

论坛四十七: 二维材料与未来器件论坛

分论坛主席: 缪峰, 梁世军, 柴扬

47-01

面向类脑计算的氧化物光电材料、物理与器件

葛琛

中国科学院物理研究所

gechen@iphy.ac.cn

大数据和物联网的快速发展对计算系统的信息处理能力提出了更高的要求。受人脑启发的新型系统期望能够将感知、存储、计算功能融于一体,从而大幅度提升整体效率,类脑智能相关研究近年来备受关注,已成为当前的研究热点之一。氧化物材料因为电荷、轨道、晶格、自旋之间的耦合效应,具有一系列丰富的物理性质,蕴含着塑造人工类脑功能和器件的可能。

本报告将以氧化物薄膜材料为研究载体,面向神经形态计算应用,介绍近期我们在这一方向上的进展。首先,讨论目前受到业界广泛关注的铅基铁电薄膜相稳定机理,我们首次制备出了自支撑铅基铁电薄膜,研究了衬底应力对维持铁电相稳定的作用,并观测到新颖的铁电畴界结构;通过用电解质调控和铁电调控氧化物薄膜的相变,制备出系列人工突触并模拟了丰富的突触可塑性,揭示了背后的物理机制;系统研究了紫外光致二氧化钒非易失相变新现象,基于此现象提出了感知、存储、计算融合的智能光电器件,并演示了图像识别等应用,该工作被评选为“2022年度中国芯片科学十大进展”。

47-02

铁电局域场调控的二维半导体感存算一体器件

田博博

华东师范大学

传统视觉处理系统中,传感、内存和处理单元的物理分离导致了大量的能量耗费、时间延迟和额外的硬件成本。人类视觉可以轻松地从海量的信息中提取出关键的信息,并且具有更低的能耗。人类视觉这种强大的图像处理能力很大程度上依赖于视网膜的感内计算以及和大脑视觉皮层所形成的分层结构,即视网膜将经过感内算处理获得的高维信息而不是冗余的原始输入信息传递给大脑视觉皮层进行更高级的信息处理。受视网膜激发的集合传感、存储和计算为一体的全在一类视网膜器件的研究推动着类脑智能视觉系统的快速发展。本报告主要介绍课题组近期关于铁电局域场调控的二维半导体感存算器件的研究进展。铁电材料具有非易失的自发极化,并且极化取向可以受到电场调控。当铁电极化取向一致后,在界面处积累非常高的束缚电荷密度(几到几十 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$),形成强局域电场。由于铁电畴的可编程性和非易失性,我们在铁电局域场调控的光电器件中获得了可编程的、非易失的光伏响应,实现了集合传感、存储和计算为一体的全在一类视网膜系统¹⁻³。

关键词: 铁电局域场、感存算、铁电、存算一体

参考文献:

1. G. Wu#, X. Zhang#, G. Feng#, et al. Nature Materials, in press (2023)
2. G. Feng, X. Zhang, B. Tian*, C. Duan. InfoMat, e12473 (2023)
3. G. Wu#, B. Tian#, Lan Liu#, et al. Nature Electronics, 3, 43 (2020)

47-03

面向片上学习的人工突触器件

浙江大学

林芃

人工智能的快速发展对硬件系统提出了越来越高的性能需求，以忆阻器为代表的新型电子器件可以高效实现存算一体化及并行计算等处理范式，并为类脑计算提供全新的人工神经元及突触元器件。而在神经网络模型规模日益增大的大环境下，开发可高效完成神经网络训练的人工智能系统是存算一体硬件发展的新趋势。在这个报告中，我将主要讨论人工突触器件在推理与训练应用中的一些实例。

47-04

光电忆阻材料及类视觉神经形态器件

王中强，徐海阳，刘益春

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

邮箱：wangzq752@nenu.edu.cn

光电忆阻器兼具图像探测、记忆与处理功能，是发展高效神经形态视觉系统的理想架构单元。本报告将介绍研究组在光电忆阻材料及类视觉神经形态器件方面的研究工作：基于 Ag-TiO₂ 纳米复合材料，首次研制了等离激元型光电忆阻材料，实现了突触权重的全光学信号调制，实现了图像感知、存储和处理的功能整合，据此发展了准确度高达 98% 的高效图像识别人工视觉系统；提出了微纳导体（sp² 团簇等）嵌入忆阻材料及其光电调控新方法，提升了多级阻态连续性和线性度；提出一种光电协同器件初始化的全新策略，利用光辐照降低离子迁移势垒，有效地降低了过冲电流，显著提升了器件的阻变参数稳定性；基于二维 MoTe₂ 材料构建宽光谱响应的光电突触器件，利用不同波段下的响应差异，实现了彩色图像还原功能。未来将利用二维材料原子级厚度和独特的物化性质，发展具有优异集成密度和光电性能的一类视觉神经形态器件。

