构的 optical 手段。光调制反射光谱中激光调制导致材料介电函数的变化在联合态密度奇点附近表现得更为明显。通过测量这些变化, 可以得到有关材料能带结构临界点的信息。然而在传统的单调制反射光谱中, 激光调制信号的光谱线型拟合和临界点数量的分析往往被瑞利散射和荧光信号所干扰。我们将双调制技术与双通道锁相放大器结合, 消除了瑞利信号和荧光信号的干扰, 获得了具有较高信噪比的调制反射光谱信号。双通道锁相放大器可以同时解调出反射光谱信号及其经泵浦激光调制后的细微变化量, 避免了多次采集时可能存在的系统误差。利用这种技术, 在可见激光(2.33 eV) 泵浦下, 我们测量了半绝缘 GaAs 体材料从近红外至紫外波段(1.1—6.0 eV) 的双调制反射光谱, 获得了多个能带结构临界点的信息。探测到了高于泵浦能量之上的与 GaAs 能带结构高阶临界点对应的特征光谱信号, 说明带隙以上高阶临界点的光调制反射光谱本质是光生载流子对内建电场的调制, 并不是来自该临界点附近的能带填充效应。这一结果表明双调制反射光谱能够对半导体材料能带结构带隙及其带隙以上临界点进行更准确的表征。

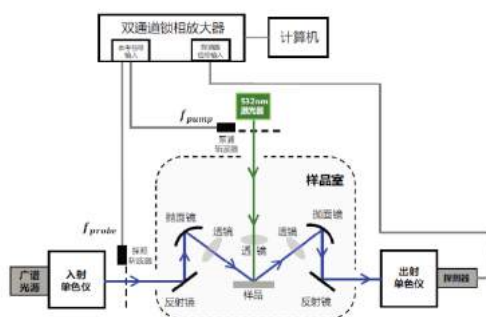


图 1 双调制反射光谱仪的示意图

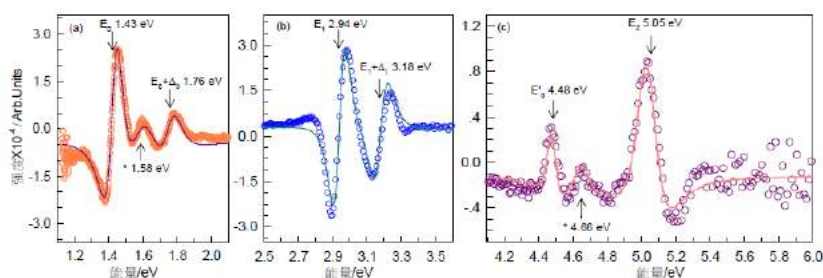


图 2 半绝缘(001)GaAs 体材料在探测范围为 1.1eV 至 6.0eV 内的双调制反射光谱及线型拟合, 泵浦能量为 2.33eV

关键词：双调制反射光谱，半绝缘 GaAs，能带结构，带隙以上临界点

参考文献：Acta Phys. Sin. Vol. 66, No. 14 (2017) 147801

基金项目：国家自然科学基金(批准号：61474067, 11474277, 11434010) 和国家重点研发计划(批准号：2016YFA0301204) 等

基于太赫兹量子阱探测器的快速显微成像研究

邱付成, 谭智勇, 王长*, 万文坚, 符张龙, 曹俊诚†

中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050

Email: fcqiu@mail.sim.ac.cn

摘要: 太赫兹 (THz) 波 (0.1 THz-10 THz) 具有许多其他波段所不具备的特点, 所以常常被用于成像及通信等领域。太赫兹波对非极性样品具有良好的穿透能力, 对生物组织等样品具有特殊的响应, 并且太赫兹辐射对人体无危害。这些优越的性能使得太赫兹成像在人体安检、无损检测及生物医学等研究领域都具有非常大的应用前景。但是受到衍射极限的限制, 远场太赫兹成像的分辨率只能达到亚毫米量级, 这极大地阻碍了太赫兹成像在许多领域的进一步应用。

太赫兹 (THz) 量子阱探测器 (QWP) (如图 1a) 具备响应效率高、响应速度快、体积小且易操作等特点, 这使得 THz QWP 在高速太赫兹波探测方面, 具有相当的优势。我们采用自主研发的 THz QWP 以及频率匹配的太赫兹量子级联激光器 (THz QCL) (如图 1b) 搭建了太赫兹反射式共焦显微^[1-4]快速成像系统, 实现了对物体的 5s 快速二维成像, 成像系统具有 110 μm 的横向分辨率以及 80 μm 的纵向分辨率。我们进一步利用该系统对三维物品进行了快速断层扫描成像, 系统轴向分辨率可达 320 μm , 最终得到了三维物品在不同轴向位置处的截面图, 并最终实现了物体的三维断层扫描成像。系统有望在生物医学研究及无损检测领域有进一步的应用。

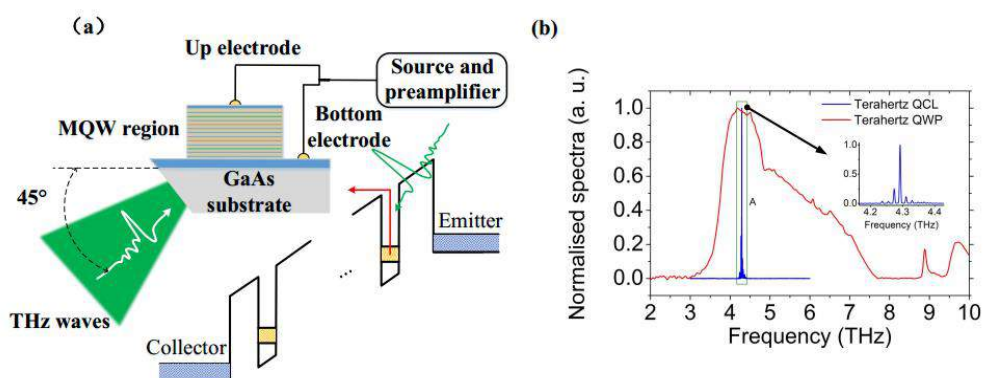


图 1 太赫兹量子阱探测器结构示意图及其光谱测量结果

关键词: 太赫兹量子阱探测器, 共焦显微, 快速成像, 三维断层

参考文献

- 【1】 Ugo Siciliani de Cumis, Ji-Hua Xu, Luca Masini, et al., *Opt. Exp.* 2012, **20**, 21924.
- 【2】 Mohammed Adnan Salhi, Ioachim Pupeza, Martin Koch, et al., *J Infrared Milli Terahz Waves* 2010, **31**, 358.
- 【3】 Mariano Flammini, Claudia Bonsi, Chiara Ciano, et al., *J Infrared Milli Terahz Waves* 2017, **38**, 435 (2017).
- 【4】 M. S. Heimbeck, D. L. Marks, D. Brady, et al., *Opt. Exp.* 2012, **37**, 1306.

基金项目：国家重点研发计划（2017YFF0106302）、国家重点基础研究发展计划（批准号：2014CB339803）、国家自然科学基金（批准号：61775229, 61574155, 61604161）、上海市科学技术委员会（Project Nos. 15JC1403800, 15DZ0500103, 17ZR1448300）资助项目。

紫外光辐照增强的 p-Si/n-ZnO 自供能宽光谱探测器

张永乐、王兆娜*

北京师范大学，北京、北京市 100875

Email: zhnwang@bnu.edu.cn

作为第三代半导体材料，ZnO 具有大的直接禁带、大的激子结合能、压电和热释电特性，是实现室温高灵敏紫外光探测器的理想材料。再加上硅基半导体成熟的加工工艺，p-Si/n-ZnO 阵列结构器件常被用来设计和制备自供能、宽光谱响应的光电探测器。为进一步提高 p-Si/n-ZnO 结构探测器的灵敏度和响应时间，研究者们提出充分利用 ZnO 材料自身的压电特性和热释电特性对异质结界面进行调控的思路，发展了压电光电子学光电探测器和热释电光电子学效应增强的探测器。其中，基于热释电光电子学效应设计的氧化锌基光电探测器具有较高的响应速度和探测灵敏度，并且能在真空条件下实现对紫外光的快速探测。但氧化锌中存在大量的缺陷态和表面态对热释电光电子效应的调控作用还有待进一步揭示，研究结果对制备具有高灵敏度和高响应速度的自供能探测器具有指导意义。

我们通过利用紫外光辐照的方法对 p-Si/n-ZnO 结构中 ZnO 的表/界面态进行调控，探索表界面态对热释电光电子学效应及器件性能的影响。结果表明，经过紫外光辐照后，器件的光电流响应度和响应速度都有显著的提升。其中，对 325 nm、442 nm、633 nm 和 785 nm 激发光的光电流响应均有 10 倍以上的提升，对应的响应时间（上升沿）和恢复时间（下降沿）也得到了大幅度降低。结果表明，氧化锌的表界面态密度减小可以大幅度提升光电探测器的电流响应特性，并对热释电光电子学效应具有明显的增强作用。该结果为优化 ZnO 基自供能光电探测器的性能提供一种简单有效的途径。

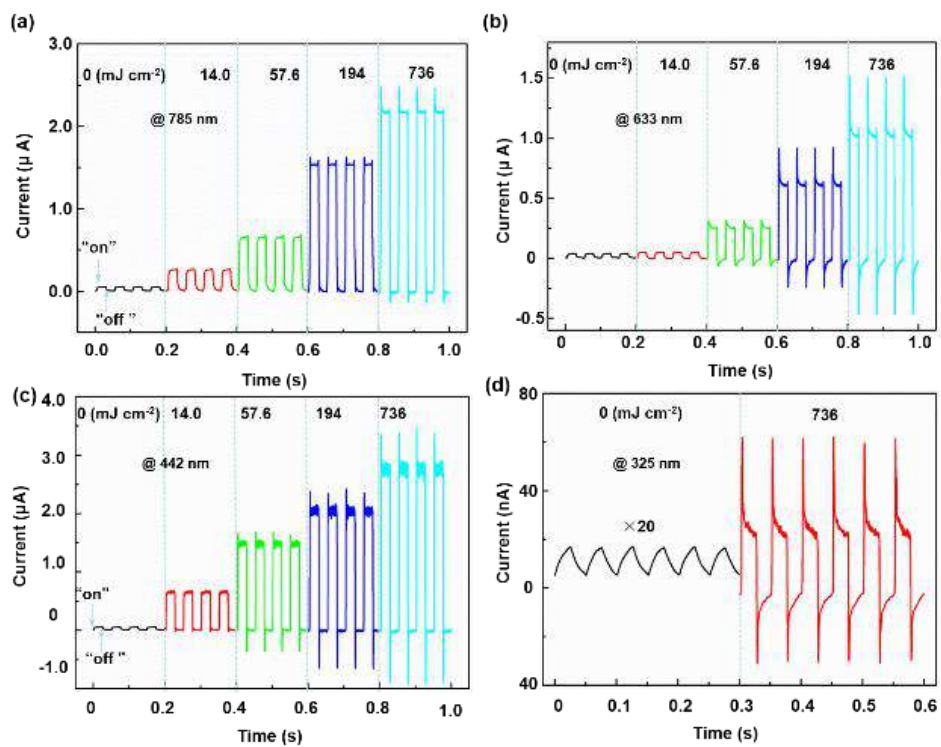


图 1 p-Si/n-ZnO 光电探测器在不同能量密度紫外光辐照后，在不同波长光激发下的 $I-t$ 曲线

关键词：紫外光辐照 自供能探测器 电流响应 响应时间。

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11574033）等。

锰掺杂诱导层状氧化物 $\text{LiNi}_{0.8-x}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_x\text{O}_2$ 中极化子局域化增强

冯涛、李莉萍、李广社

吉林大学化学学院, 长春 130012

Email: fengtao17@mails.jlu.edu.cn

摘要:

三元层状氧化物 $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ ($x+y+z=1$) 作为正极材料被广泛应用于锂离子电池领域, 此类材料具有高能量密度、高功率和高稳定性的特点。但在实际应用中, 三元材料由于电导率较低, 大大限制了其倍率性能的发挥。因此, 目前开发了如表面修饰、控制晶粒尺寸以及构建导电路径等方法来改善其电导率并提高电化学性能, 但是这些方法很少涉及此类正极材料的固有导电性质。为了揭示三元材料中电荷运输的限制因素, 有必要对其中的导电机理进行深入研究。

本文以 $\text{LiNi}_{0.8-x}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_x\text{O}_2$ 为研究对象, 通过 XRD、Raman、XPS、直流电导率、比热等方法系统的系统的研究了电导率与 Mn 含量的变化关系, 随着 Mn 含量的逐渐增加电导率由 $1.1\text{E}-2 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ($\text{LiNi}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$) 降至 $8.4\text{E}-6 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ($\text{LiNi}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$)。其次, 本文揭示了此类材料中电子是以绝热的小极化子跳跃导电的方式进行传导, 而活化能的增大是导致电导率降低的主要原因, 随着 Mn 含量增加, 小极化子活化能从 199.7meV 上升至 373.7meV。最后, 通过对电子-声子耦合系数以及小极化子尺寸的计算, 我们发现 Mn 的掺杂会导致层状氧化物 $\text{LiNi}_{0.8-x}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_x\text{O}_2$ 中极化子局域化程度增加, 这和电导率的变化趋势是一致的。这些发现对深入理解正极材料 $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ ($x+y+z=1$) 中的电子输运过程以及进一步优化其电化学性能具有重要意义。

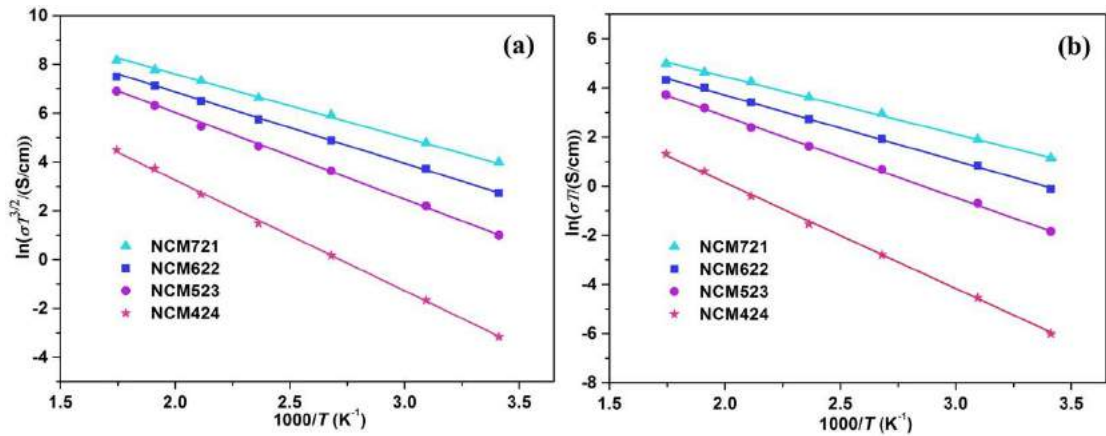


图 1 层状三元材料 $\text{LiNi}_{0.8-x}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_x\text{O}_2$ 的电导率图

关键词：层状三元材料、电导率、拉曼、比热、小极化子。

参考文献

- 【1】 T. Feng et al., Temperature-dependent electrical transport behavior and structural evolution in hollandite-type titanium-based oxide, *J. Am. Ceram. Soc.* 2019, <https://doi.org/10.1111/jace.16520>.
- 【2】 T. Feng et al., Heat capacity and thermodynamic functions of hollandite-type $\text{K}_{0.17}\text{TiO}_{1.9} \cdot 0.061\text{H}_2\text{O}$, *J. Chem. Thermodyn.* 2019, 137 (34).
- 【3】 T. Feng et al., Heat capacity and thermodynamic functions of $\text{TiO}_2(\text{B})$ nanowires, *J. Chem. Thermodyn.* 2018, 119 (127).

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 21871106、21571176、21611530688、21671077 和 21771075）。

准二维费米液体系统—— $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 单晶的生长、掺杂及输运研究

徐璐, 吕洋洋, 陈延彬*, 周健, 姚淑华, 陈延峰

南京大学, 现代工程与应用科学学院, 物理学院系, 固体微结构物理国家重点实验室, 江苏南京, 210093

Email: ybchen@nju.edu.cn; lvyangws0801@163.com

摘要: $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 是一种层状氧化物半导体材料, 近来由于具有超高的迁移率、优越的光电性能及潜在的热电性能而受到众多材料学家和物理学家的广泛关注。我们采用气相输运法生长出了高质量的 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 单晶, 并进行了系统的输运表征。实验结果表明, $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 单晶具有超高的迁移率 (2 K 温度时为 $2.24 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{V s}$, 室温时为 $300 \text{ cm}^2/\text{V s}$)、巨大的磁阻效应 (2 K 温度和 9 T 磁场下的磁电阻值 $0.9 \times 10^4 \%$) 以及明显的量子振荡现象 (Shubnikov-de Haas, SdH 振荡), 这可与 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 纳米晶片的输运性质相媲美。SdH 振荡分析证实, $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 单晶的电子载流子是传统的薛定谔费米子且具有准二维的费米面, 第一性原理计算也证实了这一点。值得注意的是, 温度依赖的电阻率和磁阻测试显示, 从 2 K 到 300 K 只有电子与电子的相互作用对 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 单晶的电输运和磁电输运性质有贡献。通过朗道费米液体理论计算得到 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 中电子与电子的相互作用能为 7.5 eV, 电子屏蔽长度为 5.53 Å, 这远大于多数的掺杂半导体。因而在 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 体系中电子与电子相互作用占主导地位, 可以称之为理想的费米液体系统。进一步我们通过晶体生长过程中卤素掺杂引入额外的杂质散射, 制备了系列掺杂的 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 单晶。输运测试结果分析显示, 掺杂后的 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 单晶, 迁移率急剧下降, 量子振荡现象和巨大磁阻效应消失, 同时电声子耦合作用增强, 也不再满足费米液体理论。我们的工作一方面为揭示 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 中超快光电响应的机制提供更多研究线索, 另一方面也为未来开发新型的电子/光电子器件提供研究基础。

关键词: $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$, 高迁移率, 巨大磁阻效应, 量子振荡, 电子与电子相互作用, 费米液体, 卤素掺杂

参考文献

【1】 J. Wu, H. Yuan, M. M. Meng, *et al.*, High electron mobility and quantum oscillations in non-encapsulated ultrathin semiconducting Bi₂O₂Se, *Nat. Nanotech.* 2017, 12, 530.

【2】 Y. -Y. Lv, L. Xu, S. -T. Dong, *et al.*, Electron-electron scattering dominated electrical and magneto-transport properties in quasi-two-dimensional Fermi liquid system of Bi₂O₂Se crystals, *Phys. Rev. B*, 2019, 99, 195143.

基金项目：2018 年度“博士后创新人才支持计划”（BX20180137）

国家自然科学基金项目（NO.11574131, NO.51872134, NO.51890860, NO.11890702）

江苏省自然科学基金(BK20171343)

Discovery of k-linear Rashba spin splitting in semiconductor two-dimensional hole gases

Jiaxin Xiong (熊嘉欣), Shan Guan (管闪), Junwei Luo (骆军委)

State Key Laboratory of Superlattices and Microstructures, Institute of
Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China
School of Physical Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing
100049, China

Email: jiaxin_xiong@semi.ac.cn

Owing to weak coupling to nuclear spins, long spin dephasing time and CMOS-compatibility, spintronics based on holes in silicon have attracted much attention. However, the lack of the linear Rashba spin splitting of two-dimensional heavy holes substantially prevents its potential applications. In present work, we present the emergence of linear Rashba spin splitting in conventional two-dimensional semiconductor (including Si/Ge) quantum wells arising from the applied electric field induced coupling between valence subbands in combination of symmetry allowed heavy-hole and light-hole coupling in quantum wells. In the conventional $k \cdot p$ method, “farsightedness” replaces the symmetry of two-dimensional systems with a fictitious higher symmetry of bulk materials, leading to construction of an effective Hamiltonian with only k -cubic Rashba spin splitting. By using our atomistic pseudopotential method, we demonstrate the existence of k -linear Rashba spin splitting, which origins from a direct dipolar coupling to the external electric field and heavy-hole-light-hole mixing. We verify the existence of heavy-hole-light-hole mixing with a view of group theory and propose a two-dimensional effective Hamiltonian to give an illustration of the k -linear direct Rashba effect. In addition, we study the relationship between k -linear Rashba parameters and quantum well thickness, electric field in [001]- and [110]-oriented quantum wells, respectively. This discovery enables us to better understand the hole spin physics in quantum wells.

Key words: Rashba effect, two-dimensional hole gases, heavy-hole-light-hole mixing

Reference

- [1] R. Winkler, Springer Tracts in Modern Physics Vol. 191 (Springer, New York, 2003).
- [2] R. Winkler, Phys. Rev. B 62, 4245 (2000).
- [3] C. Kloeffel, M. Trif, and D. Loss, Phys. Rev. B 84, 195314 (2011).
- [4] C. Kloeffel, M. J. Rancic, and D. Loss, Phys. Rev. B, 97, 235422 (2018).
- [5] J.-W. Luo, S.-S. Li, and A. Zunger, Phys. Rev. Lett. 119, 126401 (2017).
- [6] J.-W. Luo, A. N. Chantis, M. Van Schilfgaarde, G. Bester, A. Zunger, Phys. Rev. Lett. 104, 066405 (2010).

非易失性铁电门控黑磷光电存储器

谢柳、董卓、俞强、赵新新、李昌、张凯*

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所, 苏州 215123

Email: kzhang2015@sinano.ac.cn

摘要: 以闪存为主的非易失性存储器在现代电子信息产业中占有重要地位, 传统的闪存由金属-氧化物-半导体场效应晶体管 (MOSFET) 构成, 而随着器件尺寸的减小, MOSFET 漏电流增加、电荷存储能力减弱。为解决这一问题, 研究人员研究发展了铁电场效应晶体管 (FeFET) 存储器, 因为其写入更快、读/写循环次数更大、低功耗以及无损读出等优势, 在下一代随机存储器的发展中引起了广泛关注。然而, 传统 FeFET 的电读过程会减弱铁电 (FE) 极化, 导致读出串扰。我们采用铁电材料作为栅介质材料与二维半导体材料结合, 有效的改善了上述问题。同时, 铁电材料与半导体结合, 构筑了具有新颖功能的异质结构体系。

我们研制了一种基于黑磷/锆钛酸铅 (BP/PZT) 异质结构的非易失性光电存储器, 其采用一种新颖的“电写-光读”的模式进行写入和读取。由于 PZT 的自发极化, 在没有外部偏压时, 诱导产生带负电/正电的极化电荷, 使存储器单元能够持续地保持空穴的积累/消耗。通过 BP 和 PZT 的协同效应, BP/PZT 异质结构 FeFET 器件展现出两种不同的光响应模式。极化向下状态产生正光电导 (PPC), 极化向上状态产生负光电导 (NPC)。基于上述两种不同的光响应模式, 光电流 I_{ph} 可以作为存储器的读出信号。它的优点是读取非常稳定, 因为 I_{ph} 的正/负与“0”和“1”状态对应。这与传统 FeFET 存储器不同, 其在读取数据时依赖电流开/关比, 而在去极化过程中, 电流的开/关比会降低, 会导致读出串扰。而我们提出的光电存储器是利用光电流读取数据, 因此, 可以很好地解决该问题。此外, 该存储器具有良好的数据保持性能(超过 3.6×10^3 s)和疲劳性能(超过 500 次循环)。与商用电容式铁电存储器相比, 我们提出的“电写-光读”存储器具有稳定的无损读出、功耗低(驱动电压 < 10 mv)、COMS 工艺兼容等优点。本工作不仅推动了 FeRAM 器件的发展, 而且利用二维半导体和多功能铁电体之间的协同效应开发出新型功能器件。

关键词: 黑磷 铁电场效应晶体管 异质结 非易失性光电存储器

参考文献

[1] K. Zhang* et al., Nonvolatile Photoelectric Memory Induced by Interfacial Charge at a Ferroelectric

PZT-Gated Black Phosphorus Transistor, *Adv. Electron. Mater.* 2019, 1900458

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO.61875223,51790492,11574349,51572278);

江苏省自然科学基金项目 (NO.BK20170424, BK20160824)

黑磷的合理掺杂和合金化及其光/电性能研究

史鑫尧、徐轶君、陈捷、陈程、张凯*

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所, 苏州 215123

Email: kzhang2015@sinano.ac.cn

摘要: 在本研究中, 合理的掺杂和合金化策略被用来改变基于黑磷 (BP) 二维材料的物理和化学性质。首先, 利用取代掺杂和场诱导掺杂可以改善 BP 的电学和光学性质。通过化学气相传输法 (CVT) 可以生长出硒原子 (Se) 取代掺杂的 BP, 合成的 BP 晶体表现出了高结晶度, 均匀掺杂性以及优异的电学性能, 基于此制作的场效应晶体管电流开/关比达到 10^5 , 迁移率为 $561 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。硒原子掺杂有利于降低 BP 与电极接触的肖特基势垒, 提高载流子注入效率, 使得基于 BP 的光电探测器的响应度提高 20 倍, 使响应率和外量子效率分别达到 15.33 A/W 和 2993%。通过在 BP 表面上覆盖氮化硅 (Si_xN_y) 膜则可以实现场诱导掺杂。掺杂效果可以保持稳定超过 1 个月, 并且能够将 BP 的电子迁移率提高至 $\sim 176 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。基于 BP 薄膜的 p-n 结二极管具有电压依赖的整流效应, 整流比高达 $\sim 10^4$, 基于此制作的 BP 逻辑反相器成功地实现了不同工作频率下输出电压由“高”到“低”的转换, 且电压损失很小。

此外, 通过合理的 BP 合金化策略可以合成新型的二维材料, 呈现出独特的电学和光学性能。我们通过 CVT 方法合成出了原子比可控且带隙可调的高质量黑砷磷 ($\text{B-As}_x\text{P}_{1-x}$) 晶体, 随后采用独特的电化学辅助液相剥离工艺制备了基于少层黑砷磷纳米片薄膜的可饱和吸收体 (SAs), 实现了稳定的被动调 Q 脉冲输出, 其重复频率为 38.47 kHz, 对应的最小脉冲宽度为 5.26 μs , 相应的输出功率高达 3.68 mW。同样利用两步化学气相传输的方法生长出了高质量的 FePS_3 晶体薄片, 通过在有机溶液中对块体进行剥离, 可以稳定地获得厚度在 4-8 nm 的少层 FePS_3 量子片 (QSs)。与 FePS_3 体材料 (1.60 eV) 相比, 这些 QSs 的带隙扩大为 2.18 eV, 并表现出了 3 倍于块体材料的光催化产 H_2 速率。

关键词: 黑磷 掺杂 合金化 电学 光学

参考文献

- 【1】 K. Zhang* *et al.*, Selenium-doped black phosphorus for high-responsivity 2D photodetectors, *Small*. 2016, 12 (36), 5000.
- 【2】 K. Zhang* *et al.*, Field-Induced n-Doping of Black Phosphorus for CMOS Compatible 2D Logic Electronics with High Electron Mobility, *Adv. Funct. Mater.* 2017, 27 (38), 1702211.
- 【3】 K. Zhang* *et al.*, High-Yield Production of Monolayer FePS_3 Quantum Sheets via Chemical Exfoliation for Efficient Photocatalytic Hydrogen Evolution, *Adv. Mater.* 2018, 30 (26), 1707433.

