



中国材料大会 2024
暨第二届世界材料大会
CMC 2024 & WMC 2024

July 8-11, 2024
Guangzhou, China

D34-功能薄膜
D34-Functional Films

Organized by

Chinese Materials Research Society

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

D34.功能薄膜

分会名誉主席主席：金奎娟 院士

分会主席：郭海中、金魁、张金星、廖昭亮

报告

D34-01

应变梯度调控动量空间自旋织构

郭建东*、谷明辉、杨芳、刘笑然、孟梦

中国科学院物理研究所

作为 5d 过渡金属氧化物的典型代表之一，SrIrO₃(SIO)中自旋-轨道耦合及电子关联能相当，二者的相互竞争使得 SIO 存在丰富多彩的新奇量子效应，如金属-绝缘体转变，顺磁-反铁磁转变、以及 Mott 绝缘体-Slater 绝缘体中间态。我们成功在中心对称的 SrIrO₃ 薄膜中引入应变梯度，打破其结构的空反演对称性，从而在动量空间中诱导出非平庸的自旋织构；进而利用二阶非线性磁电输运效应，在薄膜中探测动量空间自旋织构。当没有应变梯度时，由于 SIO 薄膜界面处对称性破缺能够产生二阶单向导电性；但当引入应变梯度之后，SIO 表现出两套非线性磁电效应的叠加，其中一套来自界面对称性破缺，另一套则来自应变梯度引入的体对称性破缺，两者的费米面翘曲性质完全不同。我们的实验结果表明，应变梯度可以作为有效的调控动量空间自旋织构的方法。这是一种在中心对称体系中引入自旋劈裂的思路，有望推广到其他中心对称的强自旋-轨道耦合材料[1]。

[1] M. Gu, H. Sheng, X. Wu, M. Wu, X. Liu, F. Yang, Z. Zhang, P. Gao, Z. Wang, M. Meng, J. Guo, Momentum-space spin texture induced by strain gradient in nominally centrosymmetric SrIrO₃ films. Natl. Sci. Rev. 10.1093/nsr/nwad296 (2023).

D34-02

垂直磁各向异性 Sr(MnIr)₃O₃ 薄膜及其电流翻转

吴迪*

南京大学现代工程与应用科学学院

我们在(001)取向的 SrTiO₃ 衬底上外延了 Sr(Mn_{0.35}Ir_{0.65})O₃ 薄膜，并观察到氧化物薄膜中较为罕见的垂直磁各向异性。结构分析表明 Mn 和 Ir 离子随机分布在钙钛矿结构 B 位，Mn 和 Ir 的平均价态分别为 +3.61 和 +4.17。X 射线二色谱观察到 Mn 的 eg 电子更多的占据 d_{3z²-r²} 轨道，导致其垂直磁各向异性。第一性原理计算揭示了薄膜的磁矩主要来源于 Mn，Mn 和 Ir 的磁矩反平行排列，晶格畸变和氧八面体倾转共同导致了 Mn 的 eg 的轨道极化和垂直磁各向异性。更进一步，我们制备了外延 SrIrO₃/Sr(Mn_{0.35}Ir_{0.65})O₃ 异质结构，利用 SrIrO₃ 薄膜的自旋霍尔效应产生自旋流，实现了 Sr(Mn_{0.35}Ir_{0.65})O₃ 薄膜磁矩的电流翻转。

D34-03

铈酸锂铁电畴壁多功能神经形态器件

江安全*、张柏杨

复旦大学

传统计算机架构的内存单元和处理器单元间存在高延迟和高功耗的数据反复传输问题。高效紧凑的神经形态计算网络既能整合感知、记忆和处理的仿生功能，又具备单一器件的多模态感知功能。铁电畴

壁具有丰富的物理和电子效应以及原子级厚度，是发展以上摩尔和超越摩尔器件的有力竞争者。这里我们报道了多模态铌酸锂铁电畴壁器件，能够集成非易失性数据存储、光电探测器、视觉感知处理和应力传感功能。电脉冲测量数据表明，这种铁电畴壁器件具有非易失性信息存储功能，且数据读写具有高可重复性、长时间信息保持功能以及超快操作速度。此外，铁电畴壁对器件还具有很好的光敏特性，通过构建了一个联想学习模型，实现了基于畴壁神经网络的神经形态计算，图像识别准确率达到 90%。该研究结果促进了高密度多功能神经形态器件以及超低功耗的类脑芯片的发展。

D34-04

Two-Dimensional Approach of Correlated Oxides

Jiandi Zhang,* Ran Feng, Pan Chen, Yan Liang
Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

Complex transition metal oxides are known to exhibit extraordinary quantum phenomena arisen from diverse quantum states. Due to the nature of synergetic and delicate couplings of different degrees of freedom, it is anticipated that these quantum states would be revolutionized by reducing dimensionality and breaking symmetry through the architecture of oxide heterostructures. In this talk, I will present a brief review of the subject and give superconducting cuprates as examples, emphasizing that constructing well defined interfaces with atomic-level precision is crucial to understand the intrinsic properties of heterostructures. Meanwhile, how to microscopically determine the electronic and magnetic states and associated excitations is a grand challenge but also an opportunity for new innovative experimental techniques in the field.

D34-05

无限层铜氧化物外延薄膜的超导性质研究

马旭村*
清华大学物理系

In order to unravel the underlying physics in cuprate superconductors, it is highly tempting to investigate directly the essential building block CuO_2 in experiment. However, the CuO_2 planes in cuprates are usually sandwiched between the reservoir layers and hard to be probed directly. Here we focus on $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{CuO}_2$ ($\text{Ln}=\text{La}, \text{Nd}, \text{Eu}$) films, a category of infinite-layer cuprates with a termination of CuO_2 planes, and carry out the combined MBE-STM experiments. The real space visualization of Mott insulator-metal transition in $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{CuO}_2$ films reveals a systematic shift in the Fermi level, while the fundamental Mott-Hubbard band structure remains unchanged. Tunneling conductance spectra of the CuO_2 planes in the superconducting state reveal direct evidence for a nodeless pairing gap. Furthermore, three distinct bosonic modes are observed as multiple peak-dip-hump features outside the superconducting gaps. The respective energies depend little on the spatially varying gaps, and are identical to those of the external, bending and stretching phonons of copper oxides, suggesting their origin from lattice vibrations rather than spin excitations.

D34-06

Ta 氧化物超导

谢燕武*
浙江大学

From strontium titanate to cuprates and nickelates, oxide superconductors constantly bring us surprises. One recent example is potassium tantalate KTaO_3 (KTO). In this talk, we present the observation of superconductivity with T_c up to 8.7 K in KTO single crystals annealed with CaH_2 at 800-1000 °C. The superconductivity is confirmed by both resistance and magnetization measurements. Structure analyses reveal that it locates in a 1- μm -order-thick polycrystalline surface layer, namely $(\text{K}_{1-x}\text{Ta})\text{O}_y$, with a reduced Ta valence and a rock-salt type structure. We also demonstrate our progress in fabricating superconducting $(\text{K}_{1-x}\text{Ta})\text{O}_y$ films.

D34-07

Novel Thin-film Nickelates by Design

Danfeng Li*

City University of Hong Kong

Nickelates have emerged as a new class of high-temperature superconductors possessing various lattice structures. However, accessing these phases remains challenging. To this end, leveraging thin-film heterostructure assisted by kinetic-based topotactic reduction has proven to be an effective strategy in stabilizing the otherwise meta-stable nickelate compounds, and for uncovering emergent phenomena as well as superconductivity. In this talk, I will discuss recent representative thin-film nickelates, for which we have implemented various unusual materials synthesis approaches, including high-quality ‘parent’ infinite-layer nickelates on an orthorhombic substrate, a new samarium-based nickelate compound, as well as new phases enabled by (electro-)chemical methods. The intriguing properties of these materials suggest how innovative applications of kinetic-based materials strategies in oxide heterostructures provide a broad opportunity to create novel nickelate systems in previously inaccessible ways.

D34-08

自组装氧化物薄膜：从设计到应用

杨浩*

南京航空航天大学

Self-assembly has been approved to be a useful method to fabricate oxide thin films with a rich variety of periodic nanoscale patterns. Recent efforts have been focused on how to make the self-assembly controllable. In a film-on-substrate geometry, epitaxial composite films can be divided into two forms: horizontal and vertical. Success of the investigation critically relies on obtain and manipulation of these two architectures. In the present work, horizontally and vertically aligned nanostructures have been obtained in $(\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta})_{0.5}:(\text{BaZrO}_3)_{0.5}$ and $(\text{BiFeO}_3)_{0.5}:(\text{Sm}_2\text{O}_3)_{0.5}$ thin films respectively. And the manipulation between the vertical and horizontal architectures has been realized in $(\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta})_{1-x}:(\text{BaZrO}_3)_x$ systems by simply changing the composition of BaZrO_3 , which resulted from interplay between surface effect and bulk phase separation. The nanostructures dependent lattice constants, strain state, and electrical properties have also been investigated. More than these, $(\text{BaTiO}_3)_{0.5}:(\text{Sm}_2\text{O}_3)_{0.5}$ thin films have been fabricated on flexible Mica substrates and used for structural health monitoring of aircrafts. As determined from both experiment and simulation, flexible $\text{BaTiO}_3:\text{Sm}_2\text{O}_3$ films are demonstrated as an ultrasonic sensor with high sensitivity to be bonded on the curved aluminum plate for damage monitoring based on Lamb wave. More details will be presented in the talk.

参考文献列表:

1. L. Ye, F. Wu, W. Li, and H. Yang et al., “Face Mask Integrated with Flexible and Wearable Manganite Oxide

- Respiration Sensor”, *Nano Energy*, 112, 108460 (2023).
2. R. Zhao, W. W. Li, and H. Yang et al., “Emergent multiferroism with magnetodielectric coupling in EuTiO_3 created by a negative pressure control of strong spin-phonon coupling”, *Nature Communications* 13, 2364 (2022).
 3. J. Huang, W. Li, H. Yang, and J. L. MacManus-Driscoll, “Tailoring Physical Functionalities of Complex Oxides by Vertically Aligned Nanocomposite Thin Film Design”, *MRS Bulletin*, 46, 159 (2021).

