

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

D11-电子材料与微系统
D11-Electronic Materials and
Microsystems

Organized by

Chinese Materials Research Society

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

D11. 电子材料与微系统

分会主席：周益春、李敬锋、霍宗亮、王晓慧、卢振亚、高兴森

邀请报告**D11-01****HfO₂-based relaxor ferroelectric thin films for energy storage and memristive application**

Wentao Shuai, Jiyan DAI*

Department of Applied Physics, The Hong Kong Polytechnic University

For high-speed supercapacitor and memristive applications in integrated circuit, HfO₂-based dielectric is of strategic importance in terms of dielectric breakdown strength, lower leakage currents and compatibility with microelectronic processes, and thus realizing their superior energy storage performance will broaden their application in microelectronic devices. Our work is to meet the need for energy storage capacitors with higher voltage stability, higher break-down voltage, and lower leakage current. To combine the merits of relaxor-ferroelectric and high entropy in HfO₂-based thin films to achieve a superparaelectric-like relaxor ferroelectric with high energy storage density and efficiency.

The W/ Al: HZO/ W capacitors with superior energy performance were successfully prepared by ALD on Si substrate. This work experimentally demonstrated the formation of a superparaelectric-like relaxor ferroelectric in HfO₂-based thin films. The enhanced energy storage performance by increasing the film's high atomic configuration entropy through doping-induced increase of degree of structure disorder. With the optimized doping rate of Al into ferroelectric HZO films, the formation of extremely small nanopolar regions with an amorphous-like structure exists. In our work, the HfO₂-based superparaelectric-like relaxor ferroelectric films demonstrated an energy storage density over 100 J cm⁻³ at an efficiency higher than 80% and a dielectric strength > 6 MV cm⁻¹, which is much higher compared to perovskite oxide materials. The HfO₂-based dielectric also demonstrated superfast charging/discharging speed as a capacitor, making it potentially competitive for high-speed supercapacitor applications in integrated circuits. Besides superior energy storage performance, excellent fatigue properties (>10¹⁰ cycles) and thermal stability up to ~100 °C. This further modified relaxor antiferroelectric-like property of the HfO₂ thin films are also suitable for reservoir computing as a physical node of reservoir. Based on the advantages of ALD preparation and compatibility with standard CMOS manufacturing, dynamic memristive properties of such structure has been characterized, and our simulation work further demonstrated its potential application in neuromorphic computing in applications of image recognition.

邀请报告**D11-02****氧化铅基铁电薄膜唤醒效应和疲劳失效的微观机理**廖敏*¹、曾斌建²、张思瑞¹、彭仁赐¹、周益春¹

1. 西安电子科技大学先进材料与纳米科技学院
2. 湘潭大学材料科学与工程学院

铁电存储器因其超强的抗辐射性能和长寿命优势，成为关键装备信息存储的核心元器件与国际竞争制高点。美国和日本等发达国家已实现了基于锆钛酸铅存储介质的铁电存储器研制与应用。然而，受限于尺寸效应(铁电性能随厚度减小而大幅减弱)，基于锆钛酸铅等钙钛矿型铁电材料的铁电电容所占空间比较大，且含有的高化学活性重金属离子对现有集成电路生产线有污染，与现有工艺不兼容。上述致命的弱点限制了大容量铁电存储器的突破，使得其巨大优势无法得到发挥。氧化铅基铁电薄膜具有与大规模集成电路工艺线兼容、可微型化潜力大等优点，为我国实现铁电存储器的自主可控提供了机会，同时也有望引领铁电

存储器突破生产成本低、容量小的瓶颈，但唤醒效应和疲劳失效是阻碍氧化铪基铁电薄膜在存储器中应用的难题。本报告将从氧空位的迁移、相结构和畴结构的转变角度来探讨唤醒效应和疲劳失效的微观机理。

邀请报告

D11-03

W/Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂/W 铁电存储器件在-60 至 250 度的读写抗疲劳性能优化

袁国亮^{*1}、陆旭兵²、刘俊明³

1. 南京理工大学
2. 华南师范大学
3. 南京大学

采用原子层沉积和磁控溅射技术在单晶硅基片上制备 W/Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂/W 存储单元，其在-60 至 300 度范围内的铁电饱和极化 P_s 大于 23 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、剩余极化 P_r 大于 15 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ，其“1/0”信息存储时间在理论上超过 10 年。在“1/0”信息读写即铁电极化翻转过程中，大电场容易引起铁电极化增大(即唤醒)，小电场容易导致铁电极化减小（即疲劳），并且氧空位等缺陷及其相应的漏电流随读写次数的增加而增加，存储单元最终发生介电击穿。通过优化交流电场大小、波型和提高频率，可以延缓氧空位等缺陷产生的速度和漏电流增加的幅度，从而显著提高存储单元的最大读写次数。在 250 度高温下，其最大读写次数超过 10^{10} 次。

邀请报告

D11-04

铪基铁电薄膜应力温度耦合效应研究

洪培真*、杨金川、罗锋

南开大学

铪基铁电存储器具有低功耗、高速、与 CMOS 技术兼容等优点，是极有潜力的下一代非易失性存储技术。应力对铪基薄膜铁电性具有很大的影响，并且主要是在退火过程中影响。而退火温度高低也同样对铪基薄膜铁电性有较大的影响，并且也会影响应力的大小。因此，有必要澄清应力和退火温度耦合对铪基薄膜铁电性的影响。在这项工作中，我们采用了具有不同热膨胀系数的氮化钛和钨电极材料制备铪基铁电电容结构，并设定了不同的退火温度来调节铪基薄膜的应力和热状态。结果显示，在退火过程中引入的拉伸应力增加时，铪基薄膜的剩余极化最初增加然后减少。在相同的退火温度下，钨作为顶部电极比作为底部电极时引入了更大的拉伸应力。使用钨作为顶部电极的铪基薄膜在 450°C 的退火温度下展示了最高的剩余极化。在特定的应力条件下，HZO 可以在较低的退火温度下展现出较大的铁电性，这为低热预算下实现铪基薄膜的高剩余极化提供了可行的解决方案。

口头报告

D11-05

Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 铁电薄膜阻变与多态突触器件制备研究

陶瑞强、陆旭兵*

华南师范大学

传统冯诺依曼计算架构“存”、“算”分离，不能满足当前大数据、人工智能时代的发展需求，受人脑启发的新型神经形态计算架构与器件是具有潜力的解决方案。其中，以具有非易失性、快速响应特性的铁电存储技术发展为背景，开发低功耗、高性能、高可靠性的人工突触器件备受关注。相对于传统钙钛矿铁电

材料, HfO_2 基铁电薄膜材料具有独特的 CMOS 工艺兼容与尺寸微缩优势, 具有产业化应用前景。目前, HfO_2 基铁电人工突触器件的开发面临着两个重要问题: 一方面其铁电翻转需要较大的矫顽电场, 疲劳特性亟待优化; 另一方面, 实现多极化状态调控, 进而实现高计算效率存在挑战。基于这两方面问题, 本工作以 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 铁电薄膜及其器件为研究对象, 探索了铁电与导电细丝耦合型阻变疲劳与多态调控机理, 开发了具有高占比、小晶粒铁电 o 相的 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 铁电薄膜, 并成功制备了其 a-IGZO 突触晶体管, 形成了器件模拟多级权重更新特性和可靠性优化的有效方案, 对低功耗、高性能、高可靠性的 HfO_2 基铁电突触器件制备具有一定的参考价值。

闪报

D11-06

Origin of La doping-induced endurance improvement and wake-up effect reduction in ferroelectric HfO_2 thin films

Tao Yu, Min Liao*
Xiangtan University

Ferroelectric HfO_2 is a promising material for novel ferroelectric memory applications due to its compatibility with the complementary metal-oxide-semiconductor technology. However, its practical application is hindered by the reliability issues associated with oxygen vacancies (VO), such as endurance failure and wake-up effect. La doping is a highly effective approach to improving endurance and reducing the wake-up effect. In this study, we investigate the origin of these performance improvements in ferroelectric HfO_2 thin films through density functional theory calculations. Our results reveal that undoped ferroelectric HfO_2 requires a certain amount of VO to stabilize its phase, which can only be achieved under a relatively oxygen-poor condition. However, the neutral charge state of VO, stabilized by the Fermi level above the $(0/2+)$ transition level, may cause a dielectric breakdown. La doping at the Hf sites significantly reduces the formation enthalpy of VO by pushing down the Fermi level, leading to a moderate concentration of VO^{2+} in most of the chemical potential regions. This prevents dielectric breakdown and improves device endurance. Furthermore, the presence of La dopants in ferroelectric HfO_2 significantly increases the diffusion barrier of VO^{2+} , reducing the wake-up effect. Our findings provide important insights into designing and optimizing ferroelectric films for practical applications.

