

中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7月5-8日, 2025

福建 厦门

D34-功能薄膜

D34-Functional Films

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D34. 功能薄膜

分会主席：郭海中、金魁、张金星、廖昭亮

D34-01

液氮温区“三高”超导体 Cu1234 薄膜制备和物性

靳长青¹

1.中国科学院物理研究所

D34-02

Oxide Interface Coupling by Design at Atomic Scale

Jiandi Zhang¹

1. Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

Surfaces and interfaces of crystalline materials host unique quantum states that diverge fundamentally from their bulk counterparts due to broken symmetry, confined dimensions, and tailored atomic interactions. These states—governed by altered lattice structures, electronic bands, and magnetic orders—enable phenomena such as superconductivity, two-dimensional electron gas (2DEG), and interface magnetism. Here in this talk I will present our recent results on the spin-polarized 2DEG of EuTiO₃/KTaO₃ (KTO) interface and noncollinear interface magnetic couplings of SrRuO₃/(La, Ca)MnO₃ (SRO/LCMO) through the design of the heterostructures with atomic precision. The ETO/KTO system demonstrates a magnetic enhancement, whereby the combined effect of magnetic atom doping and magnetic proximity can significantly amplify the magnetism in 2DEG situated on the surface of KTO substrates, as shown in a temperature-dependent unambiguous hysteresis loop in the anomalous Hall effect (AHE). By controlling the relative thickness, a non-collinear spin configuration emerges in the SRO/LCMO heterostructures. Such non-collinear spin structure, induced by interfacial antiferromagnetic coupling, results in a Topological-Hall-effect-like (THE-like) transport in anomalous Hall effects (NCS-AHE).

D34-03

铁电薄膜的畴结构调控与存储器件

田鹤¹

1.浙江大学

D34-04

铁电材料的超高分辨和极性拓扑相变的原子尺度研究

高晓悦¹, 朱锐雪¹, 刘倬卉², 葛琛², 高鹏^{1*}

1.北京大学物理学院, 北京 100871;

2.中国科学院物理研究所, 北京 100190

铁电材料作为新一代高性能信息存储与逻辑器件的核心功能材料, 其原子尺度的极化机制和拓扑相变动力学研究对突破传统器件性能极限具有重要意义。其中, Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ (HZO) 作为下一代铁电存储器和晶体管最有前途的候选者, 近年来引起了广泛的研究关注。然而, 由于实际样品中其相结构复杂性和多晶特性, HZO 的铁电起源仍存在争议。采用多层电子叠层成像技术对无衬底 HZO 自支撑薄膜的原子结构进行了深入研究, 利用超高的空间分辨率 (高达 ~25 pm) 和同时对阳离子和氧成像的能力, 精确解析了 HZO 多种相的本征原子结构并揭示了其细微变化, 并确定正交相 (空间群: Pca2₁) 是 HZO 的本征铁电相, 拟合阳离子和阴离子位置并统计量化, 确定铁电相的自发极化 ~34 ± 4 μC/cm² (对应极化位移 56 ± 6 pm)。HZO 作为一种多晶材料, 在晶界附近观察到了显著且普遍的极化抑制现象, 而在 180° 铁电畴壁附近未检测到明显的结构变化。首次实现了从 [111] 带轴方向对 HZO 正交相的直接氧成像, 并且得益于叠层衍射成像技术量化空位的能力, 进一步统计了晶粒的氧空位含量, 结果显示氧空位的偏好性分布,

这些氧空位的分布会影响极化的方向和强度。此外，通过透射电子显微镜原位技术，在原子尺度下实时观测到铁电超晶格中极性斯格明子的形成、演化和消失过程，揭示了电场驱动的拓扑相变机制，并发现具有电控特性的新型极性浮子结构。实验证实极性涡旋-反涡旋对在电场作用下会发生核移动、耦合直至湮灭的拓扑相变，而在热场作用下极化强度随温度连续下降且未出现 BKT 型解耦行为。以上研究发现为铁电材料的研究指明了基础物理机制，并为高密度、低功耗存储与逻辑器件的开发奠定了坚实的理论基础和实验依据。

关键词：铅锆氧薄膜，超晶格，极化，透射电子显微学，氧空位

D34-05

钐系无限层镍基超导材料中的非常规超导电性

李丹枫

香港城市大学

D34-06

基于低维磁性材料的新型计算

郭杭闻

复旦大学

人工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人工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。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，包括基于人工自旋冰体系的储池计算、基于可塑磁畴的自学习 Hopfield 神经网络和概率计算等工作。这些工作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。

D34-07

V02 中纯电子结构变化诱导的金属绝缘转变

程少博

郑州大学

D34-08

反铁电薄膜的极化行为与电致应变研究

潘豪¹

1.北京大学深圳研究生院

反铁电材料具有反平行排列的离子位移极化，其在电场作用下具有可逆的反铁电(反平行极化)-铁电(平行极化)相变，在介电、电卡和机电驱动等方面展现出巨大的应用潜力。我将探讨反铁电薄膜材料（以 PbZrO₃ 为模型体系）的高质量可控外延生长，深入探究其极化翻转行为，并讨论点缺陷对反铁电-铁电相界的钉扎效应，探索将这种效应如何作为性能调控的新自由度。进一步，我将展示在反铁电薄膜中实现的反常大的机电（电致应变）响应，揭示反铁电-铁电相变与基底钳制作用的新奇耦合效应及其带来的机电响应的非传统尺寸效应。期待这些工作为反铁电材料的研究带来新的见解，并推进其在相关技术中的潜在应用。

D34-09

铁电薄膜中的极化拓扑畴及其光场调控

聂越峰¹

1.南京大学

钙钛矿铁电氧化物的畴结构能够形成独特的极化拓扑构型，在非线性光场调控方面具有重要应用前景。然而，传统拓扑结构受限于纳米尺度，与激光波长难以匹配，限制了其实际应用。本研究提出了一种基于三维形变调控晶格与极化结构的策略，利用自支撑 BaTiO₃ 薄膜，成功构筑了微米尺度的中心汇聚型极化拓扑结构，并验证了其在光场调控中的可行性。通过具有晶格失配的双层结构在转移过程中的应力释放，形成穹顶状形变，进而诱导晶格畸变与挠曲电场，从而获得中心汇聚型极化拓扑结构。进一步，通过极化拓扑结构与光场的相互作用，实现了圆偏振光向涡旋光场的转换。此外，通过热场和电场的动态调控，还获得了拓扑畴结构与光场响应的可逆调制。本研究揭示了人工极化拓扑结构在高集成度电光器件中的应用潜力。