D34-09

基于铁电二极管忆阻器的储备池计算

樊贞*

华南师范大学

储备池计算(RC)是一种简单高效的循环神经网络，擅长处理动态时序任务，在语音识别、机器翻译、股票预测等方面有广阔的应用前景。RC系统主要由储备池层和读出层两部分组成，其硬件实现所需要的器件特性也截然不同：储备池层需要由具有短期记忆(即易失性)和非线性的器件来实现，而读出层则需要由非易失性器件来实现。前人大多使用了易失性扩散型忆阻器和非易失性漂移型忆阻器来分别实现储备池层和读出层，这些器件均基于导电细丝通断机制，该过程随机性较大，限制了器件的可控性和稳定性，进而制约了系统的计算性能和可靠性。

与导电细丝通断相比，铁电极化翻转是一种随机性更小的翻转机制。为此，本工作演示了一个全铁电 RC 系统，其储备池层和读出层分别由易失性和非易失性铁电二极管(FD)实现。通过对印刻场(Eimp)的操纵，获得了相同 $\text{Pt/BiFeO}_3(\text{BFO})/\text{SrRuO}_3(\text{SRO})$ 结构的易失性和非易失性 FD。实验结果表明，引入 Eimp 的易失性 FD 表现出由 Eimp 诱导的自发极化回转和电导弛豫(即短期记忆)，且在较宽电压幅值和频率范围内均表现出非线性。而消除 Eimp 的非易失性 FD 表现出多级可调且稳定的极化态和电导态。它们分别满足储备池层和读出层的功能要求。然后，利用易失性和非易失性 FD 分别构建了储备池层和读出层，进而构成全铁电 RC 系统。在该系统中，易失性 FD 的短期记忆和非线性保障了丰富的储备池状态，进一步采用时分复用的掩码方法提升了状态丰富程度和反馈强度；而非易失性 FD 则提供了稳定的多电导态用于映射读出层权重。该系统成功演示了曲率识别、数字识别、波形分类和混沌时间序列预测等任务，并展现出良好的性能。

D34-10

Compositional Engineering of Oxide Epitaxial Films

Lingfei Wang*, Jinfeng Zhang, Zhengguo Liang, Enda Hua

Hefei National Research Center for Physical Sciences at Microscale, University of Science and Technology of China

Effective control of intriguing functionalities is essential for the development of practical oxide electronic devices. Due to the strong coupling of spin, orbital, lattice, and charge degrees of freedom, the physical properties of oxide thin film heterostructures can be effectively tuned by external fields such as epitaxial strain and electric fields. Here we would like to show several case studies related to the compositional engineering of oxide films. Yet often overlooked, the chemical composition is equally essential in determining the functionalities.

First, we demonstrate that the Tm/Fe ratio is critical in determining the magnetic properties of thulium iron garnet films. Second, we show that the anomalous Hall effect in $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ films can be significantly

enhanced through Ru doping. Finally, we illustrate that fine-tuning the Sr/Al ratio in Sr-Al-O-based water-soluble oxides can create an effective sacrificial layer, facilitating the fabrication of high-quality freestanding oxide films.

D34-11

镍基超导薄膜材料及其研究进展

乔梁*

电子科技大学 物理学院, 成都, 610054 大学

2019年美国斯坦福大学Hwang教授课题组发现了无限层镍氧化物外延薄膜的超导电性(镍基超导),为超导物理和材料的研究开辟了新方向[1]。镍基超导材料具有二维无限层晶体结构和与铜基超导类似的 $3d^9$ 电子构型,是深入研究类铜基高温超导的模型体系,对于揭示高温超导的物理机制具有重要意义。近4年来,镍基超导的研究取得了许多新的突破(基态电子结构、掺杂相图、低能磁激发、电荷有序等),但也存在着关于磁性的争论和材料制备的困难。本次报告将介绍我们在镍基超导体中发现大量氢元素。在镍元素含量不变的情况下,通过调控氢元素的含量,可以实现“弱绝缘→超导→弱绝缘”的连续相变,证实了氢元素在镍基超导中扮演关键作用。利用共振X射线非弹性散射(RIXS)技术,首次观察到巡游间隙位s轨道(IIS)的奇异电子态,并结合理论计算,证实了氢元素与IIS轨道发生强杂化[2]。这些本征现象有利于降低Ni3d-Nd5d和Ni3d-IIS之间的轨道耦合,进而实现“准二维” $3d_{x^2-y^2}$ 轨道主导的、类似于铜基超导体的费米面电子结构,有助于促进无限层镍氧化物中超导态的出现。此外,本次报告还将介绍该类材料强场诱发的对称性破缺以及材料的环境稳定性等研究进展。

参考文献

[1] Li, D.F.; Lee, K.; Wang, B.Y.; Osada, M. et al. *Nature* **2019**, **572**: 624.

[2] Ding, X.; Tam Charles C., Sui Xuelei et al. *Nature*, 2023, 615: 50.

D34-12

镍基超导薄膜的分子束外延制备与物性

聂越峰

固体微结构物理国家重点实验室, 南京大学现代工程与应用科学学院

近年来, infinite-layer (IL) 和 Ruddlesden-Popper (RP) 结构的层状镍氧化物中出现的新型非常规超导态吸引了广泛关注[1, 2], 探究镍基与铜基高温超导体的相似与差异, 为揭示非常规高温超导的内在机理带来了新的机遇。然而, 高质量镍基超导材料的制备极具挑战性, 限制了对其电子结构和超导能隙对称性等关键性质的研究。本报告将简要介绍课题组近年来在层状镍氧化物薄膜的分子束外延制备及其超导特性方面的初步研究进展[3-12]。通过优化薄膜生长条件和开发原位还原与表征技术, 我们制备出了高质量的无限层镍基超导薄膜, 并系统研究了其晶体结构、磁输运特性、超导能隙和动量分辨电子结构等, 揭示了镍氧化物与铜氧化物之间的相似性和显著差异。同时, 还制备了自支撑的无限层镍氧化物超导薄膜, 为研究超大范围晶格调控对超导特性的影响奠定了基础。此外, 我们还制备了一系列不同 n 值的 RP 结构镍氧化物薄膜, 并对其输运性质和电子结构进行了初步表征。

参考文献

[1] D.F. Li, et al. *Nature* 572, 624 (2019)

- [2] H.L. Sun, et al. Nature 621, 493 (2023)
 [3] Y.Y. Li, et al. Front. Phys. 9, 719534 (2021)
 [4] Y.Y. Li, et al. Chinese Phys. Lett. 40, 076801 (2023)
 [6] Q.Q. Gu, et al. Nat. Commun. 11, 6027 (2020)
 [5] W.J. Sun, et al. Adv. Mater. 2303400, (2023)
 [7] W.J. Sun, et al., Adv. Mater. 202401342 (2024)
 [8] L.Y. Nian, et al., Adv. Mater. 202307682 (2024)
 [9] W.J. Sun, et al., arXiv:2403.07344 (2024)
 [10] S.J. Yan, et al., Adv. Mater. 202402916 (2024)
 [11] Z. Li, et al., APL Mater. 8, 091112 (2020)
 [12] W.J. Sun, et al., Phys. Rev. B 104, 184518 (2021)

D34-13

无限层镍氧化物超导体的原位制备及电子结构研究

孙文杰¹、江志诚²、夏程亮³、浩波¹、李月莹¹、鄢圣峻¹、王茂森¹、刘泓泉³、丁建阳⁴、刘嘉宇⁴、刘正太⁵、刘吉山⁵、陈航晖^{3,6}、沈大伟²、聂越峰^{*1}

1. 南京大学
2. 中国科学技术大学
3. 上海纽约大学
4. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所
5. 上海同步辐射光源
6. 纽约大学物理系

无限层镍氧化物超导体具有与铜基高温超导体相似的晶格以及电子结构，为高温超导机理的研究提供了一个崭新的平台。然而，受限于样品制备的难度，实验上仍然缺乏动量分辨的电子结构这一理解配对机理的重要信息。在本工作中，我们通过分子束外延技术以及原子氢原位还原技术，实现镍氧化物超导薄膜的原位制备，同时保留薄膜原子级平整的表面 [Adv. Mater. (2024)

<https://doi.org/10.1002/adma.202401342>]。在此基础上，利用角分辨光电子能谱，首次揭示了无限层镍基超导体中动量分辨的电子结构[arXiv:2403.07344 (2024)]。与铜基超导体类似，其费米面主要由 $d_{x^2-y^2}$ 轨道构成，且该电子态呈现出显著的质量增强效应 ($m^*/m_{DFT}=2-3$)，显示存在较强的电子关联效应。同时，该电子态在高结合能位置存在色散异常，与铜基超导体中“瀑布型”色散相似，其来源有待进一步验证。除此之外， $Ni-d_{x^2-y^2}$ 轨道呈现出明显的 k_z 依赖特性，从空穴型 ($k_z=0$) 逐渐转变为电子型 ($k_z=\pi$)，这与铜基超导体存在显著不同。与理论计算相符，除 $Ni-d_{x^2-y^2}$ 轨道外，布里渊区边角上还观测到电子型口袋，但该电子态基本不存在质量增强效应，显示其电子关联效应较弱。本工作为镍基超导体中超导机理的研究提供了关键的实验证据。

D34-014

正交相铈镓氧衬底上非常规镍氧化物薄膜的制备与电子特性表征

董振刚、李丹枫*

香港城市大学

镍氧化物超导材料的发现引起了广泛的研究兴趣，且镍氧化物超导体系不断拓展(1-4)。其中，最早被发现的无限层镍氧化物超导体具有类铜基超导体的 $3d^9$ 电子构型，仍存在诸多问题亟待解决，如电子结构、多轨道效应、超导配对对称性等。因此对未掺杂的超导母相的研究至关重要。在此，我们通过磁控溅射系统在 $NdGaO_3$ 衬底上制备了高质量钙钛矿前驱体 $NdNiO_3$ 薄膜，并利用强还原剂 NaH 实现了高质量 $NdNiO_2$ 的合成。在此高质量 $NdNiO_2$ 薄膜中，我们观察到非线性霍尔效应及超导迹象。此外，X 射线吸收与散射

谱研究和第一性原理计算表明 NdNiO₂ 薄膜中轨道有较大的轨道极化, Nd 5*d* 和 Ni 3*d* 轨道的杂化减少。另外, 在 SmNiO₃ 薄膜的拓扑还原过程中, 我们发现了介于钙钛矿 ABO₃ 和无限层 ABO₂ 镍氧化物之间的热力学不稳定相, 其具有 {303}_{pc} 有序的顶角氧空位, 经 4D-STEM 研究发现其具有 Sm₉Ni₉O₂₂ 的分子式(5)。结合理论计算结果, 我们发现在该结构中镍原子具方形平面(Ni¹⁺)、锥体(Ni²⁺)和八面体(Ni³⁺)的不同占位。以上两个材料范例证明拓扑还原过程可制备不同热力学亚稳相镍氧化物, 为理解镍氧化物电子特性和超导机理, 探索新型高温超导材料提供了重要平台。

1. D. Li et al., Nature 572, 624-627 (2019).
2. G. A. Pan et al., Nature Materials 21, 160-164 (2022).
3. H. Sun et al., Nature 621, 493-498 (2023).
4. M. Zhang et al., arXiv:2311.07423.
5. A. Raji, Z Dong et al., ACS Nano 18, 4077-4088 (2024).