基金项目：

江苏省博士后科学基金（No.1401159C）；

中国科学院百人计划，国家自然科学基金（No.11574349,61435010，61575089）；

江苏省自然科学基金（No.BK20150365）。

通过优化电子阻挡层改善深紫外半导体激光器的性能

霍青鸽 刘玉怀* 王芳**

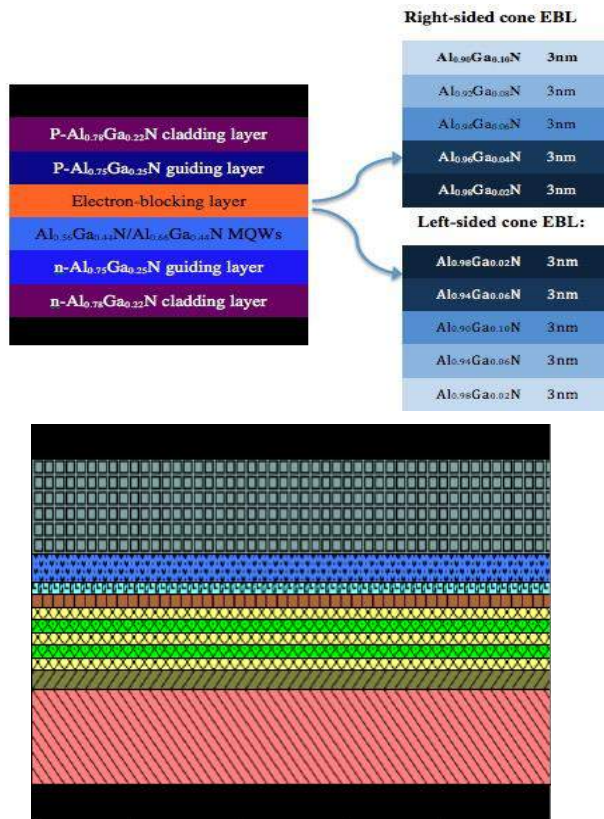
郑州大学电子材料与系统国家联合研究中心, 郑州 450001

郑州大学电子材料与系统国际联合实验室, 郑州 450001

郑州大学信息工程学院, 郑州 450001

Email: *ieyhliu@zzu.edu.cn; **iefwang@zzu.edu.cn

摘要: 激光二极管 (LD) 和发光二极管 (LED) 等紫外 (UV) 光子器件引起了很多人的兴趣, 包括光存储, 自由空间通信, 化学和生物武器剂检测, 净水, 废水处理和皮肤病学[1]。从理论的观点来看, III 族氮化物 (III-N) 半导体由于其宽带隙可以覆盖紫外光谱范围高达 200nm 而成为深紫外光子应用领域的良好候选者。而在 III-N 半导体材料中, 又以 GaN 半导体材料由于其较高的带隙(3.4eV) 而受到学者们的广泛关注。然而, GaN 基深紫外激光器依旧面临许多挑战, 例如大的位错密度和强的价带混合以及较大的电流溢出等[2]。为了减少电流的溢出, 提高 GaN 基深紫外激光器的性能, 目前常采取的方法是在生长完有源区量子阱之后, 再生长一层 p-AlGaN 电子阻挡层。这层 AlGaN 电子阻挡层能够提供额外的势垒, 有效地阻挡电子溢出有源区。Hansen 等人讨论了电子阻挡层的位置和生长温度对器件性能的影响, 他们从实验上得到低温下 (810 °C) 生长的 p-AlGaN 电子阻挡层更有利于降低激光器的阈值电流和提高发光效率, 并且生长完最后一层量子阱后直接生长电子阻挡层, 与生长完垒之后再生长电子阻挡层相比, 前者对电流溢出的抑制效果更好。[3] 本文提出了一种通过改进电子阻挡层来改善深紫外激光器件性能的方法。它通过左锥形电子阻挡层 (EBL) 应用于 GaN 基深紫外激光器件。通过仿真分析其与右锥形电子阻挡层和非锥形电子阻挡层对深紫外激光器性能的比较, 研究发现左锥形电子阻挡层器件的激光器相比其他两种优化形式, 其在发光效率表现出明显的提高, 其原因是左侧锥形电子阻挡层的引入能够明显提高电子和空穴的复合, 减小了错位密度, 从而提高了发光效率。



关键词：深紫外激光器 氮化镓 电子阻挡层

参考文献

- 【1】 Chen Lianghai, Ye Xiaojun, Chong Ming. Gallium nitride based blue laser diodes. *Physics*, 2003, 32(5):302(in Chinese)
- 【2】 N. Mastour, M. Mejatty, H. Bouchriha. *Superlat. Micro*, 82 (2015), pp. 461-471
- 【3】 Hansen M, Piprek J, Pattison P M, et al. Higher efficiency InGaN laser diodes with an improved quantum well capping configuration. *Appl Phys Lett*, 2002, 81:4275

基金项目：国家重点研发项目（NO. 2016YFE0118400）

Mg₃Sb₂ 基热电材料的制备、表征与热电性能研究

贺珍、魏平*、赵文俞、孙志刚、何雄、柯波、宁卓

武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室, 武汉 430070

Email: pingwei@whut.edu.cn

摘要: 热电材料能实现热能和电能的相互转换, 在余热废热利用和固态制冷等领域有重要的应用前景。其中 Mg₃Sb₂ 热电材料具有原料丰富、成本低廉和无毒无污染等优点, 是一种极具发展前景的中温热电材料。研究表明: Mg 空位缺陷是 Mg₃Sb₂ 基热电材料体系中存在的主要缺陷, Mg 空位的存在导致 Mg₃Sb₂ 基材料表现为固有的 p 型导电行为^[1]; 通过在初始组成中添加过量的 Mg 和在 Sb 位点阴离子掺杂或者在 Mg 位阳离子掺杂提供供体来抑制 Mg 空位形成, 可实现 n 型导电行为^[2]。本文研究了不同 Mg 掺杂对材料热电性能影响规律。我们采用真空封管退火工艺结合放电等离子烧结技术制备得到了 Mg₃Sb₂ 合金, 表征了其微观结构并研究了其热电性能。XRD 结果表明: 1073K 下熔融 36h 再 973K 下退火 3 天的样品主相为 Mg₃Sb₂ 相, 退火处理明显改善了相纯度; 高温 Hall 数据结果显示: 样品表现出较低的电导率, Seebeck 系数为正表现为 p 型导电行为, 873K 下 SPS 的 Mg_{3.1}Sb₂ 功率因子的最大值为 $1.3 \times 10^{-4} \text{W/mK}^2$ 。

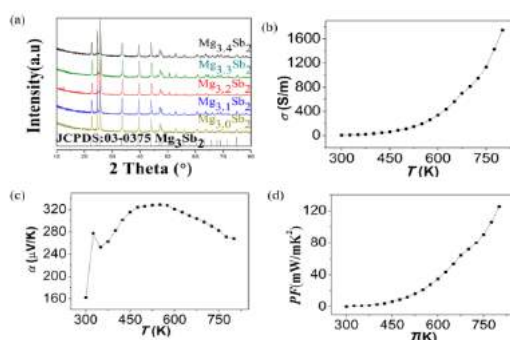


图 1 (a)为不同 Mg 过量比样品 1073K 熔融 36h 淬火再 973K 下退火 3 天后的 XRD 结果; 图(b)—(d)为 Mg_{3.1}Sb₂ 样品的高温 Hall 结果

关键词: 热电材料、Mg₃Sb₂、结构表征

参考文献

- [1] S.W. Song, J. Mao, M. Bordelon, R. Joint effect of magnesium and yttrium on enhancing thermoelectric properties of n-type Zintl Mg_{3+δ}Y_{0.02}Sb_{1.5}Bi_{0.5}[J]. Materials Today Physics, 2019, 8.
- [2] Mao J, Wu Y, Song S, et al. Defect Engineering for Realizing High Thermoelectric Performance in n-Type Mg₃Sb₂-Based Materials[J]. ACS Energy Letters, 2017:acsenergylett.7b00742.

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(批准号:11834012)和国家自然科学基金(批准号: 11574243, 11174231)资助。

简并半导体 BiCuXO (X = S, Se and Te)的电磁输运性质比较 及其电子-声子相互作用演化

陈思思¹、骆叶成¹、张燕燕²、董松涛³、吕洋洋¹、崔玉双²、姚淑华^{2,a}、周健²、陈延彬^{1,b}

¹ 南京大学物理学院, 南京, 210093

² 南京大学现代工程与应用科学学院, 南京, 210093

³ 江苏科技大学材料科学与工程学院, 镇江, 212003

a) Email: shyao@nju.edu.cn

b) Email: ybchen@nju.edu.cn

摘要: 近来层状 BiCuXO (X = S, Se and Te)化合物由于其良好的热电性质而广受关注。然而, 这类化合物的主要短板在于相对较大的电阻。探索 BiCuXO 中电子散射机制可以揭示如何优化其电导。本文中, 我们比较了简并半导体 BiCuXO 的电输运和磁输运性质。这些化合物都表现出典型的金属行为, 在温度高于 150K 以上的高温区, 面内电阻率线性依赖于温度。BiCuXO 化合物的磁电阻近似正比于外加磁场的平方, 当温度由 2K 增加到 300K 时, 磁电阻从 10%-16%降低到 0.5%。霍尔测试结果表明 BiCuXO 中参与输运的载流子为空穴, 这可能是源于 Bi 元素的缺失。温度高于 80K 时, 电子-光学支声子相互作用是 BiCuXO 化合物中电子散射的主要机制。通过分析 BiCuXO(X = S, Se and Te)电输运的纵向电阻率-温度依赖关系中的线性系数, 从而揭示出 BiCuSO 中平均电子-声子相互作用强度接近 BiCuSeO/BiCuTeO 的六倍。基于自由电子气的托马斯-费米模型, 相比较 BiCuSO, 是电子和离子之间高度屏蔽的库伦相互作用导致了 BiCuSeO/BiCuTeO 中较弱的电子-声子相互作用。这项工作有助于进一步优化 BiCuXO 化合物的电学性质, 以期满足将来热电材料的需求。

关键词: BiCuXO 化合物、简并半导体、电磁输运性质、电子-声子相互作用

参考文献

【1】L. D. Zhao, D. Berardan, Y. L. Pei, C. Bly, L. Pinsard-Gaudart, and N. Dragoë, "Bi_{1-x}Sr_xCuSeO oxyselenides as promising thermoelectric materials," *Appl. Phys. Lett.* 97, 092118 (2010).

【2】Y.-Y. Lv, B.-B. Zhang, X. Li, S.-H. Yao, Y. B. Chen, J. Zhou, S.-T. Zhang, M.-H. Lu, and Y.-F. Chen, "Extremely large and significantly anisotropic magnetoresistance in ZrSiS single crystals," *Appl. Phys. Lett.* 108, 244101 (2016).

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO.51872134, 11574131, 518906861, 11874210, 51702132, 11890702)

W₁₈O₄₉/单层 MoS₂ 异质结型拉曼散射增强基底

李明泽、邱腾

东南大学物理学院，南京 211189

Email: tqiu@seu.edu.cn

摘要：表面增强拉曼光谱（SERS）是一种用于探测和鉴定各种分子的有力而灵敏的分析工具，甚至可以用于单分子检测，在应用和学术研究上受到了持续的关注^[1]。具有 SERS 活性的半导体基底由于具有更低的成本和更好的生物相容性，在表面科学和生物检测等领域有望取得更广泛的实际应用。但早期的半导体 SERS 活性基底的增强大多基于化学增强机制，增强因子只有 10^3 。目前一般认为这种增强来源于半导体衬底材料与吸附分子之间产生的光致电荷转移，增大了拉曼散射截面^{[3][4]}。而光致电荷转移过程受基底材料中的激子共振、电子态密度以及电荷密度影响。若能通过一定手段使半导体基底实现更丰富的激子共振以及更高的电子态密度，对于其拉曼增强性能的提高是极其有利的^[5]。

课题组团队通过思考预测，提出了半导体异质结增强拉曼散射的概念，同时实验上通过磁控溅射及化学气相沉积方法，设计制备了垂直纳米厚度的 W₁₈O₄₉/单层 MoS₂ 异质结型基底，并进行相关实验验证。实验数据表明，在 W₁₈O₄₉/单层 MoS₂ 异质结基底上实现了超低浓度罗丹明 6G 的拉曼信号的检测，检测限低至 10^{-9} M，增强因子约为 3.45×10^7 。我们从实验和理论两方面证实，一方面，结型衬底的内部性质有利于单层 MoS₂ 中的受激产生电子与空穴分离并转移，使与吸附分子接触的 W₁₈O₄₉ 上层表面电荷密度显著提高，衬底-吸附分子复合体系之间的电子跃迁概率增大；另一方面，异质结构内部拥有更多可能的激子共振跃迁，使电荷转移得到更多的共振能量，两个因素共同作用实现了光致电荷转移巨增强过程，显著地提高了半导体基底拉曼增强性能。我们的研究为半导体拉曼散射增强基底开拓了新的思路，带来了更多的可能。

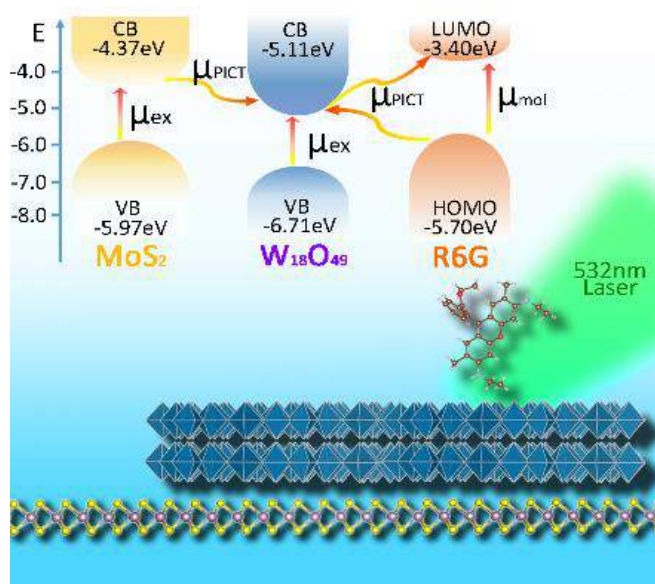


图1 $W_{18}O_{49}$ /单层 MoS_2 异质结型基底上拉曼增强过程示意图

关键词：半导体异质结，氧化钨，单层二硫化钼，光致电荷转移，拉曼增强

参考文献

- 【1】 Campion, A.; Kambhampati, P. Surface-enhanced Raman scattering. *Chem. Soc. Rev.* **1998**, *27* (4), 241-250.
- 【2】 Xie, J.; Zhang, Q.; Lee, J. Y.; Wang, D. I. C. The Synthesis of SERS-Active Gold Nanoflower Tags for In Vivo Applications. *ACS Nano* **2008**, *2* (12), 2473-2480.
- 【3】 Qiu, T.; Zhou, Y.; Li, J.; Zhang, W.; Lang, X.; Cui, T.; Chu, P. K. Hot spots in highly Raman-enhancing silver nano-dendrites. *J. Phys. D* **2009**, *42* (17), 175403.
- 【4】 Li, W.; Zamani, R.; Rivera Gil, P.; Pelaz, B.; Ibáñez, M.; Cadavid, D.; Shavel, A.; Alvarez-Puebla, R. A.; Parak, W. J.; Arbiol, J.; Cabot, A. CuTe Nanocrystals: Shape and Size Control, Plasmonic Properties, and Use as SERS Probes and Photothermal Agents. *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135* (19), 7098-7101.
- 【5】 Lombardi et al. Theory of surface-enhanced Raman scattering in semiconductors. *J. Phys. Chem. C* **118**, 11120–11130 (2014).

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11874108）

金属纳米结构包裹单根 ZnO 微米线构筑异质结基高效发光二极管

周祥博、姜明明、阚彩侠、施大宁

南京航空航天大学理学院, 南京 211106

Email: xiangbozhou@nuaa.edu.cn

摘要: 金属纳米结构的表面等离子体光学是近些年新兴起的研究领域, 它使得经典结构中不可能实现的光电器件成为可能, 在纳米集成光子学、生物探针标记、太阳能电池、表面增强拉曼光谱、以及改善和提高光电子器件发光效率等方面吸引了人们极大的兴趣和研究热情。特别是, 在半导体发光材料以及发光器件的性能提高方面, 金属纳米结构的场限域性与场增强特性被认为是提高发光效率的最有效手段之一。然而, 金属损耗、载流子有效注入、以及表面等离激元与半导体能带结构的不匹配是目前器件结构构筑过程中亟待需要解决的科学问题。近年来, 我们课题组合成了纵横比可调的金纳米棒(AuNRs), 并采用二氧化硅纳米薄膜实现了核壳结构的纳米棒(SiO₂/AuNRs)。在此基础上制备了金纳米棒包裹单根镓掺杂氧化锌(ZnO:Ga)微米线复合结构(AuNRs@ZnO:Ga), 以及 SiO₂/AuNRs@ZnO:Ga 微米线复合结构。利用该复合结构构筑单根微米线异质结基发光二极管。通过发光二极管电致发光特性分析与对比, 发现金属纳米结构的引入可以提高二极管的发光效率和调制发光特征, 包括发光中心波长蓝移, 光谱半峰宽的缩窄, 发光强度的增强。而且 10 nm 厚度 SiO₂ 的引入能更加有效地降低二极管的金属损耗, 使其发光输出强度增强显著增加。该实验结果为后续基于金属纳米结构构筑高性能光电器件提供了新的思路和解决方案。

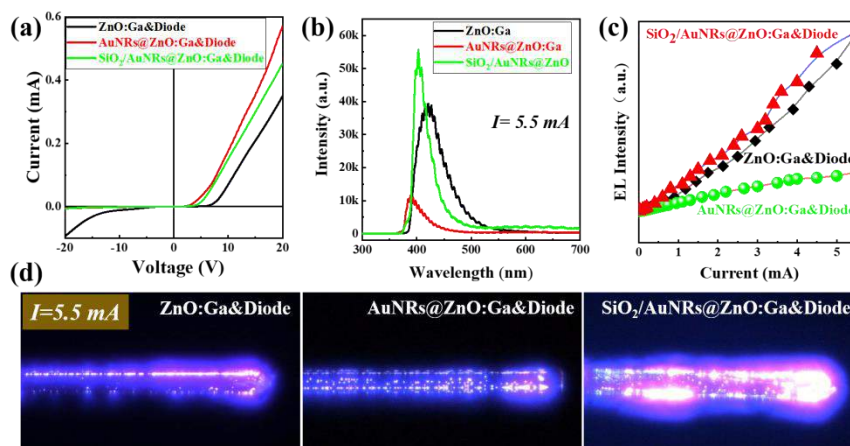


图 1 (a) IV 曲线; (b) $I=5.5$ mA 的 EL 光谱图; (c) EL 发光强度对比图; (d) 二极管发光照

片

关键词： 金属纳米结构，金属损耗，载流子有效注入，高效发光二极管

参考文献

【1】 M M Jiang et al. Wavelength-Tunable Waveguide Emissions from Electrically Driven Single ZnO/ZnO:Ga Superlattice Microwires[J]. ACS Appl. Mater. Interfaces 2019, 11, 11800–11811.

基金项目： 国家自然科学基金项目(Grant Nos. 11574307, U1604263, 11774171, 21805137 and 11874220) 和江苏省高等学校重点学科建设项目(KYZZ16-0164).

CuO/MQWs/GaN 相关器件的电致发光研究

李静杰、周毅坚、彭文博、王辉*、赵洋*

河南科技大学物理学院, 洛阳 471023

Email: wanghui08@haust.edu.cn zhaoyang04@haust.edu.cn

摘要:

白光发光二极管 (WLEDs) 由于具有高亮度、高效率、低能耗、使用寿命长、稳定性好等优异的性能, 受到全世界的广泛关注。然而绝大多数白光 LED 器件发光时存在紫外光, 因此减少光源的紫外光发射, 是保护视力的有效方法之一。

本文以 p-CuO 为空穴传输层, 在 GaN 量子上构建了异质结发光二极管。I-V 特性测试结果显示, 该器件具有较好的整流特性, 器件发光为白光, 如图 1 所示。该器件的发光峰是以 495 nm 为主且涵盖可见光范围的宽峰。我们对电流为 12 mA 时器件在的电致发光光谱进行了分峰拟合, 三个发光峰分别位于 423 nm (蓝光)、500 nm (绿光) 和 644 nm (红光)。通过 1931 CIE 图可以看出, 电流为 12 mA 时光源 (0.2976, 0.3226) 较接近白光 (0.33, 0.33), 对 CuO/ MQWs /GaN 器件的发光和能带结构图进行了进一步的分析研究, 明确了器件的电致发光机理。

我们成功制备了 CuO/ MQWs /GaN 异质结器件量子阱发光器件, 实现了器件的白光光发射。该器件的制备和研究有利于推动白光照明的工程的发展。

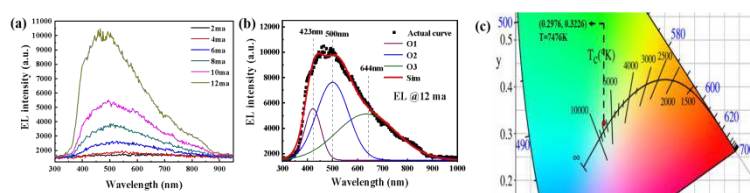


图 1 a. 不同注入电流下 EL 光谱; b. 电流为 12 mA 下 EL 光谱曲线拟合图; c. 电流为 12 mA 时光谱对应的 CIE 色度图

关键词: CuO LED 器件 电致发光

参考文献

- 【1】 X. M. Mo *et al.*, Near-ultraviolet light-emitting diodes realized from n-ZnO nanorod/p-GaN direct-bonding heterostructures, *Journal of Luminescence*. 2013, 137, 116-120.
- 【2】 C.W. Lin *et al.*, Effects of the emitted light spectrum of liquid crystal displays on light-induced retinal photoreceptor cell damage. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019, 20 (9), 2318.

- 【3】 W. A. Quitsch *et al.*, Low injection losses in InGaN/GaN LEDs: The correlation of photoluminescence, electroluminescence, and photocurrent measurements, *Journal of Applied Physics*. 2018, 123, 214502.
- 【4】 B. D. Liu *et al.*, Origin of yellow-band emission in epitaxially grown GaN nanowire arrays, *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2014, 6 (16), 14159-14166.

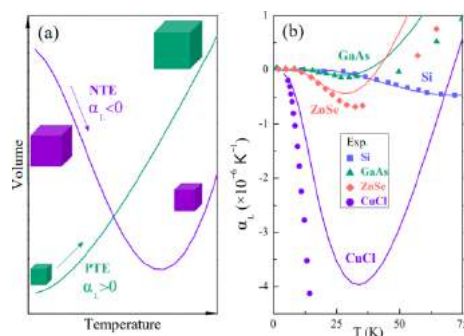
基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61674052、11404097）
河南省高等学校重点科研项目（NO. 20A140012）

Negative Thermal Expansion of Semiconductors: A Microscopic Insight

杨凯科

中国科学院半导体研究所, 北京 100083, 中国
Email: kaikeyang@semi.ac.cn

摘要: Upon heating, almost all zinc-blende (ZB) and diamond-like semiconductors undergo volume contraction at low temperature, i.e., negative thermal expansion (NTE), instead of commonly expected expansion. Specifically, CuCl has the largest NTE among these semiconductors with a coefficient comparable with the historically record value of ZrW_2O_8 . The underlying mechanism remains ambiguous. Here, we reveal that the material ionicity, which renders the softening of the bond-angle-bending and thus, the enhancement of excitation of the transverse acoustic (TA) phonon, is fundamentally responsible for the NTE of ZB and diamond-like semiconductors. With the increase in the ionicity from the groups IV, III-V, IIB-VI to IB-VII ZB semiconductors, the coefficient of the maximum NTE increases due to the weakness in bond-rotation effect, which makes the relative motion between cation and anion transverse to the direction of the bond more feasible and the mode Gruneisen parameters of the TA modes more negative. Since CuCl has the highest ionicity among all ZB and diamond-like semiconductors, it is expected to have the largest NTE, in good agreement with the experimental observation. This understanding sheds new light on the NTE of tetrahedron materials.



(a) 体积随温度变化结构示意图, (b) 理论计算与实验测量的半导体热膨胀系数。

关键词: Phonon, Thermal expansion, Anharmonicity, Electron-phonon interaction

Impurity diffusion induced dynamic electron donor in semiconductors

Wen-Hao Liu(刘文浩)、 Jun-Wei Luo(骆军委)

State Key Laboratory of Superlattices and Microstructures, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China

Email: liuwh@semi.ac.cn, jwluo@semi.ac.cn

Abstract: Low energy impurity diffusion in a host material is often regarded as an adiabatic process, characterized by its adiabatic potential energy barrier. Here, we show that the diffusion process in semiconductors can involve non-adiabatic electron excitations, rendering it to be a more complicated process. Impurity diffusion in a device working temperature can pump one electron up from localized impurity state into the host conduction band and causes the impurity to be a dynamic donor since it temporarily loses its electron to the host. This will render the impurity as a positively charge state during the critical diffusion process, thus different from the common ground state impurity charge state calculation results. Such “dynamic donor” behavior can result in fundamentally different diffusion path, barrier height, and potential energy surface (PES), and can resolve some of the long-standing puzzles, including why the experimentally measured activation energy is usually higher than the ground state based on barrier height calculations. In the text, we mainly demonstrate this process with Au metal impurity in bulk Si through time-dependent density functional theory simulations, as shown in Figure 1, and this could be a rather common phenomenon as it is shown that the similar phenomena also exist in Zn, Cd impurities diffusion in bulk Si, and Ti diffusion in TiO₂. We believe this study can open up a new direction of inquiry for such diffusion behavior in semiconductor.

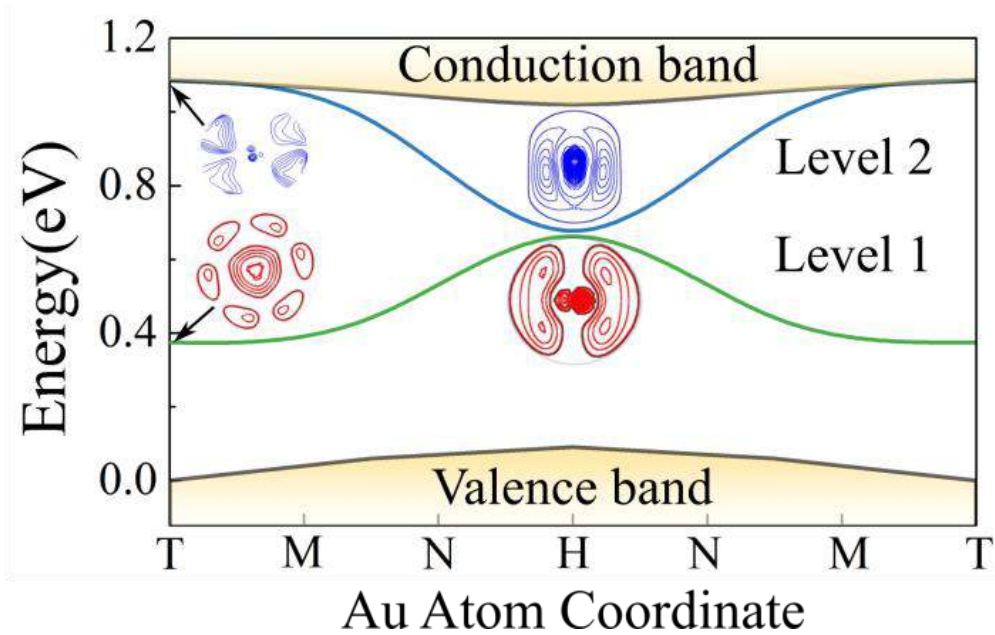


Figure. Evolution of eigenvalues as the interstitial Au impurity moves away from its initial T-site through H-site to T-site along the $\langle 111 \rangle$ direction. The insets are the wave functions of two impurity states for Au at T- and H-sites, respectively.

The key words: non-adiabatic molecular dynamics; diffusion; charge transfer.

碲纳米线的二次谐波

李家杰、甘雪涛*

西北工业大学理学院，西安 710072(710129)

Email: xuetaogan@nwpu.edu.cn

摘要：二次谐波是通过两个基频光子产生一个倍频光子的过程，可用于产生相干光源、材料表面光谱表征、高分辨成像等，还可以用于判断压电、热释电、铁电等效应。纳米线的二次谐波在实现新型纳米光电子器件方面具有巨大潜力，如纳米光源、全光开关、非线性转换器、光学自相关器等。此外，二次谐波还可以用于纳米线晶向判断。

本文针对化学气相沉积方法生长在 SiO_2/Si 衬底上的碲纳米线开展二次谐波研究。结果表明：当泵浦激光的偏振方向垂直于碲纳米线方向时有强二次谐波信号，而平行于碲纳米线方向时，几乎没有二次谐波信号；二次谐波信号的垂直分量为两瓣对称图样，而平行分量为四瓣非对称图样，且信号强度远远小于垂直分量；通过对二次谐波信号的拟合，得到了碲纳米线的晶向（具有[001]的生长方向），且与高分辨透射电子显微镜的表征结果一致。这种方法对样品和测试条件要求低，室温即可进行，相比于透射电镜更加方便。此外，碲纳米线的二次谐波信号在同等测试条件下比磷化铟纳米线强三倍，表明其具有高的二阶非线性极化率。

关键词：纳米线、二次谐波

参考文献

- 【1】 Y. M. Wei *et al.*, Structural discontinuity induced surface second harmonic generation in single, thin zinc-blende GaAs nanowires, *Nanoscale*, 2017, 9(41): 16066-16072.
- 【2】 M. L. Ren *et al.*, Crystallographic characterization of II–VI semiconducting nanostructures via optical second harmonic generation, *Nano lett.* 2015, 15(11): 7341-7346.
- 【3】 H. Hu *et al.*, Precise determination of the crystallographic orientations in single ZnS nanowires by second-harmonic generation microscopy, *Nano lett.* 2015, 15(5): 3351-3357.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61775183）等

具有高性能的自整流阻变存储器

刘奇、王文晓、李阳

济南大学信息科学与工程学院学院, 济南 250022

Email: ise_liy@ujn.edu.cn/lq90205@gmail.com

摘要: 作为新型阻变存储器, 忆阻器以其结构简单, 响应快速, 低功耗等特点受到了广泛的关注。其中无源忆阻器做成存储阵列字线和位线的接触最小为 $4F^2$ (F 为集成工艺的最小尺寸), 这为高密度的存储提供了可能。然而在存储阵列中存在不可避免地串扰电流问题, 这对读取操作造成了较大的干扰。为了解决这种问题, 不同结构的功能忆阻器被提出。例如, 1T1R、1S1R、1D1R、互补型忆阻器和自整流忆阻器等。但是在忆阻器上串联其他器件不仅使得制备工艺复杂化, 而且不利于高密度的集成。具有自整流功能的忆阻器不需要额外的集成, 以自身的 I-V 不对称性抑制了待读取单元附近的串扰电流, 能极大的简化电路。

课题组制备了基于 Cu/SnO₂ nanorod arrays: ZnO quantum dots/FTO 结构的具有自整流功能的忆阻器。其中纳米线阵列通过水热法合成, Cu 电极通过磁控溅射制备。制备的器件具有~1000 的开关比, 10⁴ s 的保持特性, 具有较小的阻值波动。制备的器件的整流特性由介质层和底电极 FTO 间的肖特基势垒导致, 阻变特性与介质层中的 Cu²⁺和介质层中 ZnO 陷阱相关。我们对 I-V 曲线进行了相应的拟合, 证明了基于肖特基势垒的阻变模型。

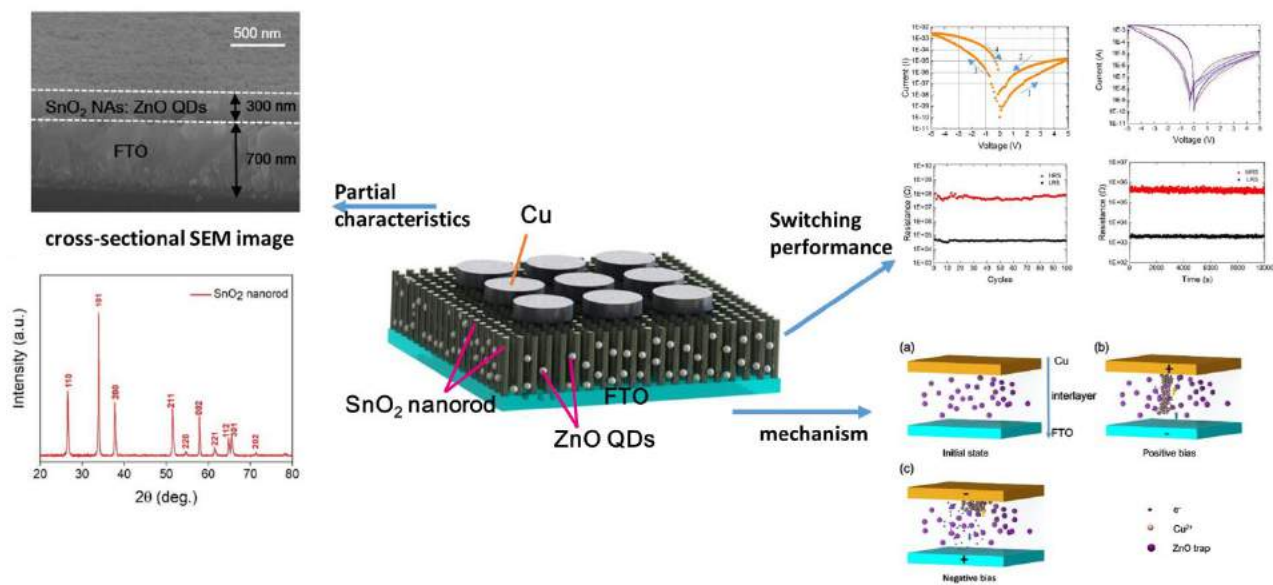


图1 本课题组提出的基于 Cu/SnO₂ nanorod arrays: ZnO quantum dots/FTO 结构的具有自整流功能的忆阻器及其性能表征。

关键词：忆阻器 自整流 SnO₂ nanorod arrays

【1】 C. Sun *et al.*, Self-selective van der Waals heterostructures for large scale memory array, *Nat. Commun.* 2013, 10 (4), 1771.