邀请报告

D11-07

硅兼容的 HfO_2 基铁电隧道结忆阻器

殷月伟、沈胜春、李晓光
中国科学技术大学

快速、高效、智能化、非易失的信息存储和处理是大数据时代信息技术发展的关键, 对新型信息材料和器件提出了重大需求。铁电信息存储材料在原理上具有速度快、功耗低、非易失、高稳定等优势, 是下一代信息存储的优秀解决方案之一, 而新型硅兼容的钪基铁电材料为构建高密度信息存储提供了材料基础。本报告将简要汇报通过调控界面能带结构, 设计构建硅兼容的高性能 HfO_2 基铁电隧道结忆阻器的研究, 利用铁电极化非易失、准连续地调控器件电阻状态, 实现了亚纳秒超快、飞焦级低能耗的多态非易失信息存储, 并获得高线性、高稳定的多电导态间的连续调控, 从而用于仿真构建高图像识别准确率的存算一体神经网络计算系统。这些结果表明, HfO_2 基铁电隧道结有望用于构建高性能非易失性存储器和人工突触器件。

邀请报告

D11-08

高密度铁电存储器用 HfO_2 基铁电薄膜的性能调控

曾斌建*

湘潭大学

铁电存储器因其优异的性能和高可靠性在航空航天、工业控制和医疗电子等领域具有极其重要的地位。但是，较低的存储容量严重阻碍了铁电存储器的广泛应用。2011 年德国学者发现掺杂 HfO_2 铁电薄膜具有铁电性，为实现高密度铁电存储器带来了巨大机遇。然而， HfO_2 基铁电薄膜往往具有多晶、多相共存的特点，晶粒类型、晶向、晶界等微结构随机分布，导致小尺寸器件之间的性能均一性不佳。因此， HfO_2 基铁电薄膜的相成分及其分布的调控成为实现高密度铁电存储器首要解决的难题。本文从 HfO_2 - ZrO_2 固溶体 (HZO) 铁电薄膜的原子层沉积工艺出发，探索了优化小尺寸存储单元间电学性能一致性的晶粒尺寸工程方法。另一方面，针对高密度集成对速度的需求，设计、制备了成分梯度 HZO 薄膜。发现相较于成分均匀 HZO 薄膜，成分梯度 HZO 薄膜不仅具有相同的电学性能，而且表现出更好的耐久性以及两倍以上极化翻转速度，并研究了其极化翻转动力学机制。

邀请报告

D11-09

铁电存储器空间辐射单粒子效应研究

钟向丽*、琚安安、宋宏甲、王金斌

湘潭大学材料科学与工程学院

利用脉冲激光微束和重离子微束对铁电存储器开展了单粒子效应试验，得到了铁电存储器单粒子效应敏感区域分布，并对部分版图区域进行了逆向工程分析，确定了芯片中的单粒子效应敏感元件。试验结果表明铁电存储器在辐照下发生了单粒子翻转、单粒子功能中断和单粒子闩锁效应，这些单粒子效应均来自器件的外围电路，存储阵列对单粒子效应免疫。逆向工程分析结果表明 N 阱电阻为铁电存储器外围电路最敏感的电路元件。效应机理分析结果认为单粒子效应会在 N 阱电阻中产生瞬态电流，导致存储单元回写操作失效，进而使得存储介质的极化状态发生改变。基于 N 阱电阻的单粒子效应机理，对铁电存储器提出了一种单粒子效应加固方法——引入低剂量位移损伤，首先利用半导体工艺模拟以及器件仿真工具计算了该方法对 N 阱电阻中瞬态电流的影响，计算结果表明引入位移损伤后单粒子效应产生的瞬态电流持续时间明显缩短。然后通过脉冲反应堆在铁电存储器中引入位移损伤，试验结果表明铁电存储器的单粒子翻转和单粒子功能中断截面在一定剂量的中子预辐照处理后有了明显的降低，单粒子效应加固效果显著。

邀请报告

D11-10

铁电薄膜多步极化翻转动力学及 FeRAM 兼容的多态存储架构

唐振洵、陈伟津*、郑跃

中山大学

铁电随机存取存储器 (FeRAM) 因其低功耗、高稳定性等优点被广泛应用于智能仪表及汽车电子等领域。受器件微缩工艺的限制，主流商用 FeRAM 产品的存储容量在几十 Mbit 以下。针对这一技术瓶颈，以往的研究工作提出通过调控铁电薄膜的中间极化态可实现器件存储密度的提升。然而，这一策略在电路层面的执行尚未报道，因此其与 FeRAM 的兼容性还有待探究。在本报告中，我们揭示在铁电薄膜中由缺陷

诱导的多步极化翻转行为并以此开展多级存储单元的电路执行。在电脉冲加载下，铁电极化的多步翻转产生具有多峰形的翻转电流信号。结合极化翻转动力学测量及成核受限翻转（NLS）模型理论分析的结果表明多步翻转来源于铁电畴翻转时间分布的劈裂。通过透射电子显微镜（TEM）技术，我们观察到在薄膜-电极界面处存在弥散分布的纳米缺陷团簇，这导致局域铁电畴翻转活化场的增大并形成多畴结构。基于 1T-1C 电路结构及翻转电流感应技术，我们对单个铁电电容器进行多种铁电畴极化配置的调控，并将其转换为可区分的二进制时序信号进行精准读出，实现了与 FeRAM 兼容的多级铁电存储单元。进一步，我们展示了在 FeRAM 架构下执行存内算及硬件安全的电路实施方案。多级铁电存储单元不仅为 FeRAM 存储密度的提升降低技术成本，更有望拓展 FeRAM 的潜在应用从而助力边缘计算设备的发展。

邀请报告

D11-11

通过施主-受主共掺杂提高铪基铁电超薄膜的极化转换特性

周超、陈祖煌*

哈尔滨工业大学（深圳）

铪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，其在极化强度和翻转速度方面仍有所不足。研究指出，氧空位等缺陷虽然在稳定 HfO_2 的亚稳态极化相中发挥关键作用，但也会钉扎畴壁，阻碍极化的翻转，使得 HfO_2 的翻转速度变得缓慢，无法满足超快存储的需求。针对这一问题，我们创新地提出了一种受主（ La^{3+} ）-施主（ Ta^{5+} ）共掺杂策略，旨在消除氧空位等缺陷带来的不利影响。通过 La^{3+} - Ta^{5+} 共掺杂技术，铪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，这极大地拓宽了铪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。这一方法为精确控制缺陷状态、提升铪基铁电薄膜的整体性能提供了一条有效途径。

闪报

D11-12

引入介电层改善 CMOS 后端兼容的 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 薄膜的铁电性能

据长凡、曾斌建、彭强祥、廖敏*

湘潭大学材料科学与工程学院

采用 CMOS 后端工艺(BEOL)开发下一代的铁电存储器，其中， $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ (HZO)铁电薄膜由于其相对较低的结晶温度而备受关注。然而，在后端工艺兼容的温度下采用 PDA 工艺实现良好铁电性能，仍是一项巨大的挑战。鉴于此，本工作通过在 15 nm 厚的 HZO 薄膜底部或顶部沉积 2 nm 厚的 Al_2O_3 、 HfO_2 或 ZrO_2 介电层，并采用 400 °C 的 PDA 退火工艺，显著提升了铁电性能。值得注意的是，带有顶部 Al_2O_3 介质层的 HZO 薄膜表现出更为优异的铁电性能。在 2.5 V 的工作电压下，6nm 厚的 HZO 薄膜的总剩余极化强度(2Pr)达到 31 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 。与已报道的最新成果相比，这些结果对制备高性能、与 BEOL 兼容的铁电存储器有重要意义。