关键词：光电忆阻器；类视觉系统；神经形态器件

47-05

基于局域场调控的视网膜形态器件

陈旭东*

南开大学物理科学学院，天津市南开区卫津路 94 号，邮编 300071

*Email: chenxd@nankai.edu.cn

视觉传感器在人工智能、大数据、物联网等一系列应用中发挥着至关重要的作用。随着传感器数量的急剧增长，以及传感器像素和帧频率的日益增大，产生的大量非结构化数据使得视觉图像的处理成为一种“数据密集型”任务。近年来，模拟人类视网膜功能的神经形态视觉器件与系统发展迅速，它能够大幅减少冗余数据的传输，从而降低视觉芯片的计算延迟和能耗，对于面向自动驾驶、智能机器人等一系列“时间敏感型”应用具有十分重要的意义。近年来新兴的视网膜形态器件是构筑感算一体神经形态视觉芯片的理想器件。然而，视网膜形态器件所要求的正负区间线性可调的光响应度是绝大多数光电探测器难以实现的。目前所报道的视网膜形态器件主要利用栅压对器件光响应度进行调控，但随着阵列规模的不断增大，这种外场控制的方式变得愈加难以接受。为实现对器件光响应度的原位调控，基于前期专门设计的离子存储层，我们将离子调控策略引入到视网膜形态器件，开发了一种通过调控离子

存储层中锂离子浓度实现器件光响应度原位调控的新型视网膜形态器件。该器件光响应度能够在 $\pm 10 \text{ mA W}^{-1}$ 区间内线性调控,且调控完成后无需持续施加的外场进行维持,从而实现光响应度的原位存储。此外,得益于沟道材料涵盖紫外-可见-近红外的光谱吸收范围,该器件具体宽光谱响应能力。基于此器件构筑的器件阵列能够进行 MAC 运算,我们用 $3 \times 3 \times 3$ 的器件阵列构筑了包含 3 个卷积核 (3×3) 的 CNN 用于执行感内计算。利用可重构的卷积核,我们实现了对于超光谱图像的多种卷积处理。更进一步地,我们利用卷积神经网络顺利实现对彩色图像的分类以及灰度图像的自编码。这一工作为光响应度原位调控提供了一种新的策略,对于推动感算一体视网膜形态器件和神经形态视觉芯片开发具有重要意义。

关键词: 视网膜形态器件; 感算一体; 光响应度非易失性调控; 离子调控机制

参考文献

- [1] Wang, F.-D.; Yu, M.-X.; Chen, X.-D.; et al. SmartMat, 2023, 4: e1135.
- [2] Li, Y.; Zhang, Z. C.; Li, J.; et al. Nat. Commun., 2022, 13: 4591.
- [3] Li, J.; Zhang, Z.-C.; Kong, Y.; et al. Chem, 2021, 7: 1284-1296.
- [4] Yao, B.-W.; Li, J.; Chen, X.-D.; et al. Adv. Funct. Mater., 2021, 31: 2100069.
- [5] Zhang, Z.-C.; Li, Y.; Li, J.; et al. Adv. Funct. Mater., 2021, 31: 2102571.
- [6] Hou, Y.; Li, Y.; Zhang, Z.-C.; et al. ACS Nano, 2021, 15: 1497-1508.
- [7] Zhang, Z.-C.; Li, Y.; Wang, J.-J.; et al. Nano Res., 2021, 14: 4591-4600.