D34-10**铁砷基超导薄膜中的新型量子态与潜在拓扑特性**

宋灿立

清华大学

D34-11**La₂NiO₄中氢诱导的单带 d 波超导：镍基超导体的理论研究与新材料预测**司良¹

1. 西北大学

近年来，镍基氧化物因其超导特性以及与铜氧化物超导体在结构和电子性质上的相似性而成为研究焦点。本报告将介绍我们在 La₂NiO₄ 体系中通过拓扑氢插入实现单带 dx²-y² 反铁磁莫特绝缘体的理论研究。利用密度泛函理论 (DFT) 和动力学平均场理论 (DMFT) 计算，我们发现拓扑氢插入可以有效调控 La₂NiO₄ 的电子结构，使其呈现出类似于铜氧化物超导体的单带特性。进一步的动力学顶点近似 (DΓA) 预测表明，在 15% 空穴掺杂下，该体系可能实现 d 波超导性，临界温度超过 20K。此外，我们还探讨了氟化物体系如 KNiF₂ 和 KPdF₂ 的潜在超导性，这些材料在结构稳定性、强关联性和单带特性方面表现出良好特征。本报告旨在为镍基化合物超导体的研究提供新的理论视角和材料设计思路。

D34-12**微波强化技术在金刚石膜功能材料中的应用研究**

侯明

昆明理工大学

本报告聚焦微波技术在金刚石膜功能材料领域的应用与基础研究。针对微波技术工程化瓶颈，介绍了微波大功率连续化装备的研究进展，突破了传统加热方式效率低、能耗高的限制。针对金刚石膜物理化学稳定性强、难功能化的特点，提出了微波等离子体化学气相沉积活化制备多孔金刚石膜技术，丰富了其在电化学、废水降解等领域的应用。针对传统 MXene V₂CT_x 制备时间长的问題，开发了微波水热刻蚀制备新方法，证实了微波辅助手段可缩短刻蚀时间，提升产物均一性。通过多学科交叉案例，论证了微波技术在材料功能化、化工过程强化、节能减排中的独特优势，为新材料行业绿色转型提供了创新技术路径。

D34-13**纤锌矿铁电体翻转动力学的厚度依赖探究**杨译茗¹、郑子豪²、张强²、郭嘉晟¹、韩浩杰¹、崔景锐¹、马静¹、郭金明²、易迪*¹、南策文¹

1. 清华大学材料学院

2. 湖北大学材料科学与工程学院

纤锌矿结构铁电材料，如氮化铝镓 (AlScN)，为开发 CMOS 集成非易失性存储器提供了极具前景的材料候选。深入理解 AlScN 薄膜中铁电翻转动力学对其潜能的充分发挥至关重要。本工作通过瞬态脉冲测试，探究了 AlScN 薄膜中随厚度变化驱动的翻转动力学转变：从 Kolmogorov-Avrami-Ishibashi (KAI) 模

型转变为成核限制型（NLS）翻转行为。我们还观察到极性态之间的翻转不对称性，且该不对称性随薄膜厚度减薄而降低。iDPC-STEM 揭示了界面区域与体区域之间缺陷的不均匀分布，以及翻转过程中界面附近缺陷对铁电畴钉扎的现象。这一现象可以解释翻转行为随厚度减薄的变化。厚度依赖的翻转动力学及其与缺陷的关联性为调控纤锌矿铁电材料提供了新思路，有望在多态铁电存储和神经形态计算架构中实现创新应用。

D34-14

氧化铪基铁电薄膜及器件的可靠性研究

陆旭兵¹

1. 华南师范大学

HfO₂ 基铁电薄膜具有与 CMOS 工艺完全兼容、纳米尺度铁电性等传统钙钛矿铁电材料所不具有的优点，在新型非易失性信息存储、存算一体器件等方向具有广阔的应用前景。目前 HfO₂ 基铁电材料与器件面临的一个关键挑战之一是其反复擦写的疲劳耐久特性与商业化需求仍然有较大差距。针对这一挑战，我们从材料与器件 2 个层面，做出了相应的探索。通过在 HfO₂ 铁电薄膜中引入 ZrO₂ 插层，可以实现铁电薄膜疲劳耐久特性的大幅度提升，在 400K 高温测试条件下，其疲劳耐久特性大于 10¹² 次。通过设计金属-铁电-金属-绝缘层-半导体(MFMIS)结构铁电晶体管，可以提升极化电荷的补充效应，从而降低反复擦写过程中界面绝缘层的电场，我们获得了>10⁶ 次反复擦写的铁电晶体管器件。上述工作为未来发展具有高可靠性的铁电薄膜材料和铁电存储器提供了有意义的借鉴和参考。

D34-15

氧化铪基薄膜铁电性能调控及多铁性探索

沈胜春¹

1. 中国科学技术大学

铪基铁电材料因其优异的硅基工艺兼容性和纳米厚度优良铁电性等综合性能优势，是发展下一代非易失存储及存算一体器件的优选载体之一。本报告将简要介绍近期在铪基薄膜铁电性能优化，以及在室温铁电、铁磁共存方面的初步探索结果。

D34-16

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

D34-17

反铁电 PbZrO₃ 中的三维畴壁结构的超分辨 4D-STEM 叠层成像

郑怡、马云鹏、崔吉哲、杨文峰、孙康、沙浩治、李千、于荣¹

1. 清华大学

反铁电材料因其独特的反平行自发极化排列而受到广泛关注，被认为是下一代储能应用的有前途的候选材料¹。在这类材料中，PbZrO₃ (PZO) 作为典型模型体系已被广泛研究。此前，研究者提出了多种反铁电畴壁结构模型²⁻⁴，但实验数据支撑相对匮乏。这一现状的成因可归结为两方面：一方面，反铁电材料的极化序参量在其相变过程中常表现出多种中间态，畴壁结构更加复杂。这些复杂的畴壁结构不仅对实验探测精度提出了更高要求，也显著增加了理论建模与分析的难度；另一方面，以往针对畴壁的原子尺度研究主要局限于二维图像平面，缺乏对三维空间结构信息的有效获取。

超分辨叠层成像作为一种基于扫描透射电镜中像素化探测器数据（也称 4D-STEM）的计算成像方法，不仅具备准三维成像能力，更在空间分辨率、位置精度和剂量效率等关键性能指标上超越了像差校正电镜的 HAADF、ABF、iDPC 等传统技术，成为原子分辨结构分析领域的前沿技术⁵⁻⁷。更重要的是，它有效解决

了多项长期困扰高精度原子成像的技术难题，例如在非正带轴条件下，由动力学衍射效应引起的图像伪影问题⁸。

在本研究中，我们借助超分辨 4D-STEM 叠层成像技术，首次实现了对 PZO 中平移畴界（translation domain boundaries, TBs）三维构型的原子级解析。原子尺度下畴壁的三维结构与局部化学成分、极化特性乃至导电性的变化存在密切关联，这一发现为后续研究开辟了更具前景的新方向。

参考文献

1 Catalan, G., Seidel, J., Ramesh, R. & Scott, J. F. Domain wall nanoelectronics. *Reviews of Modern Physics* 84, 119 (2012).

2 Tagantsev, A. K. et al. The origin of antiferroelectricity in PbZrO₃. *Nature communications* 4, 2229 (2013).

3 Wei, X.-K. et al. Ferroelectric translational antiphase boundaries in nonpolar materials. *Nature communications* 5, 3031 (2014).

4 Wei, X. K., Vaideeswaran, K., Sandu, C. S., Jia, C. L. & Setter, N. Preferential creation of polar translational boundaries by interface engineering in antiferroelectric PbZrO₃ thin films. *Advanced Materials Interfaces* 2, 1500349 (2015).