D34-15

Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 薄膜的铁电性能调控及其器件应用

陆旭兵*

华南师范大学

HfO₂ 基铁电薄膜具有与标准 CMOS 工艺完全兼容、纳米尺度铁电性等传统钙钛矿基铁电材料所不具有的优点, 自 2011 年被首次报道以来, HfO₂ 基铁电薄膜在非易失性信息存储、负电容晶体管、神经形态器件等领域都受到了广泛的关注。HfO₂ 薄膜的铁电性能受到材料、工艺和结构等方面的多重影响, 如元素掺杂、快速退火、界面效应等。本报告将首先介绍我们课题组近年来对 Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 薄膜的铁电性能如剩余极化、矫顽场、疲劳特性等进行调控所开展的相关工作; 其次介绍 Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 薄膜在铁电突触晶体管、铁电阻变器件及铁电负电容晶体管方面的相关工作。

D34-16

面向宽温域功能器件的连续组分外延铁电薄膜

王旭*

中国科学院物理研究所

Ba_xSr_{1-x}TiO₃ (BST) 铁电薄膜因为拥有高介电常数、强电场调谐性和较低的微波频段介电损耗可应用于微波可调谐器件。然而铁电材料中普遍存在的介电常数-温度依赖性使得常规单组分铁电薄膜的高可调率温区受制于相变温度, 难以满足宽温域适用性的需求。为研究可用于宽温域功能器件的铁电薄膜, 发展了组合激光分子束外延镀膜技术, 在(La,Sr)(Al,Ta)O₃(LSAT)衬底上制备了 Ba 掺杂含量 *x* 随位置线性变化 (0 ≤ *x* ≤ 1) 的高质量 BST 单晶组合薄膜。通过介电性能表征, 发现其居里转变温度随薄膜成分连续变化。在不同成分处, 其铁电相介电常数具有独特的性质, 并且发现跨组分的长叉指电极具有明显的温度稳定性, 验证了 BST 组合薄膜的宽温域效果。这一结果有望突破铁电薄膜功能器件的宽温域适用瓶颈, 为新一代微波通信器件的应用指引明路。

D34-17

脉冲激光沉积法制备 Ba_{1-x}Sr_xTiO₃ 薄膜及物性研究

夏丰金^{1,2}、林泽丰¹、刘天想¹、温凯兵¹、马帅²、王旭¹、金魁^{*1}

1. 中国科学院物理研究所
2. 青岛科技大学

钛酸锶钡 ($\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$) 是一种典型的 ABO_3 型钙钛矿结构的铁电材料。 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 晶体结构中六个氧离子位于晶胞面心位置, 一个钛离子位于晶胞体心位置, 共同构成氧八面体结构。在该结构中, 钛离子并不在氧八面体的中心位置, 即正负电荷中心不重合, 形成电偶极矩, 产生自发极化效应, 使 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 表现出铁电性。 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 材料的这一特性使其在滤波器、移相器、谐振器等可调谐器件应用方面有广阔的应用前景。

但是, $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 材料的居里温度会随着钡锶比 (Ba/Sr) 的变化而改变, 随着 Ba/Sr 数值的增大, 居里温度将向高温方向移动。基于此, $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 材料存在很强的介电常数-温度依赖性, 使得常规单组分铁电薄膜的高可调率温区受制于相变温度, 难以满足器件温度适用性的需求。本文为研究 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 薄膜材料在宽温域条件下可调谐器件中的应用, 采用脉冲激光沉积技术方法制备了 $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$ 、 $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 、 $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ 单层膜及 $\text{BaTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3/\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 、 $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3/\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ 等多层异质结薄膜。通过分析实验结果发现: 激光能量、沉积温度与沉积氧气压强均对薄膜的结构、表面形貌、介电性能产生影响。多层膜结构可以有效的改善 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 材料薄膜的介电温度依赖特性, 为可调谐器件的宽温域应用提供很好的指导意义。

D34-18

基于超薄单晶 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ 铁电隧道结的隧穿电致电阻效应和忆阻器

谭莉萍、胡雪峰*

合肥工业大学

为了满足非易失性存储器 and 人工突触应用所需的超快响应、高稳定性和低能耗等性能需求, 以及电路微型化和硅基集成的器件趋势, 基于铁电异质结效应的忆阻器越来越受到人们的关注。利用激光分子束外延技术在 $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ 衬底上调整晶体的择优取向, 将本征面内极化取向的 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT) 陶瓷材料首次调整为严格的面外极化取向, 在获得的超薄高质量单晶前提下, 结合扫描探针显微镜技术, 表明 3.5~4 个原子层厚度的 SBT 有着优异的铁电性和非破坏性极性翻转能力。通过对比不同晶态以及不同厚度的 SBT 薄膜, 结合 X 射线衍射和球差校正高分辨透射电子显微镜技术, 分析其外延生长模式和缺陷结构。将单晶超薄 SBT 薄膜集成具有金属-铁电-金属 (MFM) 结构的铁电隧道结器件, 并与多晶 SBT 厚膜器件在压电响应和隧穿电致电阻 (TER) 等方面进行比较, 得出前者有严格地沿面外方向的极化翻转能力和较高的开关比。在低工作电压下, 以电流输出模式模拟了上述器件在类生物突触忆阻器方面的应用, 结果表明基于单晶超薄 SBT 的 MFM 结构具有更快的编程时间以及更好的忆阻器性能。

D34-19

Engineering spin states in strained correlated oxides for enhanced performance

Zuhuang Chen*, Shanquan Chen

Harbin Institute of Technology, Shenzhen

The interplay among charge, spin, and orbital degrees of freedom in strongly correlated oxides provides a unique arena in which to produce emergent quantum states. What's more, the correlated oxide thin films and heterointerfaces represent a rich platform in exploring novel physical or chemical phenomena, which are even absent in their bulks. Here, using perovskite cobalt oxide LaCoO_3 as a model system, we achieved the robust ferromagnetism and the enhanced electrocatalytic OER performance by engineering the spin state of Co^{3+} through epitaxial strain. It is worth noting that the high spin state Co^{3+} induced by tensile strain can trigger magnetic exchange and OER reaction mechanism transition and that do not exist in bulk materials. These findings are confirmed through synchrotron radiation XAS, STEM, and theoretical simulations. Our findings unveil the intricate interplay among strain, spin-state transition and the physical or chemical mechanism, providing valuable insights

for correlated oxide in creating new properties.

D34-020

Giant spin-orbit torque in a non-symmorphic topological Dirac semimetal

Zhiming Wang*

Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences

Topological quantum materials with non-symmorphic symmetry are theoretically predicted to host robust topological states and novel spin-related phenomena, offering unique opportunities for spintronics applications. However, the experimental realization and characterization of such materials remain challenging. Here, we present the successful epitaxial growth of high-quality hexagonal SrIrO₃ thin films and demonstrate their non-symmorphic symmetry-protected topological Dirac semimetal state. Through a comprehensive study combining ARPES measurements, nonlinear transport measurements, second harmonic Hall measurements, and first-principles calculations, we confirm the presence of spin-momentum locked surface states and 3D Dirac points, establishing the topological Dirac semimetal state in hexagonal SrIrO₃. Remarkably, we observe a giant spin-orbit torque efficiency of around 2.14 and demonstrate current-driven magnetization switching at a low current density of 7.4×10^5 A/cm², highlighting the material's potential for energy-efficient spintronic devices. This work advances our understanding of the interplay between symmetry, electronic topology, and spin-related phenomena, paving the way for the development of efficient spintronic devices.

D34-021

功能氮化物薄膜的分子束外延与物性研究

孟梦*

中国科学院物理研究所

近年来过渡金属氮化物 (TMNs) 逐渐受到了研究者的关注, 其优点可归纳为: (1) TMNs 不含重金属和稀土元素, 构成的元素在地壳中的含量很高; (2) TMNs 表现出金属键、离子键和共价键特性, 可更好的与半导体 GaN 等兼容; (3) TMNs 具有高导电性、优异的机械性能、热稳定性和耐腐蚀性, 高质量 TMNs 薄膜在透明显示、柔性电子、光伏等器件领域有着巨大的应用前景。TMNs 属于金属间化合物, 随着金属原子与氮原子配比的不同, 存在着不同的结构相。因此制备符合化学计量比的高质量 TMNs 薄膜样品一直是制约其研究的关键瓶颈之一。

本报告将介绍几种功能 TMNs 薄膜的制备与物性研究。我们使用等离子体辅助的分子束外延技术, 制备了高质量的磁性 MnN_x 单晶薄膜。通过系统地生长参数优化, 获得了一系列纯相薄膜, 并对其结构、稳定性、输运、磁性进行了研究。特别地, 反铁磁 MnN (奈尔温度 650 K) 薄膜表现出优异的大气、水、弱酸稳定性, 表明其实际应用价值。我们通过调控 N 的含量, 制备了单晶 ScN_x 薄膜。随着 x 的变化, ScN_x 薄膜会出现半金属-半导体-绝缘体的转变。

D34-22

基于低维磁性体系的物理神经网络

郭杭闻*、牛畅

复旦大学

神经网络已对社会发展产生了巨大变革,也同时对算力、能耗和计算效率等问题带来了巨大挑战。物理神经网络充分利用了物理体系的优异特性来实现神经网络的训练和计算,可潜在突破传统计算机的限制,且大幅提高计算效率[1]。在低维尺度下,磁性材料不仅具有记忆和存储功能,还具备强的热涨落、丰富的磁畴态和动力学过程,展现出很强的可塑性、随机性、非线性和振荡性等特征,是实现物理神经网络的极佳选择。本报告将介绍课题组利用低维磁性体系实现物理神经网络的进展,主要基于利用电流可控的磁畴可塑性实现自学习 Hopfield 神经网络等工作[2],为利用低维自旋体系实现高计算效率的人工智能架构提供了新的思路。

[1] W. Yu, H. Guo, J. Xiao, and J. Shen, "Physical Neural Networks with Self-Learning Capabilities," *Science China Physics Mechanics and Astronomy*, in print.

[2] C. Niu et al., "A self-learning magnetic Hopfield network with intrinsic gradient descent adaption," under review.

D34-023

功能氧化物异质结构物性调控及其储能研究

温峥*

Qingdao University

随着薄膜制备技术提高,功能氧化物薄膜异质结构由于物性多重可调性,受到人们广泛关注,其电有序、磁有序常用于新一代信息技术中;而最近能源问题的凸显,对电能的存储技术提出了更高的要求,功能氧化物由于高介电特性、电极性行为、易于高密度集成等优势,成为该领域研究热点。这里,我们基于电介质氧化物,通过人工微结构调控,开展两方面电能存储研究:

1、高性能非晶提高电介质储能:静电电容器的能量密度由介电常数(ϵ_r)和击穿电场(E_b)共同决定,然而,介电材料中 ϵ_r 和 E_b 呈现负指数关系,这成为电容器能量密度提升的重要限制。这里,我们采用一种新的结构策略,通过对萤石结构二元 High-k 材料(HfO_2 , ZrO_2 , HZO 等)进行大范围的二价离子(A^{2+})掺杂,诱导了从萤石向钙钛矿结构转变。两种结构具有相似的金属离子框架而氧离子的晶格占位不同,在结构演变的过渡区域,氧离子的失稳导致长程周期性破坏,形成只有短程序的非晶结构。这种在高温下形成的非晶氧化物保留了二价掺杂离子的晶格应变,具有更高的无序度和致密度,通过进一步的成分和应变调控,获得了超过 13 MV/cm 的介电击穿强度,且保持了 High-k 相对介电常数 ($> 18 @ 10^6 \text{ Hz}$),这些物性特征突破了介电材料中普遍存在的 ϵ_r - E_b 的负相关限制,非晶电容器表现出高达 180 J/cm³ 的可回收能量密度。