墙报

D11-P01

基于二硫化钼纳米片的微针精确给药自动控制装置设计

张宇森¹、王逸之^{*1,2}、张阳²、邹翔¹、吴昇¹

1. 金陵科技学院

2. 福建省海洋传感功能材料重点实验室, 闽江学院

微针给药是一种新兴的非侵入式经皮药物递送手段, 由于能够实现无痛及自动给药, 载药微针已被重点用于如糖尿病等慢病管理领域。而如何根据具体生理指标实现微针给药剂量的自动控制和智能控制, 以实现更为精准的给药方式是微针给药技术的进一步研发重点。本研究创新性地提出一种能够对微针给药量进行自动控制的方法, 主要是利用 MoS_2 纳米片-PVA-PEG 胶体的低导电率作为圆筒状电容的电介质并内嵌微流控通道, 采用微型蠕动泵从微针抽取糖尿病患者的间质液并将其与双氧水一起引入电介质中的微流控通道, 利用 MoS_2 对血糖标定的催化过程改变胶体的介电常数而引起电容改变, 然后通过设计电路测量电容两端电压的改变可将血糖浓度信号转换为持续的电平信号, 驱动在皮肤表面带给药控制装置的微针贴片, 最终实现降糖药液精准给药。本研究进一步对 MoS_2 纳米片-PVA-PEG 三者的不同掺杂浓度对胶体的介电常数进行了研究并寻找最佳掺杂比例。实验结果证明, 当掺杂的 MoS_2 纳米片质量分数越过 2% 时, 所制备的 PVA-PEG- MoS_2 胶体的介电常数从 28.16 迅速上升至 158.95 (1000Hz), 表明在该掺杂浓度附近, 胶体成分改变能够引起电容两端电压较为明显的变化, 验证了本研究提出的方案的可行性。

D11-P02**基于 $\text{PbZrO}_3/\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ 异质结正负可调的室温大电卡效应**

赵文悦、赵瑜*、费维栋

哈尔滨工业大学

(反) 铁电薄膜的电卡效应在制冷领域的应用已经得到广泛的研究。然而, 在薄膜中实现室温附近的高制冷温变仍十分困难。本研究设计了基于 PbZrO_3 相变的 $\text{PbZrO}_3/\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ 异质结, 实现了室温下正负可调的大电卡制冷温变。一方面, 异质结区的载流子耗尽层的高阻特性提高了异质结的耐压性; 另一方面, 在内建电场作用下 PbZrO_3 发生电致相变, 通过调控 $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ 厚度可以获得结区宽度不同即内建电场大小不同的异质结, 实现电卡效应正负可控。在 $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ 厚度较薄时, 最大制冷温变可达 66.5 K; 而 $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ 厚度较厚时, 最大制冷温变为 -9.9 K。

D11-P03 **SnSe_2 和 SnSe 双靶共溅射制备高性能 SnSe 薄膜及其性能研究**李文霞^{1,2}、邵凯平^{*1,2}

1. 中国科学技术大学金属研究所

2. 中国科学院金属研究所

多晶 SnSe 薄膜材料作为一种非常有前景的热电材料, 可用于制备微型化, 柔性化和自供电电子元器件。然而, 在制备强织构 SnSe 薄膜的同时抑制 SnSe 薄膜中 Se 元素的挥发, 进而优化薄膜的热电性能, 是一项严峻的挑战。本工作借助 SnSe_2 和 SnSe 双靶磁控共溅射技术, 制备了具有强织构的多晶 SnSe 薄膜。研究发现, SnSe_2 靶的引入有利于在沉积过程中促进 SnSe 薄膜 (400) 织构的形成, 同时可以有效补充 Se 元素, 进而显著提高了多晶 SnSe 薄膜的热电性能, 其功率因子比仅采用单靶 SnSe 溅射制备的薄膜提高近二分之一。此外, 高温沉积过程中, 少量 SnSe_2 转化为 SnSe 导致产生纳米尺度晶格畸变和空位团簇, 可以有效地散射声子, 从而降低热导率。因子, 在共溅射多晶 SnSe 薄膜中获得一个优异的热电性能。这种合成方法还为制备高质量纹理薄膜提供了一种替代途径。

D11-P04 **NbOx 基忆阻器阈值转变及锁相行为调控**

卢子傲、曾飞*

作为一种典型的阈值开关易失性忆阻器，基于 NbO_x 的金属-绝缘体-金属忆阻器受到了广泛关注。在之前的研究中，我们发现了基于 NbO_x 的忆阻器中的锁相现象，并证明了其在听觉仿真方面的潜力，从而应用于仿生耳蜗，模拟中枢听觉对精细时间信息的处理。不仅如此，锁相还可以应用于锁相环中，从而在电子领域有更广泛的应用。基于对绝缘层掺杂改性的研究表明，绝缘层的物理和化学性质对忆阻器的性能起着至关重要的作用，我们可以在器件的工程设计和制备中利用这一特性，实现更复杂、更精密的编码方法。因此，通过设计忆阻器结构单元实现对忆阻器锁相特性的研究，可以模拟大脑中节律信号的发放，简化硬件复杂性、实现更精简和多功能的器件单元，从而在一定程度上提高类脑计算的效率。

D11-P05

面向 BLCC 应用的钛酸锶陶瓷晶粒生长调控

罗凡思、吕明*

华南理工大学

随着科技的快速发展，电子器件不仅追求小型化、轻量化，同时也需具备高性能和高稳定性。晶界层陶瓷电容器具有视在介电常数高、损耗低的优点，可实现器件小型化，在储能、耦合、稳压、滤波等各种电路系统中扮演着至关重要的角色。 SrTiO_3 因优异的介电性能，成为晶界层陶瓷电容器采用的介质材料。晶界层电容器的视在介电常数受晶粒尺寸影响，晶粒尺寸越大，则介电常数越高。如何在较低的烧结温度下控制晶粒生长，以实现晶界层陶瓷电容器的高性能和高介电常数，在生产中仍是一个亟待解决的问题。研究能够有效控制陶瓷晶粒生长的方法，不仅对提升晶界层陶瓷电容器的性能具有重要意义，也对于其他类型电子陶瓷材料的开发与应用具有广泛的启示作用。

本文对钛酸锶陶瓷液相烧结过程中的晶粒生长进行了详细研究。研究有助于深入了解影响陶瓷的微观结构演变因素，为优化生产工艺、选择合适添加剂提供了可靠依据。研究选用旭硝子公司生产的 GA-13 玻璃粉作为助烧剂，采用 Nb 进行施主掺杂，考察烧成温度、时间对晶粒尺寸变化的影响。通过显微形貌时间-温度-转变图（TTT 图）和成核及生长速率曲线，对钛酸锶陶瓷的高温动力学行为进行分析，获得了异常成核和晶粒生长的机制。本研究旨在揭示掺杂玻璃相对 SrTiO_3 烧结过程中晶粒生长与异常成核行为的具体影响。

研究表明， SrTiO_3 陶瓷烧结过程显微形貌 TTT 图存在两条显微形貌 C 形转变线，随烧结温度和时间增加，陶瓷显微形貌从小晶粒均匀致密形貌转变为晶粒尺寸双峰分布形貌，最后转变为大晶粒均匀致密形貌。GA-13 玻璃相掺量的增加，促进了钛酸锶陶瓷的烧结及晶粒生长。但过高的掺杂量却对陶瓷的电性能产生了负面影响，当掺量达到 0.016 mol 时钛酸锶陶瓷介电损耗明显增加、介电常数上升，同时电阻显著降低，这一现象表明，过多的玻璃相掺入可能在钛酸锶结构中形成更多的晶格缺陷，从而增强了材料的导电性能，导致介电损耗和电阻的变化。相比之下，玻璃相添加量为 0.012 mol 以下时，陶瓷损耗低、电阻高。