5 Rodenburg, J. M. Ptychography and related diffractive imaging methods. *Advances in imaging and electron physics* 150, 87-184 (2008).

6 Yu, R., Sha, H., Cui, J. & Yang, W. Introduction to electron ptychography for materials scientists. *Microstructures* 4, 2024056 (2024).

7 Miao, J. Computational microscopy with coherent diffractive imaging and ptychography. *Nature* 637, 281-295 (2025).

8 Sha, H., Cui, J. & Yu, R. Deep sub-angstrom resolution imaging by electron ptychography with misorientation correction. *Science Advances* 8, eabn2275 (2022).

D34-18

界面设计提升铅基铁电薄膜极化翻转特性

陈祖煌¹、李璟宣¹

1.哈尔滨工业大学深圳校区

基铁电材料因其出色的 CMOS 兼容性和在超薄状态下的铁电特性，在铁电存储技术领域受到广泛关注。然而，相较于传统的钙钛矿铁电材料，其在极化翻转特性如响应速度和循环稳定性方面仍有所不足。针对这些问题，我们通过给体-受体共掺杂和界面设计策略，消除氧空位等缺陷带来的不利影响。通过 La³⁺-Ta⁵⁺ 共掺杂技术，铅基铁电薄膜的极化强度显著增强，翻转时间低至亚纳米级别，满足超快存储的需求。此外，得益于共掺杂手段对缺陷的有效调控，薄膜质量提升明显，在 3 纳米的超薄厚度下，薄膜仍表现出稳定的宏观铁电特性，这极大地拓宽了铅基铁电材料在超薄电子器件中的应用前景。我们的研究表明，共掺杂方法能够有效减轻氧空位的负面影响，通过形成更加均匀的微观结构和降低翻转能垒，实现了铁电性的增强和翻转时间的缩短。进一步通过界面设计，我们在铅基铁电薄膜实现了高循环稳定性。

D34-19

新型 BaTiO₃ 铁电薄膜与电光器件应用

李千

清华大学

D34-20

钙钛矿铜氧化物薄膜的生长制备与磁电特性

王猛¹

1.北京理工大学

自上世纪 80 年代高温超导现象被发现以来, 电子关联的二维铜氧化物已得到广泛研究[1-2]。相比之下, 其三维对应物钙钛矿铜氧化物由于化学不稳定性及合成挑战, 在很大程度上仍未被探索。在此, 我们开发了一种高效的两步法, 结合对称性选择性生长和拓扑氧化[3-4], 合成了高质量的钙钛矿 LaCuO_3 薄膜, 并进一步揭示了其奇异的电子态。 LaCuO_3 薄膜在室温下表现出意想不到的超高 p 型电导率 ($\sim 1.5 \times 10^5 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$) 和空穴迁移率 ($\sim 30 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)。X 射线吸收谱和第一性原理计算揭示其具有简并 eg 轨道和轻有效质量, 这源于其 p-d 轨道杂化的配体空穴态, 表明其电子关联效应几乎消失。这些特征与二维铜氧化物形成鲜明对比, 为高性能电子器件的设计提供了新的物理机制。

Ref:

[1] J. Bednorz, K. Müller, Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system. *Z. Phys. B* 64, 189-193 (1986).

[2] M. A. Kastner, R. J. Birgeneau, G. Shirane, Y. Endoh, Magnetic, transport, and optical properties of monolayer copper oxides. *Rev. Mod. Phys.* 70, 897-928 (1998).

[3] H. Jeon, W. S. Choi, M. D. Biegalski, C. M. Folkman, I.-C. Tung, D. D. Fong, J. W. Freeland, D. Shin, H. Ohta, M. F. Chisholm, H. N. Lee, Reversible redox reactions in an epitaxially stabilized SrCoO_x oxygen sponge. *Nat. Mater.* 12, 1057-1063 (2013).

[4] J. F. Bringley, B. A. Scott, S. J. La Placa, R. F. Boehme, T. M. Shaw, M. W. McElfresh, S. S. Trail, D. E. Cox, Synthesis of the defect perovskite series LaCuO_{3-d} with copper valence varying from 2+ to 3+. *Nature* 347, 263-265 (1990).

D34-21

单层极限下的电控拓扑磁序

彭波

电子科技大学

D34-22

基于 $\text{La}_{0.1}\text{Bi}_{0.9}\text{FeO}_3$ 铁电隧道结的超低能耗和快速神经形态计算

贾彩虹

河南大学

低功耗快速人工神经网络器件代表了发展模拟神经网络的方向。这里, 超低功耗(0.8fJ)和峰值(100ns)的 $\text{La}_{0.1}\text{Bi}_{0.9}\text{FeO}_3/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 铁电隧道结神经突触被开发出来模拟生物神经网络。基于长期增强和抑制及良好的线性, 模拟视觉记忆和遗忘功能。此外, 使用单个器件, 逻辑执行“AND”和“OR”操作, 并进行人工神经网络的识别精度为 96%。特别是对于噪声数据集, 在经过器件预处理后识别速度更快。这将推动高可靠性和可重复性的无监督学习的发展。

D34-23

光学二次谐波产生探测铁性氧化物薄膜的物性研究

徐帅¹、金奎娟¹

1.中国科学院物理研究所

光学二次谐波产生 (SHG) 技术因其对对称破缺的敏感性, 成为表征铁性氧化物薄膜多铁序参量的有力工具, 在铁电、反铁磁及磁电耦合特性研究中展现出独特优势¹。本研究系统地探讨了 SHG 技术在不同体系铁性氧化物薄膜物性表征中的应用: 通过旋转各向异性 SHG (RA-SHG) 结合原位应变调控, 揭示了 BiFeO_3 (BFO) 薄膜中铁电极化与反铁磁序的协同演化规律, 发现面内双轴应变可逆调节铁电极化方向 ($\sim 4^\circ$ 偏移) 并显著影响反铁磁序 ($\sim 8^\circ$ 旋转), 应变诱导的新 SHG 峰揭示了自旋结构重构机制²。针对 PbTiO_3 (PTO) 自由态薄膜, SHG 分析发现正交相中面内/面外极化畴共存特性, 证实小单轴应变 ($< 1.66\%$) 增强铁电性, 双轴应变 (4.46%) 下仍保持稳定, 其居里温度达 630 K³。进一步通过 SHG 结合磁场调控, 发现 BFO 薄膜磁电耦合强度与应变状态密切相关, 定义光学磁电耦合常数量化其响应特性, 揭示应变释放

抑制磁电耦合但其热稳定性突出的特点⁴。引入化学硫化策略重构 Fe-O 杂化态, SHG 与磁谱学联合分析表明硫化促使 $\text{FeO}_5 \rightarrow \text{FeO}_6$ 结构转变, 磁化强度提升 32%, 磁易轴从面外转向面内⁵。研究还证实 SHG 可定量表征 G 型反铁磁序, 通过外延应变调控 Fe-O-Fe 键角趋于 180°, 超交换作用增强使 Néel 温度从 428 K ($\epsilon = -2.4\%$) 升至 646 K ($\epsilon = +0.6\%$), 并且 SHG 强度提升一个量级⁶。这一系列工作展示了 SHG 技术在多铁性薄膜物性原位探测、序参量定量分析及结构-性能关联研究中的普适性, 建立了 SHG 技术解析多铁薄膜序参量演化的方法论框架, 为低维功能器件的制备设计、非破坏性表征与性能优化提供了理论支撑。