2、挠曲电效应促进电解水制氢:电催化分解水制氢是一种将电能储存到氢键中的绿色技术,其主要催化反应瓶颈在于阳极的 4 电子转移析氧反应。我们注意到 LaFeO_3 是一种优秀的电催化分解水的阳极材料,我们利用电化学测试、电学表征和多物理场模拟,对 LaFeO_3 薄膜的析氧反应性能、动力学过程机制进行了表征、分析。由于 LaFeO_3 层内电子输运和介电极化之间的相互竞争,其析氧反应催化性能具有明显的厚度依赖行为。当挠曲电极化存在时,不仅可以提高固液界面处的 OH^- 反应物浓度,优化反应微环境,还会促进 OH^- 的吸附和界面处的电子转移,从整体上增强析氧反应的动力学过程。利用交流阻抗谱测试验证了 LaFeO_3 介电薄膜析氧反应动力学过程的挠曲电极化增强机制,还利用密度泛函理论计算排除了表面晶格应变因素的干扰。

D34-24**调节化学计量比以增强过渡金属氧化物中的自旋-电荷转换效率**陈和田¹、姜丁菘²、张庆华³、梁宇晗¹、刘敬椿¹、汤爱华¹、柴亚红²、于浦⁴、南天翔²、易迪^{*1}

1. 清华大学材料学院
2. 清华大学集成电路学院
3. 中科院物理所
4. 清华大学物理系

自旋和电荷电流的相互转换为低功耗自旋存储和逻辑设备提供了一条关键途径。最近的研究揭示了在 *4d* 和 *5d* 过渡金属氧化物中有效的自旋-电荷转换。然而，调节转换效率的策略，尤其是自旋电流的生成和检测，仍主要局限于对氧化物晶体结构的调控。在此，我们报道了一种通过调节阳离子化学计量比来实现的简单且广泛适用的方法。在 *5d* 钙钛矿 SrIrO_3 的模型系统中，我们展示了通过控制沉积过程中氧分压来诱导显著的 Ir 阳离子缺陷。这种非化学计量比导致自旋-电荷转换效率提高约三倍，同时在室温下电阻率增加。此外，通过应用缺 Ir 的 $\text{SrIr}_{1-x}\text{O}_3$ ，观察到了显著的逆自旋霍尔电压增加，突显了原子缺陷在发展高灵敏度自旋电流检测氧化物中的潜在作用。该研究为工程氧化物中的自旋-电荷互换效率开辟了一条新途径，并为将复杂氧化物集成到节能自旋电子器件中提供了新思路。

D34-25**高性能纸基热电薄膜器件及其在信息交互领域的应用研究**

侯悦、王自昱*

武汉大学

本文聚焦于热电功能薄膜技术及其创新应用，探讨了其在物联网与信息交互领域的潜在价值。针对当前热电自供能器件存在的成本高与制备工艺复杂等难题，本研究提出了一种突破性解决方案，即运用简便易行的丝网印刷技术于纸基上制备高性能热电薄膜，其中膜厚可根据印刷次数进行调控 ($500\ \mu\text{m}$ - $800\ \mu\text{m}$)。实验结果表明，所开发的纸基薄膜热电发电机在 40K 的温差条件下，能够产生 $940.8\ \mu\text{W}$ 的高功率输出。尤为重要的是，该装置通过热电阵列构建的可编程红外显示图案，为信息加密与防伪技术提供了新的物理实现手段，进一步增强了系统的安全性。此外，结合先进视觉提取算法与移动应用开发，可由红外探测实现对隐藏密码信息的有效探测与解码，极大促进了信息交互的便捷性与智能化。综上所述，本研究不仅为热电薄膜材料的应用拓展了新方向，特别是在能量收集、光学安全、防伪识别及智能红外显示等领域，而且为未来物联网及信息交互设备的智能化、轻量化设计提供了重要参考和技术支撑。

D34-26**Ferroelectric hafnia: a new era for ferroelectric physics**

刘仕*

西湖大学

The discovery of ferroelectricity in fluorite-structured HfO_2 has revolutionized our understanding of ferroelectric materials, traditionally dominated by studies on perovskite oxides. This silicon-compatible ferroelectric holds the promise of implementing ferroelectric functionalities into integrated circuits for novel nanoelectronics. In this talk, I will discuss our understanding of ferroelectric HfO_2 based on both first-principles modeling and deep-learning-assisted large-scale molecular dynamics. This chemically "simple" binary oxide is rather complex, exhibiting several unique properties distinct from perovskite ferroelectrics. Notable examples are the electric auxetic effect, structural polymorphism coupled to the charge state of the oxygen vacancy, dual-valued remnant polarization,

and ultrahigh oxygen ion mobility promoted by bias-driven successive ferroelectric transitions. Recently, with a multiscale approach that incorporates atomistic insights of nucleation and growth at the domain wall, we predict that the theoretical lower limit of the coercive field of HfO_2 is unexpectedly low, at 0.1 MV/cm. This counterintuitive theoretical prediction will serve as a reference point in the development and optimization of hafnia-based ferroelectrics.

D34-27

液态金属柔性薄膜电子

马标*、刘宏
东南大学

液态金属的本征柔性和高导电性使其成为构筑柔性可拉伸电子的理想材料，其图案化和表面调控是迈向实际应用的关键。在近期工作中，我们发展了基于磁场图案化的液态金属薄膜普适化印刷技术，并探索了其在柔性电子和自感知软机器人中的应用。此外，我们还探究了镓薄膜在固液相变时，由于其高表面张力引起的去润湿效应。通过对这种收缩效应的利用或者抑制，构筑了一系列新型的温控功能元件、如温控流体阀、自支撑电极、生物分子胶囊等，并展示了这些功能单元在新冠病毒检测、电子皮肤、DNA 存储等领域的一系列应用。上述工作为液态金属薄膜的功能化应用提供了新的思路。

参考文献:

1. Yi Chen, Biao Ma* et al. ACS Appl. Mater. Inter., 2023, 15, 44, 50898–50907.
2. Gangsheng Chen, Biao Ma* et al. Adv. Sci. 2024, 2306129.
3. Yakun Gao, Biao Ma* et al. Biosens. Bioelectron., 2024, 116403
4. Biao Ma et al.. Adv. Funct. Mat. 2019, 29, 1901370.

D34-28

Block copolymer-templated gasochromic WO_3 thin films with uniform mesopores for fast optical hydrogen sensing

Xuan Wu¹, Xingwu Guo^{*1,2}, Chenjing Gao¹, Lewen Nie¹, Liming Peng^{1,2,3}, Juan Chen^{1,2,3}

1. National Engineering Research Center of Light Alloy Net Forming, School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University,
2. Shanghai Innovation Institute for Materials
3. Center of Hydrogen Science, Shanghai Jiao Tong University

Mesoporous WO_3 thin films (represented by MP- WO_3) are obtained with a uniform pore size of $\sim 18\text{nm}$ by sol-gel synthesis utilizing home-made structure-directing agent (SDA) block copolymer poly(ethylene oxide)-b-polystyrene (PEO-b-PS) synthesized by atom transfer radical polymerization (ATRP). Gasochromic Pt/ WO_3 films are prepared further with sputtering of platinum. The properties of the gasochromic MP- WO_3 film are studied comprehensively and compared with control groups using different SDAs of homopolymer PEO, PS, or their mixtures. Based on an optimized thermal treatment procedure, the gasochromic MP- WO_3 thin film of which the

transmittance change ΔT is 59.1% exhibits the fastest coloration and bleaching speed with a coloration time of 27.3 s and a bleaching time of 19.7 s as well as excellent reversibility within 90 cycles. This study presents a new strategy for the development of mesoporous WO_3 hydrogen gasochromic films with excellent performance, paving the way for their application in optical hydrogen sensors.

D34-29

氧化物异质结界面的 Rashba 超导制备、表征与调控

甘渝林*、陈凯、廖昭亮

中国科学技术大学

Rashba 自旋轨道耦合 (RSOC) 与超导 (SC) 在未来电子学中的应用可以突破传统半导体的发展瓶颈、满足日益增长的高要求, 已成为国际争相角逐的重要方向。特别是它们的耦合被预言可以实现拓扑超导, 用于拓扑保护的量子计算。目前, KTO 氧化物异质结界面二维电子系统 (2DES) 在 (110) 与 (111) 取向表现出约 1~2 K [1,2] 的超导转变温度, 以及在 (001) 取向具有 2.6 T 的强 Rashba 自旋轨道耦合特征场 B_{so} [3], 表明其具有实现拓扑超导并研究实用新型器件的潜质。近期, 我们在 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{KTaO}_3$ (110) 界面实现了 SC ($T_c^{\text{mid}} = 0.62 \text{ K}$) 与强 RSOC 的耦合 [4]。其 B_{so} 经光调控达到近 7 倍的增强 (从 1.9 T 到 12.6 T), 强度在世界上名列前茅。对更高超导温度与更强 RSOC 的 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{KTaO}_3$ (111) 界面 2DES 的研究发现, 当超导态逐渐形成伊始 ($T_c^{\text{onset}} = 3 \text{ K}$), Cooper 对就与 RSOC 强烈关联在一起, 并随着温度的降低, 相互促进, 最终形成 Rashba 型超导。进一步非互易输运揭示了典型的 Rashba 型全面内螺旋自旋织构。我们的研究表明, $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{KTaO}_3$ 界面 2DES 具有研究拓扑超导的优异先决条件, 将促进低功耗高算力自旋电子器件、量子器件以及拓扑超导的研究。

参考文献:

[1] Z. Chen et al., Two-Dimensional Superconductivity at the $\text{LaAlO}_3/\text{KTaO}_3$ (110) Heterointerface, *Phys. Rev. Lett.* 126, 026802 (2021).

[2] C. Liu et al., Two-Dimensional Superconductivity and Anisotropic Transport at KTaO_3 (111) Interfaces, *Science* 371, 716 (2021).

[3] H. Zhang et al., Unusual Electric and Optical Tuning of KTaO_3 -Based Two-Dimensional Electron Gases with 5d Orbitals, *ACS Nano* 13, 609 (2019).

[4] Y. Gan et al., Light-Induced Giant Rashba Spin-Orbit Coupling at Superconducting KTaO_3 (110) Heterointerfaces, *Advanced Materials* 35, 2300582 (2023).