【2】 D. Wang *et al.*, Quantum conductance in MoS₂ quantum dots-based nonvolatile resistive memory device, *Appl. Phys. Lett.* 2017, 110 (9), 093501

基金项目： 本研究受到国家自然科学基金项目（NO. 61805101, 61604060），山东省自然科学基金（NO. ZR2017JL027, ZR2019BF013）以及中国博士后基金（NO. 2018M632605）的资助。

高性能、多阻态阻变存储器的研究

王文晓、刘奇、李阳

济南大学信息科学与工程学院，济南 250022

Email: ise_liy@ujn.edu.cn / W_wx.edu@outlook.com

摘要：阻变存储器（RRAM）由于其具有小尺寸、低功耗、高响应速度且制备工艺与 CMOS 兼容的特点，在下一代非易失性存储器中展现出了巨大的应用潜力。然而现如今的 RRAM 一般只有两个阻态，分别对应于高阻态（HRS）与低阻态（LRS），面对如今的大数据时代，二值存储显然已经难以满足高密度与大规模存储的要求。最近，许多研究者提出了多值 RRAM 的概念，即能够通过调节施加在器件上电压或限制电流进而实现多个阻值转变的器件，这不仅缩小了芯片面积，也解决了高密度存储的问题。现阶段，多值 RRAM 已成为下一代非易失性存储器的研究热点。

量子点作为一种在三个维度上都为几个纳米的材料，因其具备优异的特性，例如量子局域与边缘缺陷效应、浓度精准可调等，已经广泛应用在 RRAM 中。相比于大多数的量子点，氧化锌量子点（ZnO QDs）因其制备方法简单、环境友好且带隙较宽等的优点，在多值 RRAM 中的应用有待发掘。与作为电荷阻挡层的聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）相结合，利用旋涂法制备出了基于 Al/PMMA/ZnO QDs/PMMA/ZnO QDs/PMMA/FTO 结构的器件，并研究了 ZnO QDs 浓度对器件开关比的影响。最优的器件能在至少 200 次的脉冲循环与 5000 秒的保留时间下保持高度稳定性。通过调节施加在器件上的限制电流，实现了在单个器件中四个均匀阻态的转变，分别对应于一个 HRS 与三个 LRS。分析得出，不同的限制电流下形成了强度不同的导电丝，这是造成器件展现出多值存储的原因。综合来讲，ZnO QDs 基多值 RRAM 在多级数据存储与高密度存储中有着良好的应用潜力。

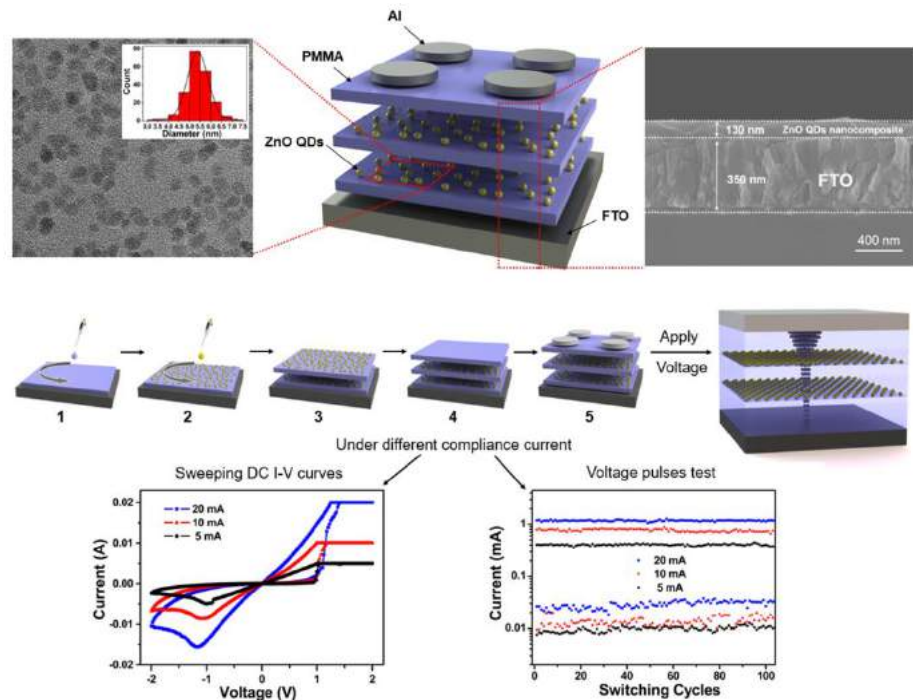


图 1 ZnO QDs 基多值 RRAM 的器件制备流程及其在多阻值存储的应用

关键词：多值 RRAM 氧化锌量子点

参考文献

- 【1】 S. Liu et al., Broadband High Sensitivity ZnO Colloidal Quantum Dots/Self-assembled Au Nano-antennas Heterostructures Photodetectors, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2018, 10 (38), 32516-32525.
- 【2】 Q. Xia et al., Memristor-CMOS Hybrid Integrated Circuits for Reconfigurable Logic, *Nano Lett.*, 2009, 9 (10), 3640-5.
- 【3】 J. -M. Yang et al., Perovskite-related $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_3\text{Sb}_2\text{Br}_9$ for Forming-Free Memristor and Low-Energy-Consuming Neuromorphic Computing, *Nanoscale*, 2019, 11 (13), 6453-6461.
- 【4】 V. K. Nagareddy et al., Multilevel Ultrafast Flexible Nanoscale Nonvolatile Hybrid Graphene Oxide-Titanium Oxide Memories, *ACS Nano.*, 2017, 11 (3), 3010-3021.
- 【5】 M. Xiao et al., Reliable and Low-Power Multilevel Resistive Switching in TiO_2 Nanorod Arrays Structured with a TiO_x Seed Layer, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2017, 9 (5), 4808-4817.
- 【6】 C. Mahata et al., SiO_2 layer effect on atomic layer deposition Al_2O_3 -based resistive switching memory, *Appl. Phys. Lett.*, 2019, 114 (18), 182102.
- 【7】 V. Kannan et al., Ultra-fast switching in solution processed quantum dot based non-volatile resistive memory, *Appl. Phys. Lett.*, 2011, 99 (14), 143504.
- 【8】 S. -T. Han et al., Black Phosphorus Quantum Dots with Tunable Memory Properties and Multilevel Resistive Switching Characteristic, *Adv. Electron. Mater.*, 2017, 4 (8), 1600435.
- 【9】 D. Bera et al., Quantum Dots and Their Multimodal Applications: A Review, *Materials*, 2010, 3 (4), 2260-2345.
- 【10】 刘明. 半导体存储器技术[J]. 科技导报, 2019, 37(03), 62-65.
- 【11】 林其芃, 一种基于多值 RRAM 的快速逻辑电路[J], 微电子学, 2017, 47(04): 514-518.

基金项目：本研究受到国家自然科学基金项目（NO. 61805101, 61604060），山东省自然科学基金（NO. ZR2017JL027, ZR2019BF013）以及中国博士后基金（NO. 2018M632605）的资助。

Photovoltaic Broadband Photodetectors Based on Perovskite Thin Films Grown on Silicon Nanoporous Pillar Array

Yan Cheng, Zhi-feng Shi, Xin-Jian Li

School of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China
Key Laboratory of Material Physics of Ministry of Education, Zhengzhou University,
Zhengzhou 450001, China

Email: 526667208@qq.com; shizf@zzu.edu.cn; lixj@zzu.edu.cn

High-performance broadband photodetectors are highly desired because of their great importance and application potentials in numerous fields.¹⁻⁴ In this study, we proposed a perovskite-based photovoltaic broadband photodetectors using silicon nanoporous pillar array (Si-NPA) as the hole-transport layer as well as the growth template.⁵ By optimizing the conditions of solvent vapors annealing approach, the conformal growth of high-quality $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ (MAPbI₃) thin films was achieved with a high material integrity,⁶ Thus enabling a rapid and efficient carrier transport at the MAPbI₃/Si-NPA interface. The photoresponse analysis reveals that the devices exhibit a high light sensitivity from the deep ultraviolet to the near-infrared region and a pronounced photovoltaic behavior. Typically, a high on/off ratio of 1.6×10^3 , a photoresponsivity of 6.46 mA/W, a specific detectivity of 0.397×10^{11} Jones, and fast response speeds of 253/230 μs were achieved at zero bias under a light illumination of 780 nm. Because of the usage of inorganic and air-stable carrier-transport layers (Si-NPA, ZnO), and the desirable coaxial core/shell heterojunction architecture for a full protection of vulnerable MAPbI₃ active layer from exposure to air ambient the studied photodetectors without encapsulation can operate with excellent stability and repeatability in a wide frequency range over 5000 Hz and continuous light switching (1200 cycles). Even after one-month storage in air ambient condition, the devices can still operate properly. The results obtained will provide an effective strategy for the design and development of high-performance broadband photodetectors by combining the advantages of perovskites and functional Si-NPA template.

Key words: silicon nanoporous pillar array; perovskites; self-powered; broadband; photodetectors

References

1. Rogalski, A.; Antoszewski, J.; Faraone, L. Third-Generation Infrared Photodetector Arrays. *J. Appl. Phys.* 2009, 105, 4.
2. Liang, F. X.; Wang, J. Z.; Li, Z. P.; Luo, L. B. Near-Infrared-Light Photodetectors based on One-Dimensional Inorganic Semiconductor Nanostructures. *Adv. Opt. Mater.* 2017, 5, 1700081.
3. Jansen-Van Vuuren, R. D.; Armin, A.; Pandey, A. K.; Burn, P. L.; Meredith, P. Organic Photodiodes: The Future of Full Color Detection and Image Sensing. *Adv. Mater.* 2016, 28, 4766.
4. Xie, Y.; Gong, M.; Shastry, T. A.; Lohrman, J.; Hersam, M. C.; Ren, S. Broad-Spectral-Response Nanocarbon Bulk-Heterojunction Excitonic Photodetectors. *Adv. Mater.* 2013, 25, 3433.
5. Xu, H. J.; Li, X. J. Silicon Nanoporous Pillar Array: A Silicon Hierarchical Structure with High Light Absorption and Triple-Band Photoluminescence. *Opt. Express* 2008, 16, 2933.
6. Liu, J.; Gao, C.; He, X.; Ye, Q.; Ouyang, L.; Zhuang, D.; Liao, C.; Mei, J.; Lau, W. Improved Crystallization of Perovskite Films by Optimized Solvent Annealing for High Efficiency Solar Cell. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2015, 7, 24008.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61774136）

Self-powered Light-emitting Ultraviolet Photodetectors Based on All-inorganic Perovskite Cs₂AgBiBr₆

Yin Shuting、Li Xinjian

Key Laboratory of Materials Physics of Ministry of Education, Department of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Daxue Road 75, Zhengzhou 450052, China

Email: 1920556042@qq.com

Abstract: Recently, the halide perovskite-based materials have gain so much attention because of their superior capabilities in photoelectric applications. However, the instability and lead-toxicity are two major obstacles for their practical production. Consequently, a kind of new material, the all-inorganic lead-free stable double perovskite Cs₂AgBiBr₆ has drawn widely attention due to its extremely excellent photoelectric and physical performances, such as the adjustable band gap, non-toxic and quite stable, and the photodetectors based on this double perovskite material have also emerged in large numbers. However, the investigation on the self-driven photodetectors for this material is still as a shallow research. In this paper, we have been prepared high quality Cs₂AgBiBr₆ films by one-step spin coating, and the optical properties of the as-grown Cs₂AgBiBr₆ thin films were investigated. To verify the potential applications of the Cs₂AgBiBr₆ material in photoelectric devices, the Ag/*p*-NiO/Cs₂AgBiBr₆/*n*-GaN/Ag photodetectors were therefore fabricated, which the *p*-NiO was by the magnetron sputtering deposition. The device performances are as follows, the highest responsivity was 0.0013 AW⁻¹ and the on/off photocurrent ratio was 0.48x10⁴, besides, the specific detectivity was 1.47x10¹¹ Jones. Our results indicate that this lead-free double perovskite Cs₂AgBiBr₆ will promisingly be an environmentally friendly alternative material to fabricate high-efficiency and stable perovskite photodetectors.

Keywords: perovskite, photodetector

References:

- [1] L. Z. Lei, *et al.*, High-efficiency and air-stable photodetectors based on lead-free double perovskite Cs₂AgBiBr₆ thin films, *J. Mater. Chem. C*, 2018, 6, 7982.

新型层状半导体 $K_{0.8}Ni_{0.4}Ti_{1.6}O_4$ 纳米片: 合成、微观结构和对 MB 的光催化降解

杨逗¹、Hassan Qadeer-UI¹、周剑平^{1,*}、陈启文¹、
朱盼盼¹、

1. 陕西师范大学 物理学与信息技术学院, 西安 710119

Email: zhoujp@snnu.edu.cn (周剑平)

摘要: 二氧化钛基的材料被广泛研究应用在各式各样的领域包括敏化太阳能电池、气体传感器,光催化合成及光电,电变色,光化学,燃料电池,生物抗菌等。在过去几年里,许多的方法被应用于提高二氧化钛光催化活性的金属硫化物形成异质结负载金属或金属氧化物纳米粒子,或掺杂非金属和金属原子。在染整过程中,每年有近 2×10^5 吨工业染料流失到废水中,对我国水资源造成严重污染。迫在眉睫的是研究新型高效的染料降解材料。过渡金属掺杂 TiO_2 用来光催化降解水中有机污染物也是近年来的研究热点。

近年来,我们先后采用简单的一步水热法合成了 $Na_{0.9}Mg_{0.45}Ti_{3.55}O_8$ 、 $Na_2Fe_2Ti_6O_{16}$ 和 $K_{1.46}Fe_{0.8}Ti_{7.2}O_{16}$ 。现在, $K_{0.8}Ni_{0.4}Ti_{1.6}O_4$ (KNTO) 也通过这种方式制备获得。然而,这种材料于 1980 年首次由固相方法合成,并没有深入彻底的内在特征表征和物理化学性能测试。作为单晶, KNTO 半导体具有竹叶状般的形貌。除此之外, KNTO 与 $Na_2Fe_2Ti_6O_{16}$ 和 $K_{1.46}Fe_{0.8}Ti_{7.2}O_{16}$ 一样享有双吸收。我们合成的 KNTO 不仅将 TiO_2 对光的吸收从不可见光扩展到可见光,此种材料的双吸收进一步增强了对光的响应。对污染物亚甲基蓝的吸附 30min 和光催化降解 20min 后达到 79%, 降解机理如下图。

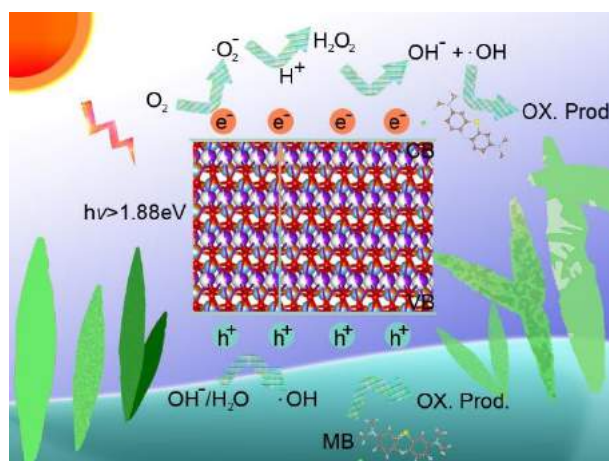


图: KNTO 对 MB 的光催化降解机理

关键词: 水热制备, 半导体, KNTO 纳米片, 层状钛酸盐, 双吸收, 光催化

参考文献:

[1] Z.-Q. Guo, J.-P. Zhou, L.-L. An, J.-X. Jiang, G.-Q. Zhu, C.-Y. Deng. A new-type of semiconductor $Na_{0.9}Mg_{0.45}Ti_{3.55}O_8$: preparation, characterization and photocatalysis. *J. Mater. Chem. A*. 2014, 2, 20358.

深紫外激光器势垒层优化提高器件性能

谷延春、王芳、刘玉怀

郑州大学信息工程学院，郑州 450002

Email: springguyan@outlook.com

摘要：深紫外半导体材料在医疗、通信、探测等领域有着 LED 所无法比拟的优势，吸引着越来越多的人的注意。近些年来，第三代半导体激光器取得了明显的成果，通过调控 AlN 和 GaN 构成的 AlGaIn 材料中的 Al 组分，半导体激光器发射不同波长的光。然而，由于制备困难，难以获得结晶质量较好的 AlN[1]，空穴的有效质量大，迁移速度低[2]，电子泄漏，内部极化等问题，阻碍了前进的步伐。人们通过增加电子阻挡层、改变有源区材料、减少极化等方式优化器件结构，减少电阻，提高内部量子效率，减少电子泄露。

本文通过建立参考模型，有源区为 $\text{Al}_{0.54}\text{Ga}_{0.46}\text{N}/\text{Al}_{0.64}\text{Ga}_{0.36}\text{N}$ 的双量子阱结构，发射 273nm 的光，但是受激辐射发出的光主要集中在第二个阱区，能量分散。为了使能量集中，在参考模型的基础上，改变两个阱区之间势垒层的 Al 组分，其结构为 $\text{Al}_{0.64}\text{Ga}_{0.36}\text{N}$ 2nm/ $\text{Al}_{0.62}\text{Ga}_{0.38}\text{N}$ 2nm/ $\text{Al}_{0.66}\text{Ga}_{0.34}\text{N}$ 2nm/ $\text{Al}_{0.64}\text{Ga}_{0.36}\text{N}$ 2nm。最终通过模拟仿真发现，其电学特性并没有发生明显的变化，因为该势垒等价于 $\text{Al}_{0.64}\text{Ga}_{0.36}\text{N}$ 。但是，与参考结构相比，第一个阱区的电子和空穴浓度明显增加，第二个阱区的空穴浓度降低，辐射复合的变化特性与空穴相同，第一个阱区受激辐射复合率更高，能量更为集中。

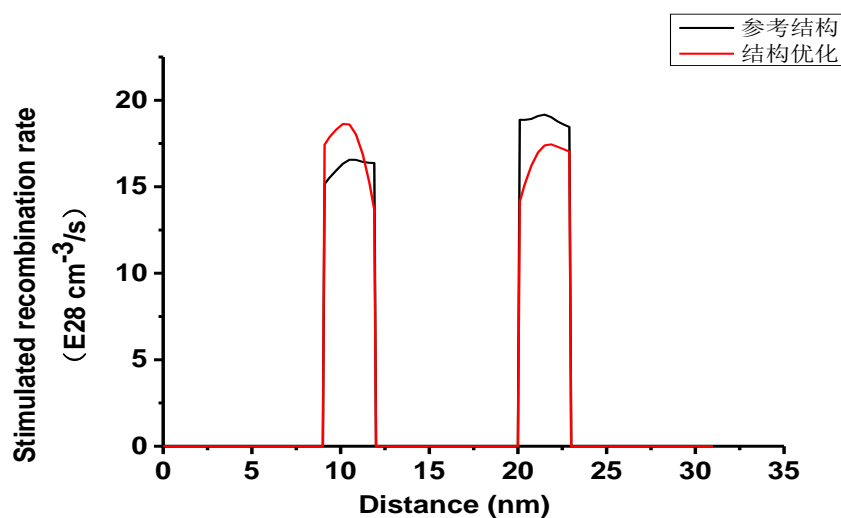


图 1 273nm 深紫外半导体激光器参考结构个优化结构的受激辐射率分布

关键词：深紫外半导体、双量子阱、受激辐射、空穴

参考文献

- 【1】 Dabing Li, Ke Jiang, Xiaojuan Sun, Chunlei Guo, “AlGaIn photonics: recent advances in materials and ultraviolet devices”, *Adv. Opt. Photon.* 10 (2018) 43–110
- 【2】 Mostafa Zaman Chowdhury, M.T. Hossain, Amirul Islam, Yeong Min Jang, “A Comparative Survey of Optical Wireless Technologies: Architectures and Applications”, *IEEE Access* 6 (2018) 16.

基金项目：本研究由国家重点研发计划项目(2016YFE0118400)、河南省科技攻关项目(172102410062)以及国家自然科学基金河南省联合基金重点项目(U1604263)的资助。

一种具备吸附和光催化性能连续固溶体材料

陈启文、周剑平*、杨逗、朱盼盼

陕西师范大学 物理学与信息技术学院, 西安 710119

Email: zhoujp@snnu.edu.cn (周剑平)

摘要: 光催化剂目前在治理水污染的问题上越来越体现出其重要性, 由于许多的有机污染物直接排放在水体中, 会使得水生物大量死亡, 也会对人的皮肤和眼睛造成伤害, 所以有效去除水体中的污染物具有非同凡响的意义。

目前常常使用物理吸附和催化降解的方法来去除水体中的有机污染物, 从而许多的研究者研发了很多具备优良性能的吸附剂和光催化剂, 可是这些材料虽然性能优良, 但是其自身存在的一些缺陷使其无法直接应用到生活和生产中。不仅需要有效的移除或降解有机污染物, 还要确保材料本身是否有毒和可回收性, 避免造成二次污染。所以性能优良的多功能材料越来越受欢迎, 人们渴望无毒无害, 性能优良可回收的多功能光催化材料。

本工作采用一步水热法, 将性能优良的光催化剂 $\text{Na}_{0.9}\text{Mg}_{0.45}\text{Ti}_{3.55}\text{O}_8$ (NMTO) 和吸附能力强劲的 NFTO 在其极限生成条件下, 通过调控 $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Ti}_6\text{O}_{16}$ (NFTO) 的占比, 制备了纳米片状的 $\text{Na}_{0.9}\text{Mg}_{0.45}\text{Ti}_{3.55}\text{O}_8$ - $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Ti}_6\text{O}_{16}$ (NFMTO) 连续固溶体光催化剂, 其不仅具备优异的吸附性能, 还具备高效的光催化降解能力。通过研究发现, 不同组分的 NFMTO 其催化性能和吸附性能较纯的 NMTO 和 NFTO 都有显著的提高。

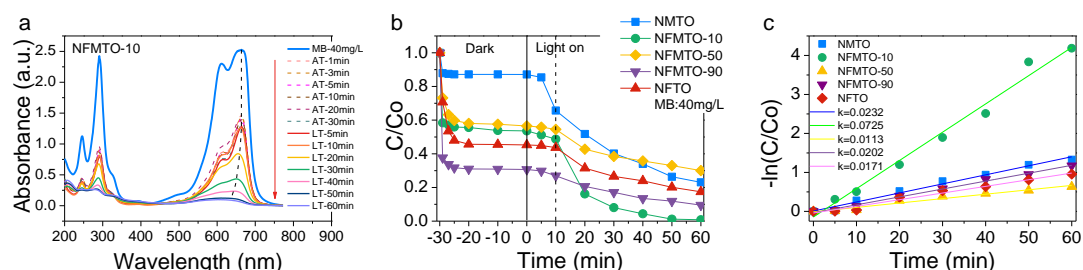


图 a 连续固溶体 NFMTO-10 对浓度为 40mg/L 的 MB 溶液不同时刻的吸收光谱

图 b 不同组分连续固溶体 NFMTO-x(x=10, 50, 90)及纯 NMTO 和 NFTO 的 C/C₀ 对比

图 c 不同组分连续固溶体 NFMTO-x(x=10, 50, 90)及纯 NMTO 和 NFTO 的降解率 k 对比

关键词: 水热法 多功能 吸附 光催化

参考文献:

- Z.-Q. Guo, J.-P. Zhou, L.-L. An, J.-X. Jiang, G.-Q. Zhu and C.-Y. Deng, *J. Mater. Chem. A*, 2014, **2**, 20358-20366.
- Z.-Q. Guo, N.-X. Miao, J.-P. Zhou, Y.-X. Lei, Q. U. Hassan and M.-M. Zhou, *J. Mater. Chem. A*, 2017, **5**, 17589-17600.

宽谱太赫兹量子阱探测器的研究

李锐志^{1,3}, 符张龙¹, 邵棣祥², 顾亮亮², 谭智勇¹, 张真真¹, 王海

霞¹,

曹俊诚¹

- 1) 中科院上海微系统与信息技术研究所太赫兹固态技术重点实验室, 上海 200050;
- 2) 上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093;
- 3) 中国科学院大学, 北京 100049

Email: rzli@mail.sim.ac.cn

摘要: 太赫兹 (THz) 波在光谱技术、成像、通信和安全监测等领域具有广阔的应用场景, 而太赫兹量子阱探测器是该技术发展的关键器件之一^{1,2,3,4}。THz 量子阱探测器 (QWP) 是利用量子阱中束缚态电子吸收 THz 光子从而跃迁至连续态, 并在外加偏压下形成光电流。然而, THz QWP 器件受限于热激发载流子产生的暗电流, 难以制备响应光子频率低于 3 THz 较低子带能级差的器件。本文对 THz QWP 势垒层进行了优化设计, 成功制备了 45° 角入射宽谱 THz QWP, 并对其性能进行了详细测试。器件浸泡在 4.2 K 液氮中, 全暗态电流-电压 (I-V) 测量结果显示, 器件 I-V 以及最佳工作区间 (正负方向扫描形成的电子雪崩滞留区) 均具有较好的对称性。时间间隔为 5 个小时的 I-V 重复性试验也显示 I-V 具有高度重复性, 证明器件具有较好的时间稳定性。光谱测试结果显示, 器件峰值响应频率 ~2.0 THz, 并在 2.4 THz 和 3.6 THz 频率附近存在响应次峰, 响应半高宽范围为 2 - 4.5 THz, 响应范围为 2-7.5 THz & 9-20 THz, 响应范围达到 16.5 THz。该器件是 THz 波段首个可以实现超宽谱探测的太赫兹量子阱探测器。

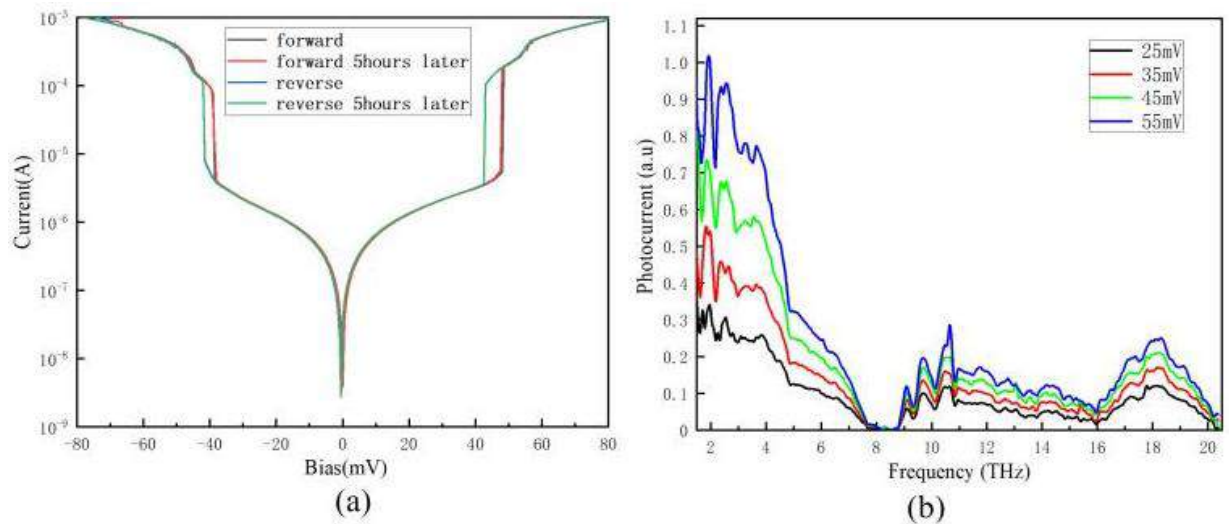


图 1 (a) THz QWP 浸泡在 4.2 K 液氮中的电流-电压特性曲线，偏压施加方式分别为从负到正与从正到负，以及 5 个小时稳定性测试曲线。图 1 (b) THz QWP 工作在不同偏压下的光电流响应特性。

关键词：太赫兹 量子阱 探测器 宽谱

参考文献

- 【1】 B. Ferguson and X.-C. Zhang, "Materials for terahertz science and technology," *Nature Mater.*, vol. 1, pp. 26–33, Jan. 2002.
- 【2】 Cao J C et al 2012 37th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves
- 【3】 H. C. Liu, C. Y. Song, A. J. SpringThorpe, and J. C. Cao, "Terahertz quantum-well photodetector," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 84, pp. 4068–4070, May 2004.
- 【4】 Zhang R, Fu Z L, Gu L L, Guo X G and Cao J C 2014 *App.Phys. Lett.* 105 231123

基金项目：国家重点研发计划资助项目（2017YFF0106302）；国家自然科学基金资助项目（61775229，61575214）；上海市青年科技英才扬帆计划资助项目（17YF1429900）

少层二硫化钨的激光剥离

李瑶 高廷阁

天津大学分子+研究院, 天津大学, 天津 300072

Email: tinggegao@tju.edu.cn

摘要: 块状二硫化钨 (WS_2) 是间接带隙半导体, 带隙为 1.4eV , 单层二硫化钨是直接带隙半导体, 带隙为 1.9eV , 少层 (两层或者更多层) 二硫化钨带隙介于二者之间。单层二硫化钨的光致发光特性是它引起兴趣的一个关键因素。在通常的制备单层二硫化钨的方法 (比如化学气相沉积和物理气相沉积) 中, 会产生大量的少层二硫化钨。这些少层二硫化钨的带隙在单层和块体之间, 它的发光强度较差, 不利于实际应用。我们在研究中发现, 一定强度的激光照射可以改变少层二硫化钨的厚度, 使其变成单层。激光功率越高, 改变的速度也越快。但如果激光照射时间过长, 就会破坏单层的结构, 使其发光变弱直至不再发光。由此, 我们可以通过改变激光的形状得到相应形状的单层, 通过对激光位置的改变进而控制单层产生的位置, 或者通过激光功率和照射时间的改变控制 WS_2 的厚度。这将极大的促进单层过渡金属硫化物材料在光电器件中的应用。