47-06

碲基神经形态器件技术

李黄龙

清华大学

类脑计算在未来智能社会中将会扮演重要的角色,它通过模拟大脑的工作原理来实现更高能效、更通用的智能信息处理。当前机器学习大模型的快速迭代对硬件算力提出了每 2-3 个月翻一番的需求,已经远超经典摩尔定律下硬件的迭代速度。基于硅的 CMOS 类脑计算芯片虽然通过新的微架构设计缓解了算力焦虑,也在一定程度上提高了能效,但仍然存在硬件开销大、功能受限、仿生程度低等根本问题,且在器件节能与架构节能等方面依然存在很大的优化空间。解决这些问题的一个根本途径是开发基于新型半导体材料和新型工作原理的神经形态器件,其中基于碲半导体的阻变器件被发现能够更好地适配存算一体突触阵列集成的特殊需要,即能同时满足选通开关的大驱动电流需要和非易失突触存储单元的小电流工作需要,这是利用了碲的电化学活性、低熔点、低热导和半导体等综合特性。利用这些独特的属性,碲半导体还能用于制造具备振荡功能和积分放电功能的高仿生度单器件全功能神经元,解决了高仿生(和多功能)与低硬件开销之间的固有设计矛盾。

47-07

高性能二维半导体场效应晶体管

李学飞

1 华中科技大学, 武汉市珞喻路 1037 号, 430074

*Email: xfli@hust.edu.cn

随着场效应晶体管尺寸的不断微缩,传统的硅基场效应晶体管逐渐逼近物理极限。原子级厚的二维过渡金属硫族化合物单层材料为延续摩尔定律提供了可能的解决方案。然而对于短沟道器件来说,在高电场和大电流的情况下会产生大量的热,热的积累会反过来限制器件的电学性能和可靠性。因此研究热输运对于高性能二维晶体管器件至关重要。利用高热导率

的氧化铍作为单层二硫化物晶体管的栅介质，与栅介质为氧化铪的晶体管相比，氧化铍上单层 WS₂ 的载流子迁移率提升了 62%，这主要得益于氧化铍的热导率（330 W/K·m）是氧化铪热导率（23 W/K·m）的 14.3 倍。而且氧化铍带隙较大，能在高场下提供较小的栅极电流。沟道长度为 50 纳米的短沟道器件在源漏电压为 1 V 的情况下，电流达到了 325 $\mu\text{A}/\mu\text{m}$ ，开关比 108，跨导达到 150 $\mu\text{S}/\mu\text{m}$ 。2 V 源漏电压下可以达到 461 $\mu\text{A}/\mu\text{m}$ 的饱和电流，没有出现负微分电阻和明显的自热效应的现象。同时，不同堆积结构导致的范德华界面耦合是一直调控二维材料的光学和电子特性的有效手段。因此我们研究了 3R 堆叠的 p 型双层 WSe₂ 作为高性能原子层薄场效应晶体管（FETs）。我们通过直接 CVD 生长和在 SiO₂ 衬底上的制备展示了高性能的双层 WSe₂ pFETs。3R 堆叠结构的双层 WSe₂ 的有效迁移率比 2H 堆叠结构的 WSe₂ 高 50%。3R 相的晶体管表现出 0.65 $\text{k}\Omega\cdot\mu\text{m}$ 的低接触电阻，在 4.3 K 的测量温度下仍保持欧姆状态。我们系统地研究了 EOT 的微缩对器件性能的影响。随着栅介质 SiO₂ 厚度从 100 nm 降至 6nm，明显改善了器件的短通道效应。沟长为 120 nm 的双层 WSe₂ pFET 在 6 nm 的 SiO₂ 衬底上 $I_{\text{ds}} = 425 \mu\text{A}/\mu\text{m}$ 和 g_{m} 为 80 $\mu\text{S}/\mu\text{m}$ 。这项工作展示了 p 型 WSe₂ 二维晶体管在材料生长、制造和器件性能方面的巨大进展，为促进二维 CMOS 器件的发展提供了新的解决方案。

关键词：自热效应；WS₂；WSe₂；迁移率；接触电阻

47-08

二维铁电半导体的多极化态调控

刘富才 1

电子科技大学，成都 611731

铁电材料因具有外加电场可调的自发极化，在存储器件、光电器件、以及存算一体器件等方面有着广泛的应用。受电子器件小型化、高度集成化的发展趋势的影响，二维材料由于其独特的结构成为铁电领域的研究热点之一。层间间隙的存在使范德华铁电材料展现出了与传统铁电材料截然不同的物理性质，如突破临界尺寸效应、四势阱能量-极化曲线等。本报告中我们将介绍基于二维 CuInP₂S₆ 体系在铁电物性及在新型铁电器件方面的研究进展。此外，范德华层状材料中由于层间不对等造成净层间垂直电荷转移，进而引起铁电极化，并通过层间滑移使极化得以翻转，被称为滑移铁电。我们通过对滑移铁电材料层间相互作用进行研究，实现了层数依赖的铁电极化调控，为实现多态铁电存储提供了新颖材料体系。