最后论文还研究了添加晶种对钛酸锶陶瓷烧结行为的影响。发现加入晶种使得 GA12-STN 陶瓷晶粒尺寸分布范围变窄，对钛酸锶陶瓷显微结构调控有着重要意义。

D11-P06

生长温度与厚度对单层 PbTiO_3 薄膜中极性泡状畴的影响

冼建标、陈瑞丰、高兴森*

华南师范大学华南先进光电子研究院先进材料研究所

铁电材料中的极性拓扑畴因其丰富的物理特性，如拓扑保护、超小尺寸、导电增强等，成为了构筑高密度非易失性存储器的候选目标。极性泡状畴(bubble)作为斯格明子的前体，在非超晶格结构中自发形成，近年来备受关注。尽管三明治结构中的极性泡状畴在外场刺激下的演化已多有研究，但是在单层铁电薄膜

中通过改变生长条件诱导极性泡状畴的产生与演化尚未得到报道。本研究在具有钇酸锶(SrRuO_3 , SRO)缓冲层的钛酸锶(SrTiO_3 , STO)衬底上沉积了单层钛酸铅(PbTiO_3 , PTO)薄膜,以生长温度和薄膜厚度为变量,制备了两个系列的样品,并利用压电力显微镜(PFM)、X 射线衍射(XRD)、倒空间映射(RSM)和 X 射线光电子能谱(XPS)进行系统表征。结果表明,温度低于 650°C 时,PTO 为极化向上的单畴;超过 670°C 时,出现泡状畴并转为向下极化,温度越高,泡状畴越小且密度越大。厚度调控使 PTO 呈现单畴(10 nm)、纳米畴(25 nm)、柱状畴(40 nm)、泡状畴(70 nm)、泡状畴逐渐消失(90-190 nm)的演化过程。该现象可归因于退极化场与内建电场的竞争,温度调控通过 Pb 空位导致的空穴掺杂形成竞争,厚度调控则通过挠曲电效应引入竞争。该结果为制备极性拓扑畴的高密度存储器件提供一种新策略。

邀请报告

D11-13

柔性无机铁电薄膜与器件

钟高阔*

中国科学院深圳先进技术研究院

铁电薄膜是一种在柔性电子器件中具有多种功能应用的基础材料,常见的有机柔性铁电材料存在稳定性差及性能局限等问题。无机铁电薄膜相较于有机铁电材料具有稳定性高、电学性能可调范围大等优点。针对无机铁电材料的生长特点,发展了基于柔性衬底和自支撑的无机铁电薄膜制备工艺,获得高质量的无机柔性铁电薄膜。基于柔性铁电薄膜开发了高储能密度铁电电容器、全无机柔性铁电场效应晶体管、柔性铁电负电容场效应晶体管等柔性无机铁电器件。这些工作为无机铁电材料在能源、信息等领域的柔性器件应用提供参考。

邀请报告

D11-14

柔性自支撑铁电/磁电氧化物单晶薄膜及其微纳自组装器件研究

彭斌*

西安交通大学

铁性(铁电/铁磁/铁弹)氧化物是一类多功能材料,是开发电容器、存储器、驱动器、传感器等现代微电子器件的重要材料基础。通常来说,铁性氧化物单晶薄膜的力、电、磁性能优于其多晶薄膜。然而,由于铁性氧化物单晶薄膜对外延沉积、微纳加工等要求十分苛刻,制备其微纳器件并与任意衬底进行异质集成存在巨大挑战。为此,我们提出利用自支撑铁性氧化物单晶薄膜的自卷曲特性,开发其自组装的三维微纳器件的新思路。在本研究中,我们基于自支撑的 $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ 复合单晶薄膜,演示了自卷曲的微管式磁电微纳器件。相比于平面薄膜器件,该器件横向尺寸减小了至少 1 个数量级,并展现出优异的柔性,耐机械按压且能快速恢复。同时,这种自组装微纳器件单元如同积木一样可以任意操纵,进而实现更丰富的功能,如磁传感器等。因此,本研究不仅促进开发一系列新型多功能磁电器件,还建立了一种微型、柔性、三维单晶薄膜器件的先进制造方法。

邀请报告

D11-15

准范德华外延异质结的界面效应

梁任宏、柯善明*

广州大学

薄膜异质结的界面在现代电子及光电子器件中扮演了至关重要的角色。其中，传统外延通常是在 3D 衬底上生长 3D 薄膜，其 3D/3D 界面依赖于化学键结合。范德华（vdW）外延通常是在 2D 衬底上生长 2D 薄膜，其 2D/2D 界面由范德华键结合。近年来这两种外延界面及相关界面作用得到了广泛地研究，基于对界面上晶格、电荷、轨道和自旋等相互耦合的认识发掘出了丰富的界面效应。与 3D/3D、2D/2D 界面不同，由准范德华外延带来的 3D/2D 界面是一种新颖的界面，目前对其中的界面作用并没有完整的认识。本文从实验出发，利用磁控溅射和脉冲激光沉积等技术在不同的 2D 衬底上制备了多种 3D 薄膜，并结合第一性原理计算仔细研究了准范德华外延异质结的界面效应，初步澄清了界面化学键和范德华键分别对外延薄膜的取向和物性的影响。

口头报告

D11-16

高性能硫属化合物基柔性热电薄膜制备及器件应用

逯瑶^{1,2}、何佳清^{*2}

1. 东莞理工学院
2. 南方科技大学

热电材料是一种可以实现热能和电能之间相互直接转换的环境友好型“绿色”能源转换材料。近年来，可穿戴式电子设备和传感器迅猛发展，对供能方式也有了更多的要求，然而，目前大部分的穿戴式电子设备是由电池供电，并且其受制于电池频繁的充电以及更换。柔性热电发电机可以利用人体与环境的温差进行发电，可为穿戴式电子设备的自供电提供有效的解决方案。

硫族化合物热电材料，如 Ag_2Se 、 Bi_2Te_3 等，是目前公认的最佳性能热电材料，然而，传统无机材料具有本征刚性，不易产生柔性变形，在应用中难以与热源和冷源表面紧密接触，维持温差困难，界面处的不良热接触大大降低了 热电换能效率和制冷散热能力。能否发展具有良好变形能力的柔性热电材料，从而提高热电材料与热源 / 冷源表面的能量传输效率就成为拓展热电技术新的规模化应用的关键因素之一。因此，目前亟需探索提高热电合金柔性力学性能的理论 and 材料设计方法，而如何从热电合金材料微观结构设计和生长调控的角度来获取高热电性能、可加工性和柔性力学性能是本领域的重要研究课题。

基于上述挑战，本工作分别采用“自上而下”和“自下而上”的方法制备了一系列高性能 Ag_2Se 和 Bi_2Te_3 基柔性热电薄膜，系统研究了无机热电薄膜中成分、微观结构等对热电性能和力学性能的影响机理，实现了柔性热电性能的共同提升。取得的主要成果如下：

1, 采用自上而下方法，实现了从相应单晶剥离出来的基于 Bi_2Te_3 的薄膜在 1000 次弯曲周期内的良好柔韧性，以及 4.2 (p 型) 和 4.6 (n 型) $\text{mW m}^{-1} \text{K}^{-2}$ 的高功率因子。这种前所未有的可弯曲性归因于原位观察到的交错层结构，该结构在薄膜制备过程中自发形成，可在保持良好导电性的同时促进应力传播。此外，类施主交错层结构极少影响薄膜的载流子传输，从而保持了其卓越的热电性能。组装的柔性发电机在 60 K 温差下显示出 321 W m^{-2} 的高归一化功率密度。这项工作不仅为可穿戴电子设备提供了有用的范例，还为理解和推进传统无机电子学中的结构-性能相关性铺平了道路。

2, 采用自下而上的湿化学模板法原位合成了 1D $\text{Ag}_2\text{Se}/2\text{D MXene}$ 纳米复合材料、然后经真空抽滤法和热压工艺在尼龙多孔滤膜上制备了柔性复合材料薄膜，跨维度复合优化了载流子输运，薄膜的室温功率因子最高为 $2125 \mu\text{W m}^{-1} \text{K}^{-2}$ 。由六个热电臂串联而成的柔性热电发电装置，当温差为 30 K 时产生的最大输出功率密度为 24 W m^{-2} 。通过对 $\text{Ag}_2\text{Se}/\text{MXene}$ 基器件结构的优化，实现了热电器件在制冷及传感领域的应用。这项工作为化学法制备高性能、柔性硫属化合物复合薄膜及器件提供了有效的方法。