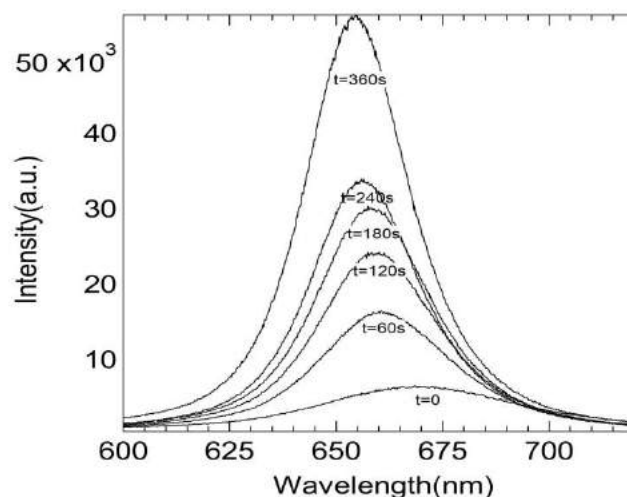


图 1 少层光致发光随激光照射时间的变化

关键词: 单层二硫化钨, 光致发光, 激光诱导减薄

参考文献

- 【1】 Castellanos-Gomez A, Barkelid M, Goossens S M, et al. Laser-thinning of MoS_2 : on demand generation of a single-layer semiconductor[J]. Nano Letters, 2012, 12(6):3187.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11874278)

Rubrene/PBSA混合膜的溶液法制备及结晶行为研究

高旭静、刘文涛、刘浩、黄森铭、何素芹、朱诚身

郑州大学材料科学与工程学院, 郑州 450002

Email: gaoxj8701@126.com

摘要: 红荧烯 (Rubrene) 作为一种典型的P-型有机半导体材料, 其单晶保持着场效应迁移率 $40 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 的最高纪录^[1]。目前红荧烯薄膜最广泛的制备方法为物理气相沉积法, 但这种方法成本太高且操作复杂, 因此本工作以PBSA (-O-(CH₂)₄-O-CO-(CH₂)₂,4-CO-) 作为聚合物粘合剂, FTO (掺杂氟的氧化锡导电玻璃) 作为基底, 采用简单的热退火辅助溶液旋涂法制备红荧烯晶体薄膜。依据一系列实验结果可知, 成膜方法和热退火温度对Rubrene/PBSA混合膜的结晶有非常大的影响, 溶液旋涂法辅助190°C热退火可制得含有正交晶系的混合晶体薄膜。Rubrene和PBSA不同配比以及混合溶液不同质量分数对混合膜的结晶也有影响。纯Rubrene晶体膜及配比较低(0.5:1和1:1)的Rubrene/PBSA混合膜均为三斜晶系的枝状晶, 而配比2:1至5:1的晶体膜为正交晶系为主的多晶膜, 尤其配比为4:1的混合膜为正交结构晶体膜, 证明这一配比为混合膜的最优配比。随着混合溶液质量分数的增加, 混合膜的结晶质量有显著的提高。但三斜晶系也随之出现, 这主要是因为随着质量分数的增加, PBSA的含量也随之增多。因此PBSA的加入既对Rubrene的结晶取向有很大帮助, 又在一定程度上阻碍了Rubrene的正交结晶, 这是一个协同的过程。

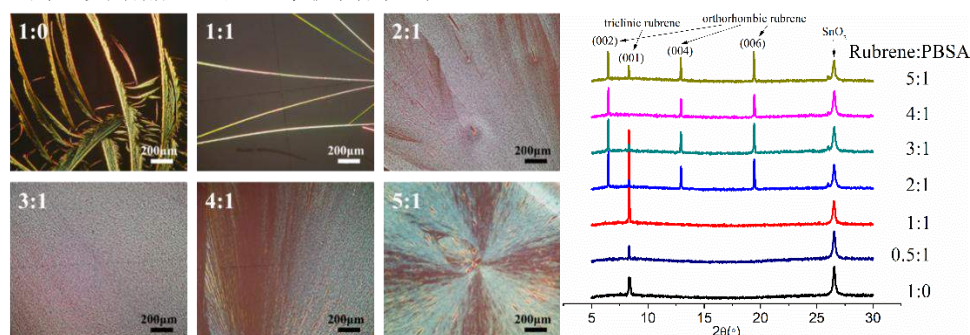


图1 不同配比Rubrene/PBSA混合膜的偏光图及XRD图谱 (图示配比为Rubrene: PBSA)

关键词: Rubrene PBSA 溶液旋涂法 热退火 正交晶系

参考文献:

【1】 [1] Sundar V. C., Zaumseil J., Podzorov V., et al. Elastomeric Transistor Stamps: Reversible Probing of Charge Transport in Organic Crystals[J]. Science, 2004, 303: 1644-1646.

基金项目: 自然科学基金: U1504527 和 51703207

电子束蒸发结合退火工艺制备 p 型和 n 型 SnO 薄膜

潘玲、陈永生

郑州大学物理工程学院材料物理重点实验室, 郑州 450002

Email: 1552542307@qq.com

摘要: 近年来, 半导体金属氧化物通过改变其尺寸、结构、组成和化学计量, 表现出可调谐的电子、物理和化学性质, 广泛应用于传感器、薄膜晶体管和互补金属氧化物半导体的纳米材料类[1]。其中, 具有四方 PbO 型晶体结构的 SnO, 在电子和光电子器件中的应用越来越受到人们的关注。它有一个很大的光学带隙(2.5~3.4eV), 由于 Sn 空位(V_{Sn})缺陷形成能较低, 一般表现为 p 型导电性, 其中 Sn 处于 Sn^{2+} 氧化态。此外, 价带中 Sn_{5s} 和 O_{2p} 轨道的显著杂化使其获得了较高的空穴迁移率。

课题组团队采用了电子束蒸发结合退火工艺, 在石英玻璃衬底上分别成功地制备了未掺杂的 p 型和 n 型氧化锡(SnO)薄膜。通过 X 射线衍射仪(XRD, X'pert PRO), 扫描电子显微镜(SEM, JEOL, JSM-6700F), 原子力显微镜(AFM), 紫外-可见-近红外分光光度计(HITACHI-UH4150), 霍尔测试仪(ET-9000), 高分辨率拉曼光谱仪(RENISHAW in Via Raman Microscope), X 射线光电子能谱(XPS)和紫外光谱(UPS)研究了 SnO 薄膜的成分, 表面形貌, 光学, 电学, 分子相结构和振动模式, 分子化学态组成以及价带等物理化学性质。在此基础上, 我们提出一种制备未掺杂的 p 型和 n 型氧化锡(SnO)薄膜的方法, p 型和 n 型 SnO 薄膜的可控制备有助于高性能器件的发展。

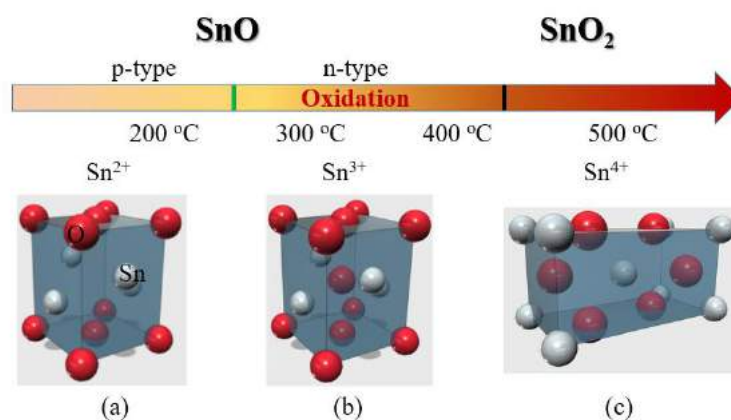


图 1 空气中退火温度的膜性能的演变

关键词: SnO 薄膜, 电子束蒸发, 空气退火, 霍尔测试

参考文献

【1】 Nunes D., Pimentel A., Gonçalves A., Pereira S., Branquinho R., Barquinha P., Fortunato E., Martins R, Metal oxide nanostructures for sensor applications, *Semicond. Sci. Technol.* 34 (2019) 043001.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61574129）

超高空穴迁移率 GaSb 纳米线红外探测器

孙嘉敏、杨再兴

山东大学微电子学院，济南 250100

Email: 415957696@qq.com

摘要：在 III-V 族半导体材料中，由于具有较窄的禁带宽度（0.72 eV）和超高的理论空穴迁移率（ $1000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ），锑化镓（GaSb）在制造高性能红外探测器方面具有先天的优势。同时，一维纳米线材料凭借其超高的比表面积、高光吸收能力、高灵敏度及低功耗的优势受到越来越多的关注。然而，受限于较低的空穴迁移率，GaSb 纳米线基光电子器件的发展比较缓慢。一般地，掺杂可以调节半导体的载流子浓度、晶体缺陷等，进而实现对半导体迁移率的调控。通过第一性原理计算可以预测，在 GaSb 材料中，通过 Sn 轻掺杂，GaSb 的空穴浓度将减小，体系的禁带宽度及载流子有效质量均减小，空穴迁移率将增加。因此，如何实现 Sn 对 GaSb 纳米线的轻掺杂是研究的难点，将进一步提升 GaSb 纳米线的空穴迁移率，为实现超快响应的红外探测器提供理想的沟道材料。

该研究发现在纳米线的生长过程中，所使用的金属催化剂会微量的掺杂到纳米线晶体中。该研究通过表面活性剂辅助 CVD 方法，采用 Sn 作为纳米线生长的催化剂和轻掺杂源，得到了超高空穴迁移率的 GaSb 纳米线（空穴迁移率超过 $1000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ），是目前已报道的 GaSb 纳米线迁移率最高值。利用接触印刷技术，实现了对 1550 nm 红外光具有超快响应（上升/下降时间为 $195.1 \mu\text{s}/380.4 \mu\text{s}$ ）的 GaSb 纳米线阵列红外探测器，为纳米线在红外探测领域应用探索有效途径[1]。

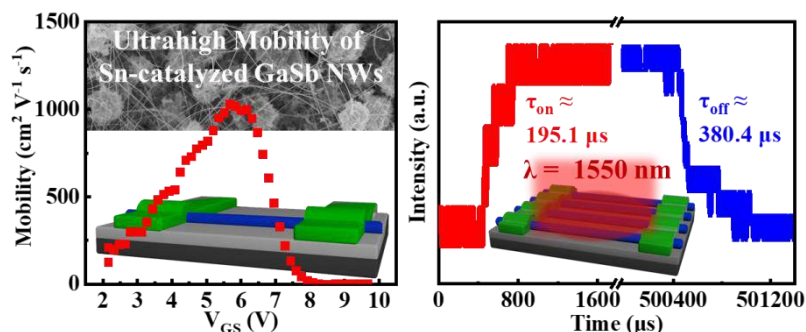


图1 超高空穴迁移率锡催化 GaSb 纳米线及纳米线阵列红外探测器

关键词：GaSb 纳米线 锡轻掺杂 超高空穴迁移率 快速响应 红外探测器

参考文献

【1】 J. M. Sun *et al.*, Ultrahigh Hole Mobility of Sn-Catalyzed GaSb Nanowires for High Speed Infrared Photodetectors, *Nano Lett.* 2019, accepted (DOI: 10.1021/acs.nanolett.9b01503).

基金项目：国家重点研发计划（2017YFA0305500）山东省泰山学者青年专家项目（ZR2017MF037），深圳市自由探索项目（JCYJ20170307093131123），山东大学齐鲁青年学者启动项目及山东大学杰出青年学者等。

GaAs/AlGaAs二维电子气中原子核磁场的测量

钱轩*, 姬扬

中国科学院半导体研究所, 北京, 100083

*Email: qianxuan@semi.ac.cn

原子核自旋在基于自旋自由度的量子信息处理和量子计算领域引起了人们广泛的关注。一方面, 由于原子核自旋与周围环境的弱耦合导致了其具有很长的退相干时间, 可以比电子自旋退相干时间长达9个数量级, 非常适合用于量子信息的存储过程。另一方面, 在许多受限系统中, 电子自旋与原子核自旋之间的相互作用——超精细相互作用是引起电子自旋弛豫最重要的原因。这就需要对原子核自旋的性质进行深入的研究。

我们利用圆偏振光在GaAs/AlGaAs 二维电子气中诱导出原子核自旋极化, 并采用泵浦-探测的方法, 在弱磁场下测量了该原子核磁场的大小以及方向。实验结果表明, 在弱场下, 核磁场大小正比于外磁场强度, 而方向则不依赖于外磁场的取向。此外, 我们可以通过改变泵浦光强和偏振可以有效的调控核磁场的大小。

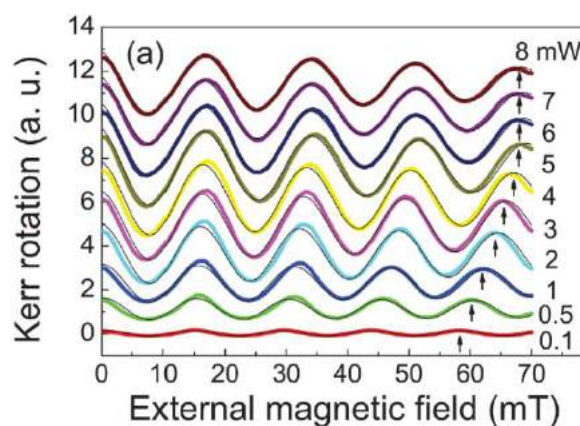


Fig. 1 时间分辨克尔旋转信号随泵浦光功率的变化。不同功率下原子核磁场的差别导致了克尔信号进动周期的变化。

参考文献:

- [1] Xuan Qian, Yang Ji and Vladimir Umansky, *Physical Review B* 93, 035302 (2016).
- [2] Xuan Qian and Yang Ji, *Journal of Applied Physics* 124, 163909 (2018).

储能电容对 GaAs 光电导开关快前沿正负对称脉冲输出特性的影响

桂淮濛¹⁾²⁾、施卫²⁾

1) 陕西工业职业技术学院信息工程学院, 陕西 咸阳 712000

2) 西安理工大学理学院, 陕西 西安 710048

Email: 304913013@qq.com

摘要: GaAs 光电导开关 (Photoconductive Semiconductor Switch, PCSS) 是利用光电半导体材料 GaAs 与超快脉冲激光器结合形成的一种超快光电子器件^[1]。相较于传统的半导体开关, GaAs PCSS 器件具有响应速度快、耐压高以及光电隔离等特点^[2-3]。当前 GaAs PCSS 器件的应用研究迅速发展, 在脉冲功率系统、精密同步控制系统、THz 产生装置等方面都取得了实质性的进展。在飞秒条纹相机的应用中, 由于 GaAs PCSS 具有极小的时间抖动及超快的时间响应, 已作为条纹相机中扫描电路的核心器件。因此, 以基于 GaAs PCSS 的扫描电路为研究对象, 探究提高条纹相机的时间分辨率成为当前备受关注的研究内容^[4]。

课题组团队基于 GaAs PCSS 设计了快前沿正负对称输出的扫描电路。使用波长为 800 nm, 脉宽为 60 fs 的飞秒激光器触发电极间隙为 3.5 mm 的 GaAs PCSS。当触发激光能量为 97.5 μJ , 外加偏置电压为 ± 1.9 kV, 储能电容容值为 33 pF 时, 获得的正向脉冲的输出电压为 1.270 kV, 上升时间为 164 ps, 负向脉冲的输出电压为 1.302 kV, 上升时间为 175 ps。测试结果满足条纹相机实现飞秒时间分辨率的设计需求。在此基础上, 当触发光能为 97.5 μJ 时, 分别在电容容值为 10 pF、33 pF、82 pF 和 100 pF 测试了扫描电路的输出波形。经对比分析表明, 随着储能电容的增大, 输出电脉冲的传输效率及上升时间均增加。该研究对 GaAs PCSS 更好的应用在飞秒条纹相机中具有一定的指导意义, 同时对提高飞秒条纹相机的时间分辨率具有一定的推进作用。

关键词: GaAs 光电导开关 正负对称脉冲 快速上升时间 储能电容

参考文献:

- 【1】 L. N. Wang *et al.*, Solid-State Nanosecond Pulse Generator Using Photoconductive Semiconductor Switch and Helical Pulse Forming Line, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 2017, 45 (12), 3240.
- 【2】 C. Ma *et al.*, Study of the Lifetime of High-Power GaAs PCSSs Under Different Energy Storage Modes, *IEEE T. Power Electr.* 2017, 32 (12), 4644.

【3】 L. Zhang *et al.*, Research on Time Jitter of GaAs Photoconductive Semiconductor Switches in the Negative Differential Mobility Region, *IEEE Electr. Device Lett.* 2019, 40 (2), 291.

【4】 J. Larsson *et al.*, Ultrafast x-ray diffraction using a streak-camera detector in averaging mode, *Opt. Lett.* 1997, 22 (13), 1012.

基金项目：科技部国家重点研发计划项目（N0.2017YFA0701005），强脉冲辐射环境模拟与效应国家重点实验室基金(N0.SKLIPIR1812)和陕西省教育厅科学研究项目计划(N0.17JK0056)资助的课题

氮化铝肖特基二极管

李百奎¹、周琴¹、武红磊¹、唐曦¹、郑瑞生¹、李惠²、王建农²

1 深圳大学物理与光电工程学院, 深圳 518060

2 香港科技大学物理系, 清水湾, 香港

Email: libk@szu.edu.cn

摘要: 氮化铝 (AlN) 具有超宽的禁带 (bandgap) 和较高的表面电荷中性能级 (charge neutral level, CNL), 是发展大势垒高度的肖特基二极管 (Schottky Barrier Diode, SBD) 的优选材料。通过 X 射线光电子能谱测量[1], 据报道, c 面 (m 面) AlN 上不同金属的势垒高度 (Schottky Barrier Height, SBH) 为 2.2 至 2.4 eV (1.6 至 2.3 eV)。然而, 从 AlN SBD 的电流-电压 (J-V) 特性中提取的 SBH 则要小得多, 约为 ~1.0 eV [2-4]。另外, 对于理想的肖特基二极管, 其理想因子 n 为 1。但目前已经报道的 AlN SBD 的理想因子 n 则远大于 1。

在本工作中[5], 我们利用物理气相传输法 (PVT) 在钨 (W) 衬底上生长了非极性 m 面的 AlN 晶体, 并构建了 Ni/m-AlN SBD。在室温下, 该 Ni/AlN SBD 的 SBH 为 1.05 eV, 理想因子 n 为 3.3。本工作中实现的理想因子是已报道的 AlN SBD 中的最小值。随着温度从 240 K 增加到 400 K, SBH 从 0.8 增加到 1.3 eV, 理想因子 n 从 5.8 减少到 2.6。

我们通过将肖特基结分成高 SBH 区和低 SBH 区来解释 SBH 的温度依赖性。在高温下, 热电子发射理论中通过高 SBH 区域的结电流与通过低 SBH 区域的结电流的比率增加, 从而导致有效 SBH 的增加。这表明 Ni/AlN 界面是不均匀的[6]。我们通过界面非均匀模型分析, 得到 Ni-AlN 肖特基结的平均势垒高度为 2.105 eV。根据肖特基结电容-电压曲线和 AlN 体电阻随温度的变化曲线, 我们分析得到 Ni/AlN 肖特基结的势垒高度为 2.249 eV。非均匀性分析揭示了 J-V 曲线中的有效 SBH 与根据 AlN 的 CNL 水平的预测值之间的显著偏差的物理机制。

我们还总结和分析了目前已报道的 AlN SBD 的势垒高度和理想因子, 并揭示了 (i) 非均匀性分析是普遍适用的, (ii) AlN 的 c 面的 CNL 水平低于 m 面的 CNL 水平, 即 c-AlN 的肖特基势垒高度高于 m-AlN 的。

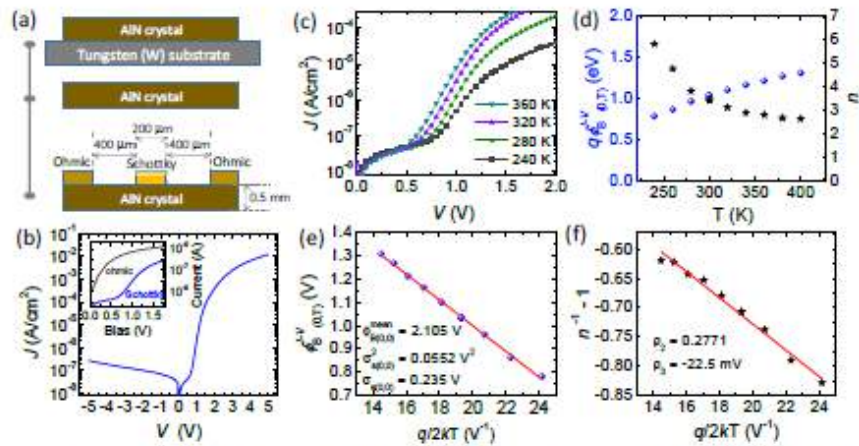


图1 (a) AlN 肖特基二极管制备流程。(b) Ni/m-AlN 电流-电压曲线。(c) 不同温度下的电流-电压曲线。(d) 不同温度下的有效势垒高度和理想因子。(e) 势垒高度的非均匀模型分析。(f) 理想因子的非均匀模型分析。

关键词：氮化铝，肖特基二极管，势垒高度，理想因子

参考文献：

- [1] P. Reddy, et al., "Charge neutrality levels, barrier heights, and band offsets at polar AlGaIn", *J. Appl. Phys.* 116, 123701, 2014; "Schottky contact formation on polar and non-polar AlN", *J. Appl. Phys.* 116, 194503, 2014;
- [2] Y. Irokawa, et al., "Schottky barrier diodes on AlN free-standing substrates", *Jpn. J. Appl. Phys.* 51, 040206, 2012.
- [3] T. Kinoshita, et. al., "Fabrication of vertical Schottky barrier diodes on n-type freestanding AlN substrates grown by hydride vapor phase epitaxy", *Appl. Phys. Exp.* 8, 061003, 2015.
- [4] H. Fu et. al., "Demonstration of AlN Schottky barrier diodes with blocking voltage over 1 kV", *IEEE Electron Device Lett.* 38, 1286, 2017.
- [5] Q. Zhou, et al., "Barrier Inhomogeneity of Schottky Diode on Nonpolar AlN Grown by Physical Vapor Transport", *IEEE J Electron Device Society* 7, 662, 2019.
- [5] J. H. Werner and H. H. Gürtler, "Barrier inhomogeneities at Schottky contacts", *J. Appl. Phys.* 69, 1522, 1991.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61604098）

AlGaN/GaN异质结肖特基光电探测器中的反常频率响应

李百奎¹、唐曦¹、王建农²、陈敬³¹深圳大学物理与光电工程学院, 深圳518060,²香港科技大学物理系, ³香港科技大学电子系

Email: libk@szu.edu.cn

摘要: 宽禁带半导体氮化镓GaN是发展紫外光电探测器件的优良材料。基于GaN不同类型的紫外光电探测器已有报道, 如PN结构、肖特基结构、MSM结构等。由于其界面处存在高迁移率二维自由电子气, 基于AlGa_N/GaN异质结的光电探测器有望实现更高的响应速度和更高的响应度[1]。由于缺陷态的存在, GaN基光电探测器的响应速度受到限制, 光电流一般随入射光重复频率的增加而降低。

本文报道具有纵向结构的 AlGa_N/GaN 异质结肖特基光电探测器[2]。器件结构及光电流响应曲线如图 1 所示, 光电流谱由锁相技术测试所得。研究发现, 当入射光的光子能量高于 AlGa_N 的禁带宽度时, 所测光电流值不随入射光的重复频率而变化, 说明在所研究的频率范围内, AlGa_N 具有足够快的响应速度。但当入射光的光子能量高于 GaN 的禁带宽度并小于 AlGa_N 的禁带宽度时, 光电流值随入射光的重复频率增加而增大。基于异质结的内建电场方向, 我们分析了光生载流子的产生过程以及漂移方向, 如图 2 所示。光生载流子主要产生于 AlGa_N 层时, 为连续光电流, 即光照期间, 光电流持续。当光生载流子主要产生于 GaN 沟道层时, 则为瞬态光电流, 即光电流产生在入射光开和关的瞬间, 并且方向相反。结合锁相放大器的工作原理, 本文进一步揭示了该反常频率响应的机制。基于该新型的光电流产生机制, 可以发展紫外光记忆器件。

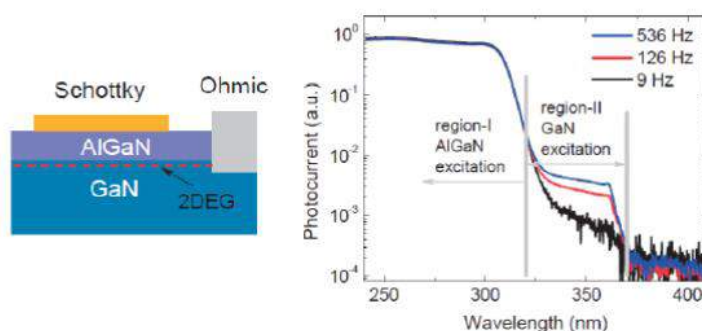


图1 AlGaN/GaN异质结肖特基光电探测器结构示意图，及不同频率下的光电流谱。

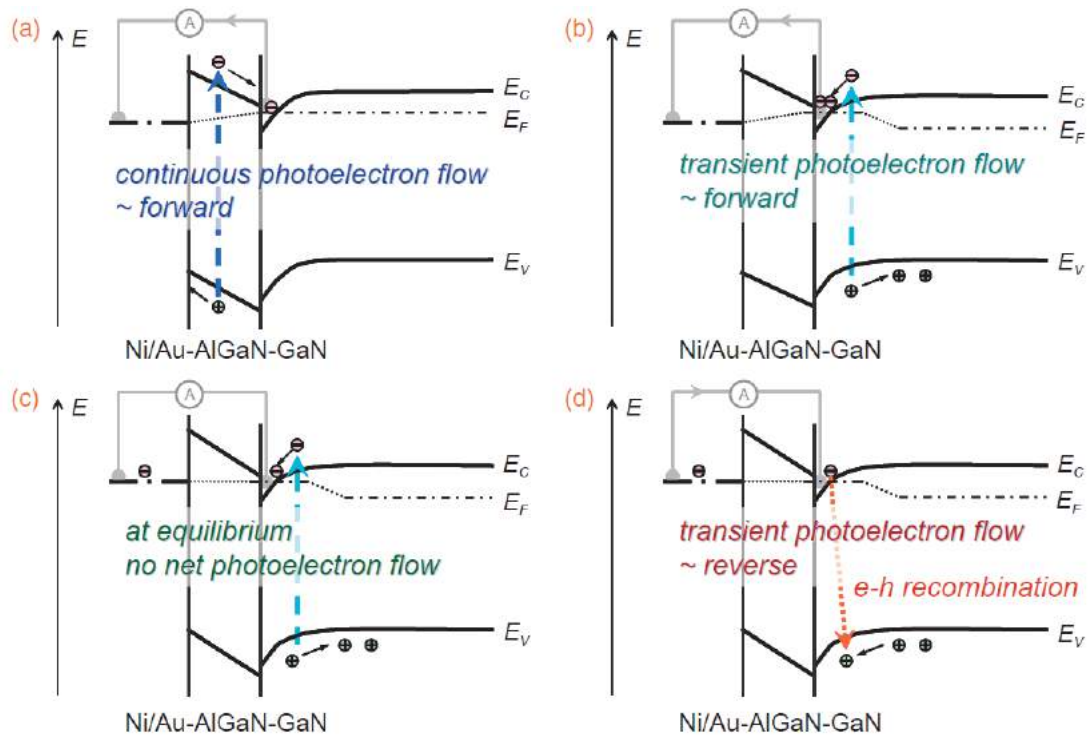


图2 AlGaN/GaN异质结肖特基结能带图及光电流产生过程示意图。

关键词：氮化镓，肖特基结，异质结，光电探测器

参考文献

[1] P. F. Satterthwaite, et al., High Responsivity, Low Dark Current Ultraviolet Photodetectors Based on Two-Dimensional Electron Gas Interdigitated Transducers, *ACS Photonics* 5, 4277, 2018.

[2] Xi Tang, Baikui Li* et al., Photocurrent characteristics of metal-AlGaN/GaN Schottky-on-heterojunction diodes induced by GaN interband excitation, *Appl. Phys. Express.* 11, 054101, 2018.

银纳米点在太阳电池中对光生载流子的调控作用

李天天¹、善奇¹、钟柯¹、盛子纶¹、杜浩¹、赵颖²、张晓丹²

¹ 内蒙古大学物理科学与技术学院, 呼和浩特 010021

² 南开大学光电子薄膜器件与技术研究所, 天津 300071

Email: ttli@imu.edu.cn

摘要: 低维银纳米颗粒因其具有较强的局域表面等离子共振效应(LSPR), 使得在光伏器件中有着较好的应用前景^[1]。然而, 对于银纳米粒子的其它特性, 例如势垒的调控以及激元的非辐射衰减在光伏器件中的影响研究却较为缺乏。基于 Ag 纳米颗粒的费米能级的特点以及小尺寸所产生的等离子体诱导热电子产生和转移机制(PHET)在光伏器件中有较大的应用潜力^[2]。

课题组团队以非晶硅薄膜电池为原生器件, 分别研究了银纳米粒子上述的两种特性。首先, 利用其费米能级的特点, 将其用于非晶硅太阳电池中 ZnO:Al/p-a-SiC:H 界面处, 用于调节该界面处的肖特基势垒。n 型的类金属能级的 ZnO:Al 与 p 型的 a-SiC:H 在接触时, 因费米能级差较高且 p-a-SiC:H 激活能较高, 会在界面处形成不可忽视的肖特基势垒, 而利用 Ag 费米能级相对 ZnO:Al 低的特点, 可以在一定程度上降低肖特基势垒, 进而提高内建电场 V_{bi} , 如图 1(a)所示。其次将银纳米点植入到吸收层内部研究热电子转移, 从图 1(b)中可以看出当引入银纳米点后, 因 LSPR 效应在 750nm 附近形成吸收峰, 而通过图 1(c)可以观察到 PHET 效应在电池中作用。

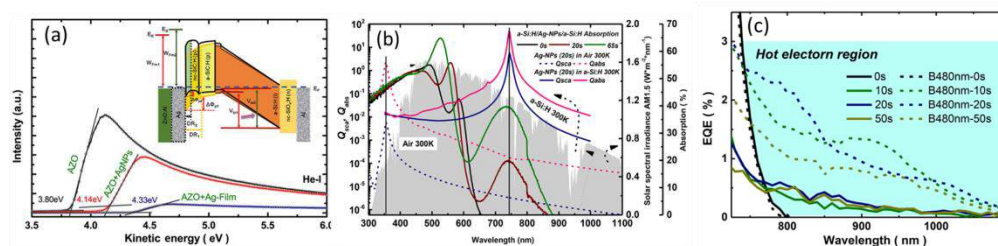


图 1 (a) AZO、AZO/Ag-NPs、AZO/Ag-film UPS 曲线, 插图为能带示意图, (b) 不同沉积时间下的透过谱以及消光曲线, (c) 加入 480nm 偏光下的 EQE 曲线

关键词: 银纳米点 光伏器件 界面 热电子转移

参考文献

- 【1】T. Fleetham, J. Y. Choi, H. W. Choi, T. Alford, D. S. Jeong, T. S. Lee, W. S. Lee, K. S. Lee, J. Li, and I. Kim, "Photocurrent enhancements of organic solar cells by altering dewetting of plasmonic Ag nanoparticles," Scientific Reports, vol. 5, pp. 14250, 2015.