参考文献

1. Xu S, Jin K-J. Antiferromagnets studied by optical second harmonic generation characterization techniques. Chin. Sci. Bull. 70, 799-806 (2025).
2. Wang J, et al. Manipulation of Ferroic Orders via Continuous Biaxial Strain Engineering in Multiferroic Bismuth Ferrite. Advanced Science n/a, 2417165 (2025).
3. Huang S, et al. Ferroelectric Order Evolution in Freestanding PbTiO_3 Films Monitored by Optical Second Harmonic Generation. Advanced Science 11, 2307571 (2024).
4. Xu S, et al. Magnetoelectric coupling in multiferroics probed by optical second harmonic generation. Nature Communications 14, 2274 (2023).
5. Xi G, et al. Anionic Strategy-Modulated Magnetic Ordering in Super-elongated Multiferroic Epitaxial Films. Nature Communications 16, 3526 (2025).
6. Xu S, et al. Characterizing G-type antiferromagnetism quantitatively with optical second harmonic generation. Light: Science & Applications 14, 169 (2025).

D34-24

相场模拟设计铁电薄膜

黄厚兵¹、许可

1. 北京理工大学

以锆酸铅体系为代表的反铁电体具有区别于铁电体的反平行极化构型。在低电场强度下的线性极化响应和接近于零的剩余极化, 使其在电介质储能领域具有潜在的应用价值。从畴尺度层面深入理解多物理场作用下的反铁电相变动力学过程, 进而揭示畴翻转的物理机制, 是设计具备高储能性能反铁电材料的关键。

本研究采用相场法引入次近邻极化相互作用, 构建了反铁电相场模型。该模型能够通过调控梯度能系数比值, 实现反平行偶极子周期数的调控, 研究公度与非公度反铁电极化构型。针对陶瓷块体材料, 重点研究了均匀应变, 晶粒尺寸, 缺陷偶极子等因素对储能性能的影响。基于多尺度反铁电畴调控方案, 可使有效储能密度提升约 2.3 倍, 效率提升约 2.6 倍。此外, 在锆酸铅基薄膜体系中, 深入研究了薄膜厚度和衬底失配应变因素。揭示了薄膜厚度减小伴随畴尺寸减小, 降低损耗能量密度和拉伸应变提升相变电场等物理机制, 多因素调控下的最高储能效率达到 98%。本研究为实验层面调控反铁电畴结构, 设计高储能性能器件提供了理论基础。

D34-25

基于键合接力机制的氧化物室温塑性

刘仕¹

1. 西湖大学

传统观点认为, 氧化物因其方向性的离子键或共价键而本质脆性, 这与金属的延展性截然不同。然而, 我们发现典型氧化物 (如钛酸锶 SrTiO_3 和氧化镁 MgO) 在室温下也能表现出显著的塑性变形能力, 且具有明显的晶体各向异性。通过结合第一性原理计算、大规模分子动力学模拟与实验纳米压痕测试, 我们揭示了当特定滑移方向上存在交替排列的正负电荷原子层时, 氧化物可实现“键合接力”机制。在此过程中, 滑移面上原子键的依次断裂与重建, 伴随着层间持久键的存在, 模拟了金属中的多中心键合行为, 从而促进位错运动而不引发裂纹。

D34-26

Topological Reduction-Driven Phase Transition in LaCoO₃ and Evolution of Electronic StructureLong Wei¹, PeiHeng Jiang², Pan Chen³, XueZeng Tian³, ZhiCheng Zhong¹, Kai Chen¹, ZhaoLiang Liao^{*1}

1. University of Science and Technology of China

2. Xi'an Jiaotong University

3. Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

Transition-metal oxyhydrides, which consist of oxides and unique hydride anions, are rare and remarkable materials with significant potential applications in catalysis, battery technology, hydrogen storage, and photocatalysis. Here, we demonstrate the successful modulation of LaCoO₃ thin films grown on compressively strained substrates through the application of topological reduction techniques, resulting in the hydrogen-incorporated LaCoO_{2.5} phase. This approach has enabled the realization of a ferromagnetic insulator with a Curie temperature surpassing room temperature. Scanning transmission electron microscopy (STEM) images reveal a distinct lattice contraction in H-LaCoO_{2.5} compared to its pristine LaCoO_{2.5} counterpart. Density functional theory (DFT) calculations indicate that the incorporated hydrogen atoms form hydride anions that occupy oxygen vacancy sites. This unique phase exhibits ultra-high-temperature ferromagnetic insulating behavior, characterized by a Curie temperature exceeding 400 K and a saturation magnetization of 0.47 μ_B/Co at 380 K. Our findings establish a novel platform for advancing energy-efficient room-temperature spintronic devices.

D34-27

氧空位作用下钙钛矿氧化物薄膜晶格结构与物性调控

文宗涵、孙浩滢、曹哲铨、管雨泽、聂越峰¹

1. 南京大学现代工程与应用科学学院

钙钛矿氧化物的物性与其微观晶格结构密切相关，通过外延应变可实现对薄膜材料物性的有效调控。传统应变调控方法需通过选择不同晶格常数的单晶衬底来实现特定应变状态，这种方法不仅受限于衬底材料的可选范围，更难以实现应变状态的精确调控。本工作提出利用氧空位这种钙钛矿氧化物中常见的点缺陷，在同一种单晶衬底上，实现高质量薄膜的晶格结构与物理性质的连续调控。以经典的钙钛矿氧化物铁电材料钛酸钡（BaTiO₃, BTO）与量子顺电材料钛酸锶（SrTiO₃, STO）为例，我们利用氧化物分子束外延技术，实现了含氧空位的钙钛矿氧化物薄膜的高质量生长。借助原位反射式高能电子衍射（RHEED）、X 射线衍射以及压电力显微镜等手段，揭示了氧空位中间态的引入对钙钛矿氧化物晶格结构的调控机制。通过氧空位的引入和消除，最终实现 BTO 与 STO 薄膜 c/a 比及铁电畴结构的连续调制。特别地，对于 BTO 薄膜，该过程诱导其铁电极化由面外转向面内。这种引入氧空位连续调控薄膜晶格结构的新策略，突破了传统方法对特定的外延衬底的依赖，为优化钙钛矿氧化物薄膜晶格与物性提供了新途径。

D34-28

Study on Magnetron Sputtering Deposition of Al, AlSi, and AlSiCu Thin Films and Their Surface Properties

TengYu Wang¹, Xiuhua Chen¹, Wenhui Ma^{1,2}, ZhaoRui Sun¹, LiQiong Wang¹, ZiFan Xu¹

Department/Institution University Name. Country

a School of Materials and Energy, Yunnan University, Kunming 6500504, China.