口头报告

D11-17

二硫化钼/钛酸铅异质结中的铁电畴壁导电特性调制

郭怡航*

华南师范大学

铁电体蕴含丰富的物理性能，并且可通过外场和畴结构调控其性能。其中铁电畴壁作为一种二维的拓扑缺陷，往往展现出与畴区不同的物理性质，而导电畴壁更是被认为是构筑后摩尔时代的高密度器件单元。本工作制备了二硫化钼 (MoS_2)/钛酸铅 (PbTiO_3 , PTO)铁电薄膜范德华异质结，以 MoS_2 作为顶电极，不仅可以提升导电性、降低读取电压，还可以利用 MoS_2 独特的电学特征诱导形成多种导电状态，特别是畴壁处明显的导电增强。结果表明，在畴壁处探测电流可以高达十几 nA 量级 (读取电压 1 V)，并在 15 天内保持稳定。而写入的畴区内(Pdown)则表现出电势依赖的导电演变，即畴形成初期，畴内电势较低，表现为高阻，读出电流约为几 pA；15 天后，畴区内电势升高，表现出低阻，读出电流达 nA 级别。另外， MoS_2 /PTO 异质结在初始态(Pup)和畴壁处的 I-V 曲线表现出负温度系数向正温度系数转变的特征，符合类金属导电向半导体导电转变。而在写入后的畴区(Pdown)内，I-V 曲线则表现为正温度系数的特征，符合半导体导电。需注意的是，在没有 MoS_2 层的 PTO 薄膜中，导电性较弱。这种通过构建二维 MoS_2 /铁电薄膜异质结诱导形成多种导电状态，归因于铁电极化作用下， MoS_2 中的载流子和屏蔽电荷在异质结面上聚集并重新分布，进而改变了异质界面导电机制。该结果对研究二维材料/铁电薄膜异质结的导电性调控具有重要的基础研究和器件应用价值。

邀请报告

D11-18

力电耦合显微表征与器件应用

黄博远*

南方科技大学

力电耦合效应广泛存在于功能材料，既为解析材料物性机理提供了有力的手段，也为调控材料与器件性能提供了新的途径。压电响应力显微镜(PFM)作为表征微观力电耦合效应的代表性仪器之一，已助力多种信息、能源、生物材料的研究，但其也常常受到静电力、挠曲电等因素的干扰，给材料研究带来许多挑战。本次报告将首先介绍我们近期关于 PFM 与扫描微波阻抗显微镜(sMIM)的研究工作，展示如何定量解析纳米尺度相互竞争的力电耦合响应，为力电调控先进材料提供可靠指引。随后，报告将汇报我们关于新兴二维铁电、二维半导体材料中挠曲电效应的研究成果，以及其在微电子器件上的应用探索。

邀请报告

D11-19

极性拓扑微结构的构筑与调控

谭丛兵*

湖南科技大学

铁电极化在晶格和电荷自由度的共同调控下发生旋转，形成拓扑稳定的非平庸的极性结构。但极性拓扑结构的能量并不稳定，需要合适的边界条件来维持，导致制备和稳定存在的窗口都比较窄。而且极性拓扑结构的尺寸通常在纳米甚至亚纳米量级，原子结构高度不均匀。只有当它们形成规则有序的阵列时，宏观表征手段才能够探测到它们，否则平均效应会淹没它们的结构特征。我们利用脉冲激光沉积方法，通过

铁电/介电人工超晶格薄膜的结构设计和可控生长, 实施外延应变调控手段在不同钽酸盐单晶衬底上制备出一系列 $\text{PbTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ 超晶格薄膜, 结合 PFM、STEM 和 3D-RSM 表征, 得到通量闭合畴、涡旋、反涡旋、斯格明子和半子等多种极性拓扑结构的大尺度周期性阵列, 通过原位施加外场 (电、热、应力场等), 实现极性拓扑结构的拓扑相变调控和拓扑态操纵, 揭示周期性极性拓扑畴的形成规律与调控机理, 为其在高密度、低能耗信息存储器件中的应用提供科学依据。

邀请报告

D11-20

极性微结构电磁特性及其动力学研究

张溢*

中山大学

钙钛矿氧化物由于具有晶格、电荷、轨道和自旋等多种可调序参量及其驱动的力-电-磁多场耦合效应, 受到广泛的关注。本报告中, 介绍了如何将高分辨透射电子显微镜与扫描探针显微镜、脉冲测试方法结合起来, 建立起更加紧密的极性微结构与性能的关系。基于发展的方法, 研究了铁电-绝缘体界面电磁特性、畴壁、缺陷及极性拓扑结构周围高局域电导特性及其调控; 基于高时空分辨原位透射电镜方法, 研究了铁电神经拟态器件中的畴动力学以及铁电负电容效应。

邀请报告

D11-21

离子注入驱动铁电材料相变及拓扑畴构建

陈德杨*

华南师范大学

离子注入是半导体材料改性和大规模集成电路制备的关键技术手段, 促进了超大规模集成电路的高速发展, 已发挥了三十多年的关键作用。然而, 量子效应的物理极限使得摩尔定律正在走向终结。因此, 迫切需要发展新型信息存储材料, 为未来超低功耗、超快读写、非易失信息存储器件的研发提供材料基础。铁电材料具备电场可逆操纵的铁电极化, 并且纳米尺度下保持铁电特性, 已成为备受关注的新一代信息存储材料。离子注入技术作为一种灵活的后处理工艺, 在铁电材料种引入可控缺陷, 有望调控其相结构转变, 构筑新型铁电畴, 提高铁电性能, 促进铁电材料在新一代信息技术核心材料与器件的研发。研究发现通过氢离子注入不仅能够调控铁电薄膜 BiFeO_3 的菱方-四方相变, 而且可以在薄膜中构建面内拓扑畴壁。这为铁电材料的结构-性能调控提供了新途径, 亦是构筑新型纳米铁电畴壁器件的关键前提条件。

邀请报告

D11-22

基于铁电纳米结构的拓扑畴构筑、畴壁导电增强及器件应用研究

田国*^{1,3}、义鑫¹、宋志庆¹、高兴森¹、刘俊明^{1,2}、戴吉岩³

1. 华南师范大学, 华南先进光电子研究院, 先进材料研究所
2. 南京大学, 固体微结构物理国家重点实验室
3. 香港理工大学, 应用物理系

铁电材料中的极化拓扑畴结构带来了诸如拓扑保护行为、导电特性增强、负微分电容等一系列新颖物性, 深入理解铁电拓扑畴构筑方式及其微观物性调控规律有望为后摩尔时代信息技术带来新的器件设计方

案。本工作在铁酸铋纳米结构中引入挠曲电效应与材料中的电荷协同作用，构筑大面积有序排列的中心型拓扑畴结构阵列。利用扫描探针显微镜对铁电拓扑畴及其畴壁导电增强特性进行观测与调控，实现高/低电阻态的可逆切换。利用微纳加工技术在单个铁电纳米岛上原位设计顶电极，构筑完整的存储器件单元，探索基于拓扑畴的电子器件应用潜力。

口头报告

D11-23

Hierarchic polar topological structure in PbTiO₃ nano-islands

Luyong Zhang^{1,2}, Xingsen Gao², Peng Gao^{*3}

1. Department of Materials Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, People's Republic of China
2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Quantum Engineering and Quantum Materials and Institute for Advanced Materials, South China Academy of Advanced Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou 510006, China.
3. Electron Microscopy Laboratory, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China.

Exotic ferroelectric topological domains have attracted intensive research interests in recent years, due to their unique properties and potential application for nanoelectronic devices. Here, we demonstrate a stable and large area topological domain patterns in a ferroelectric-ferroelastic size confined nanoscale system, e.g., in epitaxial PbTiO₃ (PTO) nanoislands. Using piezoresponse force microscopy (PFM) and transmission electron microscopy (TEM) techniques, it is revealed that the PTO nano-islands exhibit distinct hierarchic center-type quadrant textures, wherein each quadrant is consisting of 90° a1/a2 superdomains, and the net polarization of which points towards the center. The formation of such complex topological domains can be attributed to the synergic effects of interfacial bias, ferroelastic strain, and the proper screening of depolarization field. Besides, these domains can also be well tunable by applying scanning probe bias, interfacial layer, as well as thermionic excitation. This work may provide new possibility for design various complicated topological structure and exploit novel functionalities and applications potentials.