【2】 K. Wu, J. Chen, J. R. McBride, T. Lian, "CHARGE TRANSFER. Efficient hot-electron transfer by a plasmon-induced interfacial charge-transfer transition," *Science*, vol. 349, pp. 632-5, 2015.

基金项目：2017 年内蒙古大学高层次人才引进项目（21200-5175162），内蒙古自然科学基金项目（NO. 2018MS06027）

电子迁移率接近理论极限的 InP 纳米线

刘东、孙嘉敏、杨再兴

山东大学微电子学院, 济南 250100

Email: zaixyang@sdu.edu.cn

摘要: 作为一种重要的 III-V 族半导体纳米材料, InP 纳米线在场效应晶体管、光电探测器、太赫兹探测器、太阳能电池等电子和光电子领域具有广泛应用。然而, 用常规的气-液-固生长方法获得的 InP 纳米线通常具有远低于理论值的电子迁移率, 这主要与 InP 纳米线中存在各种缺陷(堆垛层错与孪晶)有关^[1,2], 限制了其在电子和光电子领域的进一步应用。

我们选择具有高熔点的金属 Pd 作为催化剂, 在简单易操作的 CVD 方法中实现了气-固-固生长模式, 有效控制了纳米线的生长方向与晶型, 成功得到了非极性生长方向、无缺陷、高质量纤锌矿结构的 InP 纳米线^[3]。基于合成的高质量 InP 纳米线底栅场效应晶体管, 其电子迁移率高达 $2000\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, 这是具有 10^{17}cm^{-3} 的电子浓度的理论极限。制备得到的高质量 InP 纳米线在顶栅场效应晶体管及光电探测器件上都展示出了优越的性能, 比如顶栅场效应晶体管的亚阈值斜率低至 91mV dec^{-1} ; 光电探测器件显示出 10^4A W^{-1} 的高光响应等。

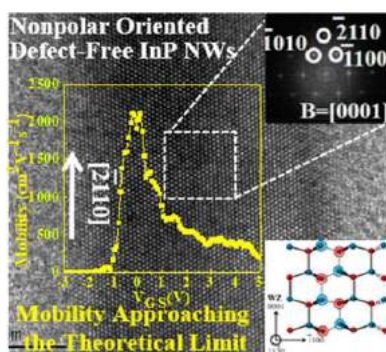


图 1 非极性取向无缺陷 InP 纳米线 TEM 及结构图

关键词: InP 纳米线 非极性 电子迁移率 气-固-固 面内晶格失配

参考文献

- 【1】 Algra, R. E. *et al.*, Twinning Superlattices in Indium Phosphide Nanowires, *Nature*. 2008, 456 (7220), 369.
- 【2】 Joyce, H. J. *et al.* Phase Perfection in Zinc Blende and Wurtzite III-V Nanowires Using Basic Growth Parameters, *Nano Lett.* 2010, 10 (3), 908.
- 【3】 Jiamin Sun *et al.*, Nonpolar-Oriented Wurtzite InP Nanowires with Electron Mobility Approaching the Theoretical Limit, *ACS Nano*. 2018, 12 (10), 10410.

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFA0305500), 山东省自然科学基金面上项目 (ZR2017MF037), 深圳市自由探索项目 (JCYJ20170307093131123) 等。

调制光子学太赫兹噪声辐射源及其应用

邵棣祥 姚辰 张戎 符张龙 曹俊诚

中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海, 200050

Email: 542561036@qq.com

摘要: 在应用系统中, 噪声通常是需要抑制的对象, 但在某些应用场合, 可以利用噪声的非相干性改善系统的性能。本文基于掺饵光纤放大器、光调制器和单行载流子光电二极管, 提出了一种基于光子学技术的可调制太赫兹噪声辐射源, 并将其应用于太赫兹成像和通信中。结果显示, 该噪声辐射源可消除光路中的共振模, 使得信号质量得到很大提升。

现在最流行的 THz 成像是采用 THz 脉冲信号, 类似脉冲雷达的使用。由于 THz 脉冲成像通常用光纤激光器激发的光导天线 [5, 6] 来产生, 但是其成本和激光系统的尺寸是其最大的缺点。因此为了克服上述困难, 我们采用 THz 噪声辐射源最为信号源, 提出了一种 THz 噪声通信的系统。我们提出的方法具有经济、快捷的特点。

在本文中, 我们首先讨论系统的可行性, 接下来讨论基本的系统性能, 最后我们把实验所做的结果显示图举例出。

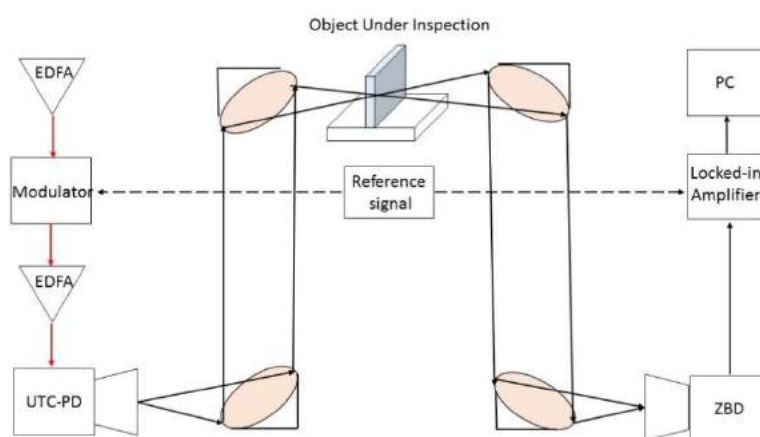
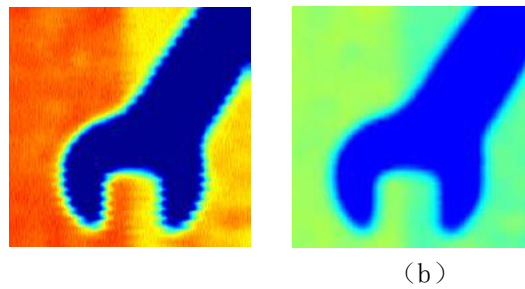


图 1 THz 噪声通信成像光路图

成像扫描系统如图 1 所示, 光纤放大器 EDFA 充当噪声源, 经过光调制器, 进而通过 EDFA 放大信号, 传送给单行载流子光电二极管 (UTC-PD) 将光学噪声转换为电学噪声, 然后通过离轴抛物面镜辐射到被成像物体上面, 最后由检波器收集信号, 传送给电脑中。其中 UTC-PD 的具体参数为 90-140G。



图 2: 扫描样品图



(a)

(b)

图 3: (a) 激光器拍频成像的图; (b) 噪声通信在成像的图

图 2 为系统中扫描的样品实物图。其中成像模式: 扫描透射成像, X 方向(横轴), 连续扫描, 扫描速度: 50mm/s; Y 方向(纵轴), 移动步长 2mm/step。图 3 为分别用 EDFA 和激光器两种信号源扫描样品的结果, 从结果可知, 使用噪声源进行扫描成像比激光器拍频直接扫描成像效果好, 图像成像清晰。使用激光器成像时候热点较多, 部分出现干涉现象, 造成成像分辨率下降。

关键词: 噪声辐射; 太赫兹; 单行载流子光电二极管

参考文献

1. 赵国忠, 太赫兹光谱和成像应用及展望[J]. 现代科学仪器, 2006 (2): 36-40
2. 成彬彬, 李慧萍, 安健飞, 等. 太赫兹成像技术在站开式安检中的应用 [J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015.13 (6) 843-848.
3. Chan, W.L., Deibel, J., and Mittleman, D.M.: 'Imaging with terahertz radiation', Rep. Prog. Phys., 2007, 70, pp. 1325-1379
4. Kanno, A., and Kawanishi, T "Broadband frequency-modulated continuous-wave signal generation by optical modulation technique", J. Lightw. Technol., 2014, 32, pp. 3566-3572
5. Nagatsuma, T., Kumashiro, T., Fujimoto, Y., Taniguchi, K., Ajito, K., Kukutsu, N, Furuta, T., Wakatsuki, A., and Kado, Y.: "Millimeterwave imaging using photonics-based noise source", International Conference on Infrared Millimeter and Terahertz Waves, Busan, South Korea, September 2009, paper M3C05, doi 10.1109/ICIMW.2009.5325747
6. Fujiwara, M., Teshima, M., Kani, J., Suzuki, H., Takachio, Noboru., and Iwatsuki, K.: 'Optical carrier supply module using flattened optical multicarrier generation based on sinusoidal amplitude and phase hybrid modulation', Journal of Lightwave Technology, 2003, 21, pp. 2705-2741
7. NTT <http://www.nttelelectronics.com/en/products/photonics/utcpd>.

非晶态非化学计量比的半导体薄膜中协同增强的光致电荷转移诱导产生的高SERS活性

范兴策、邱腾

东南大学物理学院，南京211189

Email: fanxingce@126.com; tqiu@seu.edu.cn

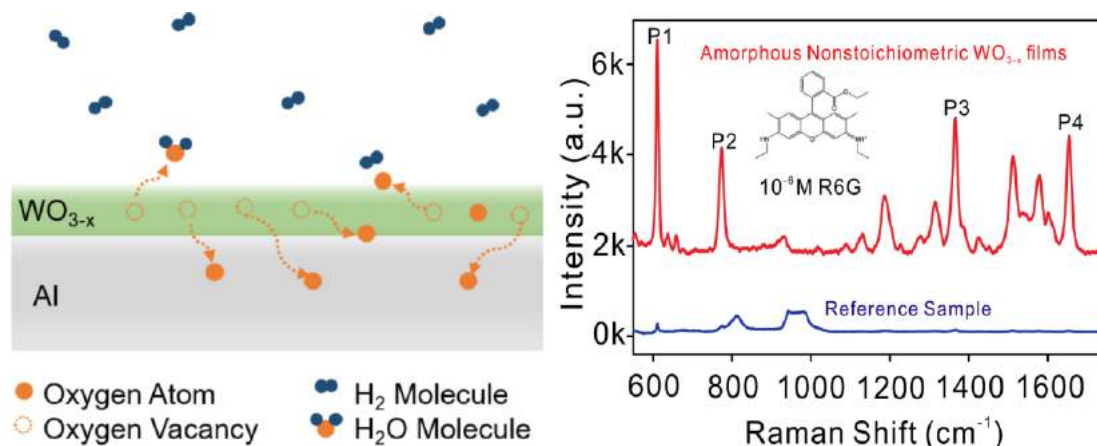
摘要：

表面增强拉曼散射 (Surface-enhanced Raman Scatter, SERS) 是一种便捷、无损伤、高灵敏度、高选择性的痕量检测方法。贵金属材料 (例如金和银) 由于其具有显著的拉曼信号增强特性而被广泛地研究, 其增强特性来源于其可见光范围内的表面等离子共振特性。通常而言, 高性能贵金属SERS基底要求具有高密度的“热点”以对探针分子的拉曼信号进行有效增强。贵金属SERS基底的检测灵敏度可以使用和光学腔 (例如平面镜、波导、回音壁模式光学腔等) 耦合的方式来进一步进行提升。这种等离子共振光学腔可以极大地增强吸附分子与贵金属之间的光和物质相互作用, 以及极大地提升拉曼信号的采集效率。

近些年来, 半导体基SERS材料因为其更高的信号均一性、化学稳定性以及生物兼容性等而获得了广泛的研究。但是现在面临的瓶颈问题是半导体基SERS基底的增强因子较低, 这意味着其检测灵敏度仍有巨大的提升空间。对于通常所见的半导体SERS材料, 其拉曼增强现象是由于探针分子与基底之间的电荷转移带来的探针分子极化张量的变化所导致的。其中, 光致电荷转移 (Photoinduced Charge Transfer, PICT) 过程被认为是其中的一种动态拉曼增强过程, 如何增强这种PICT过程成为调控半导体SERS活性的关键。

受贵金属与光学腔耦合提升 SERS 灵敏度的启发, 我们设想半导体 SERS 基底也可能具有类似的协同增强 (或者耦合增强) 特性。由于半导体材料区别于贵金属的材料特征, 赋予了其多元化的材料调控的可能性, 例如进行带隙、化学计量比、晶态、n 型或者 p 型掺杂、以及激子等的调控, 从而实现其更优的 SERS 性能。由此, 我们团队设计了一种新型的氧化钨 (WO_{3-x}) SERS 基底, 其同时具有非晶态和非化学计量比的特征。此二者的结合使得 WO_{3-x} 的禁带宽度减小; 禁带中出现了氧缺陷能级; 具有了较强的激子共振特征以及费米能级附近较高的电子态密度。禁带宽度的减小使得 WO_{3-x} 的光捕获能里得到提升, 其对于 PICT 具有积极

作用。此外，最新的研究表明非晶态的半导体 SERS 基底具有更好的 SERS 活性，因为其可导致更有效的 PICT 效率；费米能级附近较高的电子态密度也能够增大电荷转移的几率。氧缺陷能级的出现为 PICT 提供了良好的“电子踏板”，并且 SERS 基底与分子之间的 PICT 过程可与 WO_{3-x} 中所观察到的激子吸收产生共振，进一步增强 PICT 强度。所以， WO_{3-x} 的非晶态和非化学计量比相结合带来的诸多特性可以协同作用，对于半导体的 SERS 活性进行有效地提升。



左图：非晶态非化学计量比 WO_{3-x} 薄膜样品制备示意图，具有还原性的 H_2 和Al衬底在加热条件下可对 WO_{3-x} 的晶体结构和成分进行有效调控。右图：非晶态非化学计量比的 WO_{3-x} 薄膜的SERS活性表征。

关键词：非晶态，非化学计量比，光致电荷转移，表面增强拉曼散射，氧化钨

参考文献：

【1】 S. Cong *et al.*, Noble metal-comparable SERS enhancement from semiconducting metal oxides by making oxygen vacancies, *Nat. Commun.* 2015, 6, 7800.

【2】 X. Wang *et al.*, Remarkable SERS Activity Observed from Amorphous ZnO Nanocages, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2017, 56, 9851-9855.

【3】 M. Li *et al.*, $\text{W}_{18}\text{O}_{49}$ /Monolayer MoS_2 Heterojunction-Enhanced Raman Scattering, *J. Phys. Chem. Lett.* 2019, 10, 4038-4044.

中波红外碲镉汞雪崩光电探测器暗电流起源研究进展

李庆、王芳、王鹏、陈效双、陆卫、胡伟达*

中国科学院上海技术物理研究所, 红外物理国家重点实验室, 上海 200083

* Email: wdhu@mail.sitp.ac.cn

摘要: 雪崩光电二极管 (avalanche photodiode, APD) 拥有高带宽、高增益的特点, 在弱信号探测以及需要高速度、高灵敏度和高量子效率的长距探测方面有非常大的优势, 并且雪崩光电探测器在航空航天、通信及生物等领域已经取得了大量的应用。 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 具有高吸收系数、载流子扩散长度长、量子效率高、工作波长可调、长载流子寿命等优点, 尤为可贵的是 HgCdTe 中电子、空穴离化系数差异可以很大, 非常适合制作高性能 APD。当组分 x 在 0.6 附近时, HgCdTe 非常适合制备空穴注入型雪崩光电探测器, 此时发生雪崩时电子价带激发致导带所需能量与空穴自旋轨道劈裂能量相同; 当组分 x 小于 0.5 时, HgCdTe 非常适合制备电子注入型雪崩光电探测器, 而这个组分 x 对应的探测波段正是中波红外和长波红外两个窗口。中国科学院上海技术物理研究所分别采用液相外延和分子束外延成功制备了具有高增益低噪声中波 HgCdTe APD 器件, 并且 HgCdTe APD 局域场的操控机理、暗电流和关联噪声起源方面也取得了一些研究成果。本文将重点介绍中波红外 HgCdTe APD 暗电流起源及相关研究进展。

关键词: 碲镉汞 中波红外 雪崩光电探测器 暗电流

参考文献 (中文小五号宋体, 其中英文和数字为 Times New Roman 小五号字)

- 【1】 Q. Li, J. He, W. Hu, et al. Influencing Sources for Dark Current Transport and Avalanche Mechanisms in Planar and Mesa HgCdTe p-i-n Electron-Avalanche Photodiodes [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2018, 65(2): 572-576.
- 【2】 W. Qiu, W. Hu, L. Chen, et al. Dark Current Transport and Avalanche Mechanism in HgCdTe Electro-Avalanche Photodiodes [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2015, 62(6): 1926-1931.
- 【3】 M. A. Kinch, J. D. Beck, C.-F. Wan, F. Ma, and J. Campbell. HgCdTe Electron Avalanche Photodiodes [J]. Journal of Electronic Materials, 2004, 33(6): 630-639.

基金项目: 国家杰出青年基金项目 (NO. 61725505)

国家基金委-重点项目 (NO. 11734016)

基于多层 WSe_2 的垂直双栅调控光电探测器

徐金鹏¹、张玺¹、梅东¹、甘雪涛²、罗小光¹、程迎春¹

¹西北工业大学柔性电子研究院，西安 710072

²西北工业大学理学院，超常条件材料物理与化学教育部重点实验室，陕西省光信息技术重点实验室，西安 710072

Email: iamyccheng@mail.nwpu.edu.cn

摘要：光电探测器是将光信号转换成电信号的光电子器件，在光电成像、信息通讯、保密安全和环境监测等方面有着重要的应用。高性能的光电探测器主要依靠半导体带间或者带内的光跃迁。高载流子迁移率、丰富的能带结构特性和非常高的光吸收截面，使得二维材料家族（尤其是过渡金属硫族化合物）在光电探测器的应用中很有潜力。近年来，基于二维材料的光电探测器在宽带、高速、灵敏、柔性等特性上表现突出，并得到了广泛的关注。

一般来讲，二极管的光电响应是线性的，但无增益；场效应管是非线性的，却有增益。如果结合两者特性，就可以实现线性且具有增益的较为理想的光电探测器。为此，我们设计了一种垂直双栅结构的光电场效应管，利用双极性的 WSe_2 作为沟道材料，同时利用重掺杂硅和少层石墨烯分别作为背栅和顶栅进行调控。在顶栅和背栅相反偏置时，发现 n 型和 p 型通道同时存在于 WSe_2 沟道材料中，于垂直方向形成了同质 pn 结，使光生电子和空穴能够在同一半导体中有效地分离和传输，结合了二极管和场效应管特性。该器件在背栅 $V_g = -70\text{V}$ ，顶栅 $V_{tg} = 1\text{V}$ 偏压下，光响应度达 10^3 A W^{-1} ，外量子效率 $10^5\%$ 。在瞬态响应测试中，上升时间 $\tau_{\text{rise}} \sim 117\mu\text{s}$ ，下降时间 $\tau_{\text{decay}} \sim 206\mu\text{s}$ 。此外，在双栅相反偏置条件下，器件的噪声被显著地降低。

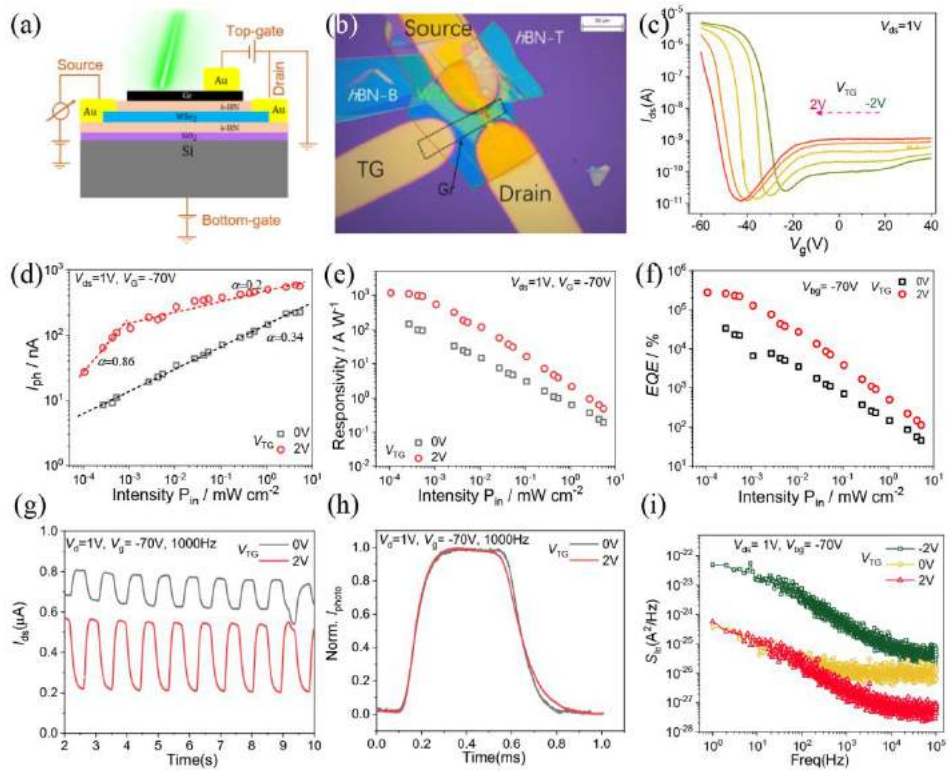


图 1 (a)双栅场效应管示意图; (b)器件光学显微图; (c)顶栅调控的输出曲线;双栅偏置作用下输入光功率与(d)光电流, (e)光响应度, (f)外量子效应的关系; (g)(h)瞬态响应; (i)噪声.

关键词：二维材料 光电探测器 双栅调控 线性光响应 低噪声

【1】 P. C. Y. Chow *et al.*, Dual-gate organic phototransistor with high-gain and linear photoresponse. *Nat. Commun.* 2018, 9(1), 4546.

【2】 N. R. Pradhan *et al.*, Photoconductivity of few-layered p-WSe₂ phototransistors via multiterminal measurements, *2D Mater.* 2016, 3(4), 041004.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61575094）、国家自然科学基金项目（青年）（NO. 61905198）、陕西省自然科学基金计划—一般项目（青年）（NO. 2019JQ-059）

垂直腔面发射激光器混沌同步恢复时间研究

吴梅、王龙生、郭园园、王安帮*

新型传感器与智能控制教育部重点实验室, 山西太原 030024
太原理工大学物理与光电工程学院, 光电工程研究所, 山西太原 030024
Email: wumei0597@link.tyut.edu.cn

摘要: 混沌激光因宽带、类噪声、可产生高速物理随机码等特性在高速保密通信和密钥分发等方面具有重要应用。混沌键控通信和密钥分发将混沌激光作为掩藏传输信息或密钥的载波, 接收方利用混沌同步进行信息解调, 以实现信息安全传输和密钥分发。这种保密通信和密钥分发系统均是利用不同混沌状态切换提取 0, 1 比特序列, 其速率受限于不同状态切换造成的混沌不同步到同步过程的恢复时间。

课题组团队选用调制带宽大、调制速度快、响应速度快的垂直腔面发射激光器结合传统的注入锁定同步方式, 成功构建了基于垂直腔面发射激光器的单向开环注入锁定混沌同步系统模型。我们分析了不同参数对混沌同步恢复时间的影响。混沌同步恢复时间均值在 50ps 左右, 相较现有的边发射半导体激光器的同步系统缩短了 1 个量级。研究发现, 影响混沌同步恢复时间的关键参数为归一化电流、注入速率、频率失谐。当注入电流大于 2.5 倍阈值电流、注入速率大于 180ns^{-1} 、频率失谐在 $-20\text{GHz}\sim+8\text{GHz}$ 区间时, 有利于混沌同步恢复时间均值稳定在 50ps 左右。

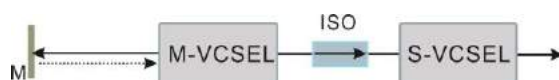


图 1 垂直腔面发射激光器的单向开环注入锁定混沌同步系统

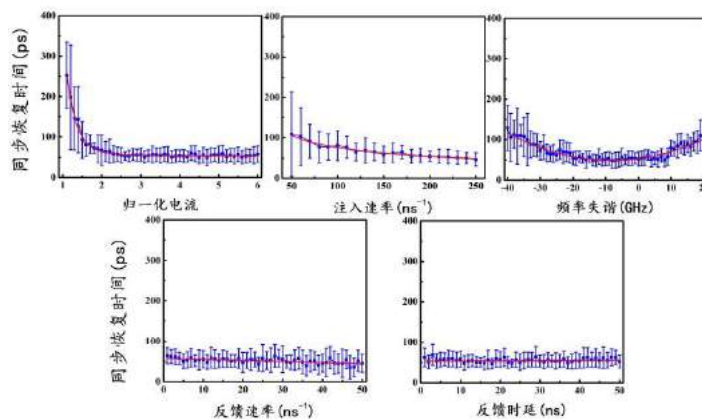


图 2 激光器外部参数对混沌同步恢复时间的影响

关键词： 保密通信 密钥分发 垂直腔面发射激光器 混沌同步 同步恢复时间

参考文献

【1】 A.Uchida *et al.*, Common-signal-induced synchronization in photonic integrated circuits and its application to secure key distribution, *Opt. Express*. 2017, 25 (21), 26029.

基金项目： 国家自然科学基金项目（NO. 61822509, 61805170, 61731014, 6167131）

Annealing effect on the optical/rectification characteristics of GaN/Si nanoporous pillar array prepared with/without using platinum catalyst

Bing Xin Duan, Yan Cheng, Dong Qi Song, Shu Ting Yin, Zhao Yang

Wang, Xin Jian Li†

Key Laboratory of Material Physics, Department of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

Email: 1220115958@qq.com

Abstract: Gallium Nitride (GaN) as one of the core materials of the third generation compound semiconductors, has direct wide bandgap (~ 3.39 eV), higher carrier mobility (~ 1350 cm²/V s), higher melting point ($\sim 1700^\circ\text{C}$), higher breakdown electric field (~ 4 MV/cm), larger electron saturation velocity ($\sim 3 \times 10^7$ cm/s), smaller dielectric constant, higher thermal conductivity (~ 2.3 W/cm⁻¹K⁻¹). With higher chemical and thermal stability, it's an ideal material for manufacturing solar cells, light-emitting diodes, gas sensors, photodetectors, microwave devices and so on. In order to reduce the defects and improve the quality of GaN films, GaN/Si-NPA nanoheterostructure was prepared by chemical vapor deposition, under Ga-rich conditions, the most easily introduced defects were gallium vacancy (V_{Ga}), nitrogen interstitial (N_i) and complexes with oxygen in the growth process. After high temperature annealing treatment in NH_3 atmosphere, the yellow and red defect luminescence peaks decreased, indicating that the type and quantity of defects had changed obviously and the V_{Ga} and N_i reduced in the annealing process. These results showed that the optical and rectification behavior of GaN thin film with and without catalyst Pt had some differences, and the quality of GaN film with catalyst Pt was higher than that without catalyst before and after annealing treatment. What's more, annealing is an effective method to reduce defects in the growth of nanomaterials.