b School of Engineering, Yunnan University, Kunming 6500504, China

c National Joint International Research Center for Optoelectronic Energy Materials, Yunnan University, Yunnan, 6500504, China

d Institute of International Rivers and Eco-Security, Yunnan University, Kunming 6500504, China.

e State Key Laboratory of Advanced Technologies for Comprehensive Utilization of Platinum Metals, Kunming Institute of Precious Metals, Kunming 650106, China

As integrated circuit feature sizes enter the nanometer scale, interconnect layers face the dual challenges of electromigration failure and increasing resistivity. This study focuses on the application research of aluminum and aluminum-based alloys in electronic materials under low power conditions. Al, AlSi, and AlSiCu thin films were prepared using magnetron sputtering technology under various sputtering power conditions, investigating the influence of power parameters on the regulation of film surface morphology, electrical properties, crystal structure. Experimental results indicate that films deposited at lower sputtering power exhibit densely packed, smooth grains with a small root mean square roughness. As the power increases, the surface roughness Ra value rises from 0.8 to 1.8 nm. All three materials exhibit a common trend in electrical properties: an increase in carrier concentration and a decrease in mobility. Al films prepared at low power demonstrate optimal conductivity, with a resistivity as low as $3.58 \mu\Omega\cdot\text{cm}$. When the power reaches 100 W, the film performance tends to stabilize, with resistivity maintained around $10.3 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ and mobility decreasing by 43%. The deposited Al, AlSi, and AlSiCu films are polycrystalline at low power, possessing a face-centered cubic crystal structure. As the sputtering power increases, a distinct preferred orientation along the crystallographic plane becomes evident. First-principles calculations were employed to study the effects of alloying elements Si and Cu doped into Al on the Al/Si surface properties. The surface work of separation, interface energy, electronic structure were calculated to explore the influence of alloying elements on surface stability. The microscopic mechanism of the alloying elements' effect on the surface was discussed based on the electronic structure. This research provides experimental evidence and theoretical reference for optimizing the metallization layer process in microelectronic devices.

D34-29

镓基氧化物薄膜的光电性能

郑仁奎

广州大学

D34-30

二氧化钒智能相变薄膜的红外光谱调控及其应用

邹崇文¹

1. 中国科学技术大学

D34-31

基于 X 射线的表界面薄膜原子结构高精度解析

柳学榕¹

上海科技大学

D34-32

激光诱导石墨烯复合薄膜的柔性发声器件研究

韩冬昊、张煜浦¹

1. 西北工业大学（长安校区）

近年来，柔性声学器件因其在可穿戴电子、人机交互等领域较强的应用潜力而备受关注。本文提出了一种基于激光诱导石墨烯（LIG）和 MXene 复合结构的柔性电声转换器件，通过激光直写技术将聚酰亚胺（PI）薄膜转化为多孔 LIG 基底，并结合原位刻蚀法制备的 MXene 纳米片层，构建了具有优异声学性能的柔性扬声器。LIG 的多孔结构和高导电性为器件提供了良好的机械柔性和电学性能，而 MXene 的高比表面积和优异的电化学特性进一步增强了器件的电声转换效率。通过优化 MXene 的涂覆工艺，实现了材料在 LIG 表面的均匀分布，确保了器件在不同频率电压激励下的稳定发声性能。

实验结果表明，该复合结构器件在 20 Hz-20 kHz 的宽频范围内均能实现清晰的声音输出，且声压级（SPL）与输入电压呈线性关系，展现出良好的频率响应特性。此外，得益于 LIG 和 MXene 的协同效应，器件在低驱动电压（< 10 V）下即可实现高效声能转换，同时具备优异的机械柔性和环境稳定性。进一步

研究表明,该器件的发声机制主要源于热声效应,即焦耳热引起的空气振动,而 MXene 的引入显著提高了热传导效率和声学响应灵敏度。

本研究为柔性声学器件的设计提供了一种新思路,所制备的 LIG/MXene 复合扬声器在可穿戴电子、柔性显示和智能传感等领域具有广阔的应用前景。未来可通过优化材料界面和器件结构,进一步提升其声学性能和环境适应性。

D34-33

硼酸钙基力致发光材料

孙俊璐¹, 董林¹, 单崇新¹

1. 郑州大学

内力致发光是指固体材料在机械力的作用下释放光子的现象,机械力涵盖但不局限于碰撞、挤压、摩擦、超声等。截止到目前,已报道具有实用性的应力发光材料仅 40 余种,主要集中在 ZnS、CaZnOS、MAl₂O₄ 和 MNbO₃ 四个体系;这些材料烧结温度普遍超过 1000°C,需要在惰性气氛保护下烧结,不利于宏量制备。本文采用高温固相法首次制备了新型 Ca₂B₂O₅ 基多色应力发光粉体材料 Ca₂B₂O₅:Ln³⁺并系统地研究了烧结温度、时间及掺杂浓度对 Ca₂B₂O₅:Tb³⁺应力发光性能的影响,通过稀土离子的掺杂实现了绿色、蓝色、黄色、橙色和红色的应力发光;调整共掺杂比例,实现了从绿色到红色连续、准确应力发光的光谱裁剪。最终基于硼酸钙基力致发光材料实现了书写轨迹的可视化显示,并展示了其在防伪领域的应用前景。

D34-34

铅基铁电薄膜物性及高介电性能研究

张文迪

复旦大学

D34-35

一种基于冰成核剂实现高效冻结的可持续膜材料:作用机制与应用研究

王沛¹、王光正¹、章炜²

1. 南京农业大学食品科技学院

2. 东南大学材料科学与工程学院

开发绿色可持续的加速冷冻薄膜,对于低温样本保存及冷链系统的能效提升具有重要意义。本研究构建了一种基于冰成核剂提升冻结效率的多层可持续复合薄膜。该薄膜以可降解的小麦麸阿拉伯木聚糖(AX)为基底,表面引入纳米级聚多巴胺(PDA)涂层,以增强其机械性能、气体阻隔性及疏水性。进一步采用聚二甲基硅氧烷(PDMS)将 α -氧化铝(α -Al₂O₃)冰成核剂稳固地固定于 PDA-AX 膜表面,构建稳定的多尺度互锁结构。得益于 α -Al₂O₃与六方/立方冰晶结构的晶格匹配,该膜显著提升冰核温度约 6 °C,并将冻结时间缩短最高达 35%。应用验证方面,该薄膜在冷冻食品保鲜与冷冻干燥中表现出优异性能:显著提升了面团与鱼片的冷冻稳定性,在冻干工艺中可将冻结时间缩短至 34.6%。技术经济与生命周期评估结果进一步证实了其良好的经济可行性与环境友好性。本研究为功能性冷冻薄膜的可持续设计提供了新思路,并在提升冷冻效率、延长冷藏食品货架期及降低冷链能耗等方面具有广阔应用前景,对推动绿色低碳冷链体系建设具有积极意义。

D34-36

新型全过渡金属高阶有序钙钛矿氧化物的高压制备和物性调控

王潇¹

1.河南省科学院量子材料与物理研究所

高阶有序钙钛矿氧化物是由 ABO₃ 型钙钛矿的 A 位形成特殊的 1:3 有序、且 B 位形成岩盐序而形成的演生结构,具有化学式 AA'3B2B'2O₁₂。在此类结构中,A、A'、B 和 B'位均可被多种离子,特别是过渡