47-09

新型二维铁电材料理论与实验研究

罗鑫 1*, 陈彦聪 1, 汤智源 1, 戴敏芝 1, 何钦明 1, 郑跃 1

1 中山大学物理学院，广东省磁电物性分析与器件重点实验室，光电材料与技术国家重点实验室，广州海珠区新港西路 135 号，510275

*Email: luox77@mail.sysu.edu.cn

针对传统钙钛矿氧化物铁电材料受限于临界尺度以及与现有硅基 CMOS 工艺不兼容问题，我们围绕着二维功能材料开发了一系列新型的铁电与反铁电相材料，如 β' 相 In₂Se₃ 以及 Fe β 相 In₂Se₃。基于这些新型的二维铁电材料，我们在理论上设计了具有量子磁电效应的新型铁电隧道结器件，发现通过在铁磁金属 Ni 与二维材料 BN/二维铁电材料 In₂Se₃ 异质结相组合，可形成多铁隧道结，实现铁电极化调制的 4188% 巨电阻效应，利用二维材料异质结的自旋过滤效应可以实现 581% 的隧穿磁阻效应。同时通过铁磁与铁电自由度的组合可以进而实现磁电多态存储；我们理论上进一步利用反铁电 β' 相 In₂Se₃ 在畴壁的势垒增强效应，提出基于二维反铁电材料的中性铁电畴壁隧道结器件，它们可以通过畴壁数目实现多态存储。最后我们在

实验上进行了大面积高质量的二维铁电 In_2Se_3 材料化学气相沉积合成, 并进行了原型两端器件制备与磁电物性表征, 发掘这些新型二维铁电材料的光电特性与磁电输运行为。研究表明, 通过铁电极化对二维铁电半导体的能带静电掺杂, 可以实现极化调控的二极管效应, 这些工作将为未来新型二维铁电材料的应用提供新思路。

关键词: 二维铁电材料; In_2Se_3 ; 畴结构; 铁电隧道结

参考文献

- [1] Xu, C.; Chen, Y.; et al. Phys. Rev. Lett. 2020, 125: 047601.
- [2] Chen, Y.; Tang, Z.; et al. Nanoscale 2022, 14: 8849.
- [3] Dai, M.; Tang, Z.; et al. Nanoscale 2023, doi.org/ 10.1039/d3nr00522d
- [4] He, Q.; Tang, Z.; et al. Nano Lett. 2023, 23: 3098.

Theoretical and Experimental Research on Novel 2D Ferroelectric Materials

Luo Xin^{1,2*}, Chen Yancong^{1,2}, Tang Zhiyuan^{1,2}, Dai Minzhi^{1,2}, He Qinming^{1,2}, Zheng Yue^{1,2}

¹School of Physics, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275

²Guangdong Provincial Key Laboratory of Magnetoelectric Physics and Devices, State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275

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

In response to the limitations of traditional perovskite oxide ferroelectric materials on the issue of critical thickness and incompatibility with existing silicon based CMOS processes, we have developed a series of new two-dimensional functional ferroelectric and antiferroelectric materials, such as d1T phase MoTe_2 , β' Phase In_2Se_3 and $\text{Fe}\beta$ Phase In_2Se_3 . Based on these new two-dimensional ferroelectric materials, we theoretically designed several new types of ferroelectric tunnel junction devices with novel quantum magnetoelectric effect. We found that by combining the ferromagnetic metal Ni with the two-dimensional material BN/ In_2Se_3 heterostructure, a multiferroic tunnel junction can be constructed, realizing the 4188% giant resistance effect modulated by ferroelectric polarization, and the 581% tunneling magnetoresistance effect can be achieved by using the spin filtering effect of the two-dimensional material heterostructure. Simultaneously, the combination of ferromagnetic and ferroelectric degrees of freedom can achieve magnetoelectric polymorphic storage; We theoretically further utilize the barrier enhancement at the domain walls of the antiferroelectric β' In_2Se_3 . A two-dimensional neutral ferroelectric domain wall tunnel junction device based on two-dimensional antiferroelectric materials is proposed, which can achieve multiple resistance states storage through manipulating the number of domain walls. Finally, we conducted large-scale and high-quality chemical vapor deposition synthesis of two-dimensional ferroelectric In_2Se_3 materials in experiments, and prepared prototype two-terminal devices and characterized its magnetoelectric properties to explore the photoelectric and electronic transport behaviors of these new two-dimensional ferroelectric materials. The results show that the ferroelectric diode effect can be realized by the electrostatic doping of the energy band of two-dimensional ferroelectric semiconductor In_2Se_3 by ferroelectric polarization, which will provide new ideas for the application of new two-dimensional ferroelectric materials in the future.