Key words: GaN; silicon nanoporous pillar array; annealing behaviors; catalyst; defects

基于色散键控同步的高速混沌密钥安全分发

巢萌、王龙生、王大铭、王安帮*

新型传感器与智能控制教育部重点实验室, 山西太原 030024
 太原理工大学物理与光电工程学院, 光电工程研究所, 山西太原 030024
 Email: chaomeng5585@163.com

摘要: “一次一密”是绝对安全的保密通信, 但高速密钥安全分发是其应用瓶颈。无条件安全的量子密钥分发已取得重要进展, 但长距离量子密钥分发尚存在分发速率低的技术难点。基于宽带混沌激光同步的密钥分发具有显著提高分发速率的潜力, 但其在速率和安全性方面也存在一定局限: (1) 混沌同步恢复时间过长限制了密钥分发速率; (2) 驱动响应之间的剩余相关性降低了密钥分发安全性。

课题组团队提出基于啁啾光纤光栅 (CFBG) 键控同步的高速混沌密钥安全分发系统。在该系统中, 驱动信号采用 CFBG 反馈消除混沌信号的时延特征, 避免系统外腔长度信息泄露^[1]。进一步, 我们通过随机键控的方式将驱动信号传输至色散值分别为 1400ps/nm (CFBG0)、2800ps/nm (CFBG1) 的 CFBG, 利用 CFBG 的非线性色散对驱动信号进行非线性变化, 消除驱动信号与响应信号的相关性, 提升了系统安全性。此外, 在该系统中我们采用开环注入锁定同步, 该类型同步恢复时间为百 ps 量级, 较传统闭环注入锁定同步恢复时间降低了一个数量级, 预期密钥分发速率可达 Gb/s。

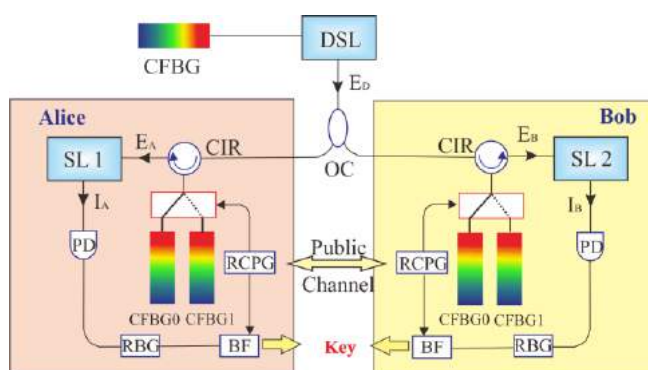


图 1 基于色散键控同步的高速混沌密钥安全分发系统示意图

关键词: 保密通信 混沌同步 动态键控 密钥分发 啁啾光纤光栅

参考文献

- 【1】 D. M. Wang *et al.*, Time delay signature elimination of chaos in a semiconductor laser by dispersive feedback from a chirped FBG, *Opt. Express* 2017, 25 (10), 10911.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 61822509, 61805170, 61731014, 61671316)

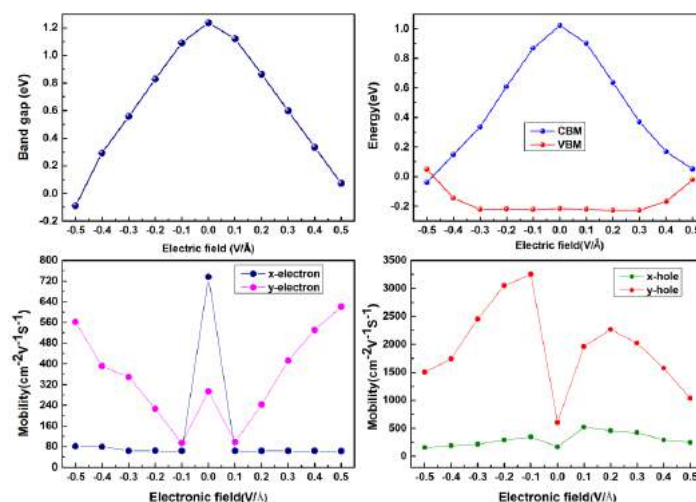
Anisotropic carrier mobility of monolayer GeAs₂-SiAs₂ lateral heterostructure under electric field

Leihao Feng, Xi Zhang, Gang Xiang*

College of physics, Sichuan University, Chengdu, 61006, Sichuan Province, People's
Republic of China

*Email: gxiang@scu.edu.cn

The effects of the vertical electrical field on the electronic structure of monolayer GeAs₂-SiAs₂ lateral heterostructure have been investigated by using first-principles calculations. It was found that the applied electrical field can not only effectively modulate the bandgap width of the lateral heterostructure but also lead to the bandgap transition from indirect to direct. Besides, we also discussed the influences of the electric field on the parameters of device performance such as carrier mobility. As for the carrier mobility, the electron and hole mobility exhibit different changing trends by applying different vertical electronic field in different directions, which suggests that GeAs₂-SiAs₂ lateral heterostructure shows strong anisotropic carrier mobility under electric field. Our results imply that GeAs₂-SiAs₂ lateral heterostructure can be used in linear polarizers and other anisotropic photoelectric devices.\



Reversible direct-indirect band transition in alloying TMDs heterostructures via band engineering

訾艳波、李冲

郑州大学物理学院, 郑州 450002

Email: lichong@zzu.edu.cn

Abstract

Alloying is a feasible and practical strategy to tune the electronic properties of 2D layered semiconductors. Here, based on first-principles calculations and analysis, we demonstrate band engineering through alloying W into a prototype MoS₂/MoSe₂ heterostructure.

Especially, when the W compositions $x > 0.57$ in Mo_{1-x}W_xS₂/MoSe₂, it exhibits remarkable and reversible direct- to indirect-gap transition. This is because for Mo_{1-x}W_xS₂/MoSe₂, the valence band maximum located at the *K* point originates from dominant MoSe₂, while the competing Γ state stems from the hybridization of both Mo_{1-x}W_xS₂ and MoSe₂, which is extremely sensitive to the interlayer coupling. Consequently, alloying in MoS₂ layer induces direct- to indirect-gap transition and gap increase due to the weakened p-d coupling. We also observe that whether initial alloying in MoS₂ or MoSe₂, the $\mu_{\text{Mo}}-\mu_{\text{W}}$ poor condition should always be used. Our findings are generally applicable and will significantly expand the band engineering to other alloying TMDs heterostructures.

Keywords: alloying design, band engineering, TMDs heterostructures, electronic band transition, chemical potential

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11304288) 等

Cu₃SbS₄基热电材料的性能优化

申满杰 张跃文 贾小鹏

郑州大学物理学院, 郑州 450002

Email:491684399@qq.com

摘要: Cu₃SbS₄是一种无污染、成本低、有发展前景的热电材料。但纯 Cu₃SbS₄材料的电阻率较大, 导致其 ZT 值较低 (ZT<0.1)。本实验采用球磨和放电等离子烧结 (SPS) 的方法制备了 Cu₃Sb_(1-x)Bi_xS₄ (x=0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.14)。利用 X 射线衍射 (XRD) 对样品的物相结构进行了表征, XRD 结果表明 Cu₃Sb_(1-x)Bi_xS₄ 块体材料的 XRD 图谱与 Cu₃SbS₄ 的 XRD 图谱对应一致。通过 Bi 掺杂调控载流子的浓度, 可使 Cu₃Sb_{0.94}Bi_{0.06}S₄ 的 ZT 值在 623K 提高到 0.42。在此基础上, 我们又进行了 Sn 掺杂, Cu₃Sb_(0.94-x)Bi_{0.06}Sn_xS₄ (x=0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09)。同样对样品的物相结构进行了表征, 结果表明 Cu₃Sb_(0.94-x)Bi_{0.06}Sn_xS₄ 块体材料的 XRD 图谱与 Cu₃SbS₄ 的 XRD 图谱相比, 无明显的杂相。随着 Sn 含量的增多, Cu₃Sb_{0.94-x}Bi_{0.06}Sn_xS₄ 的 Seebeck 系数和电阻率显著减小。随着测试温度升高, Cu₃Sb_{0.94-x}Bi_{0.06}Sn_xS₄ 表现出简并半导体行为。当 x=0.05 时, 扫描电镜照片显示晶粒致密堆积, 致密度高, Cu₃Sb_{0.89}Bi_{0.06}Sn_{0.05}S₄ 的功率因子高达 $1292 \times 10^{-6} \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$, 大约是未掺杂的功率因子 8.6 倍。Cu₃Sb_{0.89}Bi_{0.06}Sn_{0.05}S₄ 在 623K 时的热电优值达到 0.76, 约是未掺杂的 Cu₃SbS₄ 材料的 7.6 倍。

关键词: 热电材料 Cu₃SbS₄ Cu₃Sb_{0.94}Bi_{0.06}S₄ Cu₃Sb_{0.89}Bi_{0.06}Sn_{0.05}S₄ 功率因子 ZT 值

参考文献:

【1】Kan.Chen *et al.* Enhanced thermoelectric performance of Sn-doped Cu₃SbS₄, *J. Mater. Chem. C*, 2018, 6, 8546—8552.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 11704340, 11804305, 2017M620303, 192102210158, 19A140006)

无催化GaSb纳米线的分子束外延生长

文炼均、潘东*、廖敦渊、赵建华*

中国科学院半导体研究所，半导体超晶格国家重点实验室，北京，100083

Email: ljwen2018@semi.ac.cn

砷化物半导体纳米线因其优异的物理特性在高速低功耗器件与低温输运研究等领域有重要应用。其中，GaSb纳米线具有最高的空穴迁移率、与红外光匹配的直接带隙以及较强的自旋轨道相互作用，是研制隧穿场效应晶体管、红外光电器件与量子器件的理想材料。为了实现这些应用，直接在Si衬底上外延生长立式GaSb纳米线具有重要意义。目前，国际上少数几个研究组利用气-液-固或气-固-固生长机制直接在纳米线或特殊衬底上制备了纯GaSb纳米线。[1-7] 例如，Ji等利用Ga自催化的气-液-固生长方式，采用金属有机化学气相沉积技术在InAs纳米线轴向上制备了纯GaSb纳米线。[4] Yang等用Pd、Cu和Ni等金属作为催化剂，以气-固-固的生长方式直接在Si/SiO₂非晶衬底上实现了纯GaSb纳米线的生长。[6] 然而，在与当代CMOS技术兼容的Si衬底上直接生长GaSb纳米线仍是一个难题。

我们利用分子束外延技术，首次采用无外来金属催化剂辅助的方式，在解理的Si(111)衬底上成功地制备了立式GaSb纳米线（如图1(a)），研究了生长温度对GaSb纳米线生长的调制作用并详细分析了其生长机制。此外，我们还在其它晶向的Si衬底上制备出了GaSb纳米线（如图1(b)），并探究了不同晶向的衬底对GaSb纳米线生长的影响以及对其晶体结构的调制作用。

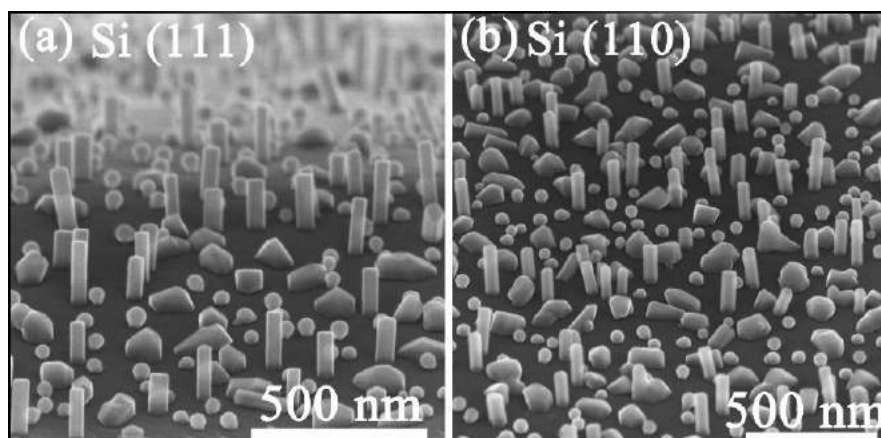


图1 直接在解理的Si衬底上生长的GaSb纳米线的扫描电镜图。

关键词：锑化镓 纳米线 生长机制 分子束外延 无催化

参考文献

- 【1】 Y. N. Guo *et al.*, Structural Characteristics of GaSb/GaAs Nanowire Heterostructures Grown by Metal-Organic Chemical Vapor Deposition, *Appl. Phys. Lett.* 2006, 89, 231917.
- 【2】 M. Jeppsson *et al.*, GaAs/GaSb Nanowire Heterostructures Grown by MOVPE, *J. Cryst. Growth* 2008, 310 (18), 4115.
- 【3】 B. M. Borg *et al.*, InAs/GaSb Heterostructure Nanowires for Tunnel Field-Effect Transistors, *Nano Lett.* 2010, 10 (10), 4080.
- 【4】 X. H. Ji *et al.*, Self-Catalyzed Growth of Vertical GaSb Nanowires on InAs Stems by Metal-Organic Chemical Vapor Deposition, *Nanoscale Res. Lett.* 2017, 12, 428.
- 【5】 Z. X. Yang *et al.*, Approaching the Hole Mobility Limit of GaSb Nanowires, *ACS Nano* 2015, 9 (9), 9268.
- 【6】 Z. X. Yang *et al.*, Complementary Metal Oxide Semiconductor-Compatible, High-Mobility, (111)-Oriented

多次烧结对 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 样品热电性能的影响

张炎, 宋红章*

郑州大学物理学院, 郑州 450052

Email: hzsong@zzu.edu.cn

摘要: $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 的晶格结构是由与 CdI_2 同型的 CoO_2 层和四方的 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{O}_4$ 层错配交叠沿 C 轴堆叠而成。 CoO_2 层属于电子晶体型, 具有较强的电子关联特性和调控电子的电输运性能。 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{O}_4$ 层在晶格中可以通过提高声子散射来降低材料的热导率。本研究是基于 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 样品通过多次研磨、烧结改变材料颗粒尺寸的大小以提高材料的热电性能。 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 样品是通过固相合成法制备的, 材料沿 C 轴生长, 多次研磨使材料颗粒逐渐破碎细化, 颗粒明显增多, 同时多次烧结后可以使材料的密度升高, 散射减少, 迁移率升高; 第三次烧结后的样品电阻率在 923K 时达到 $167 \times 10^{-6} \text{ohm m}$, 较第一次烧结后的样品降低了 68%。由于 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 是两种晶体结构堆叠的混合晶体, 同时经过多次研磨烧结可以使材料颗粒破碎细化, 晶界增多从而能够有效增加声子散射; 第四次烧结后样品的热导率在 923K 时达到最小值 0.6W/Km , 相比第一次烧结的样品降低了 25%。通过测量电阻率, Seebeck 系数和热导率可以求出材料 ZT ($ZT = S^2 T / (\rho \kappa)$) 值。通过测量结果可以得出第三次烧结后的样品在 923K 时 ZT 值取得 0.26 的最优值。这些结果表明多次研磨烧结可以降低材料的电阻率和热导率, 明显热高材料热电性能。本研究为以后固相法制备氧化物热电材料提供了一个新的思路。

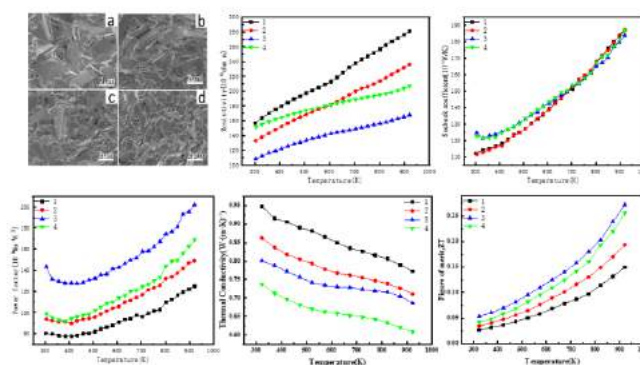


图 1 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 块体 SEM, 电导率, Seebeck 系数, PF 值, 热导率和 ZT 值

关键词: $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, 多次烧结, 颗粒细化, 热电性能

参考文献

- 【1】 Hu. Q. J. et al Enhanced thermoelectric properties of nano SiC dispersed $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ Ceramics, Mater. Res. Express 2018, 5, 045510.
- 【2】 Chen. H. Y. et al Thermal Conductivity during Phase Transitions, Adv. Mater. 2019,31, 1806518.

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 61774136)

在 I 型异质结构 GO/Pentacene/MoSe₂ 中的高效光生载流子转移

乔佳伟、冯林、郝晓涛*

山东大学物理学院，山东济南 250100

Email:qiaojiawei@mail.sdu.edu.cn

摘要：与传统二维材料（如石墨烯）相比，过渡金属二硫化物（TMDCs）材料凭借其优良的光电性能已逐渐成为二维材料领域内研究最为广泛的半导体材料。更重要的是，从与有机半导体结合的角度来看，2D 材料的原子级平坦表面为高效电荷分离、转移和传输提供了理想的界面。

本工作以 GO/Pentacene/MoSe₂ 这种独特的有机无机 I 型能带异质结构为对象研究其中的光生载流子转移机制。在单层 MoSe₂ 生长并五苯和不同氧化程度的氧化石墨烯（GO）形成三层连续的 I 型带排列异质结构。其吸收光谱分别集中在紫外，可见和红外区域，用以实现全波段内的吸收。此外，与本征并五苯薄膜相比，不同结构的异质结在可见光范围内的吸收得到明显增强。使用了稳态 PL，时间分辨 PL，拉曼光谱，原子力显微等多种手段对异质结构进行了研究，发现具有不同氧化程度的石墨烯具有不同的能级排布，对应不同的电子和空穴转移状态，这有利于对整体结构带隙进行调整；与单层 MoSe₂ 相比，可以实现 1.5 至 2.2 倍的荧光增强。通过 PLE 测试得到了多个探测波长下的光致发光增强现象，进一步验证了这一结果，证明了三层 I 型异质结构中的高效光生载流子转移情况。该研究结果扩展了基于过渡金属二硫化物的超薄层状 2D /有机异质结构的多样性和实用性，从而为其光电应用提供了可能性。

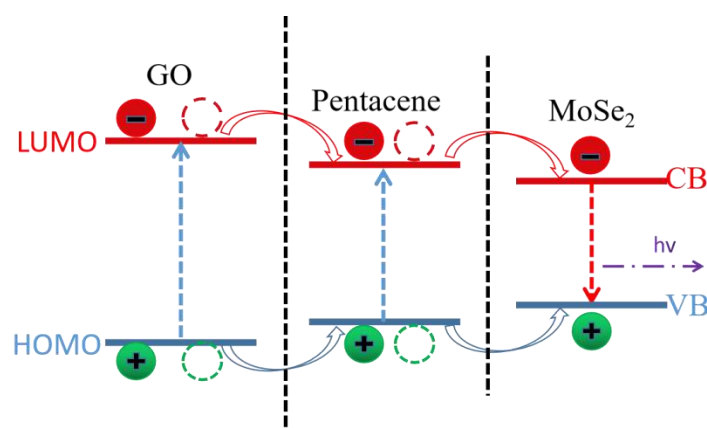


图 1 材料能级结构和光生电子和空穴对的转移

关键词：有机无机异质结 I型异质结构 MoSe₂ 光生载流子

【1】C. N.F. Zheng, X. Hao* *et al.*, Purified dispersions of graphene in a nonpolar solvent via solvothermal reduction of graphene oxide, *Chem. Commun.*, 51 (2015) 3824-3827.

基金项目：感谢国家自然科学基金(11774204)和中国山东省重点研发项目(2018GGX103004)的支持

CdSe/ZnS 胶体量子点陷阱态对荧光寿命的影响

杨希凯、郝晓涛*

山东大学物理学院, 济南 250100

Email: yangxikai@mail.sdu.edu.cn

摘要:

胶体量子点 (CQDs) 是指用湿化学方法合成的尺寸在 2-20nm 范围内的低维半导体材料, 其尺寸可以精确调控, 平均尺寸分布大约在 5%-10% 范围内。在应用方面, 目前, 单光子源技术作为量子通信三大核心技术之一, 已被证明是绝对安全高效的, 对其特性研究具有重要的价值; 胶体量子点与其他类型的量子点相比, 在单光子源的制备方面有着特别的优势, 比如不需要苛刻的工作环境, 同时样品的制备可通过便捷的溶液旋涂法完成等; 电驱动胶体量子点单光子源存在光源纯度高、制备工艺简单、工作电压低等特征, 有利于光量子技术的实用化、集成化。

本工作采用硒-十八烯悬浮液 (Se - SUS) 法合成了不同尺寸的 CdSe/ZnS 胶体量子点, 并用原子力显微镜 (AFM)、透射电镜 (TEM) 和荧光寿命成像显微镜 (FLIM) 等对样品的形貌和光学性质进行了表征, 研究发现, 对于小尺寸、低荧光强度的量子点, 其发射以深阱态为主, 寿命较短; 对于大尺寸、强荧光性的量子点, 其发射主要由快衰减和慢衰减的带边态 (几纳秒和二十纳秒左右) 主导。通过对孤立量子点的光学性质, 为制备单光子源器件奠定了基础。

关键词: 胶体量子点、荧光寿命、陷阱态、单光子源

参考文献:

- 【1】 F. Wu, J.Z. Zhang *, R. Kho, R.K. Mehra, Radiative and nonradiative lifetimes of band edge states and deep trap states of CdS nanoparticles determined by time-correlated single photon counting, *Chemical Physics Letters*, 2000, 330(3-4), 237.
- 【2】 Chaodan Pu, Jianhai Zhou, Runchen Lai, Yuan Niu, Wennuan Nan, and Xiaogang Peng, Highly reactive, flexible yet green Se precursor for metal selenide nanocrystals: Se-octadecene suspension (Se-SUS), *Nano Research*, 2013, 6(9), 652.

基金项目: 国家自然科学基金 (11774204) 和山东省重点研发项目 (2018GGX103004)

Exciton emission of CdS nanowire array by situ growth on Cd foil

Yong Li, Peng Fei Ji, Xin Yi Chang, Yue Li Song and Feng Qun Zhou

Laboratory of Nano Optoelectronic Materials and Insulation Materials, Pingdingshan

University, Pingdingshan, 467000, PR China

Email: liyong@pdsu.edu.cn

Abstract: A uniform CdS nanowires array is grown on the Cd foil through a simply solvothermal method using the Cd foil as the precursor of Cd^{2+} and the substrate. The CdS nanowires are perpendicular to the Cd foil and show the preferred (002) orientation, which have the diameters of $\sim 20\text{-}40$ nm and lengths of $\sim 10\text{-}13$ μm . The optical band gap of ~ 2.46 eV (~ 505 nm) for CdS nanowires array is obtained by the Kubelka-Munk method. Utilizing the Gauss-Newton fitting method, four emission peaks from the temperature-dependent PL spectra can be determined. From the high energy to low energy, these four peaks are ascribed to the band gap emission of nc-CdS, the transition from the interstitial cadmium (I_{Cd}) to the valence band, the recombination from I_{Cd} to cadmium vacancies (V_{Cd}) and from sulphur vacancies (V_{S}) to the valence band, respectively. Understanding of the defect states in the well-aligned CdS/Si nanowires array is very meaningful for the performance of devices based on CdS/Si.

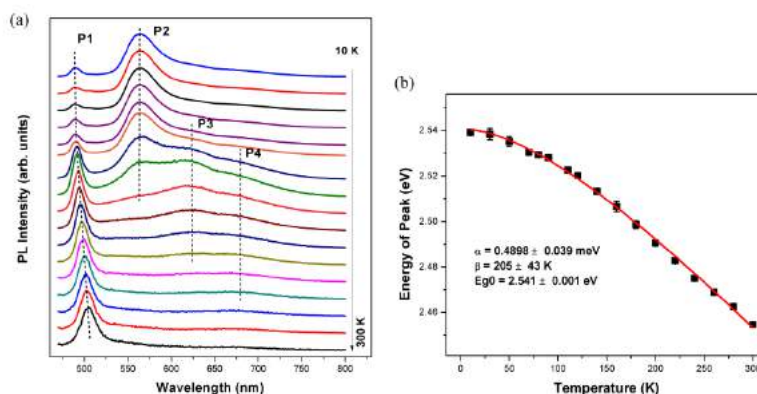


Figure (a) Temperature-dependent photoluminescence of CdS nanowire array on the Cd foil. (b) Energy of peak as a function of temperature. The solid line is the fitted line according to Varshni equation.

PLD 法制备 N 掺杂 BeZnOS 薄膜及其光电探测性能研究

汪洋、黄攀、尹魏玲、黎明锴、卢寅梅、何云斌*

湖北大学材料科学与工程学院, 武汉, 430062

*Email: ybhe@hubu.edu.cn

摘要:

ZnO 作为一种宽禁带半导体, 在紫外发光二极管 (UV-LED)、激光二极管 (LD) 等方面有着很大的应用潜力。然而, ZnO 基器件的发展仍然面临难以实现 ZnO p 型掺杂的问题。氮 (N) 原子与氧 (O) 原子半径相似, 且在 ZnO 中具有较浅的受主能级 ($E_i = 0.40 \text{ eV}$), 被认为是最有效的 p 型掺杂元素, 但是 ZnO 的氮 (N) 掺杂也面临着掺杂浓度低和掺杂不稳定等问题。鉴于单独的 N 元素掺杂不能有效实现 ZnO 的 p 型掺杂, 人们想到多元素共掺的办法。由于 Be-N 键键能很大 (远大于 Be-O 和 Zn-N 键), 人们认为 Be 的引入可能使 N 掺杂更容易实现且更加稳定, 理论计算和实验工作也证明了 Be-N 共掺可以实现 ZnO 的 p 型掺杂 [1]。由于 Be 原子尺寸小于 Zn 原子, Be 在 ZnO 中的溶解度和稳定性较差, 我们提出同时利用原子尺寸较大的 S 取代 O 的补偿效应, 来提高共掺元素(Be、S)的溶解度和 BeZnOS 合金的稳定性, 同时 S 原子的掺入会大幅度提升 ZnO 的价带顶位置, 有利于实现 p 型掺杂[2]。

我们自制了 $\text{Be}_{0.06}\text{Zn}_{0.94}\text{O}_{0.27}\text{S}_{0.73}$ 陶瓷片, 以此作为 PLD 靶材, 在固定 NO 气氛条件下, 在玻璃衬底上生长薄膜, 并在不同温度 (450-625°C) 下原位退火得到系列薄膜样品。XRD 测试表明我们得到了多晶薄膜。对 625°C 下退火的薄膜进行了 UV 测试, 薄膜透过率高于 80%, 光学带隙在 3.1eV; 在 360nm 紫外光照下, 对薄膜进行光电探测性能测试, 结果表明: 在 50V 偏压下, 薄膜具有极快的紫外光响应速度 (0.0055s)、大的灵敏度 (光暗电流比 6210) 和稳定的工作重复性。随着测试电压 (0.1V-200V) 的升高, 响应速度变快 (τ_{rise} 从 0.3727s 下降到 0.0055, τ_{down} 从 0.1584s 下降到 0.0094s), 光暗电流比增大 (从 132 增至 6707)。本研究表明 BeZnOS:N 薄膜在快速灵敏紫外光探测器领域具有潜在的应用价值。

*基金支持: 国家自然科学基金 (项目编号: 51572073, 11574074, 11774082, 61874040), 湖北省自然科学基金 (项目编号: 2016AAA031, 2018CFB700)

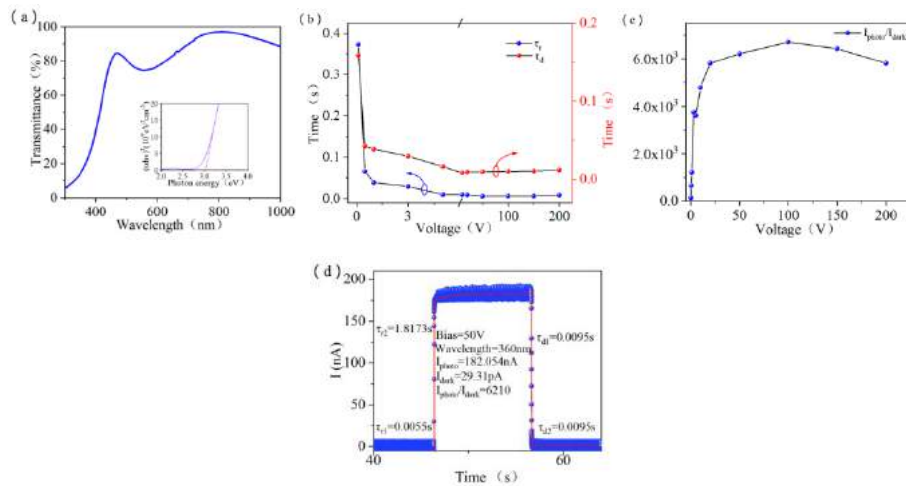


图 1. (a)薄膜的透射光谱，插图为薄膜光学带隙；(b) 不同电压下薄膜光响应速度；(c) 薄膜在不同电压下光电流与暗电流之比；(d) 薄膜 I-T 测试曲线

关键词：PLD；BeZnOS 薄膜；紫外探测器

参考文献：

【1】 Zhang W , Xu M , Zhang M , et al. Pulsed laser deposited Be x Zn 1-x O 1-y S y, quaternary alloy films: Structure, composition, and band gap bowing[J]. Applied Surface Science, 2017:S0169433217330015.

【2】Persson C , Charlotte Platzer-Björkman, Jonas Malmström, et al. Strong Valence-Band Offset Bowing of ZnO 1 - x S x Enhances p -Type Nitrogen Doping of ZnO-like Alloys[J]. Physical Review Letters, 2006, 97(14):146403.