金属离子占据，具有极为丰富的磁电相互作用，可以产生新颖的物性和优异的材料性能，是实现新型磁电量子功能材料的重要材料体系之一。特别地，由于 A 位与配位氧阴离子构成较大的 AO₁₂ 十四面体（A–O 键长~2.7 Å），往往被大尺寸的碱金属、碱土金属或稀土金属占据。目前，A 位由小尺寸、强磁性 3d 元素占据的全过渡金属高阶有序钙钛矿氧化物的报道仍相当罕见。利用高压制备手段的独特优势，我们成功制备得到了新型全过渡金属高阶有序钙钛矿氧化物 ACu₃Fe₂Os₂O₁₂（A = Co、Cu）。研究表明该材料具备多种物理和材料特性，包括室温强磁性、半金属性以及低热导性质等，并揭示其多种磁性离子独立或协同诱导这些特性的微观机理。本研究为新型磁电材料的结构设计、制备和物性调控提供了新的思路，并为新型磁电量子功能器件的应用提供新的材料基础。

D34-37

功能型复合涂层材料的设计和开发

鲍艳¹

1.陕西科技大学

功能型复合涂层是支撑中国制造实现突破的基础之一，在国家经济中占有重要地位。随着下游应用行业的快速发展，功能型复合涂层将进一步向高端化、智能化方向发展，以满足复杂的应用环境。基于此，结合国家重点发展的新材料战略方向，本工作从聚合物链段设计、纳米材料结构调控及二者的共调控作用三方面入手，成功开发了一系列具有湿管理、热管理、自修复、防腐蚀等多种功能的复合涂层材料，旨在拓展其在轻纺材料、电子器件、航空航天、建筑等领域的广泛应用。在湿管理型复合涂层的研究中，针对自然界中水分子的多样存在形式，通过调控中空微球的形貌结构、表面亲/疏水性和内部封装物质，或在涂层内部构建梯度结构等策略，成功制备了具有防水透湿、单向导湿、疏水防污、防除冰等特性的复合涂层材料，以实现水分子传递过程的高效精准调控。对于热管理型复合涂层，则是基于自然界中的热传递方式，充分利用氧化物材料独特的热学与光学性能，并结合相变材料与空气界面的引入，成功制备了具有高效隔热保温、辐射冷却、阻燃等特性的复合涂层材料，可实现对热量传递过程的高效调控，满足特定应用环境下的热管理需求。在自修复型复合涂层的研究中，通过在聚合物网络结构中引入多重可逆键，实现了复合涂层材料在紫外光、可见光以及室温条件下的自修复功能，显著提高了涂层的使用寿命和安全性。针对防腐蚀型复合涂层，通过优选单体种类、调控聚合方式以及设计涂层微结构等手段，成功制备了系列防腐蚀性能优异的复合涂层材料，有效保护基材免受腐蚀生锈的侵害。综上，本工作的开展满足了高端行业对涂层材料功能性的需求，打破了国外同类产品在我国市场长期技术垄断的局面，有力提升了国产功能型涂层的市场核心竞争力。

D34-38

磁子-声子强耦合与频率梳

严鹏

电子科技大学

D34-39

氧化物薄膜中的铁弹-铁磁耦合

彭威¹

1.湖南大学

铁弹材料是铁性材料中分布最广的一类，其特征表现为在外加机械应力作用下，晶体结构可在多个取向态（即孪晶变体）之间发生可逆切换，并伴随显著的弹性滞后行为。这类材料不仅展现出形状记忆效应和超弹性等独特的力学特性，在过渡金属氧化物体系中，铁弹性还能通过晶格、电荷、自旋及轨道等多自由度的协同耦合，实现对材料电子态的调控。相较于铁电性，铁弹性的独特优势在于其能与金属导电性、磁性等关键电子性质共存，从而为多功能材料设计提供了新的调控维度。本报告将重点阐述铁弹性在铁磁金属 SrRuO₃ 中诱导的两类重要关联效应：（1）铁弹结构畸变产生的应变梯度可引发显著的挠曲电效应，在 SrRuO₃ 薄膜中诱导出具有自发极化的新型铁磁金属相，其特征表现为 Ru 离子高达 30 pm 的偏心位移；

(2) 基于磁弹耦合机制, 通过接触式扫描探针对铁磁畴结构的局域机械擦写, 可实现磁晶各向异性的精确调控, 进而发展出铁磁畴结构的可编程化机械书写技术。

D34-40**氧化物自旋电子学: 非传统轨道霍尔效应及其硅基期间集成**汪志明¹

1. 中科院宁波材料所

D34-41**功能性膜层在柔性热电器件中的热管理与性能优化**侯悦¹、曹威¹、王自昱³

1. 武汉大学

2. 郑州大学

柔性热电器件应用多受限于器件中的热管理问题, 本报告聚焦功能性膜层在热管理中的协同作用, 通过调控界面热导与温度场分布解决传统柔性器件有效集热差等问题。在表面热管理方面, 基于热电温度调控的红外隐身器件创新采用多孔 EVA 匀热功能层: 其各向异性热导特性(横向>纵向)实现热流定向扩散, 将像素温差标准差降至 0.19, 有效降低热边界效应; 同时多孔 EVA 匀热功能层具有超低红外反射率, 可显著抑制环境辐射干扰。该设计通过底部散热器强化纵向传热, 使器件在 5.77–109.76 °C 温区内维持高效运行(温跨 103.39 °C), 响应速度达 2.03 秒, 为动态热伪装奠定基础。在界面热阻优化方面, 自修复热电器件提出选择性封装策略: 针对液态金属电极区域, 采用碳纳米管掺杂二硫键聚氨酯(CNT-DSPU)构建高导热通路(0.9 W m⁻¹ K⁻¹), 相较全 DSPU 封装(0.1 W m⁻¹ K⁻¹), 有效降低寄生热耗, 使热端至冷端温差提升 185% ($\Delta T=15.21\text{K}$), 功率密度达 3.14 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\text{K}^{-2}$ 。该膜层设计在维持自愈能力的同时, 支持模块化垂直堆叠, 双层结构通过热流协同将制冷温差提升至 6.2 K, 弯曲半径可至 3.8 mm。两类膜层分别针对热管理链路的薄弱环节: EVA 膜优化表面横向热扩散以均衡温度场, CNT-DSPU 封装层强化电极纵向热导以减少界面损失, 共同提升热-电转换效率。研究表明, 功能性膜层的微结构设计可协同解决热电器件的均匀性、效率及环境适应性矛盾, 为可穿戴能源系统与自适应热伪装提供新方法, 未来将探索梯度热导膜层与动态热导调控以应对复杂应用场景。