D34-30

硫系异质薄膜的相变及热电性能研究

王国祥*

宁波大学

硫系薄膜是基于硫系玻璃材料智能电子器件向集成化、微型化、柔性化发展的一个重要研究方向。由于硫系薄膜属于半导体材料范畴, 在纳米尺度下具有超快速的非晶和晶态的相变过程以及良好的塞贝克效应等。这些材料特性决定了该薄膜在非易失性信息存储器、可穿戴热电器件等领域中具有应用价值。本研究 1) 通过捕捉硫系相变薄膜宽过冷液 F-S 转变过程, 确立了以 Trg 为材料结晶速率快慢的普适性判断准则: 高结晶速率的相变材料需满足 $\text{Trg} \in [0.35, 0.45]$ 且 Trg 越小结晶速率越快。基础此准则, 优化制备“双相共存”纳米复合相变薄膜如 Zn-Sb-Te , 发现其十年数据保持力温度比传统 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 相变材料高 70-90°C, 且结晶速率提升近 10 倍, 解决了相变材料高结晶速率和高热稳定性无法兼顾的矛盾。此外, 2) 提出了双相异质材料斯宾那多亚稳分解法, 调控了异质界面处元素扩散过程, 解决了原子纳米尺度缺陷迁移引起的显微结构界面不稳定性, 实现了多值存储器件的阻态精准调控, 在不同状态间稳定循环操作高达

数百万次。相比于传统单相 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 基相变存储器（电阻漂移系数 0.11），基于“双相共存”相变材料的多值存储器件的电阻漂移仅 0.002，提高多值存储操作可靠性。3) 研究了 Zn-Sb-Mg 动态相变过程中的反常结晶动力学，建立相变动力学-载流子输运-宏观电学性能之间内在依赖关系，揭示了临界相变过程中的巨功率因子，同时 STEM 技术精准定向调控柯肯达尔孔洞等缺陷的动态演变过程，阐明其增强声子散射降低热导率的影响机制，实现材料相变过程中大幅度提升热电器件的热电优值 $1.8@584\text{ K}$ 。4) 利用传统 Bi_2Te_3 与 W 构建周期性多层结构薄膜，发现其多周期异质界面稳定可控，形成逾渗通道细化晶粒，限制 Bi_2Te_3 纳米晶的生长，实现纳米尺度下晶相择优取向可控；同时利用复合后多重界面过滤低能电子，提高塞贝克系数，有效解耦了塞贝克系数与电导两者间本征矛盾关系。 $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{W}$ 功率因子在 600 K 时达到 $1785\ \mu\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$ ，相比于纯 Bi_2Te_3 薄膜的功率因子提高了近 22 倍。

D34-31

$\text{Sr}_2\text{CrMoO}_6/\text{SrTiO}_3(110)$ 异质界面电子气

郑仁奎^{*1}、王昭才²、赵伟尧³

1. 广州大学 物理与材料科学学院
2. 南昌大学 物理与材料学院
3. 莫纳什大学 材料科学与工程系

采用脉冲激光沉积技术，在 SrTiO_3 (STO) (110) 单晶衬底上制备了厚度为 35nm 的 $\text{Sr}_2\text{CrMoO}_6$ (SCMO) 薄膜。SCMO/STO (110) 异质界面具有高金属导电性 $[\text{R}(300\text{K})/\text{R}(2\text{K})=1230]$ 和 Shubnikov-de Haas (SdH) 振荡（磁场方向垂直于薄膜平面），且界面电子具有高迁移率 ($\sim 10000\ \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)，表明异质界面形成了电子气。当磁场方向平行于薄膜平面和垂直电流方向时，界面电子输运也表现出强烈的 SdH 振荡。通过转角测量发现，在所有 12 个等效 STO [110] 晶体学方向上施加磁场都会出现 SdH 振荡，这与经典的 $\text{LaAlO}_3/\text{STO}$ 异质界面二维电子气 SdH 振荡的二重对称性明显不同，因此 SCMO/STO (110) 异质界面电子气具有准三维特征，其费米面遵循立方晶体学对称而不是二维界面本身的二重对称。

D34-32

相界面应变增强功能薄膜性能调控及原子尺度机理

邓世清，霍传瑞，李天宇，陈骏

北京材料基因工程高精尖创新中心，北京科技大学，北京 100083

晶格应变调控是实现功能薄膜物性增强的有效方式。近期发展的相界面应变晶格调控方法，具有应变可调范围大、基底夹持作用弱、普遍适用性强等优势。借助该调控方法，有效调控提升系列功能薄膜的宏观物性，如 SrTiO_3 基薄膜室温铁电性、铁性玻璃态和优异储能特性（能量密度 $U = 90\ \text{J cm}^{-3}$ ，效率 $\eta = 94\%$ ）[1,2]； HfO_2 基薄膜铁电性（剩余极化 $P_r = 28\ \mu\text{C cm}^{-2}$ ）； SrZrO_3 基薄膜氧离子导电性（673 K 下离子电导率 $\sigma = 5.67 \times 10^{-4}\ \text{S cm}^{-1}$ ）等[3]。同时，借助于系统定量电子显微学方法，揭示了局域晶格应变增强宏观物性的原子尺度机理。尤其是，基于近期快速发展的四维扫描透射电子显微学和多片层叠层成像方法，实现了在深亚埃尺度 ($< 0.4\ \text{\AA}$) 对界面三维结构的定量解析，展示了多维度定量解析材料三维局域结构的可能。

[1] T. Li#, S. Deng#,*, J. Chen*, et al., Phys. Rev. Lett. 131, 246801 (2023). (Editors' Suggestion)

[2] T. Li, S. Deng*, J. Chen*, et al., J. Am. Chem. Soc. 146, 1926–1934 (2024).

[3] C. Huo, S. Deng*, J. Chen*, et al., J. Am. Chem. Soc. 145, 13623–13631 (2023).

D34-33

Mg₃Sb_{2-x}Bi_x 外延薄膜的价带电子结构调控及热电性能优化研究

谢森、柳伟*、张清杰、唐新峰

Wuhan University of Technology

热电转换技术具有全固态、体积小和长寿命等优点，在 5G 光通讯模块精确温控、半导体微芯片热管理、可穿戴电子产品自供能等领域具有重要应用，其核心是高性能热电材料的研发。Mg₃Sb₂ 基材料是近年来发现的一种新型热电材料，被认为是下一代商用室温热电材料的重要候选材料。然而，p 型 Mg₃Sb₂ 基材料的电输运性能优化是领域难题，受限于（1）低的价带简并度与态密度有效质量和（2）室温和室温以上电导率不高以及不利的离化杂质散射。本研究通过先进的角分辨光电子能谱（ARPES）技术以及系统的理论和实验研究，阐明了 Mg₃Sb_{2-x}Bi_x 薄膜中外延应变、SOC 效应和本征点缺陷对其价带电子结构及电输运性能的影响规律和调控新机制。结果发现，利用可控的外延应变、Bi 含量调控 SOC 调控实现了价带电子结构的显著调控。ARPES 电子结构表征和理论计算发现，InP 衬底上生长的面内压缩应变的 Mg₃Sb₂ 薄膜以及 Mg₃Sb_{0.5}Bi_{1.5} 薄膜中获得了高简并度价带结构，显著提高了价带态密度有效质量，并在 p 型材料中获得热电功率因子的大幅度提升。通过变温 ARPES 测量及扫描隧道谱（STS）揭示 n 型 Mg 间隙的热激发是产生反常电输运、劣化室温附近热电功率因子的重要机制，即电阻率随温度升高而升高以及费米能级上移，并发现 p 型 Mg₃Sb₂ 薄膜中存在新颖的 Lifshitz 电子相变，为 p 型 Mg₃Sb₂ 基材料的电输运优化指明了方向。本研究丰富了 Mg₃Sb₂ 基材料的电子能带结构调控的内涵，并为 p 型 Mg₃Sb₂ 基材料的热电性能优化提供了重要借鉴。

References:

1. S. Xie, W.Liu*, Q.J. Zhang, X.F. Tang*, et al. Nanomaterials, 2022, 12, (24), 4429.
2. S. Xie, W.Liu*, Q.J. Zhang, X.F. Tang*, et al. Adv. Funct. Mater., 2023, 33, (19), 2300154.
3. S. Xie, W.Liu*, Q.J. Zhang, X.F. Tang*, et al. Adv. Mater., 2024, 202400845.
4. S. Xie, W.Liu*, Q.J. Zhang, X.F. Tang*, et al. Appl. Phys. Lett., 2024, 124, (9), 093902.

D34-34

基于 TaO_x/TiO_y 双层氧化物薄膜的忆阻器制备及其在神经形态计算中的应用

朱明敏*、俞镇迪、欧阳辉、俞凯、王嘉维、邱阳、郁国良、周浩淼

中国计量大学

类脑计算借鉴人脑存储与处理信息的方式，是以开发通用人工智能为目标的新型计算技术，已成为冯·诺伊曼架构替代技术的研究热点。构建类脑计算硬件系统的基础是开发各种神经形态器件，模拟大脑中的神经元和连接突触行为，以实现类脑信息传递的功能。其中，突触是神经回路的最基本组成单元，利用氧化物的忆阻特性实现人工突触获得研究人员的广泛关注，其电阻转换机理及忆阻特性仍有待充分研究。本工作设计了基于 Pt/TaO_x/TiO_y/Ti 结构的非易失性忆阻器，通过在顶电极 Ti 和功能转换层 TaO_x 之间插入富有氧空位的 TiO_y 薄层，该器件可以获得稳定的电阻转换行为，并具备优异的多级存储

特性，以及高达 660 倍的开关比。进而提出基于氧空位迁移的导电模型，通过不同复位电压下 I-V 曲线的肖特基拟合参数分析，阐述了双层氧化物薄膜中电阻动态转变的理论机制。最后，利用电压脉冲对薄膜电导的非易失性控制，实现了类神经突触的长时程增强（LTP）、长时程抑制（LTD）以及双脉冲易化（PPF）等功能特性，单次驱动过程仅需 12.69nJ 的功耗，与目前的主流水平相当。进一步基于所设计忆阻器的优异电导对称性和线性度，探索了其在神经形态计算的手写数字图片识别任务中的应用，识别准确率可以达到 92% 以上。这些结果表明，所设计的 Pt/TaOx/TiOy/Ti 忆阻器在非易失性存储器 and 人工神经形态计算中具有巨大的应用潜力。

D34-35

Research about coating carnauba wax film on the surface of Stereo Lithography Apparatus resin prototype to solve the cracking problem of ceramic shells

Zhihui Li¹, Yaozhong Zhang¹, Sichen Li², Junhua Lai¹, Weibo Jia¹, Heng Gu³, Lan Cheng⁴, Qingxiao Yu⁴, Jinsong Ma⁴, Fei Li^{*1}, Baode Sun¹

1. Shanghai Jiao Tong University

2. Technology & Media University of Henan Kaifeng

3. Jiangsu University

4. Shanghai UnionTech Co., LTD

Stereo Lithography Apparatus (SLA) resin prototypes has been widely used in the precision casting for their surface-roughness and dimensional-accuracy in recent years. However, the high thermal expansion coefficient of the photosensitive resin usually leads to the cracking problem of the ceramic shell at sintering process, which hinders its satisfactory apply in industrial. Herein, this work introduces a cost-effective solution for the cracking problem of the SLA-prototyped ceramic shells. The carnauba wax with low-melting point (80-86°C) was coated on the surface of SLA resin prototype to form a uniform film with a thickness of 75 μm. According to the thermal stress simulation based on Ansys and experiment, the carnauba wax film supplies an effective space for the thermal expansion of the SLA resin prototype at sintering process, which solve the cracking problem of the ceramic shell.