Keywords: two-dimensional ferroelectric materials, In_2Se_3 ; Domain walls, Ferroelectric tunneling junction

References

- [1] Xu, C.; Chen, Y.; et al. Phys. Rev. Lett. 2020, 125: 047601.

- [2] Chen, Y.; Tang, Z.; et al. *Nanoscale* 2022, 14: 8849.
- [3] Dai, M.; Tang, Z.; et al. *Nanoscale* 2023, doi.org/ 10.1039/d3nr00522d
- [4] He, Q.; Tang, Z.; et al. *Nano Lett.* 2023, 23: 3098.

47-10**基于纳米材料器件的单片三维集成技术**

唐建石
清华大学

人工智能、物联网等新兴技术的飞速发展对计算硬件性能提出了越来越高的要求，受人脑启发，基于忆阻器的存算一体技术有望突破冯诺依曼架构瓶颈，实现后摩尔时代芯片算力与能效的持续提升。在过去十余年，国内外忆阻器存算一体技术研究在器件、阵列、芯片等层面已取得了诸多进展，但在计算功能多样性、阵列间数据传输效率、芯片集成度等方面仍面临着许多瓶颈问题。为此，本报告将介绍基于忆阻器、IGZO/CNT 等纳米材料器件的单片三维集成技术，通过在硅基 CMOS 逻辑电路上垂直堆叠多种基于忆阻器和 IGZO/CNT 的存算功能层，包括 TCAM 存内计算、忆阻器阵列存内计算、基于后道 CMOS 逻辑的近存计算等的片上三维集成，实现存内计算与近存计算融合的新型计算架构与芯片，为未来实现高算力、高能效、强通用性的忆阻器存算一体芯片探索可行的技术路径。

47-11**Two-dimensional electronic devices towards intelligent vision sensors**

Zhenxing Wang*

National Center for Nanoscience and Technology, Beijing, 100190

*email: wangzx@nanoctr.cn

Artificial intelligence technology has become the core driving force for the new round of technological and industrial revolutions in the information age. After more than 70 years of development, the performance potential given by the von Neumann architecture has almost reached its limit. With the physical limit of size reduction faced by Moore's law, the progress of integrated process nodes has slowed down, which further magnifies the problems faced by the von Neumann architecture, such as low intelligence, high energy consumption, and low fault tolerance. Exploring new computing architectures and intelligent electronic devices has become the focus of attention.

Due to the weak Van der Waals force between the layers of two-dimensional layered materials, the heterostructure construction is not limited by the interface lattice, polarity, thermal expansion coefficient and other physical mismatches. It can realize the heterostructure construction of any kind of materials, different stacking sequences, different stacking angles and thicknesses, showing unique physical properties and potential in building new structural devices.

In this report, I will focus on our research progress in new structure electronic devices based on two-dimensional materials in recent two years, including two-dimensional ferroelectric semiconductor sensing computing integrated devices and memristor devices.

Keywords: Ferroelectric semiconductor, neuromorphic device, computing in sensor, Memristor

Reference

- Y. Wang, and Z. Wang* et al, *Nano Lett.* 2023, 23, 4524
- S. Li* and Z. Wang* et al, *Adv. Mater.* 2023, 2301472.
- Y. Cai, Z. Wang* et al, *Adv. Funct. Mater.* 2023, 33, 2212917.
- J. Jiang, J. He* and Z. Wang*, et al, *Adv. Mater.* 2023, 35, 2211701.

- Y. Wang, Z. Wang* and J. Shi*, et al, Adv. Mater. 2023, 35, 2209465.
Z. Wu, F. Wang* and Z. Wang* et al, Nano Lett. 2022, 22, 7094.
J. Yang, F. Wang*, Z. Cheng, Z*. Wang* et al, Adv. Funct. Mater. 2022, 2205468.
J. Wang, F. Wang, Z. Wang*, and J. He* et al, Science Bulletin 2021, 2288
F. Wang, Z. Wang*, and J. He* et al, Science Bulletin 2020, 65, 1444-1450.
L. Yin, Z. Wang*, and J. He* et al, Nano Lett. 2020, 20, 4144-4152.