D34-42**利用层内耦合调控锰铱超晶格中磁性研究**刘敬椿¹、崔瑞²、陈和田¹、张玉骏³、邱小芙¹、王朝阳¹、郝险峰²、易迪¹

1. 清华大学材料学院

2. 燕山大学环境与化学工程学院

3. 中科院高能物理所

3d 过渡金属氧化物与 5d 过渡金属氧化物之间的界面表现出了众多奇异的物理现象, 例如界面铁磁性和垂直磁各向异性(PMA), 这些现象充分体现了电子关联与自旋轨道耦合之间的相互作用。近些年来, 尽管研究者们已经提出了多种通过调控界面处交换耦合作用来调节界面磁性的策略, 但界面处 3d 和 5d 阳离子之间的层内交换耦合作用仍亟待探索。在此工作中, 我们构建了一种新型超晶格, 其每个重复单元由一层纯 La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ (LSMO) 和一层混合了 LSMO 与 SrIrO₃ (SIO) 的双层结构组成 ([LSMO)_{1+x}/(SIO)_{1-x}]_N), 旨在人为引入额外的平面内 Mn-O-Ir 交换相互作用。我们发现, 随着 x 值的增加, 体系的居里温度逐渐升高, 而 PMA 强度却呈现非单调变化, 且其最大值出现在 x=0.5 处。第一性原理计算表明该 PMA 与单离子各向异性增强以及 Ir 离子磁矩的增大。此外, 该策略还产生了体系磁阻的显著增强, 并使体系内的反常霍尔电阻率发生符号变化等现象。相比之下, 具有锐利界面的超晶格(x=0)则不具备这些特性。我们的研究结果展示了一种通过调控层内交换耦合来调控界面新奇磁性的策略, 为开发全氧化物自旋电子器件提供了新的机遇。

D34-43

自旋轨道耦合在室温诱导铁磁绝缘体

洪宇昊、廖昭亮¹

1. 中国科学技术大学

室温铁磁绝缘体因其在自旋电子学和量子计算中的巨大潜力，成为新一代无耗散量子与自旋电子器件的关键候选材料，然而实现室温铁磁绝缘相仍然是一项巨大的挑战。在本研究中，我们通过精准构筑(111)取向的 3d/5d 界面，成功外延合成了一种新型室温铁磁绝缘薄膜，为突破这一难题提供了新的策略。相比于传统掺杂的方法，(111)取向的 SrIrO₃/La₂/3Sr₁/3MnO₃ 界面显著增强了界面的 SOC，这促进了双极化子的形成，从而大幅增强 LSMO 薄膜中的电子-声子散射，并有效降低其本征的金属-绝缘体转变温度。与此同时，界面强 SOC 进一步稳定了铁磁有序，使得 LSMO 相图中从铁磁金属态到顺磁绝缘态的转变之间形成了一种新的铁磁绝缘相。这一相的存在为调控材料的磁性与输运特性提供了全新的物理视角。更为重要的是，我们发现该铁磁绝缘相出现的温度区间可以通过精确调控 LSMO 层的厚度来实现精准调节，从而赋予该体系更强的可调控性和适应性。这一研究不仅提供了一种基于 3d/5d 界面工程和取向调控的新型铁磁绝缘体设计策略，还为开发高效、无耗散的量子与自旋电子器件奠定了重要基础，为未来信息技术的发展开辟了新的可能性。

D34-44

Proton-induced metallization and magnetic phase transition in Sr₂IrO₄鲁年鹏¹

1. 中国科学院物理研究所

Due to the competition among strong spin-orbit coupling, on-site Coulomb repulsion and crystal field, the 5d oxide Sr₂IrO₄ with $J_{\text{eff}} = 1/2$ state exhibits an exotic Mott state and octahedral-pattern-related magnetism. However, the wide-range and multi-state electronic and magnetic modulations remain challenge. Here, using hydrogen intercalation, we realized proton-induced metallization and magnetic phase transition in Sr₂IrO₄. Hydrogen doping first drives Sr₂IrO₄ from a Mott insulator into a metallic state with robust linear-temperature-resistivity, a strange-metal regime similar to optimally doped cuprates, and then into a band insulator at higher doping level. Simultaneously, the magnetic order transforms from the original canted antiferromagnetism, through an enhanced- T_c weak-ferromagnetic state, to a nonmagnetic regime. Moreover, first-principles calculations nicely reproduce the proton-induced lattice distortions, electronic state evolutions and magnetic transitions. A complete electronic-magnetic phase diagram was mapped. This work establishes a powerful route for engineering correlated phases in 5d oxides and designing materials with novel functionalities.

D34-45

(111) 取向 SrRuO₃ 薄膜的新颖磁电量子态

刘笑然

中国科学院物理研究所

D34-46

重金属/磁性绝缘体薄膜异质结的自旋光伏效应

孙琳¹

1. 华东师范大学

自旋光伏效应 (Spin photovoltaic effect, SPVE) 能够以非接触方式产生自旋流，相较于其它自旋流产生方法具有独特优势。在光激发过程中，热效应引起的温度梯度可诱发自旋塞贝克效应。关于光生自旋流属于 SPVE 还是自旋塞贝克效应一直存在争议。本工作以重金属/磁性绝缘体薄膜 (W/Y₃Fe₅O₁₂) 异质结为研究对象，通过 SPVE 测试、热传导仿真和第一性原理计算，系统研究了光生自旋流的产生机制。研究

结果发现光生自旋流可以分为两类：一类是在低光强下通过 SPVE 产生的光激发自旋流；另一类是由高光强引发的光致热激发自旋流，其主要通过自旋塞贝克效应产生。光激发自旋流主要源自光子在 Y3Fe5O12 中诱导的自旋进动过程。上述发现为理解光生自旋流的起源提供了新认识。

D34-47

钌酸锶薄膜中的条纹畴偏折现象

王天阳¹, 廖昭亮¹

1. 中国科学技术大学

磁畴中条纹畴的研究近年来受到广泛关注，它的磁、光、电响应在诸多实用器件中扮演着重要的角色，在磁记录、磁性存储和自旋电子学等领域具有潜在的应用价值。尽管条纹畴的形成机制以及相关性质已经被广泛研究，但是实现可控条纹畴分布仍然面临挑战性。这里我们在 $\text{SrRuO}_3/\text{SrTiO}_3$ 异质结中利用磁力显微镜观察到的条纹畴偏折现象。在 $\text{SrTiO}_3(001)$ 衬底上沉积的 SrRuO_3 薄膜中会存在不同的结构孪晶畴区域，这些区域的界面会减弱不同区域之间 SrRuO_3 的铁磁耦合，使得均匀连续的条纹畴在经过孪晶晶界时，发生类似光经过不同介质界面时的偏折现象。将得到的条纹畴分布图像和孪晶畴逐步翻转的图像进行对比，表明了条纹畴偏折的区域和孪晶畴区域边界之间一一对应的关系，之后通过微磁学模拟证明了正是这个特殊的孪晶畴界面导致了条纹畴的偏折。我们的工作阐明了观测到的条纹畴偏折现象的成因，这将为后续通过人工设计，最终实现可控条纹畴分布铺平道路。