D34-36

离子调控机理探究

鲁年鹏*

中国科学院物理研究所

由于晶格、电荷、轨道和自旋自由度间关联耦合效应，过渡金属化合物展现出丰富的物理特性，如超导、铁磁、铁电、金属-绝缘体相变等。如何调控其物性产生新物理效应成为当前凝聚态物理和材料科学的共同研究目标。经过近几年的发展，离子调控已经逐渐开始成为一种调控材料物相和物性的有效手段。相比于传统采用的化学掺杂、外延应力/压强或静电调控，离子调控在常温常压条件下就可以实现对材料结构、组分和物性的原位、连续和可逆效应调控，展现出强大调控能力。离子调控研究具有多学科交叉的特点，并有望衍生出很多新物理、新材料及新型实用器件。在材料制备基础上，一方面通过离子嵌入和析出，可以得到很多新颖物相；另一方面，又可以间接影响到材料中各种自由度间相互作用，衍生出很多新奇物性。同时，离子作为功能基元，又可以应用于信息和能量的存储和转换。氢离子作为自然界最小的离子单元，嵌入时对过渡金属化合物的结构和物性会产生极大影响。本报告将围绕几个典型材料体系，介绍氢离子调控中协同掺杂效应、离子与晶格和电荷的耦合关系、电荷反掺杂效应诱导金

属-绝缘体相变及其应用等。

D34-37

氧化物薄膜中新奇磁性的对称性调控

王猛*

北京理工大学

自旋-晶格的对称性对于材料的磁学特征具有决定性意义。交错磁性 (altermagnet) [1]和铁磁极化金属是近年来被提出并引起人们广泛兴趣的两类新体系, 其中的时间反演+平移对称性破缺和垂直方向空间反演对称性破缺可以分别导致这两个体系出现零磁场的反常霍尔效应和非对易电阻。尽管上述体系引起了人们广泛的兴趣,然而在材料上如何设计实现仍然面临挑战。我将在报告中介绍我们最近的两个工作, 探讨上述体系的调控方法。我们通过 Cr 掺杂调控交错磁性备选体系 RuO₂, [2]实现了其奈尔矢量从高对称的[001]晶轴转到[110]晶轴, 降低旋转对称性, 实现了零磁场下的反常霍尔效应观测[3]。此外, 我们提出了一种通过氧离子重构, 实现面内铁磁和垂直方向空间反演对称性破缺的设计方案, 首次报道了内禀的铁磁极化金属 Ca₃Co₃O₈, 并观察到了零磁场的非对易电阻[4]。

[1] L. Šmejkal, J. Sinova, and T. Jungwirth, Emerging Research Landscape of Altermagnetism. Phys. Rev. X 12, 040501 (2022).

[2] Feng, Z. et al. An anomalous Hall effect in altermagnetic ruthenium dioxide. Nat. Electron. 5, 735–743 (2022).

[3] M. Wang, et al. Emergent zero-field anomalous Hall effect in a reconstructed rutile antiferromagnetic metal. Nat. Commun. 14, 8240 (2023).

[4] J. Zhang, et al. An intrinsic ferromagnetic polar metal by design. (Nat. Mater. <https://www.nature.com/articles/s41563-024-01856-6>).

D34-38

CVD 金刚石表面垂直碳纳米管生长及机制研究

朱芬*

北京科技大学

垂直排列的碳纳米管 (VA-CNTs) 具有黑体吸收和发射特性, 是吸收辐射的理想材料。结合金刚石优异的热导率, 形成界面结合性好、传导率高、机械强度好的全碳复合材料, 有望提高太阳能光热转换效率实现绿色资源的有效利用。在本研究中, 通过射频磁控溅射在金刚石衬底上沉积金属催化剂层, 并使用 T-CVD 方法结合双阶段生长方式在金刚石上生长垂直碳纳米管阵列。通过密度控制机制、速度生长机制和金刚石石墨化作用机制, 调整生长工艺参数。结果表明, 在优化的生长条件下, 在金刚石上制备了高度约为 5 μ m 的垂直碳纳米管阵列。

D34-39

酶促氧化对映体 DOPA 聚合制备高力学强度薄膜

申雨禾*、王跃飞、齐崑

天津大学

作为自然界的基本属性之一，手性从分子到宏观层面都无处不在。对手性现象的研究不仅对催化、合成和分离等研究领域具有重要意义，而且对生命科学、医药科学和材料科学等其他科学领域也有重要的科学和实用价值。表面和界面的手性已经引起了越来越多的关注，L-3,4-二羟基苯丙氨酸（L-DOPA）是高黏附贻贝的核心序列，由 DOPA 介导的氢键、与金属/金属氧化物的配位键或共价交联被认为是其产生湿粘性的主要原因。同时，DOPA 继承了来自酪氨酸的手性，其作为天然黑色素的氧化前体，在生命系统中发挥重要作用。然而，手性对其粘附性的影响还没有报道，DOPA 单体的手性对其聚合粘附的影响也仍不清楚。研究手性 DOPA 在界面上的粘附特性可以更好地解释贻贝在不同表面上的粘附机制，并为开发和设计新一代坚固的粘合剂和涂层材料提供理论指导。

在此，我们通过酶促氧化聚合研究了 DOPA 分子手性对组装材料性能的影响，应用不同的实验技术，如小角、广角 X 射线散射 (SAXS/WAXS)、单分子力谱和分子动力学 (MD) 模拟，我们证明了自组装机制和单一和混合系统的结构组织的差异，并通过表面等离子激元共振技术 (SPR)、原子力显微镜 (AFM) 等进一步表征了涂层的性质。结果显示，不同于单手性体系，对映体聚合显著改变了聚合程度和组装动力学，L+D-外消旋混合物的氧化产物具有更强的分子间力和更有序的片层堆叠排列，其氧化得到的涂层结晶度、热稳定性和力学性能都有显著提高。由于 poly (L+D-DOPA) 复合膜内部高度有序的层状堆积结构，在迄今为止报道的生物分子中具有最高的杨氏模量，其值高达 138.6 GPa。本研究通过控制单体手性，突出了手性在共价聚合和自组装中的重要性，为制造具有增强物化性质的仿生聚合物材料提供了新的简单途径。

D34-40

二氧化钒外延薄膜的金属绝缘态相变调控及其器件应用

邹崇文*、李亮、赵闪光、刘美玲

中国科学技术大学

作为一种典型的金属绝缘相变材料，二氧化钒(VO_2)在临界温度（68°C）发生从低温单斜相到高温金红石相结构的转变，同时伴随着电导率和红外/THz 透射率等宏观光电特性的突变。这种独特的相变特性使 VO_2 在相变存储、光开关和激光防护、神经网络计算和高频雷达以及节能“智能窗”等方面有着广泛的应用前景，因而被认为是未来电子业的革命性材料。我们课题组近年来一直从事 VO_2 薄膜的分子束外延制备，相变机制和相变调控方面的研究。利用氧化物分子束外延在各种单晶衬底上制备了晶圆级的单晶外延 VO_2 薄膜，并利用各类相变调控技术，包括氢化掺杂、电场调控以及表界面应力等，实现了其相变过程的可逆调控。在氢化调控方面，创新性提出了电子-质子协同掺杂机制，在 VO_2 薄膜中实现了氢化诱导的从绝缘-金属-绝缘的三阶段连续相变，并将之推广为一种普适的电子掺杂技术。利用固态电解质施加偏压在室温下实现了基于 VO_2 薄膜的电致变色智能窗，其可见光透过率和红外调控能力突破了传统温控 VO_2 智能窗红外光谱调控能力的理论极限。基于相变调控的原位技术，利用同步辐射谱学和衍射技术，深入研究了其微观相变机理和相变调控机制。

D34-41

对称性破缺和离子注入诱导的单层镍氧化物中的超导态

司良

西北大学

具有无限层准二维结构的镍基超导氧化物是继铜氧超导体后又一类重要的非常规超导体，目前的理论和实验结果表明镍基超导氧化物的超导驱动力为二维单带 Hubbard 模型下的反铁磁自旋涨落效应。为了在准二维镍基氧化物 La_2NiO_4 中实现新型单带费米面电子结构，我们研究了两种调控方式：脱氧反应引起的晶体对称性破缺和氢离子注入引起的电子掺杂效应。密度泛函理论计算表明两种调控方式将导

致单带费米面，采用动态平均场理论，我们计算了体系在考虑强关联效应下的电子结构，探讨了实现超导等新奇量子态的可能性。

D34-42

磁性氧化物和器件中的强自旋轨道耦合作用

翟晓芳*

上海科技大学

强自旋轨道耦合作用对发展新型自旋电子学器件非常重要，其中手性电子学器件和自旋轨道矩器件是当前研究的重点。在本次报告中，我将汇报我们近期在氧化物薄膜和器件中实现的电磁手性效应（eMChE）和无场翻转自旋轨道矩（SOT）器件。首先展示在缺乏时间和空间反演对称性的 A-B-C-C 型原子层超晶格中的角度分辨 eMChE[1]。我们观察到样品在磁场下旋转时，单轴磁各向异性倾斜角度达到惊人的 45 度。磁力显微镜和原子模拟将倾斜与手性自旋结构的出现和演变相关联。最终我们提出 Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用与 Zeeman 效应的竞争对这一现象的产生起到了关键作用。其次，我将展示近期在氧化物 SOT 器件方面的工作进展。

Reference:

[1] L. Cheng, et al. X. Zhai, Angle-Resolved Magneto-Chiral Anisotropy in a Non-Centrosymmetric Atomic Layer Superlattice, - arXiv preprint arXiv:2404.13396, 2024.

D34-43

SrIrO₃/LaCoO₃ 超晶格新奇界面现象及其同步辐射研究

陈凯*、刘均华、廖昭亮

中国科学技术大学

构筑 3d/5d 人工界面是结合强电子关联与强自旋轨道耦合的有效途径。本报告主要探讨通过在 SrTiO₃(001)衬底上单胞精度地外延制备 LaCoO₃/SrIrO₃ 超晶格来探索新奇的 3d/5d 界面态。SrIrO₃ 的顺磁半金属和 LaCoO₃ 的铁磁绝缘基态允许我们分别通过电输运和磁测量来研究二者各自的物性。本报告包括如下两方面内容：1. 利用磁近邻效应在 SrIrO₃ 层中诱导巡游铁磁态 2. 单胞厚度 LaCoO₃ 中的新奇电子态与演生磁性。我们利用具有元素分辨的同步辐射 X 射线实验技术来表征电子结构，揭示其中的微观构效关系。X 射线吸收谱揭示了从 Ir⁴⁺到 Co³⁺ 的界面电荷转移，其表现出对 SrIrO₃ 磁性的抑制作用，磁圆二色谱 以及共振软 X 射线磁反射谱一致证实了 LaCoO₃ 具有超过 100 K 的高温二维铁磁性，来源于增强的磁交换相互作用以及自旋轨道耦合提供的磁各向异性对热涨落的抑制。

D34-44

通过缓冲层控制极化翻转路径提升 BaTiO₃ 外延薄膜的电光性能

邓晨光，于涵，李千

清华大学材料学院，新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室，北京 100084

近年通用人工智能应用迅速崛起，人工智能生成内容（AIGC）技术的出现对全球经济社会产生了巨大的影响。这些人工智能模型依赖于海量数据的训练和推理，以及节点间的高效数据传输。这对承载数

据运算和传输的硬件性能提出了巨大挑战。集成光子芯片作为应对这一挑战的关键技术，有别于传统电子技术在能耗和性能上的限制，在通用 AI 技术中展现出巨大潜力。其中，BaTiO₃ 薄膜因其卓越的电光特性成为新一代光子集成的候选材料平台。然而，当前对于 BaTiO₃ 薄膜在材料相结构、畴动力学和电光性能之间的物理联系仍缺乏深入研究，这限制了其在集成光子芯片中的进一步应用和发展。借助铁电极化翻转路径的设计思想，利用 GdScO₃ 缓冲层实现 BaTiO₃ 外延薄膜的极化诱导的相结构渐变调控。同时利用自行搭建的电光和原位二次谐波测量装置，在相结构优化的薄膜中获得了 175 pm/V 的有效线性电光系数，以及调制宽度达到 182% 的光学移相操作窗口。同时，借助铁电薄膜畴成核行为的空间图像和洛伦兹分布数学模型的研究，为受限畴成核（NLS）统计模型提供了有力的实验依据。进一步，利用自缓冲层的应力调节手段，在 BaTiO₃ 薄膜内实现了周期性面内应力分布。利用这一特殊的面内应力边界，在薄膜中诱导出具有电光性能增强的纳米极性微区。最终在 BaTiO₃ 薄膜中获得了 250 pm/V 的有效线性电光系数。该工作在实现 BaTiO₃ 外延薄膜电光性能增强的基础上，深入探索了电光响应背后的相结构和极化动力学特性，为高性能电光薄膜材料与集成光子器件的系统设计提供参考。