邀请报告

D11-24

压电薄膜生长与无源无线 SAW 表面波传感器件应用研究

柯晴青*

The School of Microelectronics Science and Technology, Sun Yat-Sen University

声表面波(SAW)是一种在固体浅表面传播的弹性波，SAW 传感器是电子技术与材料科学相结合的产物。由于 SAW 传感器具有非接触、快速、无电源、抗干扰、易编码、保密性好、成本低等优点，目前已广泛应用于许多领域。同时，SAW 传感器也朝着更高精度更智能化等发展趋势发展。压电薄膜是制备 SAW 传感器的核心材料。在本工作中，研究团队采用磁控溅射、旋涂、喷涂等方式开发了一系列压电薄膜材料，如 AlScN、ZnO、PVDF-TrFE 等。在此基础上研发了一系列柔性、原位等 SAW 传感器。以 ZnO/PI 基柔性 SAW 传感器为例，研发的传感器可以同时实现应变与温度的双参数监控：其中应变灵敏度可以达到 1330 Hz/ $\mu\epsilon$ ，大应变监测范围达到~3000 $\mu\epsilon$ ，同时传感器还可以实现在 20°C-90°C 温度测量范围，TCF 为 -207.3 ppm/K 的温度检测。该研究作为电力、电池、大型构件的结构健康监测提供了灵活的测试手段。

邀请报告

D11-25

压电陶瓷相界设计与畴结构调控的共性影响机制研究

严康*¹、王芳芳²

1. 南京航空航天大学

2. 南京理工大学

作为经典的钙钛矿结构铁电体，钛锆酸铅（PZT）与钛酸钡（BT）压电陶瓷，因具有优异的铁电、压电、介电性能，已成为现代电子元器件的核心材料之一，被广泛应用于铁电存储、压电换能、介电储能等关键领域。然而，随着智能化社会的快速发展，现代高精尖智能设备对压电材料提出了高效、环保的应用需求。因此，无论是无铅还是含铅压电材料，如何不断地提升压电性能，是新型压电材料研制的共性课题。目前，优化压电性能的策略主要有两个方面：其一，基于高性能 PZT 中发现的准同型相界（MPB）理论，通过化学组成调控，设计亚稳态相结构，可实现提升压电性能的目的。其二，基于工程技术层面的材料制备技术的优化，调控材料的微结构，实现相同组成材料的压电性能提升。如电畴工程，陶瓷晶粒细化，界面应力设计等优化手段。不难看出，化学组成调控与制备工程技术手段，这两类看似完全不同策略却具有相似地优化压电性能效果。可见，如何理解二者之间的异同点，是开发高性能压电材料的关键，其关键影响机制值得探索。

本工作开展了 R/T 型 MPB 相界设计与电畴结构调控对陶瓷压电性能的影响机制对比研究。首先，我们设计制备，及对比研究了两类化学组成相似，但压电性能差异显著的高、低性能 MPB 相结构。阐明了不同压电材料体系中 MPB 效应存在显著差异的本征原因。同时，通过分析高、低性能 MPB 的微观畴结构差异，发现了高、低性能 MPB 微观结构差异对压电性能提升的影响。其次，陶瓷畴结构调控研究方面，基于我们前期的一系列无铅压电陶瓷微观结构研究结果，总结分析了压电陶瓷电畴结构的调控对压电性能的影响规律。证实了，仅基于工程技术手段优化，就可实现对压电陶瓷的电畴结构调控，进而实现压电性能的提升。最后，对比上述两类工作中陶瓷畴结构的变化及对压电性能的影响，从铁电材料本征极性电偶极子的特性调控（畴尺寸，有序化、极性占比）层面，探讨了压电材料的电畴结构分类、形态变化、形成机制对压电陶瓷的压电、铁电、介电性能的不同贡献。我们的研究表明，在微电畴结构层面，MPB 相界设计与电畴工程对压电陶瓷的压电性能提升的贡献，是对铁电体电畴参数，尺寸、有序度、极性占的不同层次调控，电畴的细化、有序化和极性占比的提升是压电性能提升的本征微观结构机制。

邀请报告

D11-26

低温共烧陶瓷(LTCC)材料与集成传感器研究

马名生*

中国科学院上海硅酸盐研究所

低温共烧陶瓷（LTCC）作为无源集成的主流技术，易于实现三维敏感结构与功能电路的集成，并且具有陶瓷固有的耐高温、耐腐蚀和高可靠性，是实现感知/通讯一体化集成的陶瓷基微机电系统（C-MEMS）的理想途径。本研究针对锂电池内部状态监测、飞机大气数据采集系统和海洋水文环境测量系统等特种需求，开展了从 LTCC 材料到集成器件的全链条创新研究，设计制备出了系列新型 LTCC 介质材料，相关专利技术实现高价值转化；获得了 LTCC 气体、液体、距离以及压力/温度集成传感器，相关论文入选 ESI 高被引论文；研制新型 LTCC 介质材料和集成传感器在多个重要工程中获得应用，解决了关键材料和器件的国产化问题。

邀请报告

D11-27

Emergent functionalities at symmetry-engineered oxide interfaces

Hangbo Zhang, Ming-Min Yang*

Hefei National Laboratory

The interfaces between two dissimilar materials can often give rise to unexpected functionalities, providing fertile new ground for research in the field of condensed matter physics. In this talk, I will introduce our symmetry-engineering strategy to induce two fundamental properties that universally exist at oxide interfaces, namely Berry curvature dipole [1] and the auxetic piezoelectric effect [2-3]. At the 2DEG conducting interfaces between LaAlO_3 and high-index-facet (e.g., (112)) SrTiO_3 , the in-plane mirror symmetry is broken, and a low symmetry (e.g., Cs point group) interface is achieved, satisfying the symmetry constraint of the Berry curvature dipole in two-dimensional systems. Consequently, a giant room-temperature nonlinear Hall effect can manifest and can be easily controlled via external electrical stimuli. Meanwhile, in insulating interfaces like the Schottky junctions, the inherent inversion symmetry therein induces the piezoelectric effect that enables the conversion between electricity and mechanical energy. By further controlling the interface symmetry via crystal orientation, a new phenomenon termed the auxetic piezoelectric effect emerges. This new effect can induce simultaneous expansion or constriction in both longitudinal and transverse directions upon the application of electric field. Our work opens avenues for exploring nonlinear transport and electro-mechanical energy harvesting in oxide materials via symmetry engineering.

口头报告

D11-28

延迟 $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$ 基陶瓷热退极化的新型复合方法构建

郑华山、孙恩伟*、杨彬、曹文武

哈尔滨工业大学

钛酸铋钠($\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$, BNT)基体系是一种典型的弛豫铁电材料, 优异的电学性能和环保性使其受到广泛关注。尤其, BNT 基陶瓷在高振动速度下展示出比 PZT 陶瓷更稳定的机电性能, 这使其成为功率超声领域最具竞争力的替代品。然而, 较低的退极化温度(T_d)限制了该材料的使用温度, 阻碍了它在功率超声换能器中的发展和应用。构建 0-3 复合结构是提高 BNT 基陶瓷 T_d 的有效方法。复合相和陶瓷矩阵之间的热膨胀系数不匹配可导致两者界面处产生残余热应力, 这稳定了铁电相并抑制热退极化行为。基于这种机制, 本文将金属银(Ag)引入代表性的 $0.78\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-}22\text{Bi}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{TiO}_3$ (BNT-22BKT)陶瓷中, 成功构建了一种新型钙钛矿/金属复合陶瓷。Ag 的热膨胀系数为 $22.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, 是 BNT 体系的 2-3 倍, 如此大的差异有助于进一步提高退极化温度。研究表明, 复合相 Ag 的加入诱导弛豫相 $P4bm$ 转变为长程铁电相 $R3c$, 并因此增加了铁电畴尺寸。更稳定的相结构和更大的畴尺寸延迟了热退极化行为, 使 BNT-22BKT/xAg 陶瓷的 T_d 由 105°C 提高至 166°C 。此外, 该复合方案还具有机电硬化效应, 降低介电损耗的同时, 机械品质因数增大近两倍, 这有助于功率型超声设备的应用。相较于传统的 BNT/氧化物复合陶瓷, 该复合方案避免了掺杂离子进入晶格带来的其他效应, 同时显示出更高的退极化温度和压电性能, 为研制高性能压电陶瓷提供了一种可行的途径。