墙报

D34-P01

多层陶瓷电容器（MLCC）用高结晶度超细镍粉的制备及其厚膜电极研究

史刘宾、李金栋、熊世龙、彭栋梁、陈远志¹

1. 厦门大学材料学院

多层陶瓷电容器（MLCC）是现代电子产品中应用最广泛的无源器件之一。超细镍粉由于具有优异的导电性能和低廉的价格，是目前 MLCC 端电极制备的核心材料。水相还原法是制备超细镍粉的重要方法，然而由于较低的反应温度（ $<100^\circ\text{C}$ ），该法制备出的镍粉普遍具有较低的结晶度，在后续烧结过程中会产生与陶瓷层不匹配的较大收缩，使 MLCC 产品出现严重的裂纹和分层。本研究首先通过水溶液法制备了平均粒径 180 nm 的超细镍粉，随后采用 $\text{AlCl}_3\text{-NaCl}$ 二元熔盐体系对粉体进行了热处理，获得了高结晶性的超细镍粉。研究表明，熔盐热处理不仅可以显著提高粉体的结晶性同时保持颗粒不发生团聚和熔合，而且可以获得优异的抗氧化性和抗热收缩性能。所制备的高结晶性超细镍粉起始氧化温度可达 300°C ，在 800°C 的下收缩率仅为 1.8 %。最后将高结晶性超细镍粉制备成导电浆料，经丝网印刷、烧结成厚膜电极。结果表明，相较于未处理的镍粉，高结晶性镍粉制得的烧结膜具有更好的薄膜完整性、较少的缺陷以及优异的导电性能，电阻率可低至 $8.8 \mu\Omega \text{ cm}$ 。机理研究揭示，熔盐介质在热处理过程中通过促进表面原子重排和晶界稳定化作用，提升了晶界迁移活化能，因而有利于获得高的粉体结晶性。本研究为利用水相还原法制备的超细镍粉来制备高性能 MLCC 端电极提供了有益参考。

D34-P02

$\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 水溶性牺牲层 PLD 生长窗口探索及其上钙钛矿薄膜异质结研究

黄悦铭、王凌飞¹

1. 中国科学技术大学

本研究利用脉冲激光沉积（PLD），系统探究新型水溶性牺牲层材料 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 的生长条件窗口（温度、氧压、激光能量密度），绘制其生长相图。进一步在其上直接生长不同厚度 SrRuO_3 及 SrTiO_3 等钙钛矿氧

化物薄膜, 结合 XRD、AFM 等表征手段系统研究钙钛矿氧化物薄膜厚度变化对 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 薄膜质量的影响, 为其在复杂氧化物薄膜可控制备中的应用奠定基础。

D34-P03**Enhanced gas sensing in transition metal-doped Ga_2O_3** Zihan Chen¹

1.Xiamen University

We employed first-principles calculations to analyze the adsorption behaviors of four gases on pristine and transition metal (TM)-doped two-dimensional Ga_2O_3 (2DGO). The adsorption configurations, energies, electron transfer mechanisms, band structures, density of states, and desorption characteristics of 2DGO were examined to assess its potential as an adsorbent and gas sensor. The results revealed that pristine 2DGO exhibited the highest adsorption energy for ammonia (NH_3) among the studied gases. Furthermore, TM-doped 2DGO significantly enhanced its chemical interactions with carbon monoxide (CO), oxygen (O_2), and nitrogen dioxide (NO_2) gas molecules. Specifically, V-, Cr-, and Ni-doped 2DGO emerged as promising candidates for gas sensing applications involving O_2 , NO_2 , and CO/ NH_3 detection, respectively, at specific temperatures.

仅发表论文

D34-PO01**Synergistic Absorption Mechanism of Magnetic Permeability and Dielectric Thickness in Multilayer Magnetic Thin Films**Yan Wu^{1,2}, Yu Wu^{1,2}, Xiaoxi Zhou², Wenjie Ji², Weixin Lu²

1. Soochow University

2. School of Optical and Electronic Information, Suzhou City University & Suzhou Key Laboratory of Biophotonics, Suzhou 215104, China

In this paper, based on the electromagnetic field theory, a three-layer magnetic functional thin film structure consisting of a substrate, a dielectric layer and a two-dimensional structural layer is designed, and its electromagnetic wave absorption characteristics are investigated by CST simulation system. The influence of the magnetic permeability of the substrate and 2D structural layer materials and the thickness of the dielectric layer on the frequency and half-height width of the absorption peaks is explored with emphasis on the theoretical analysis. The simulation results show that (1) when the substrate and the 2D structural layer are the same magnetic material, the absorption peak frequency (f_0) exhibits a non-monotonic change of blue-shift and then red-shift with the increase of the thickness (d) of the dielectric layer, while the half-height width (FWHM) decreases and then increases. Theoretical analysis shows that the phenomenon originates from the multiple reflection interference effect caused by the variation of the thickness of the dielectric layer. (2) When the fixed substrate is PEC and only the permeability of the two-dimensional structural layer is regulated, f_0 is significantly red-shifted with the increase of μ , and the FWHM width is significantly widened. This result is consistent with the theory of skin effect in magnetic materials, where the increase of permeability leads to the enhancement of eddy current loss, which in turn broadens the absorption bandwidth. (3) two-dimensional structure layer is PEC, only change the substrate permeability, the absorption characteristics of the law of change is similar to (1) (2), but the change in the frequency of the absorption peak verifies the magnetic material on the electromagnetic wave reflection phase. This study reveals the physical mechanism that the thickness of the dielectric layer and the magnetic parameter synergistically regulate the absorption performance, which provides a theoretical basis for the design of

high-performance magnetic wave-absorbing films. With optimized dielectric layer thickness and magnetic permeability, the structure can achieve nearly perfect maximum absorption (absorption rate $\approx 100\%$), which has potential applications in microwave stealth and electromagnetic compatibility.

D34-PO02

改性磷石膏填充 PBAT 复合薄膜的制备及性能研究

舒顶波¹

1. 贵州师范大学

文章采用改性磷石膏（PG-1）填充对聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯（PBAT），通过挤出吹膜法制备了 PBAT/PG-1 复合薄膜。通过 FTIR、DSC、XRD、SEM、水汽透过率测试、力学等测试，表征了复合薄膜的结构、结晶熔融性能、断面微观形态、阻隔性能和机械强度等性能。研究结果表明：PG-1 的添加使得复合薄膜的结晶和熔融温度都有所提升，结晶度先增加后减小。采用 SEM 观察复合薄膜的断面结构，发现 PG-1 在复合薄膜中分散均匀，相容性较好。通过水汽透过率测试表明，PG-1 的添加有效改善了复合薄膜的阻隔性能。PG-1 的添加量为 20% 时，复合薄膜具有优异的机械性能，其横、纵拉伸强度分别提高了 94.5% 和 78.7%，此时断面结构整体平整光滑，无明显团聚现象，水汽透过率下降了 44.48%，整体性能达到最佳。在 PG-1 的填充量高达 50% 时，复合薄膜依旧有着优异的成膜性能，且此时的拉伸强度与结晶度仍与纯 PBAT 薄膜接近。复合薄膜表现出的剪切变稀的流变行为，改善了复合薄膜的加工性能。PG-1 填充 PBAT 复合薄膜的制备为磷石膏（PG）的回收利用和环境保护提供了一个新的途径和可能。