D34-45

从厚膜到薄膜—先进脉冲射频辉光放电光谱仪的应用与研发

徐荣网*¹、王江涌^{1,2}

1. 昆山书豪仪器科技有限公司

2. 汕头大学物理系

先进的脉冲射频辉光放电光谱仪（Pulsed RF-GDOES）已被广泛应用于各种（导电与非导电，无机与有机）薄膜材料的深度剖析。探测的元素包括氢在内周期表中所有元素，测量的深度已从百微米的涂层降至纳米量级的功能薄膜，甚至用于测量单分子层以及极表面层中元素的分布，其深度分辨率已达到亚纳米级。在已知深度剖析仪器深度分辨率的条件下，利用新近提出来的反卷积方法，即使是所测量的膜层结构完全消失，也可以直接从测量的深度谱数据获取原始的膜层结构。通过对测量深度谱的定量分析，还可以获得薄层间的界面粗糙度，以评估镀膜的质量。此外，通过对比制备与退火样品的测量深度谱，可以获得薄膜中元素的扩散系数以及相应的激活能等定量信息。最后，将推出已研发的国内首款脉冲射频辉光放电光谱仪。

D34-45

GaN 超晶格纳米线制备及其紫外传感性能研究

张京阳、郭泽宁、姜前蕾、王如志*

北京工业大学

紫外光电探测器在环境监测、生化监测、通信互联、深空传感等领域具有重要的应用，如何制备低成本与高性能紫外传感材料与器件已成为其发展瓶颈。本工作研制出了一种基于 GaN 纳米线的自驱动、高灵敏度、快速响应的紫外光电探测器。所制备的纳米线为纤锌矿和闪锌矿结构组成的超晶格纳米线，为实验观察首次报道。该探测器在无外加偏压的条件，仍然保持良好的紫外传感性能，其响应率可达 23.72 mA/W，比探测率可达 4.4167×10^{11} Jones，其响应/恢复时间分别为 0.76/0.8ms。此外，其具有良好的工作稳定性，即使在未封装与常规保存环境下，其光电衰减率小于 1%/年。进一步研究了超晶格纳米线紫外传感增强机制，其优异的紫外传感性能与稳定特性应该来源于超晶格的能带重组及其结构自我保护特性。本工作所发展的紫外传感材料与器件有望打破国外相关技术的垄断，研发出新一代低成本与高性能集成紫外光电探测芯片。

D34-46

GaN 纳米线薄膜制备及其紫外探测性能研究

郭泽宁、张京阳、王如志*

北京工业大学

紫外光电探测器在环境监测、生化监测、通信互联、深空传感等领域具有重要的应用，如何制备低成本与高性能紫外传感材料与器件已成为其发展瓶颈。本工作研制出了一种基于 GaN 纳米线的自驱动、高灵敏度、快速响应的紫外光电探测器。所制备的纳米线为纤锌矿和闪锌矿结构组成的超晶格纳米线，为实验观察首次报道。该探测器在无外加偏压的条件，仍然保持良好的紫外传感性能，其响应率可达 23.72 mA/W，比探测率可达 4.4167×10^{11} Jones，其响应/恢复时间分别为 0.76/0.8ms。此外，其具有良好的工作稳定性，即使在未封装与常规保存环境下，其光电衰减率小于 1%/年。进一步研究了超晶格纳米线紫外传感增强机制，其优异的紫外传感性能与稳定特性应该来源于超晶格的能带重组及其结构自我保护特性。本工作所发展的紫外传感材料与器件有望打破国外相关技术的垄断，研发出新一代低成本与高性能集成紫外光电探测芯片。

D34-47

GaN 纳米线薄膜制备及其 MSM 型紫外传感器

范靖霖*

北京工业大学

GaN 在场效应晶体管、发光二极管等光电子领域展现出广泛的应用潜力，纳米线结构进一步扩展其在紫外探测等方面的应用。本文采用 PECVD 系统，制备出了均匀的 GaN 纳米线薄膜，其纳米线直径约 300 nm、长度约 10-20 μ m。进一步地，制作了三对叉指电极结构的金属-半导体-金属 (MSM) 型 GaN 薄膜紫外传感器。该探测器在 18 V 偏压下仍具备良好的紫外探测性能，其探测率达到 7.9×10^{10} Jones，上升和下降时间分别为 1.22 s 和 0.24 s。本研究工作将为 GaN 纳米线薄膜功能器件的制备和应用提供了新的技术方法。

墙报

D34-P01

Te/PMN-PT 异质结构中可逆纳米裂纹诱导的电阻切换

叶浩然*

东南大学

基于铁电性的存储技术在器件中展现了非易失性、低功耗和高密度存储的应用潜力。本研究报道了在脉冲激光沉积技术制备的碲薄膜/铁电单晶衬底铌镁酸铅-钛酸铅 (PMN-PT) 异质结中出现的电操纵纳米裂纹可逆开关现象。在室温下施加 2kV/cm 的外加电场时，实现了超过 10^6 的非易失性电阻开关比。这种现象是通过外加电场翻转 PMN-PT 中的 109° 铁电畴从而在碲薄膜中产生稳定的面内压应变，驱动裂纹的打开和闭合来实现的，类似机械开关。此外，经过超过 10^3 的次循环后，ON/OFF 电阻状态仍然保持稳定，表明该器件具有一定的疲劳抗性能力。这项研究为构建半导体薄膜/铁电异质结非易失性存储器提供了新的可能性。

D34-P02

高性能柔性氧化镓自供电日盲探测器

李梦成、陆超、王进进、季学强、李培刚*

北京邮电大学

柔性自供电 Ga_2O_3 日盲探测器因其便携、无损耗、响应度高等优势成为了学术界和工业界的研究热点。然而，目前的自供电柔性 Ga_2O_3 器件大多基于非晶或多晶 Ga_2O_3 材料，这严重限制了器件性能。为解决这个问题，本工作首先利用脉冲激光沉积技术构建了高质量单晶 $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ 异质结结构。随后，依托自支撑技术，研究获得了可转移的柔性 $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ 异质结薄膜。之后，研究构建了柔性 $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ 基自供电日盲光探测器，该探测器表现出了极高的响应度和灵敏性且其性能优于目前报道的多数硬质 Ga_2O_3 基日盲探测器。研究结果不仅获得了高性能柔性 $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{NiO}$ 自供电日盲光探测器，促进了其产业化发展，而且为制备其他自支撑单晶氧化物异质结提供了参考，具有一定的科学和实际运用价值。

D34-P03

自支撑氧化物薄膜的制备与表征

王傲、王凌飞*

中国科学技术大学

过渡金属氧化物薄膜由于电荷、自旋、轨道和晶格等自由度的耦合，衍生出一系列新奇的物理现象和独特的功能性。但由于这些薄膜外延生长在单晶衬底上，其进一步的研究和应用往往受到限制。目前已经提出了多种从衬底上剥离氧化物薄膜的方法，但都有一定的局限性。在这里，我们提出了一种新型高效水溶性牺牲材料 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 。该材料具有优异的结构弹性和很好的水溶性，能够用于多种高质量自支撑氧化物薄膜的制备。此外，我们将锁相热成像技术用于自支撑薄膜的质量评估，能够在在大视场范围内高效表征自支撑薄膜裂纹情况。我们的研究对提高自支撑薄膜的质量具有重要意义，推动了功能氧化物薄膜的进一步应用。

D34-P04

李红旗镁合金导电抗蚀功能涂层

李红旗*

镁合金防腐技术研发中心

随着通讯装备轻量化和电子产品轻薄化的发展，对镁的需求越来越多，也对导电、导热、绝缘、防静电、电磁屏蔽提出了更高要求，处理不当极易引发电磁干扰、仪器失灵、绝缘击穿、燃烧、爆炸等事故。如何保证抗蚀导电是制约镁合金应用的关键。目前通讯领域对镁合金采用的化学转化导电膜、电镀/化学镀导电膜、磁控溅射导电层、微弧氧化等方法，存在着：（1）耐中性盐雾 $<300\text{H}$ ，无法满足长期使用要求；（2）电阻不稳定、重现性低；（3）工艺繁琐、成本昂贵、环境污染大、效能差等问题。经测试李红旗镁合金导电抗蚀功能涂层性能如下：（1）中性盐雾 1000h：外观无异常，百格测试 ≤ 1 级；（2）接触阻抗 $=5\text{---}50\text{m}\Omega/\text{cm}$ ，重现性好，误差小；（3）防霉性好；（4）涂膜抗刮擦、纸巾擦拭不掉色；耐酒精擦拭 100 次不透底；已通过客户装机测试。达到了 2020 年陕西省“先进金属材料”科技重大专项对镁合金材料复合涂层课题中耐中性盐雾 1000H 和内表面电导率 $<50\text{m}\Omega$ 的预设要求。

D34-P05

基于共面波导传输线的铁电薄膜介电性能提取方法

张翔宇、刘天想、王旭*、金魁

中国科学院物理研究所

$\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ (BST)铁电薄膜具有在偏压下介电常数可调的特性,可在微波移相器与可调滤波器等微波可重构器件中发挥关键作用,而表征微波宽频带 BST 薄膜的介电常数是其走向应用的基础,具有重要研究意义。但由于铁电薄膜厚度过小,以及微波频段存在寄生效应干扰测量,所以难以直接从测量结果中获得精确的铁电薄膜介电常数。

本工作发展了一种基于共面波导传输线的铁电薄膜介电性能提取方法,通过在样品表面制作一系列长度不同的共面波导传输线,使用 multi TRL 校准算法中的过程量得到传输线的有效介电常数,再通过 Sonnet 电磁场仿真构建有效介电常数与 BST 薄膜介电常数之间的映射关系,最后得到 BST 薄膜在 1GHz~40GHz 范围内的介电常数实部 ϵ_r 与损耗正切角 $\tan\delta$ 。实验中,在同一个样品上制作不同缝隙间距的共面波导传输线,测量不同缝隙间距的传输线所提取得到的铁电薄膜介电常数一致性较高,验证了该方法在微波频段内测量铁电薄膜介电常数的可靠性。