47-12**二维材料表界面调控与器件应用**

赵昱达

浙江大学

二维材料作为新兴的低维半导体材料，表现出丰富的物理特性，二维电子学和光电子学的发展有望与传统硅基技术融合，在多领域应用中实现突破。报告将首先探讨二维材料的表界面调控手段及在逻辑电路中的作用，包括高性能二维材料晶体管和低功耗阻变存储器。此外，在图像传感处理方面，冯氏架构面临着存储墙和功耗墙的挑战，报告将进一步介绍基于二维材料异质结构的感存算硬件单元，为构筑非冯架构芯片提供理论和技术支撑。

47-13**二维半导体材料与光电器件**

周兴*

华中科技大学材料科学与工程学院学院，湖北武汉，430074

*Email: zhoux0903@hust.edu.cn

随着光电子器件工艺的飞速发展和硅基集成电路的器件尺寸日益逼近其物理极限，传统的半导体材料面临着前所未有的挑战。二维光电材料由于表面效应、和量子限域效应而带来的高载流子迁移率、可调的光电属性、良好的机械柔性以及半导体工艺可兼容性等优点，有望成为继任者，推动国防科技、信息通讯以及新兴产业的持续发展。而对于高性能光电器件而言，需要半导体材料具有高结晶度、均匀可控的尺寸和厚度，以减少缺陷、形貌不均匀带来的载流子散射等问题，同时还要求其载流子和能带结构可有效调控，以实现光电性能的最优化与功能集成。然而二维材料由于其比表面大，导致其生长过程和载流子输运过程难调控。针对以上问题，我们开发了近稳态供源和盐辅助钝化生长策略，实现了系列二维材料及其异质结的可控制备；发展了缺陷和能带调控策略，实现了高响应度、快速响应等优异性能的光探测器的构筑；设计了能带排列可调的双极性范德华异质结，构筑了宽光谱感算一体光探测原型器件[1-5]。

关键词：二维半导体材料；光电器件

参考文献

- [1] Pi, L. J.; Wang, P. F.; Liang, S. J.; Luo, P.; Wang, H. Y.; Li, D. Y.; Li, Z. X.; Chen, P.; Zhou, X.; Miao, F.; Zhai, T. Y. Nat. Electron. 2022, 5: 248-254.
[2] Wang, H.; Wang, W.; Zhong, Y.; Li, D.; Li, Z.; Xu, X.; Song, X.; Chen, Y.; Huang, P.; Mei, A.; Han, H.; Zhai, T.; Zhou, X. Approaching the External Quantum Efficiency Limit in 2D Photovoltaic Devices. Adv. Mater. 2022, 34: 2206122.
[3] Shu, Z. W.; Peng, Q. J.; Huang, P.; Xu, Z.; Suleiman, A. A.; Zhang, X. W.; Bai, X. D.; Zhou, X.; Zhai, T. Y. Matter 2020, 2: 977-987.
[4] Hu, X.; Huang, P.; Jin, B.; Zhang, X.; Li, H.; Zhou, X.; Zhai, T. J. Am. Chem. Soc. 2018, 140:

12909-12914.

[5] Zhou, X.; Hu, X.; Zhou, S.; Song, H.; Zhang, Q.; Pi, L.; Li, L.; Li, H.; Lu, J.; Zhai, T. *Adv. Mater.* 2018, 30: 1703286.

范德华材料在自旋电子器件中的应用

于国强¹¹ 磁学国家重点实验室, 中国科学院物理研究所, 北京 100190

Email: guoqiangyu@iphy.ac.cn

基于电子自旋属性构建的自旋电子器件有望应用于信息存储和处理。为了实现高性能自旋电子器件, 人们需要开发出高效操控磁矩和电学读取磁矩状态的方法。二维范德华材料由于具有众多的优点, 如种类丰富、能够克服晶格失配形成高质量的异质结、具有多样化的晶体结构和对称性、具有强自旋轨道耦合、电导率可调等, 为自旋电子器件的研究和开发提供了理想的材料平台。该报告将简述作者及合作者在基于二维范德华材料的异质结中磁矩的电学操控和读取的研究进展。

单质新原理开关器件

朱敏

中科院上海微系统与信息技术研究所

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

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