基金支持：国家自然科学基金（项目编号： 51572073, 11574074, 11774082, 61874040 ），湖北省自然科学基金（项目编号： 2016AAA031, 2018CFB700）

HfVO₂合金设计及Hf掺杂调控合金薄膜光电性能机制的研究

王歆茹、陆浩、李昊、李派、黎明锴、卢寅梅、何云斌*

湖北大学材料科学与工程学院, 武汉 430062

Email:ybhe@hubu.edu.cn*

摘要: 自F.J.Morin发现钒氧化物的相变现象之后^[1], 二氧化钒(VO₂)以其在近室温下(68°C)的一级金属-绝缘体相变(MIT)而受到广泛研究^[2]。VO₂光学特性的显著变化发生在可见至太赫兹的宽波长范围内, 为其带来了智能窗涂层、非制冷微辐射热计、红外伪装等方面广泛应用。然而纯VO₂可见光波段透过率低且相变温度高于室温, 阻碍了其在智能玻璃涂窗上的应用。考虑到HfO₂具有比VO₂明显更大的带隙, 而Hf⁴⁺与V⁴⁺具有相同的电荷与相近的半径, 我们设计采用Hf部分取代形成HfVO₂合金来有效提高VO₂的光学带隙, 解决其对可见光波段透过率低的问题。

在本工作中, 我们采用脉冲激光沉积(PLD)法, 以*c*-sapphire为衬底、镶嵌钨的金属钒圆盘为靶材, 通过调整激光烧蚀镶嵌靶材的面积, 成功制备了一系列不同Hf含量的HfVO₂合金薄膜, 系统研究了HfVO₂合金薄膜的MIT相变特性和光电性能。研究表明: 制备的HfVO₂合金薄膜具有高度(020)择优取向和结晶质量以及光滑的表面; 钨元素的掺入, 提高了薄膜的可见光透过率及对红外光的调控能力, 并减小了相变前后对可见光波段透过率的影响, 同时有效地调节了薄膜相变温度; 其中钨掺杂量为26.6%时, 薄膜性能最佳, 25°C时可见光透过率为43% (图1), MIT相变前后对可见光波段透过率几乎不变, 但对红外光波段具有8.5%调控能力 (图2), 表现出了优异的光学调控性能。

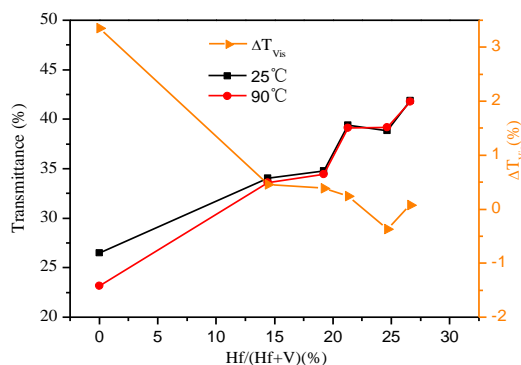


图1 样品在可见光波段的透过率和调控能力

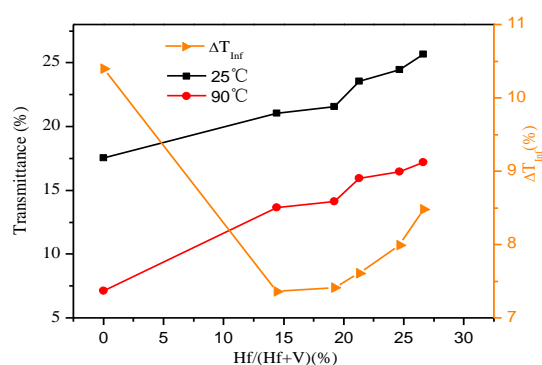


图2 样品在红外波段的透过率和调控能力

关键词: VO₂ 智能玻璃涂窗 高可见光透过率 高红外光调控能力

参考文献

- 【1】 Morin F J, Oxides Which Show a Metal-to-Insulator Transition at the Neel Temperature, *Phys. Rev. Lett.* 1959, 3(1),34.
- 【2】 Chen, S. *et al.*, Gate-controlled VO₂ phase transition for high-performance smart windows, *Sci. Adv.* 2019, 5 (3), 6815

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 51572073, 11574074, 11774082, 61874040) , 湖北省自然科学基金项目 (NO. 2016AAA031, 2018CFB700)

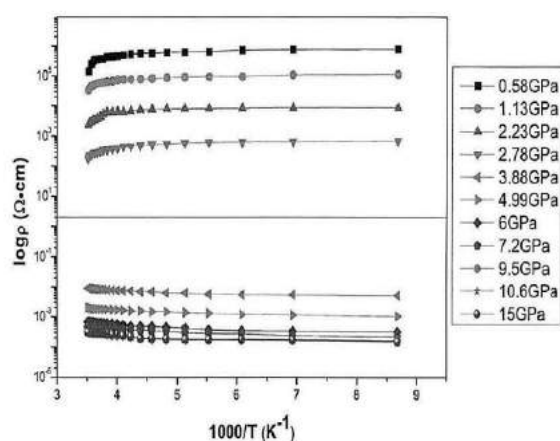
压力调控物质的晶体结构与电子结构

张宇巍、冯慧东、赵晨，吴宝嘉*

延边大学理学院，延边朝鲜族自治州，延吉市 133000

Email: jbwu@ybu.edu.cn

摘要:压力作为独立的热力学参量，可以有效调控物质的晶体结构与电子结构。磷化铟(InP)是具备异乎寻常物理性质和潜在应用的 III-V 族二元半导体材料代表。利用金刚石对顶砧(DAC)装置产生 25GPa 高压，开展电阻率和阻抗谱的测量及理论计算，发现 InP 压致金属化证据，探讨高压下 InP 电输运性质。高压原位电阻率测量显示 4GPa 到 8GPa 范围内 InP 电阻率骤降，印证 InP 在高压下发生 zb 到 Fm3m 的结构相变；低温高压电阻率测量显示：2.78GPa 范围内，InP 电阻率与温度成反比呈现半导体特征，高于 2.78 GPa 时，InP 电阻率与温度成正比呈现金属特征。表明压力达到 4GPa 时 InP 发生压致金属化相变，相变后结构为金属相；高压阻抗谱 Nyquist 图表明：4GPa 内 InP 电阻随压力升高有明显骤升，与电阻率测量结果一致，随后加压电阻骤降两个数量级，表明 InP 发生从 zb 相到 Fm3m 相的结构相变。理论计算表明压力低于 4GPa 时 InP 的 zb 相更稳定为直接带隙半导体，高于 4GPa 时发生相变，InP 的 Fm3m 相更稳定带隙闭合为金属半导体。压力导致 InP 相变发生同时伴随 19.5% 体积塌缩。



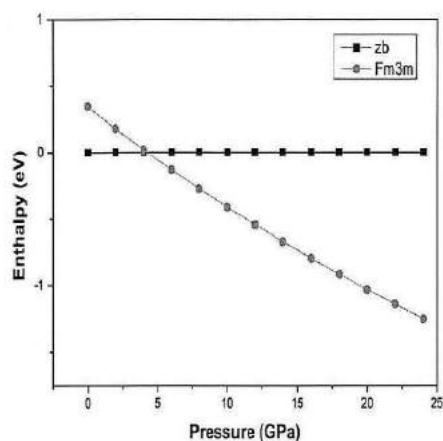


图 1 电阻率对数在不同压力下随 $1000/T$ 的变化关系 图 2 InP 两相焓差随压力变化关系

关键词： 高压； 电阻率； 交流阻抗谱； 压致金属化
参考文献：

- 【1】 Cai Y Q, Mao H K, Chow P C, et al. Ordering of hydrogen bonds in high-pressure low-temperature H_2O [J]. Physical Review Letters, 2005, 94(2): 025502
- 【2】 Struzhkin V V, Eremets M I, Gan W, et al. Superconductivity in Dense Lithium[J]. Science, 2002, 298(5596): 1213-1215

基金项目： 国家自然科学基金项目（NO. 11164031）

Grain boundary and electrical transport properties of Gallium Phosphide under high pressure

Yuqiang Li, Ningru Xiao, Liyuan Yu, Jianxin Zhang, Pingfan Ning, Zanyun Zhang,
Pingjuan Niu

Engineering Research Center of High Power Solid State Lighting Application System of Ministry
of Education, School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin Polytechnic University,
Tianjin 300387, China.

Email: liyuqiang@tjpu.edu.cn

Abstract: The electrical transport properties of gallium phosphide (GaP) under high pressure (up to 50 GPa) were investigated using in situ impedance spectrum and Hall-effect measurements. A discontinuous resistance was observed at 9.9 GPa due to the pressure induced grain boundary effect, while the pressure induced metallization of GaP occurred at approximately 24.6 GPa. The metallization transition was determined by measuring the temperature dependent resistance and resistivity, while the transition was observed to be reversible. The main cause of the sharp decline in the resistance and resistivity was a pressure induced structural phase transition at 39.3 GPa, as reflected from the observed Hall parameters.

- [1] L. Zhang *et al.*, Pressure-induced Emission Enhancement, Band-gap Narrowing, and Metallization of Halide Perovskite $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{I}_9$, 2018, *Angew. Chem. Int. Ed.* 57, 11213-11217
- [2] F. Oehler *et al.*, Measuring and Modeling the Growth Dynamics of Self-Catalyzed GaP Nanowire Arrays, *Nano Lett.* 2018, 18, 701-708
- [3] Y. Li *et al.*, Metallization and Hall-effect of Mg_2Ge under High Pressure, *Appl. Phys. Lett.* 2015, 107, 142103.
- [4] Y. Li *et al.*, Electrical Transport Properties of BaWO_4 under High Pressure, *J. Phys. Chem. C.* 2012, 116, 25198-25205.

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO. 11605145, 11804249),天津市自然科学基金项目(NO. 18JCQNJC03700, 18JCQNJC01800),天津市教委科研计划项目(NO. 2018KJ210, 2017ZD06, 2018ZD15).

磁控溅射生长 SiC 薄膜的光致激发特性研究

赵昶、赵曼、吕素叶、刘庆军

北京石油化工学院 数理系 纳米光电子与高能粒子研究所, 北京大兴区清源北路
19 号 102617

Email: zhaochang@bipt.edu.cn

摘要: SiC 是一种宽带隙半导体材料,具有禁带宽度大、电子迁移率高、热导率高、抗辐射能力强等优良的物理化学性质,成为制作高温、不挥发存储器件及光电集成器件的优选材料;同时又是一种有效的半导体发光材料,如掺入不同类型的杂质,其发光波长可覆盖从红到紫的各种色光,因此 SiC 材料成为国际上新材料、微电子和光电子领域研究的热点。

本文利用磁控溅射法制备 SiC 薄膜,实验中以纯度 99.99% 的烧结 SiC 为靶材,纯度 99.9% 的氩气为溅射气体,衬底为 n 型(100)单晶硅片。分别利用 X 射线衍射仪、扫描电子显微镜、光致激发谱仪测量了 SiC 材料的 X 射线衍射谱、表面形貌、光致激发谱。研究了不同溅射功率和不同生长温度对 SiC 薄膜材料的影响,分析了生长条件的变化导致的 SiC 材料结晶形态及光电子特性的变化情况。

在本文的实验条件下,磁控溅射制备的 SiC 薄膜中同时存在两种结晶形态即 3C-SiC 和 6H-SiC,每种晶粒尺寸都比较小,间杂在一起形成了 SiC 纳米团簇薄膜,通过光致激发谱分析发现每种晶体成分都能独立表现出各自的光电子特性。改变溅射功率和衬底温度对 SiC 纳米团簇薄膜影响较大,适当的功率可以制备出两种晶体成分都比较好的 SiC 薄膜材料,而当温度大于 700°C 时,两种晶体形态的特性都会变差甚至消失。

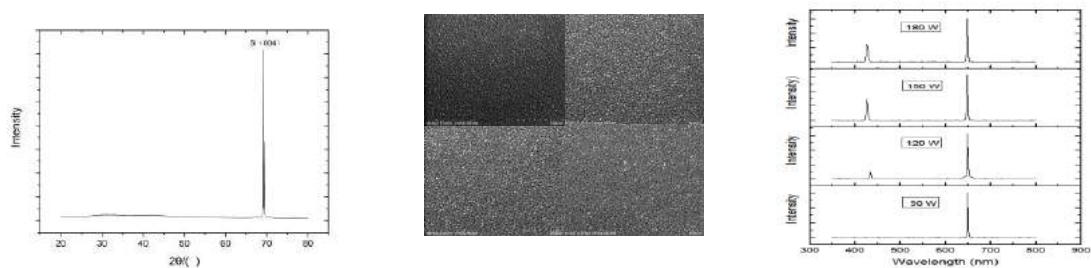


图 1 碳化硅薄膜 XRD、SEM、PL 谱测试结果

关键词: 碳化硅薄膜 光致激发 纳米团簇 晶型结构

参考文献

【1】 M. Yazdanfar, P. Stenberg, I.D. Booker, I.G. Ivanov, O. Kordina, H. Pedersen, E.Janzen, Process stability and morphology optimization of very thick 4H-SiC epitaxial layers grown by chloride-based CVD, Journal of Crystal Growth 380 (2013) 55–60.

基金项目：北京市科技计划重点项目（KZ201910017019）一般项目（KM201710017007）

北京市自然科学基金项目（NO.1192007）

基于金属碘化物薄膜的光电导型柔性 X 射线探测器

孙辉*、高秀英、杨定宇、朱兴华

成都信息工程大学 光电工程学院 成都 610225

Email: sunhui@cuit.edu.cn

柔性 X 射线探测器能实现可变几何构形和非平面式应用,既能获得优异的探测器性能,又使系统具有更好的紧凑性和适用性,可满足未来在工业、医学、科学实验等领域的多样化需求。光电导型 X 射线探测器利用半导体的光电导效应,由入射 X 光子与材料相互作用产生电子-空穴对,在外加电场作用下分离形成电信号,实现高能光子到电荷的直接转换,简化了器件结构和制造工艺与流程。金属碘化物中的碘化铅 (PbI_2)、碘化铋 (BiI_3) 是两种已被证实可用于室温 X、 γ 射线探测的新型材料,都含有高原子序数元素且密度较高,具有较高的吸收系数,其晶体和薄膜材料的制备方法较多,工艺条件温和。Pb 和 Bi 的碘化物晶体都属于六方晶系,由 Pb-I、Bi-I 离子键以及 I-Pb-I、I-Bi-I 单分子层之间的范德瓦尔斯键结合,易形成片层状晶体,且弹性模量较低,天然地具有柔软的机械特性。膜薄形态的金属碘化物可进一步提高器件的柔性性能,使其在大变形状态下依然能够保持优异的 X 射线探测性能。

采用物理气相沉积法在各类塑料衬底上 (PI、PE、PET) 沉积了高质量、高均匀性的多晶金属碘化物薄膜材料,并以此制备了平面结构柔性 4×4 阵列 X 射线探测器。该工艺方法主要是室温范围的物理过程,无溶液无化学反应,是一种高效环保的制备方法,具有工艺流程简单、可控性强、可重复性强的特点。在 10V 偏压下, PbI_2/PI 和 BiI_3/PI 器件的暗电流分别为 2-6pA 和 13-20pA,在 X 射线曝光下,光电流分别为 42-45 pA 和 108-110 pA,光/暗电流比率为 15.5-16.5 和 5.7-6.8,100 次循环弯曲后光暗电流的衰退或变化范围小于 10%。基于 4×4 阵列器件,在 X 射线照射下获得了铜板“H”和“F”字母的清晰轮廓。上述结果表明,金属碘化物薄膜是发展新型柔性 X 射线探测器的潜在材料。

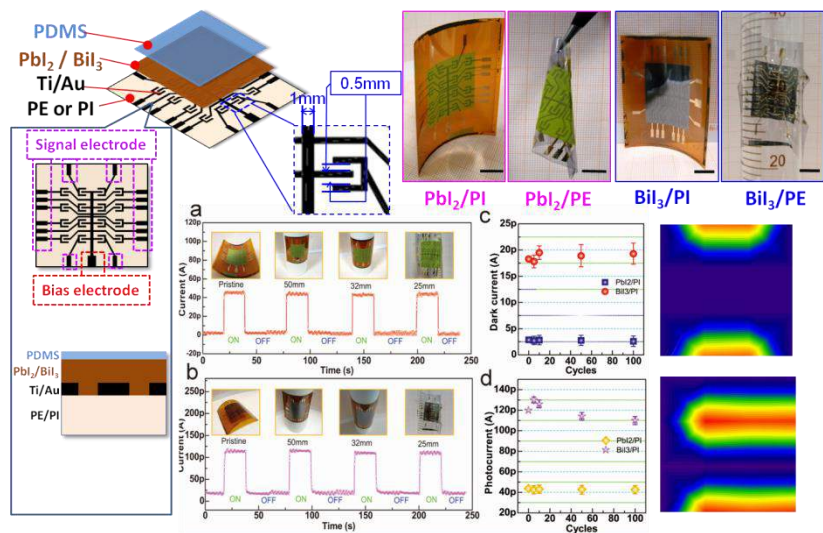


图1 金属碘化物薄膜柔性 X 射线探测器

关键词：X 射线探测器、柔性光电探测器、碘化铅、碘化铋

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11675029）

压力导致的 $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ 钙钛矿薄膜超宽发光

吕超凡、杨西贵、单崇新

郑州大学物理学院，郑州 450002

Email: maillcf@qq.com

摘要：作为近年来得到广泛关注和研究的新兴半导体材料，钙钛矿有着制备成本低，光吸收系数高，发光量子产率高等一系列的优点，钙钛矿卤化物八面体的结构畸变常常能产生自陷激子(STE)的宽频带发射，在单一基质的发光照明应用研究上吸引了研究者广泛的兴趣。为此研究人员一直致力于寻找具备宽带发射性质的钙钛矿材料，以得到能够覆盖各个不同发射波段的钙钛矿，这一应用将在照明、显示和红外检测等场景中发挥重要作用。目前钙钛矿材料的宽带发射研究主要集中低维(0D~2D)卤化物铅钙钛矿，这类体系具有强量子约束和较低电子维度。然而其不稳定性和铅的毒性是实现商用宽带发射器的瓶颈。因此，具有广谱覆盖能力的无铅钙钛矿是非常需要的。

课题组团队使用金刚石对顶砧高压技术，通过原位高压光致发光(PL)、紫外-可见吸收、角色散同步辐射 x 射线衍射(ADXRD)和拉曼实验，系统地研究了无铅双钙钛矿 $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ 薄膜的结构和光谱性质。我们发现 $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ 薄膜在 4.8 GPa 的压力下结构由立方相转变为四方相，并且新出现了范围为 520 - 1000nm 的超宽带发射。这一现象是由于 AgBr_6 和 BiBr_6 八面体在压缩过程中发生较大畸变，从而形成了新的自陷激子能级。更加有趣的是，在卸去压力后，拓宽的 PL 光谱被保留了下来。研究结果为无铅双钙钛矿材料的光谱扩展提供了一种可行的策略。

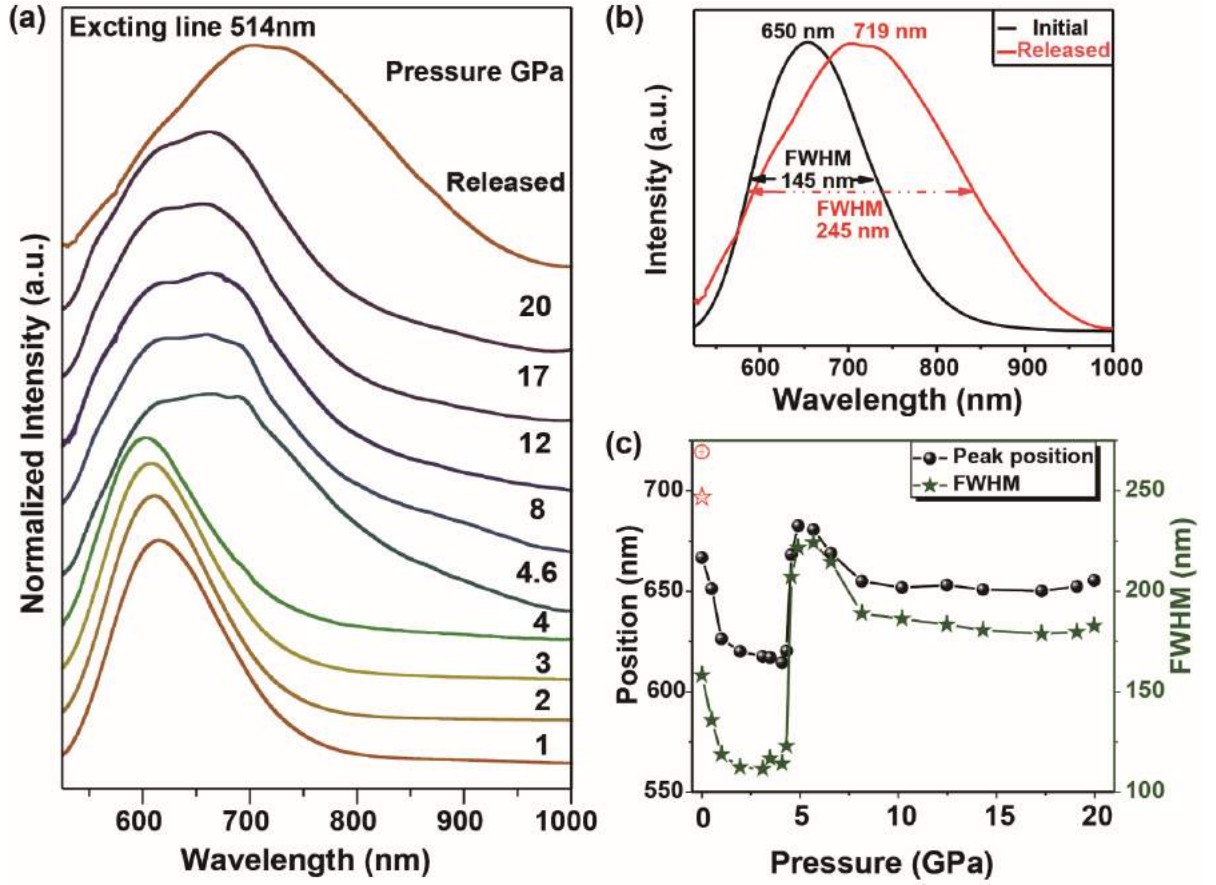


图 1 $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ 原位高压 PL 光谱

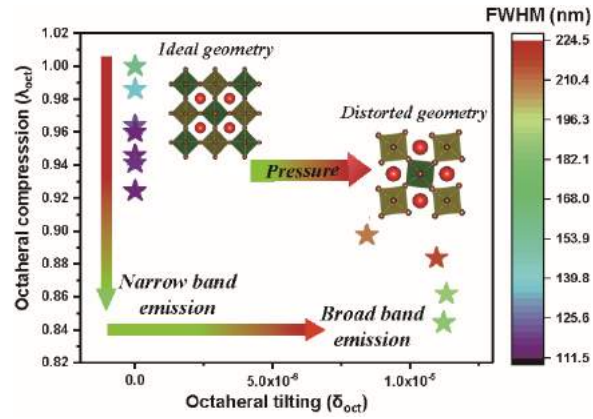


图 2 $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ PL 光谱范围与结构形变的关系

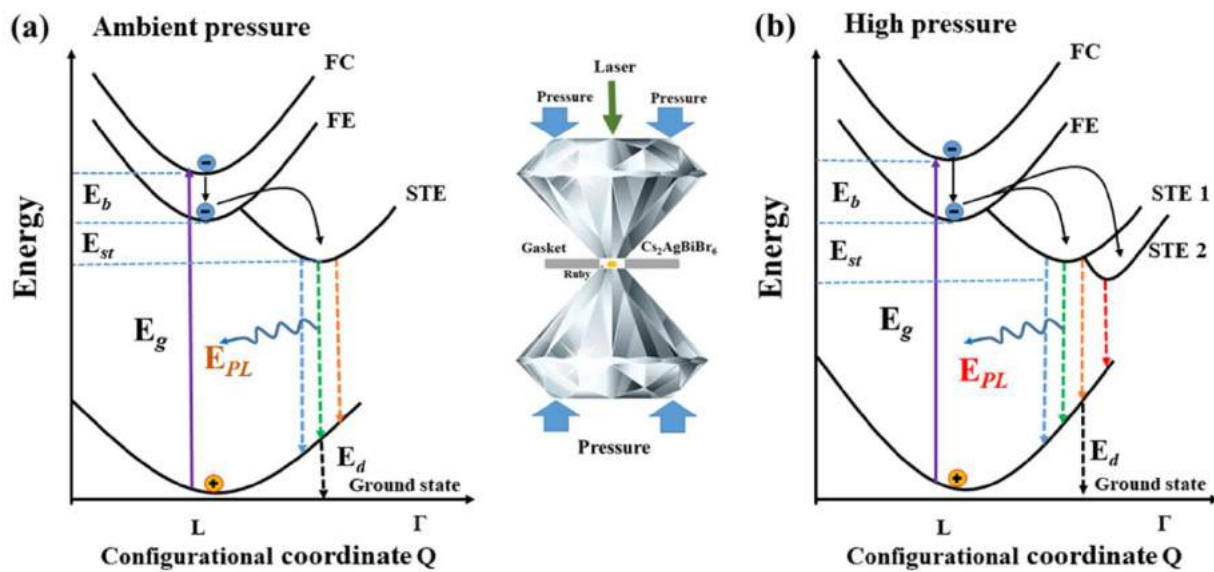


图 3 $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ 钙钛矿在压力前后的发光原理示意

关键词：无铅钙钛矿 高压 金刚石对顶砧

【1】 Chaofan. Lv *et al.*, Pressure Induced Ultra-broadband Emission of $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ Perovskite Thin Film, in preparation.

基金项目：国家自然科学基金项目(NO. 11804307)中国博士后科学基金(NO. 2018M630830)

黑磷量子点掺杂海藻酸钠基忆阻器件及其神经突触仿生研究

孙若瑶、林亚*、王中强、徐海阳*

紫外光发射材料与技术教育部重点实验室, 东北师范大学, 吉林长春, 130024
Email: liny474@nenu.edu.cn,hyxu@nenu.edu.cn

神经突触是生物大脑学习和记忆的最基本单元,其自身的可塑性被认为是生物学习和记忆的基础。而忆阻器件与神经突触在结构和功能上具有高度相似性,因此,忆阻器被视为最具潜力模拟神经突触的器件候选之一。现有忆阻材料体系中,生物材料由于自然丰富、安全无毒,环境友好,吸引研究者极大的兴趣。海藻酸钠,作为一种天然多糖,由于其具有可溶性,稳定性,无毒性,可作为生物相容的可降解柔性电子器件的理想材料。最近,黑磷(BP)作为一种新颖的分层半导体材料,因其独特的结构和良好的光电特性特性,已成为二维材料研究的新焦点。与间接带隙 TMD 和零带隙石墨烯相比,理论上单原子厚度层的黑磷量子点(BPDQ)会显示出 0.3 至 2eV 的可调直接间隙[1-3],因此二维的黑磷量子点(2D-BPDQ)具有可调控的光电特性[4,5],成为最具潜力的光电材料之一。而到目前为止,基于二维黑磷量子点的忆阻器件突触仿生鲜有报道。

本研究首次利用 BP 量子点(BPQD)掺入海藻酸钠成功制备出柔性可降解的三明治结构的忆阻器件。通过顶电极活性金属银离子迁移与扩散模型,成功实现了生物突触可塑性的模拟,包括兴奋性突触后电流(EPSC)、双脉冲易化(PPF)、频率依赖可塑性(SRDP)、(时间依赖可塑性)STDP。除此之外,该器件由于水溶性还可以在离子水中实现快速的降解,从而推动安全绿色的神经形态计算硬件发展。

关键词: 忆阻器 海藻酸钠 黑磷量子点

参考文献

- 【1】 L. Li, Y. Yu, G. J. Ye, Q. Ge, X. Ou, H. Wu, D. Feng, X. H. Chen, Y. Zhang, *Nat. Nanotechnol.* 2014, 9, 372.
- 【2】 F. Xia, H. Wang, Y. Jia, *Nat. Commun.* 2014, 5, 4458.
- 【3】 J. R. Brent, N. Savjani, E. A. Lewis, S. J. Haigh, D. J. Lewis, P. O'Brien, *Chem. Commun.* 2014, 50, 13338.
- 【4】 J. R. Brent, N. Savjani, E. A. Lewis, S. J. Haigh, D. J. Lewis, P. O'Brien, *Chem. Commun.* 2014, 50, 13338.
- 【5】 S. N. Baker, G. A. Baker, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2010, 49, 6726.

基于 PdSe₂/MoTe₂ 范德华异质结的高性能光电探测器

罗曼¹、余晨辉¹、王鹏²、王芳²、张莉丽²、陆卫²、陈效双^{2*}、胡

伟达^{2*}

1.南通大学, 专用集成电路设计重点实验室, 江苏南通 226019

2.中国科学院上海技术物理研究所, 红外物理国家重点实验室, 上海 200083

* Email: xschen@mail.sitp.ac.cn

* Email: wdhu@mail.sitp.ac.cn

摘要: 随着纳米材料制备技术的提高, 二维材料的家族成员不断壮大, 上千种具有不同性质的二维材料被成功发现或合成。由于二维材料具有原子级厚度, 因此对于外界的调控异常敏感, 优异的电学及光学特性使得二维材料能够在微纳电子和光电器件领域发挥无限的潜力。但基于二维材料的光电探测器依然面临着响应速度慢, 吸光效率有限等问题。微纳加工技术的进步, 使得可以通过人工堆叠手段将二维材料进行任意组合, 进一步设计独特的器件结构来提高二维材料光电器件的探测性能。而二硒化钼 (PdSe₂) 是一种新研发并且能在空气中稳定存在的第 10 族二维 (2D) 贵金属二硫化物, 具有褶皱的五边形结构。为了获得宽光谱响应、低暗电流、高响应的光电探测器, 本文制备了基于 PdSe₂/MoTe₂ 垂直结构的范德瓦尔斯异质结可见-红外光电探测器。由于范德华异质结形成的内建电场使得载流子能够被有效收集, 光电探测器表现出优异的光电响应和快速的响应速度, 以及从可见光(520 nm)到远红外(10.6 μm)的宽波段敏感性。

关键词: 二维材料 范德瓦尔斯异质结 光电探测器 暗电流

参考文献

- 【4】 M. Luo, F. Wu, M.S. Long*, X.S. Chen*, WSe₂/Au vertical Schottky junction photodetector with low dark current and fast photoresponse. *Nanotechnology*, 2018, 29 (44): 444001.
- 【5】 M. Luo, X. X. Chen, P. S. Wu, H. L. Wang, Y. F. Chen, L. L. Zhang*, X. S. Chen*, Gate-tunable ReS₂/MoTe₂ heterojunction with high-performance photodetector. *Optical and Quantum Electronics*, 2019, 51(5): 127.
- 【6】 F. Gong, W.J. Luo, J.L. Wang, P. Wang, H.H. Fang, D.S. Zheng, N. Guo, J.L. Wang, M. Luo, Johnny C. Ho, X.S. Chen, W. Lu, L. Liao, and W.D. Hu*. High-Sensitivity Floating-Gate Phototransistors Based on WS₂ and MoS₂. *Advanced Functional Materials*, 2016, 26(33): 6084-6090.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11574166)

Zr掺杂SnO₂基紫外光电探测器性能的研究

尹魏玲、黄攀、王其乐、陈剑、黎明锴、卢寅梅、何云斌*

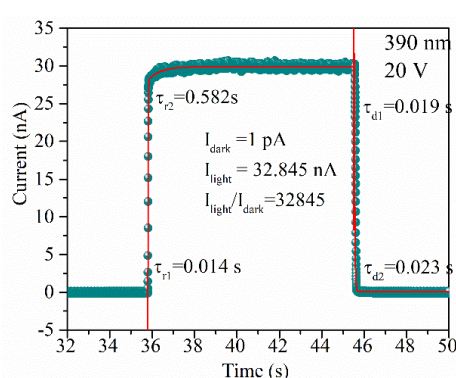
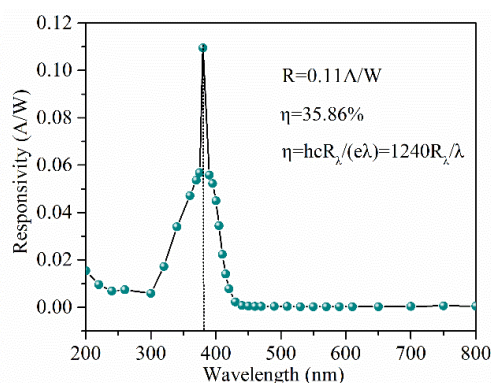
湖北大学材料科学与工程学院, 湖北武汉, 430062

Email: ybhe@hubu.edu.cn

摘要:

紫外光电探测器因灵敏度高、抗干扰能力强等优点, 在转换通信、环境监测、视频成像等领域有广泛的应用前景。[1] SnO₂相较其它常见的第三代半导体氧化物, 具有较宽的直接光学带隙(3.6eV~3.9eV)、稳定性好、电子迁移率大、可见光透过率高等特点, 是制备紫外光电探测器的理想候选材料。为了进一步提高SnO₂基紫外光电探测器的探测能力以应用于各种不同环境和场合, 考虑到ZrO₂较SnO₂有更宽的带隙, 同时Zr⁴⁺与Sn⁴⁺电荷相同且半径相近, 我们提出采用同价Zr⁴⁺元素部分取代Sn⁴⁺形成ZrSnO₂合金, 其相对SnO₂拓宽的光学带隙, 可降低紫外光电探测器的暗电流, 同时将探测区间拓展到深紫外区域。