D34-P06

硒化银柔性薄膜的制备及热电性能研究

吴焱、张小伟*、杨智媛、蒋浩

西南科技大学

硒化银 (Ag_2Se) 作为一种 n 型半导体材料,因其“电子晶体,声子液体”的特性,在近室温下展现出高导电性和低导热性,加之丰富的地壳储量和环境友好性,使之成为热电材料研究的理想选择。本研究以二氧化硒为硒源,抗坏血酸为还原剂,在不同的温度下制备 Se 纳米线,结果表明,50 °C 时生成的 Se 纳米线具有较大的直径和较好的形貌。然后加入硝酸银制备出纯 Ag_2Se 纳米线,在尼龙滤膜基底上进行抽滤成膜,并通过热压技术使其致密化。热电性能测试表明, Ag_2Se 薄膜的电导率随温度的升高而不断增大,110 °C 时达到了 1312 S cm^{-1} ,塞贝克系数则在室温至 110 °C 的范围内保持在 $125 \mu\text{V K}^{-1}$ 以上。这使得相应的功率因子从室温的 $1490 \mu\text{W m}^{-1}\text{K}^{-2}$ 提升至 110 °C 的 $2254 \mu\text{W m}^{-1}\text{K}^{-2}$,超过大部分先前的相关研究。这些结果表明,制备温度可以优化 Se 纳米线,进而提升 Ag_2Se 薄膜的热电性能,为其实际应用提供了有价值的参考。

D34-P07

Interface-type tunable oxygen ion dynamics for physical reservoir computing

Zhuohui Liu, Chen Ge*

Institute of physics, Chinese Academy of Sciences

Reservoir computing can more efficiently be used to solve time-dependent tasks than conventional feedforward network owing to various advantages, such as easy training and low hardware overhead. Physical reservoirs that contain intrinsic nonlinear dynamic processes could serve as next-generation dynamic computing systems. High-efficiency reservoir systems require non-linear and dynamic responses to distinguish time-series input data. Herein, an interface-type dynamic transistor gated by an $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ (HZO) film was introduced to perform reservoir computing. The channel conductance of Mott material $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ (LSMO) can effectively be modulated by taking advantage of the unique coupled property of the polarization process and oxygen migration in hafnium-based ferroelectrics. The large positive value of the oxygen vacancy formation energy and negative value of the oxygen affinity energy resulted in the spontaneous migration of accumulated oxygen ions in the HZO films to the channel, leading to the dynamic relaxation process. The modulation of the channel conductance was found to be closely related to the current state, identified as the origin of the nonlinear response. In the time series recognition and prediction tasks, the proposed reservoir system showed an extremely low decision-making error. This work provides a promising pathway for exploiting dynamic ion systems for high-performance neural network devices.

D34-P08

Reconfigurable optoelectronic transistors for multimodal recognition

Pengzhan Li, Mingzhen Zhang, Chen Ge*

Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

Biological nervous system outperforms in both dynamic and static information perception due to their capability to integrate the sensing, memory and processing functions. Reconfigurable neuromorphic transistors, which can be used to emulate different types of biological analogues in a single device, are important for creating compact and efficient neuromorphic computing networks, but their design remains challenging due to the need for opposing physical mechanisms to achieve different functions. Here we report a neuromorphic electrolyte-gated transistor that can be reconfigured to perform physical reservoir and synaptic functions. The device exhibits dynamics with tunable time-scales under optical and electrical stimuli. The nonlinear volatile property is suitable for reservoir computing, which can be used for multimodal pre-processing. The nonvolatility and programmability of the device through ion insertion/extraction achieved via electrolyte gating, which are required to realize synaptic functions, are verified. The device's superior performance in mimicking human perception of dynamic and static multisensory information based on the reconfigurable neuromorphic functions is also demonstrated. The present study provides an exciting paradigm for the realization of multimodal reconfigurable devices and opens an avenue for mimicking biological multisensory fusion.

D34-P09

固体基质中荧光共振能量转移的调控及性能研究

付雯雯、于龙跃、郝京诚、李洪光*

山东大学

近年来，全色可调发光材料在实际应用中受到广泛的青睐。与发光溶液相比，固体基底具有更高的热稳定性和可加工性。然而，制备具有高量子产率、高透明度、高化学稳定性、工艺成熟的材料仍然是一个挑战。在组内工作基础上，我们合成了硅氧烷修饰蓝光发射的支链供体 Si-Nap 和具有绿光发射的受体 Si-BODIPY，同时加入 RhB 作为最终受体，构建了具有连续荧光共振能量转移（FRET）的全色溶胶-凝胶玻璃。该体系整体能量转移效率达到 94%。基于 FRET，材料的量子产率从 3.4% 提高到 88.26%。

有机近红外磷光材料由于具有毒性低、组织渗透性强等优点，在光电器件、生物成像等方面具有广阔的前景。然而，开发具有高效近红外发射的有机磷光材料仍然是一个巨大的挑战。我们合成了 R-聚丙烯酸联苯作为供体，间隔基为羰二酰亚胺的 Bola 型氧化胺作为受体，基于荧光共振能量转移，利用水热法成功制备出近红外磷光薄膜，实现了 99% 的能量转移效率。

D34-P10

Deterministic Manipulation of Multi-State Polarization Switching in Multiferroic Thin FilmsChao Chen¹, deyang chen^{*1}, guofu zhou¹, xingsen gao¹, jun-ming liu²

1. South China Normal University

2. Nanjing University

Deterministically controlling multi-state polarizations in ferroelectric materials shows great promise for next-generation non-volatile multi-state memory devices. However, achieving multi-state polarizations has been challenging due to the difficulty in selectively controlling switching pathways. In this study, we present a method to selectively control 71° ferroelastic and 180° ferroelectric switching pathways by combining an out-of-plane electric field with an in-plane trailing field in multiferroic BiFeO₃ thin films, which have periodically ordered 71° domain walls. This approach enables the deterministic and reversible control of four polarization states by precisely

selecting different switching paths. Our findings demonstrate the potential to achieve multiple polarization states, advancing the development of multi-state memory and magnetoelectric coupling-based devices.

D34-P11

引入 SrTiO₃/CF 杂化填料制备具有优异介电常数和导热性能 of 聚合物复合材料

陈宇慧*、王子豪、柴纵华、张百强

郑州轻工业大学

聚合物基介电材料具有高导热性和优异的介电性能,在电容器以及电子元器件散热领域具有广阔的应用前景。本文以碳纤维(CF)和钛酸锶颗粒(SrTiO₃)为填料,利用协同改性和熔融共混法制备了聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)基介电复合材料,采用 FTIR、EDS、SEM 以及阻抗分析等方法对 PMMA/ST-CF 复合材料的导电性、介电性能、导热性能和机械性能进行研究。结果表明,CF 和 ST 在复合材料内部构建了导热网络,增强了界面极化,所制得的聚合物复合材料具有良好的介电性能(介电常数为 5.8、低介电损耗为 0.084),优异的力学性能(断裂伸长率提升约 6 倍),高导热性能(热导率为 0.34 W/(m·K),是纯 PMMA 的 2 倍)。本研究通过利用不同维度材料的优点,为高性能介电复合材料的设计提供了重要的见解。

D34-P12

冷塑性变形对 Au-Pt 合金组织和磁化率的影响

颜怡¹, 罗冬², 俞远阳¹, 陈乔¹, 卢建民², 宋薇², 熊智², 付全², 刘毅², 吴尉³, 卢艳丽³, 胡锐³,
张卜天^{1,*}, 王顺^{1,*}

1 华中科技大学

2 云南贵金属实验室有限公司

3 西北工业大学

聚合物基介电材料具有高导热性和优异的介电性能,在电容器以及电子元器件散热领域具有广阔的应用前景。本文以碳纤维(CF)和钛酸锶颗粒(SrTiO₃)为填料,利用协同改性和熔融共混法制备了聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)基介电复合材料,采用 FTIR、EDS、SEM 以及阻抗分析等方法对 PMMA/ST-CF 复合材料的导电性、介电性能、导热性能和机械性能进行研究。结果表明,CF 和 ST 在复合材料内部构建了导热网络,增强了界面极化,所制得的聚合物复合材料具有良好的介电性能(介电常数为 5.8、低介电损耗为 0.084),优异的力学性能(断裂伸长率提升约 6 倍),高导热性能(热导率为 0.34 W/(m·K),是纯 PMMA 的 2 倍)。本研究通过利用不同维度材料的优点,为高性能介电复合材料的设计提供了重要的见解。

...

仅发表论文

D34-PO01

基于浸润性诱导气/液界面自组装薄膜转移技术制备大面积铜纳米线柔性透明电极

侯斌¹、马初骛²、樊红雷^{1,2}、刘洪亮*^{1,2}

1. 烟台先进材料与绿色制造山东省实验室,烟台 264006

2. 化学化工学院,烟台大学,烟台 264005

铜纳米线(Cu NWs)柔性透明电极具有成本低、导电性好等优点,在柔性太阳能电池、柔性电致发光和电致变色等领域表现出了良好的应用前景。目前 Cu NWs 柔性透明电极的制备方法主要有旋涂法[1]、真空抽滤-转移法[2]、喷涂法[3]和迈耶棒涂布法[4]等,受制备方法的限制 Cu NWs 柔性透明电极的发展面临着难以实现大面积生产或制备的 Cu NWs 薄膜不均匀、薄膜粗糙度较高等问题。在本工作中,我们利用了浸润性诱导气/液界面自组装薄膜转移技术制备 Cu NWs 薄膜,并研究了 Cu NWs 在浸润性诱导气/液界面

自组装薄膜转移过程中的分子调控机制，实现了高光电性能的 Cu NWs 柔性透明电极的大面积制备。本工作作为 Cu NWs 柔性透明电极的大面积制备提供了新方法，为高光电性能 Cu NWs 柔性透明电极的制备提供了新思路。

[1] Kumar, D. V. R.; Koshy, A. M.; Sharma, N.; Thomas, N.; Swaminathan, P. ACS Omega 2023, 8, 21107-21112.

[2] Yokoyama, S.; Umemoto, Y.; Motomiya, K.; Itoh, T.; Takahashi, H. Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp. 2021, 611, 125809.

[3] Chu, H.-C.; Chang, Y.-C.; Lin, Y.; Chang, S.-H.; Chang, W.-C.; Li, G.-A.; Tuan, H.-Y. ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 13009-13017.

[4] Zhong, Z.; Lee, H.; Kang, D.; Kwon, S.; Choi, Y.-M.; Kim, I.; Kim, K.-Y.; Lee, Y.; Woo, K.; Moon, J. ACS Nano 2016, 10, 7847-7854.

D34-PO02

混合基质渗透汽化膜的制备及其分离性能的研究

马洪力¹、刘洪亮*^{1,2}

1. 烟台先进材料与绿色制造山东省实验室
2. 烟台大学化学化工学院

渗透汽化是一种新兴的膜分离技术，具有高效、清洁、低耗的特点，特别适合共沸物或近沸点混合物的分离。本研究针对单一有机膜和无机膜渗透汽化分离有机混合物时易溶胀、选择性低等问题，开展了新型混合基质膜的研究。通过分子模拟探究了无机填充材料的加入对高分子膜物性参数以及渗透物分子在膜内溶解、扩散等传递特性的影响，筛选出较佳填充材料；在此基础上，以聚二甲基硅氧烷（PDMS）为聚合物基质，以表面硅烷化白炭黑（A-SiO₂）为填充介质，制备了 A-SiO₂/PDMS-PTFE 混合基质渗透汽化膜，探究其渗透汽化分离醇酯共沸体系性能，结果表明甲醇/碳酸二甲酯、乙醇/乙酸乙酯两种醇/酯有机共沸体系均打破了共沸组成限制，获得了良好的分离。