邀请报告

D11-29

无铋 ZnO 基电压敏陶瓷研究

陈浩贤, 田甜, 郑嘹赢, 满振勇, 李国荣*

ZnO-Bi₂O₃ 基电压敏陶瓷具有优异的电压-电流非线性特性、并能耐高电压下大电流的冲击能力，在电子和电力系统的过电压保护领域有着广泛的应用。ZnO-Bi₂O₃ 基压敏电阻通常由 ZnO 粉体和其他各种添加物混合粉末制备，其中，氧化铋(Bi₂O₃)是制备高非线性电阻系数的关键材料，但是，该材料的价格贵，另外，Bi 与金属钡在高温 1000°C 反应，不利于制备在高温下烧结高性能多层片式电压敏陶瓷。因此，有研究者探索了氧化镨(Pr₆O₁₁)和氧化钒(V₂O₅)制备 ZnO-Pr₆O₁₁ 基和 Zn-V₂O₅ 基电压敏陶瓷，但是，在价格和性能上仍然存在一定的限制。因此，探索无 Bi 的 ZnO 基电压敏陶瓷是学术和工业界普遍关注的问题。在前期对 Zn-Ba 基和 ZnO-BaO 基电压敏研究的基础上，本报告研究了无铋 ZnO-Sr 基电压敏陶瓷。采用传统的固态方法制备了掺锶 ZnO 压敏电阻，并对其进行了系统的研究。Sr 掺杂后，样品表现出非线性 E-J 特性，最大非线性系数为 6.3。结构和形态特征表明 Sr 在晶界处偏析，这与晶间相的形成有关。通过与晶界效应和氧空位相关的介电弛豫来解释电模量和阻抗谱。同时，晶界电阻的增加也可能受到 Sr 掺杂的影响。这些详细的研究显示了 Sr 掺杂 ZnO 陶瓷的具有制备高性能电压敏陶瓷的潜力，并为制备新型 ZnO 基压敏电阻器提供了指导。

邀请报告

D11-30

强关联电子相变氧化物材料与器件

周轩弛*、许小红

山西师范大学

强关联氧化物中电荷、晶格、轨道及自旋等自由度间的关联、耦合与重构，使其材料体系中衍生出丰富的新奇物性和功能特性，如金属-绝缘体转变、超导转变及多铁性等。不同于基于传统半导体构筑的 NTC 热敏电阻材料，具有金属-绝缘体转变特性的强关联氧化物在相变温度处展现出由临界温度触发的物性突变。随着我国及欧美发达国家不断提升在两极、两地、深海及深空的战略布局，发展可适用于宽温域等极端环境的敏感电子器件迫在眉睫。本报告将详细介绍本课题组近年来在强关联氧化物电子相变特性设计及多场调控方面的研究进展。我们基于氢化、化学掺杂、应力工程等多物理参量实现对强关联氧化物电子相变特性的可逆调控，其电子相变温度在 250-340 K 的宽温域内高度可调，并发现源于非平衡态的新型电子相变特性。基于此，我们进一步提出放电等离子体辅助的非平衡反应烧结方法，实现基于电子相变氧化物的敏感电阻器件的可控制备。我们期望利用多物理场作用进一步探索强关联电子相变氧化物材料体系中的新物性、新物理和新应用，为构筑新型关联电子器件奠定基础。

邀请报告

D11-31

LaTiO₃/SrTiO₃(110)和 EuTiO₃/SrTiO₃(110)异质结界面电子气

Renkui (仁奎) Zheng (郑) *

Guangzhou University

High-quality LaTiO₃ (LTO) and EuTiO₃ (ETO) antiferromagnetic insulator thin films were deposited onto SrTiO₃ (STO) (110) single-crystal substrates by the pulsed laser deposition technique. The LTO/STO heterostructure is not only highly conductive, but also shows Kondo effect, Shubnikov-de Haas (SdH) oscillation, low-field hysteresis negative magnetoresistance and magnetic hysteresis loop. Angle-dependent SdH oscillation measurements and calculation of the thickness of the interfacial conductive layer show that a high mobility two-dimensional electron gas (2DEG) layer with a thickness of about 4 nm is formed at the interface. A

surprisingly high low-field negative magnetoresistance of 61.8% was observed at 1.8 K and 200 Oe magnetic fields, which is 1-2 orders of magnitude higher than the negative magnetoresistance observed in other spin-polarized 2DEG oxide systems. These results indicate that the interfacial 2DEG is a spin-polarized, and the 4-nm thick interface layer is ferromagnetism, which are attributed to oxygen vacancies formed at the STO-side interface and the charge transfer of LTO 3d electrons to the STO 3d empty orbital, resulting in the appearance of magnetic Ti^{3+} ions at the interface layer. Under the application of magnetic fields, the local magnetic moment of Ti^{3+} ion is coupled to the itinerant electrons with high mobility, resulting in the observed low field negative magnetoresistance effect. The ETO/STO heterostructure also shows high conductivity, SdH oscillation, and low-field hysteresis negative magnetoresistance (58%), indicating that the presence of spin-polarized electron gas at the interface.

口头报告

D11-32

氮元素掺杂对氧化锌压敏电阻微区结构与电学性能的研究

王静^{*1}、闫盼¹、卢振亚²

1. 郑州大学
2. 华南理工大学

ZnO 基压敏陶瓷具有优异的电压非线性 I-V 特性及高脉冲电流吸纳能力,作为瞬态过压保护器件广泛地应用于电子线路、电力系统中。但现有技术制造的产品脉冲承受能力和长期负荷可靠性仍存在问题,导致实际应用时还时常会发生爆燃事故。为了减免此类事故、满足微型化、片式化的发展趋势,必须提高氧化锌压敏陶瓷材料的吸能密度、寿命特性以及脉冲能量耐受密度。研究生产工艺、掺杂等对氧化锌压敏陶瓷材料的电学性能,尤其是脉冲电流特性的影响具有重要科研价值和工程意义。首先,通过调控烧结气氛中氧气/氮气的比例,研究氮氧元素与的 ZnO 压敏陶瓷材料电性能的关联性,并探索晶体结构缺陷浓度对其导电机制的影响发现:适当比例氮气气氛有益于氧化锌脉冲性能提升;然后,综合运用 HRTEM、SEM+EBSD、介电谱和脉冲电特性等测试技术,探究固态氮源 C_3N_4 掺杂对 ZnO 基压敏陶瓷材料的微区晶界处结构、取向、成分及其介电、压敏特性的影响,阐释 C_3N_4 掺杂对 ZnO 基压敏陶瓷材料晶界特性的影响机制,建立晶界处微区结构、组分与宏观电学性能之间的构效关系。研究 ZnO 基压敏陶瓷材料缺陷演变动力学以及晶界势垒电荷运输的导电机制,对揭示复合缺陷影响的界面态特性和晶界势垒模型,进而指导其工程应用具有重要意义。

口头报告

D11-33

预拉伸对于三维石墨烯泡沫电输运性质的调控

郭淑婷、邹芳鑫*
香港理工大学

三维石墨烯泡沫,由于其快速电子传输能力、高机械柔韧性等特点,被广泛应用于柔性电子器件中。本研究着眼于石墨烯泡沫在不同预拉伸水平下的温度与电阻率的关系($\rho(T)$)。实验结果显示,随着预拉伸水平的增加, $\rho(T)$ 会发生相应的变化,这表明石墨烯泡沫的电输运性质被预拉伸所调控。考虑到石墨烯泡沫本质上是由相互连接的多晶石墨烯区域组成,本研究通过建立一个导电网络模型,解释了实验观测到的 $\rho(T)$ 及其变化规律。该模型包含了石墨烯晶区内的热激发电传导与声子限制电传导,以及相邻晶区之间的隧穿电传导。通过将实验测得的 $\rho(T)$ 拟合到模型中并分析每个电传导组分的电阻变化,本研究探索了预拉伸对于石墨烯泡沫电输运性质的可调控性。此现象可归因于预拉伸诱导的石墨烯结构局部应变和导电网