我们自行烧制纯ZrO₂和Zr_xSn_{1-x}O₂陶瓷靶材, 以(001)取向TiO₂为衬底, 使用高纯氧气作为反应气体, 采用脉冲激光沉积(PLD)法在衬底上生长ZrO₂-Zr_xSn_{1-x}O₂薄膜。样品表面清洗洁净后用真空蒸镀法在薄膜表面沉积厚度约为50nm, 沟道宽度为10um的平行金电极, 得到ZrSnO₂基光电导型紫外光电探测器。测试结果显示, 实验生长得到的ZrO₂薄膜具有(011)取向, 而Zr_xSn_{1-x}O₂薄膜具有(101)和(200)两个取向。样品对可见光透过率高, 其与金电极之间形成欧姆接触, 在20V偏压下, 器件暗电流 $I_{\text{dark}}=1\text{pA}$, 光暗电流比 $I_{\text{light}}/I_{\text{dark}}=32845$, 响应时间为 $\tau_{\text{rise}}=0.014\text{ s}/0.582\text{ s}$ 和 $\tau_{\text{decay}}=0.019\text{ s}/0.023\text{ s}$, 峰值响应波长为390nm, 响应度 $R(R_{\text{max}}=0.11\text{ A/W})$, 以上数据表明所制样品具备良好的近紫外光探测性能。

图1 SnO₂基紫外光电探测器单周期I-T曲线图2 SnO₂基紫外光电探测器响应度曲线图关键词: SnO₂ 紫外光电探测器 快响应

参考文献:

【1】Kewei Liu *et al.*, Ultrahigh-Gain Single SnO₂ Microrod Photoconductor on Flexible Substrate with Fast Recovery Speed, *Adv. Funct. Mater.*, 2015, 25(21), 3157

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO. 51572073, 11574074, 11774082, 61874040), 湖北省自然科学基金项目(NO. 2016AAA031, 2018CFB700)

Pr 掺杂对 $(\text{SrBa})_{1-x}\text{Pr}_x(\text{CuTi})_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ ($x = 0\sim 1.0$) -SDC 复合 阴极 H-SOFCs 电化学性能的影响

刘洋、蔡彬*

郑州大学物理学院 (微电子工程学院), 郑州 450052

Email: bcai@zzu.edu.cn

摘要: 本研究报告了 $(\text{SrBa})_{1-x}\text{Pr}_x(\text{CuTi})_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ ((SB) $_{1-x}\text{P}_x\text{CTF}$) ($x = 0\sim 1.0$, 间隔为 0.2) 钙钛矿氧化物通过 EDTA-柠檬酸盐法合成, 用于中温固体氧化物燃料电池 (IT-SOFC) 的阴极材料。X 射线衍射 (XRD) 结果表明, 所有样品在 1000°C 下煅烧 5 小时后均能形成单一立方钙钛矿型结构, 晶格常数随 Pr 含量的增加而降低。随着 Pr 含量的增加, 阴极材料的电导率逐渐增加, (SB) $_{1-x}\text{P}_x\text{CTF}$ -SDC 的热膨胀系数 (TEC) 逐渐降低, 当 Pr 含量为 0.4 时, (SB) $_{0.6}\text{P}_{0.4}\text{CTF}$ -SDC 在 100-750°C 的热膨胀系数为 $15.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, 与电解质 BZCY 具有更好的热匹配性。(SB) $_{0.6}\text{P}_{0.4}\text{CTF}$ -SDC 复合阴极制备的 NiO-BZCY | BZCY |(SB) $_{0.6}\text{P}_{0.4}\text{CTF}$ -SDC 单电池, 在 H_2 中, 750°C 时的功率密度可以达到 961 mW cm^{-2} 。EIS 分析表明在 H_2 中, 750°C 时 NiO-BZCY | BZCY |(SB) $_{0.6}\text{P}_{0.4}\text{CTF}$ -SDC 单电池的极化电阻仅为 $0.07 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。在空气中, 750°C 时 (SB) $_{0.6}\text{P}_{0.4}\text{CTF}$ -SDC | BZCY |(SB) $_{0.6}\text{P}_{0.4}\text{CTF}$ -SDC 对称电池的极化电阻仅为 $0.71 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。这些研究结果表明当 Pr 含量为 0.4 时制备的 (SB) $_{0.6}\text{P}_{0.4}\text{CTF}$ -SDC 复合阴极在 H-SOFCs 中具有良好的应用前景。

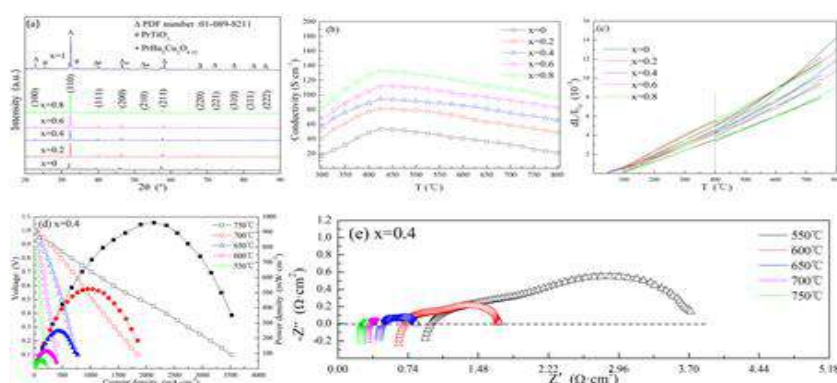


图 1 $(\text{SrBa})_{1-x}\text{Pr}_x(\text{CuTi})_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ 阴极材料的 XRD、电导率、TEC、以及 NiO-BZCY | BZCY

|(SB) $_{0.6}\text{P}_{0.4}\text{CTF}$ -SDC 单电池的 I-V 和 I-P 曲线以及 EIS 图谱

关键词: H-SOFCs, (SB) $_{1-x}\text{P}_x\text{CTF}$ -SDC 复合阴极, 立方钙钛矿结构, 电化学性能

参考文献

[1] Guangming Yang *et al.*, Cobalt-free $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.1}\text{Ti}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ as a bi-functional electrode. *J. Power Sources*. 298 (2015), 184.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 51371160）

High efficient photocatalytic activity of photonic crystal structural-induced $\text{Cu}_3\text{SnS}_4/\text{Ti}^{3+}\text{-TiO}_2$ p-n coaxial heterojunction arrays for pollutant degradation and H_2 production

Jian-Biao Chen, Yan Li, Cheng-Wei Wang

Key Laboratory of Atomic & Molecular Physics and Functional Materials of Gansu Province, College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou, 730070, China

Email: liyan-nwnu@163.com

Designing high-performance nanostructured photocatalysts is valuable for water pollution control, yet challengeable. Herein, by combining the n-type Ti^{3+} self-doped TiO_2 photonic crystal structure with p-type ternary semiconductor Cu_3SnS_4 , a new potential nanostructure of photonic crystal structural-induced p-n coaxial heterojunction arrays (denoted as $\text{CTS}/\text{Ti}^{3+}\text{-PhC-TNAs}$) was designed and successfully fabricated by periodic pulse anodic oxidation combined with in-situ self-assembly technique. To be used in photocatalytic H_2 production and organic pollutant removal after optimizing both the structure and Ti^{3+} doping ratio, $\text{CTS}/\text{Ti}^{3+}\text{-PhC-TNAs}$ exhibited significantly enhanced photocatalytic activities of $159.29 \pm 1.7 \mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ for H_2 evolution and $0.08308 \text{ h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ for methyl orange degradation under simulated sunlight irradiation, which was 9.4 and 3.1 times higher than that of the PhC-TNAs (Figure 1). Detailed investigations revealed that the improved photoactivity of $\text{CTS}/\text{Ti}^{3+}\text{-PhC-TNAs}$ could be attributed to the accelerated photogenerated electron-hole separation at p-n heterojunction interfaces, the facilitated electron transfer along the coaxial heterojunction arrays and the enhanced light-harvesting through the unique designed photonic crystal composite structure as well. The present study shows a new insight and significantly improvement of photoactivity when Cu_3SnS_4 is introduced to form a p-n coaxial heterojunction arrays with photonic crystal structured TiO_2 , which provides a new means to design and fabricate novel film photocatalyst for high efficient solar energy conversion and photodegradation.

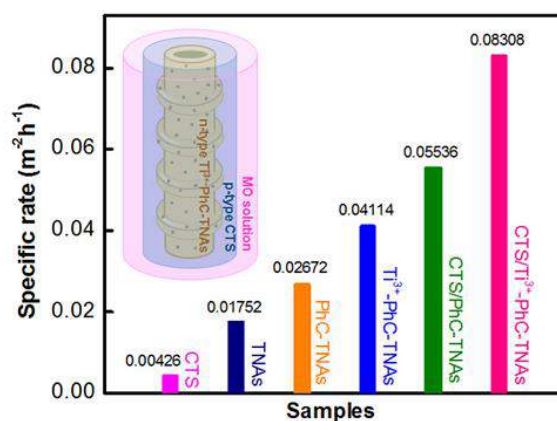


Fig1. Illustration of the significantly enhanced photocatalytic activity of $\text{CTS}/\text{Ti}^{3+}\text{-PhC-TNAs}$ and the corresponding comparable samples.

Key Words: H₂ production; Cu₃SnS₄; Ti³⁺ self-doped TiO₂; Photonic crystal; P-N coaxial heterojunction arrays

References:

[1]Li, X., Hu, Z., Liu, J., Li, D., Zhang, X., Chen, J., Fang, J. (2016), Ga doped ZnO photonic crystals with enhanced photocatalytic activity and its reaction mechanism, *Appl. Catal. B Environ.* 195, 29–38.

[2]Chen, X.Q., Ye, J.H., Ouyang, S.X., Kako, T., Li, Z.S., Zou, Z.G. (2011), Enhanced incident photon-to-electron conversion efficiency of tungsten trioxide photoanodes based on 3D-photonic crystal design, *ACS Nano* 5, 4310–4318.

Acknowledgements:

The Authors are grateful to the support of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11474231, 11364036, 11464041 and 11264034).

高质量自组装单晶 InSb 纳米片中的不饱和线性磁阻效应

童树成、潘东、王晓蕾、余之峰、魏大海、赵建华

中国科学院半导体研究所, 北京 100083

Email: sctong@semi.ac.cn

Abstract: Narrow-band semiconductor InSb has attracted tremendous attentions due to the high electron mobility, small electron effective mass, and large Landé g-factor, which indicates that InSb is promising material for novel electronic and spintronic devices. In addition, with the dimension lowering and size downscaling, various quantum phenomena might emerge in 2D InSb materials. In this work, high-quality free-standing InSb single-crystal nanosheets combining fascinating characteristics of two systems are systematically explored. An unexpected large and unsaturated linear magnetoresistance is observed at a wide temperature range. This linear magnetoresistance exhibits non-monotonic temperature dependence, which increases gradually before dramatically dropping with temperature decreasing. Further analysis indicates this phenomenon beyond classical theory, quantum magnetoresistance model should be used to understand it. Useful information for understanding InSb as well as the linear magnetoresistance is provided via our work. Furthermore, a magnetic sensor based on nanoscale 2D InSb nanosheets might be viable.

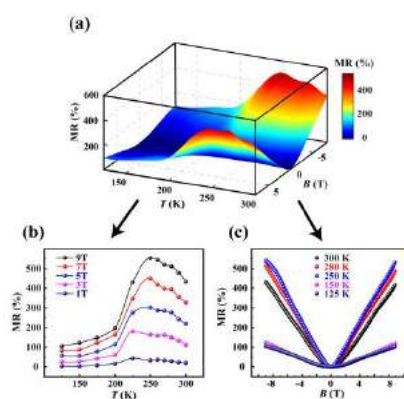


Figure1 (a) 3D surface plots of temperature dependence of MR ratio. (b) and (c) are 2D detailed plot of

temperature dependence of MR ratio at selected field and the MR ratio at different temperatures.

Key words: InSb nanosheets, Quantum MR, PL model, Linear MR

References:

【1】 R. Xu, A. Husmann, T. F. Rosenbaum, M. L. Saboungi, J. E. Enderby, and P. B. Littlewood, *Nature* 390 (6655), 57 (1997).

【2】 A. A. Abrikosov, *Phys Rev B* 58 (5), 2788 (1998).

基金项目：The National Program on Key Basic Research Project [MOST, Grant No. 2017YFA0305301], and the National Natural Science Foundation [NSFC, Grant Nos. 11674312, 11774339].

Magnetic coupling properties of Zn vacancies in ZnO nanowire with screw dislocation

Jingjing Wu, Min Kong, Tianru Han, Xin Tang

College of Material Science and Engineering, Guilin 541004

Email: wjjhxf@qq.com

Abstract: The electronic structure and magnetic coupling property of Zn vacancy (V_{Zn}) in ZnO nanowires (ZnONWs) with screw dislocations are investigated using first-principle calculation based on density functional theory (DFT). The O atoms in dislocation cores are 3-fold coordination sites and constitute especial screw structures, which facilitate the formation of V_{Zn} defects to release strain. The V_{Zn} in the form of V_{Zn} pairs reduce their formation energies greatly and stabilize screw dislocations. Besides, the dislocations are 2D periodic enough to capture abundant V_{Zn} pairs. The calculation results show that the 03-03' V_{Zn} pair is the most stable one and reveal stable FM states which can be achieved by spin polarization of the surrounding 3-fold coordination O atoms. Of all the V_{Zn} pairs, 03-03' V_{Zn} pair at kink site has opportune D value and the most stable formation energy. Furthermore, the screw dislocations along [0001] direction have two-dimensional (2D) periodicity including numerous periodical V_{Zn} pairs. The $p-p$ coupling between O atoms around 03-03' V_{Zn} pair is continuous along [0001], and that lead to long range FM ordering of the system. In particular, the presence of 03-03' V_{Zn} pairs are easier to obtain stable macroscopic FM ordering.

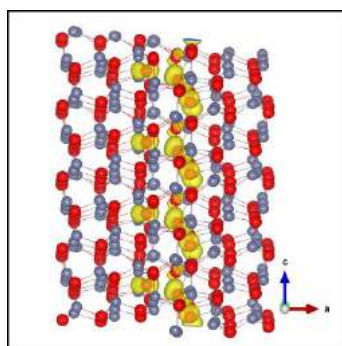


Fig. 1. The isosurface ($0.002e/\text{Bohr}^3$) of the spin density distribution in side view of dislocation with 03-03' V_{Zn} pairs (b). Red and blue spheres designate O and Zn atoms, respectively.

Keywords: ZnO nanowire ; Screw dislocation; First principle calculation

【1】 Wu *et al*, Electronic structure and ferromagnetic properties of Zn vacancies in ZnO screw dislocations: First-principles calculations, *AIP advances*. 2018, 8, 065115.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO.11364009)

垂直布里奇曼法生长高通量 Cu 单晶

李超、王亚东、刘丛辉、王超、历香怡、杜祯、韩壮壮、孙琴琴、余
华、谢新宇

合肥科晶材料技术有限公司，合肥，230000

安徽省企业技术中心，合肥，230000

合肥科晶应用技术实验室，合肥，230000

Email: 2880135220@qq.com

摘要：具有面心立方结构的金属晶体铜（Cu）单晶，其反射面间距小、相干散射强、分辨率高、反射强度大等一系列优异性能，广泛应用在中子、X 射线单色器、高保真信号传输及合金薄膜材料等领域。实验采用纯度为 4N 铜蒸发料（尺寸为 2 mm×3mm）为原料，在自制的单晶生长炉中，以 1.4 °C/mm 的温度梯度制备金属单晶 Cu。基于实验通量在材料研究进程中的重要性，通过改进坩埚形状及尺寸，利用垂直布里奇曼法（Vertica Bridgman, VB）生长出 16 工位的外观完整、表面光滑无裂纹的单晶 Cu，其晶体尺寸为 10 mm×58 mm；利用 XRD 定向检测，得到具有（111）晶面的 Cu 晶体，结合原子力显微镜分析结果，得到晶体表面粗糙度为：2.32Å；表明所生长的晶体结构完整、质量较好。具有 16 工位的石墨坩埚，可同时放置不同类型的蒸发料，可生长出不同成分的晶体，有效缩短材料制备的实验进程，进一步提高实验效率。

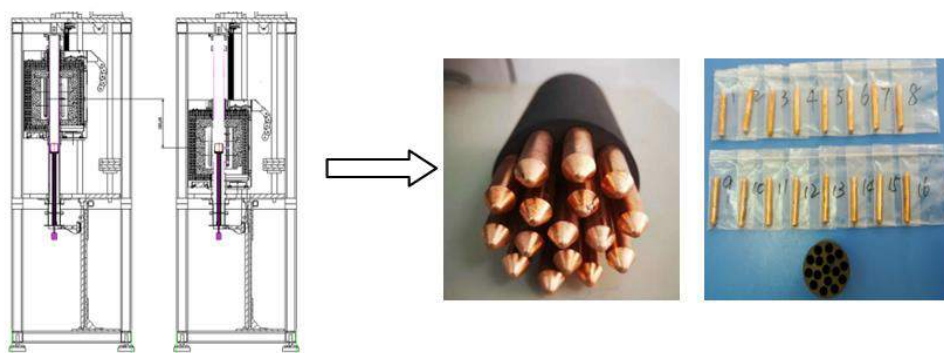


图 1 高通量设备生长 Cu 单晶

MXene 碳化铌的制备及其电化学性能的研究

赵家宝、肖钧鹏、高红、张喜田

哈尔滨师范大学物理与电子工程学院, 光电带隙材料教育部重点实验室, 哈尔滨

Email: gaohong65cn@126.com

摘要: MXenes, 一种新型的二维过渡金属碳化物和碳氮化物[1], 作为电极材料表现出优异的电化学性能[2, 3]。MXene 家族中的 Nb_2CT_x 由于具有较高的理论容量[4, 5]在近年来受到了广泛的关注。我们分别采用氢氟酸和盐酸+氟化锂两种溶液蚀刻 Nb_2AlC , 成功制备了少层 Nb_2CT_x 纳米薄片和手风琴状多层 Nb_2CT_x 。所制备的少层 Nb_2CT_x 纳米薄片在锂离子电池中具有良好的循环性能和倍率性能, 并且具有较长的循环寿命; 在 1.0 A g^{-1} 的大电流密度的情况下, 800 次循环后仍能保持 225 mAh g^{-1} 的高可逆容量, 在 0.05 A g^{-1} 的小电流密度下, 比容量可达到 354 mAh g^{-1} (见图 1)。所制备的手风琴状多层 Nb_2CT_x 结晶度好, 作为超级电容器电极, 其比电容可达到 202 F g^{-1} , 当扫描速率达到 100 mV s^{-1} 时其电容保持率为 73 % (见图 2)。这些结果表明具有二维结构的 Nb_2CT_x 是一种很有前途的锂离子电池和超级电容器电极材料。这为 Nb_2CT_x 材料在电化学储能领域的研究和发展奠定了基础。

关键词: MXene Nb_2CT_x 锂离子电池 超级电容器

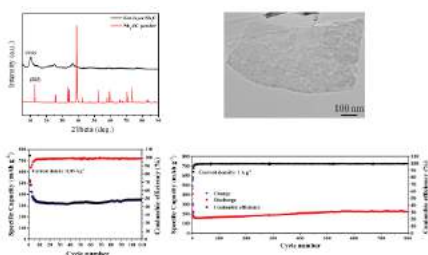


图 1 HF 酸蚀得到的少层 Nb_2CT_x 纳米薄片.

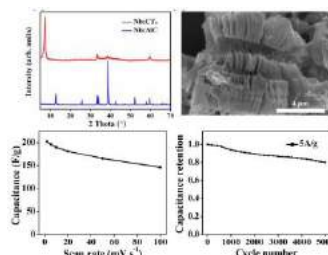


图 2 HCl+LiF 酸蚀得到的手风琴状多层 Nb_2CT_x .

- 【1】 M. Naguib, M. Kurtoglu, V. Presser, J. Lu, J. J. Niu, M. Heon, L. Hultman, Y. Gogotsi, M. W. Barsoum, Two-Dimensional Nanocrystals Produced by Exfoliation of Ti_3AlC_2 , *Adv. Mater.* 2011, 23 (37), 4248.
- 【2】 L. Li, M.Y. Zhang, X.T. Zhang, Z.G. Zhang, New Ti_3C_2 aerogel as promising negative electrode materials for asymmetric supercapacitors, *J. Power Sources*, 2017, 364, 234.
- 【3】 Q. Jin, H. Gao and X.T. Zhang, Rationally designing $\text{S}/\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ as a cathode material with an interlayer for high-rate and long-cycle lithium-sulfur batteries, *Nanoscale*, 2018, 10 (35), 16935.

【4】 O. Mashtalir, Y. Gogotsi, Amine-Assisted Delamination of Nb₂C MXene for Li-Ion Energy Storage Devices, *Adv. Mater.*, 2015, 27 (23), 3501.

【5】 L.N. Bai, H.T. Yin, L.L. Wu and X.T. Zhang, First-principle study of the Nb_{n+1}C_nT₂ systems as electrode materials for supercapacitors, *Computational Materials Science*, 2018, 143, 225.

基金项目：国家自然科学基金项目(No. 51772070, No. 51472066)

二维 PdSe₂/SiNWA 异质结的构建及在宽波段偏振光探测、成像和湿度传感领域的应用

贾诚、吴翟*

郑州大学物理学院, 郑州 450052

Email: wudi1205@zzu.edu.cn

摘要: 最近发现的具有良好空气稳定性的二维 (2D) 二硒化钼 (PdSe₂) 薄膜具有独特的不对称晶体结构和 0-1.3 eV 的宽可调带隙, 从而具有宽的光谱响应范围和偏振敏感的光响应特性。本研究报告了一种基于 PdSe₂/Si 纳米线阵列 (SiNWA) 混合维度 vdW 异质结的具有高偏振敏感, 宽波段响应和良好空气稳定的光电探测器。该异质结探测器具有从深紫外 (DUV) 到中红外 (MIR) (200 nm-4.6 μm) 的超宽带光谱响应能力; 同时具有高达 10⁶ 的电流开关、726 mA/W 的高响应度, 3.19×10¹⁴ Jones 的比探测率, 以及 3.4/3.9 μs 的快响应速度和监测纳秒脉冲光信号能力。更重要的是, 该器件实现了超高偏振灵敏度~75, 以及对中红外信号 (4.6 μm) 出色的成像能力。此外, 该 PdSe₂/SiNWA 异质结器件还显示出优异的光增强的湿度传感特性, 具有高灵敏度和快速响应/恢复时间。这些结果表明, PdSe₂/SiNWA 异质结器件将在高性能偏振敏感的宽波段光电探测、红外成像和湿度传感方面具有巨大的潜在应用。本研究为高性能电子和光电传感器的设计提供了新的思路。

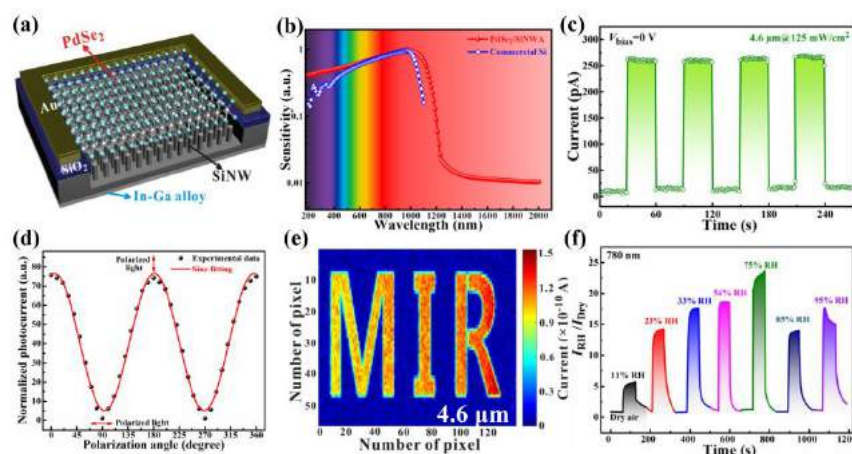


图 1 PdSe₂/SiNWA 异质结及其宽波段偏振光探测、成像和湿度传感特性

关键词: 二硒化钼, 宽波段光电探测器, 偏振敏感, 红外成像, 湿度传感器

参考文献

[1] Wu, D. *et al.*, Highly Polarization-Sensitive, Broadband, Self-Powered Photodetector Based on Graphene/PdSe₂/Germanium Heterojunction, *ACS Nano*. 2019, 10.1021/acsnano.9b03994.

[2] Zeng, L.-H.. *et al.*, Controlled Synthesis of 2D Palladium Diselenide for Sensitive Photodetector Applications, *Adv. Funct. Mater.* 2019, 29 (1) , 1806878.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 61605174, 61774136 和 11604302）

具有中红外响应的二维 WS₂/Si II 型异质结自驱动光电探测器

吴恩平、吴翟*

郑州大学物理工程学院, 郑州 450052

Email: wudi1205@zzu.edu.cn

摘要: 近年来, 由于高性能宽波段光电探测器在光电子领域中巨大的潜在应用而引起了广泛的科学研究。尽管在基于二维 (2D) 材料的光电探测器 (例如石墨烯和黑磷) 方面取得了很大成就, 但是同时也存在诸如较低的光吸收和空气稳定性较差等一些明显缺点, 限制了其在高性能光电探测中的应用。通过设计构建 2D 材料混合维度的异质结构是实现高性能探测器的有效方法。在这项工作中, 我们原位制备了具有 II 型能带排列的 WS₂/Si 异质结光电探测器。该异质结器件在零偏压下产生超过 10⁶ 的电流开关比, 响应度达到 224 mA/W, 比探测率高达 1.5×10¹² Jones, 对 3043 nm 的中红外信号具有良好的响应。此外, 我们还构建了 4×4 阵列器件并对其进行测试, 证明了所构建的异质结器件具有较高的稳定性和重复性。这些结果表明, WS₂/Si II 型异质结在宽波段光电探测和集成光电系统中有着巨大应用潜力。

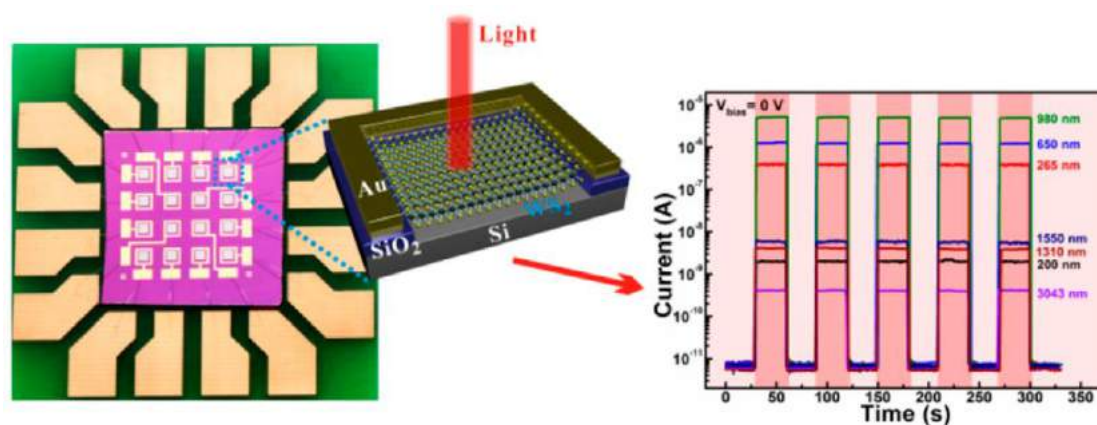


图 1 WS₂/Si 异质结 4×4 阵列器件及宽波段光电响应特性

关键词: 二硫化钨 二维材料 异质结 中红外 光电探测器

参考文献

【1】 Wu, Enping *et al*, In-situ fabrication of 2D WS₂/Si type-II heterojunction for self-powered broadband photodetector with response up to mid-infrared, *ACS Photonics* 2019, 6(2), 565-572.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 61605174) 等

无机 TiO₂ 纳米棒阵列基柔性阻变器件的存储性能及弯曲特性研究

薛旦、宋宏甲

湘潭大学材料科学与工程学院, 湖南湘潭 411105

Email: 1452502568@qq.com

摘要: 近年来, 柔性电子以其独特的延展性、低成本制造工艺及质量轻的特点在显示、传感器、生物医学和工业应用领域备受关注, 那么要实现集成式柔性电子系统就迫切需要设计和开发高性能的柔性逻辑和存储元件来进行信息存储、数据处理和通信。阻变存储器结构简单、功耗低、可微缩性好且易于在柔性基底上实现, 使其在柔性电子器件领域具有潜在的应用价值。

课题组团队利用低成本的水热法在柔性导电衬底 Ti 片上制备了无机 TiO₂ 纳米棒阵列, 并对其存储性能和弯曲特能进行了研究。无机 TiO₂ 纳米棒阵列基柔性阻变器件无需电铸过程, 且表现出稳定的双极性阻变行为, 工作电压低于 4 V, 开关比率高于 10², 保持时间大于 10⁵ s, 脉冲疲劳可以达到 10⁷ 次以上, 器件的高、低阻态在 85℃ 条件下保持相对稳定。此外, 在不同的弯曲半径下, 器件的操作电压和开关比率变化较小; 当对器件连续进行 400 次的弯曲测试 (弯曲半径固定为 12 mm), 器件并没有出现明显的裂纹或分层, 仍然保持稳定的双极性阻变行为。该无机 TiO₂ 纳米棒阵列基阻变器件为高性能柔性存储器的实现开辟了新的可能性。

关键词: 阻变器件; 无机 TiO₂ 纳米棒阵列; 热稳定性; 柔性电子

参考文献

- 【1】 J. Zhao, M. Zhang, S. Wan, et al. Highly Flexible Resistive Switching Memory Based on the Electronic Switching Mechanism in the Al/TiO₂/Al/Polyimide Structure [J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2018, 10(2): 1828-35.
- 【2】 E. Singh, P. Singh, K.S. Kim, et al. Flexible Molybdenum Disulfide (MoS₂) Atomic Layers for Wearable Electronics and Optoelectronics [J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2019, 11(12): 11061-105.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NOs. 51902275, 11847106, 11875229, 51872251); 湖南省自然科学基金(NO. 2018JJ3506); 国家强脉冲辐射模拟与效果重点实验室专项资金(NO. SKLIPR1911)