络结构变化, 以及两者的协同作用。本研究的结果可以为以石墨烯泡沫为基础的柔性电子器件的电输运性质调控及优化提供了有价值的见解。

口头报告

D11-34

Re(Nb_{1-x}Ta_x)₂O₆ 的微波介电性能及熵调控强化其机械性能研究

袁琦、王森*

辽宁科技大学

微波介质陶瓷 (MWDCs) 在极端条件下应用时, 容易产生机械破坏, 改善 MWDCs 的机械性能具有一定研究意义。采用固相反应法制备了新型高熵 Re(Nb_{1-x}Ta_x)₂O₆ (Re=Mg_{0.2}Mn_{0.2}Co_{0.2}Ni_{0.2}Zn_{0.2}) 陶瓷, 并研究了高熵策略对 Re(Nb_{1-x}Ta_x)₂O₆ 陶瓷微波介电及机械性能的影响。通过 X 射线衍射结果可知, 本研究成功制备出 Re(Nb_{1-x}Ta_x)₂O₆ 一系列单相及两种纯相复合固溶体。当 Ta⁵⁺ 含量为 0.75 时, ReNb₂O₆ 和 ReTa₂O₆ 两相共存。通过 SEM 发现, 晶粒尺寸随 Ta⁵⁺ 含量的增加而增大, 结合 EDS 能谱分析, 各元素分布均匀无团聚现象。Ta⁵⁺ 取代 Nb⁵⁺ 改善其谐振频率温度系数 (τ_f), 并提高机械性能。

口头报告

D11-35

Flexible temperature-pressure dual sensor based on 3D spiral thermoelectric Bi₂Te₃ films

Hailong Yu^{1,2}, zhenqing Hu^{1,2}, Juan He^{1,2}, yang Zhao^{1,2}, zhi Yu^{1,2}, kaiping Tai^{*1,2}

1. School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology of China, Shenyang, 110016, China 2. Shenyang National Laboratory for Materials Science, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, 110016, China
2. Shenyang National Laboratory for Materials Science, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, 110016, China

Dual-parameter pressure-temperature sensors are widely employed in personal health monitoring and robots to detect external signals. Herein, we develop a flexible composite dual-parameter pressure-temperature sensor based on three-dimensional (3D) spiral thermoelectric Bi₂Te₃ films. The film has a (0001) texture and good flexibility, exhibiting a maximum Seebeck coefficient of -181 $\mu\text{V K}^{-1}$ and piezoresistance gauge factor of approximately -9.2. The device demonstrates a record-high temperature-sensing performance with a high sensing sensitivity (-426.4 $\mu\text{V K}^{-1}$) and rapid response time (~ 0.95 s), which are better than those observed in most previous studies. In addition, owing to the piezoresistive effect in the Bi₂Te₃ film, the 3D spiral device exhibits significant pressure-response properties with a pressure-sensing sensitivity of $1.2 \times 10^{-4} \text{ kPa}^{-1}$. This innovative approach achieves high-performance dual-parameter sensing using one kind of material with high flexibility, providing insight into the design and fabrication of many applications, such as e-skin.

邀请报告

D11-36

反铁电 AgNbO₃ 钙钛矿的高选择性电催化产双氧水

黄海涛

香港理工大学应用物理系

具有 ABO_3 钙钛矿结构的铁电材料被广泛地应用于自发极化驱动的压电催化和热释电催化。我们在前期的工作中也在 BiFeO_3 纳米片上实现了压电催化产氢，并利用金属表面等离子激元的局域热效应极大地加速了 BaTiO_3 纳米颗粒的热释电催化产氢。对于钙钛矿材料而言，其特殊的晶体结构也可以对电催化的选择性产生影响。理论上而言，A 位限域的钙钛矿晶格（A 位可视为被 B-O 组成的八面体原子级别地孤立于钙钛矿晶格中）符合构筑孤立活性位点用于电催化氧还原选择性合成双氧水的条件，但该假设尚缺乏科学论证。为了排除自发极化对实验结果的干扰，我们以反铁电 AgNbO_3 钙钛矿为模型验证该假设。通过采用电化学氧化方法拆解除去钙钛矿表面的非理想结构，使得钙钛矿结构的 AgNbO_3 晶格得以暴露，该过程被原位液相电化学透射电子显微镜（TEM）揭示。电化学测试结果表明，新鲜暴露的 AgNbO_3 钙钛矿晶格对氧还原产双氧水表现出高达 96% 的选择性，在电解槽 250 mA 大电流下稳定运行 72 小时。结合第一性原理计算和原位拉曼、红外光谱技术，确定了 AgNbO_3 中孤立的 Ag 位点是选择性产双氧水的活性位点。

邀请报告

D11-37

Giant electrocaloric strength produced by polarization flip in PMN-PT single crystals and Enhanced energy-storage density in $(\text{Pb}_{0.98}\text{La}_{0.02})(\text{Zr}_{0.45-x}\text{Sn}_{0.55}\text{Hf}_x)_{0.995}\text{O}_3$ antiferroelectric ceramics

Shengguo Lu*, Shibin Wang, Weiqiu Li, Yuliang Yu, Chao Yu
Guangdong University of Technology

Electrocaloric effect (ECE) of $[110]$ and $[111]$ oriented PMN-PT single crystals were studied in the temperature range of 293-423 K. The Maxwell relations and Landau-Ginsburg-Devonshire (LGD) phenomenological theory were employed as the indirect method to calculate the electrocaloric properties, while a high resolution calorimeter was used to measure the adiabatic temperature change of electrocaloric effect directly. The results indicate that the directly measured temperature changes of $\Delta T > 2.5$ K at room temperature were procured when the applied electric field was reversed from 0 to -1 MV/m, which are > 4 times larger than that with electric changes from 1 MV/m to 0, and also larger than those calculated pursuant to the Maxwell relation, and the LGD theory in the temperature range of 293 – ~380 K. A giant electrocaloric strength of 2.5 K/(MV/m) was obtained. In addition, $(\text{Pb}_{0.98}\text{La}_{0.02})(\text{Zr}_{0.45-x}\text{Sn}_{0.55}\text{Hf}_x)_{0.995}\text{O}_3$ (PLZSH) antiferroelectric ceramics with $x=0\sim 0.20$ were prepared via a conventional solid-state reaction approach. Incommensurate modulation structure with a $1/n<110>$ superlattice was observed in AFE at room temperature, which was associated with the unique domain boundaries, contributing to the obvious declined AFE-FE phase transition electric field as well as the enhanced energy storage density. It was also observed that the maximum recoverable energy storage density (W_{rec}) increases from 2.93 J/cm^3 ($x=0$) to 5.72 J/cm^3 ($x=0.15$), and the corresponding energy-storage efficiency uprises from 82.4 % to 87.8 % with the increasing x at 280 kV/cm. The superior energy density and efficiency indicate that the obtained PLZSH antiferroelectric ceramics are promising for practical applications in pulsed power devices.

邀请报告

D11-38

高能射线辐照：一种可调控功能材料晶格与缺陷的后处理方法

孟德超*

中国工程物理研究院电子工程研究所
中国工程物理研究院微系统与太赫兹研究中心

晶格与缺陷是影响功能材料宏观物性的重要因素，如何实现其有效调控，不仅是功能材料构效关系建立的

前提,更是推动高性能、新奇物性材料研发及工程应用的基础。目前常用的晶格和缺陷手段主要包括化学掺杂、界面工程等材料制备方法(in-synthesis),以及基于金刚石对顶砧的高压后处理手段(post-synthesis)。类比高压科学,本文提出一种相似的高自由度、通用性、乃至可实现批量化的后处理手段,即伽马射线辐照,并将其尝试应用到多种过渡金属氧化物材料中,包括锆钛酸铅(PZT)、锰酸锶镧(LSMO)、氧化钇锆(YSZ)等材料体系,实现了在原有构效关系研究之外的新的调控维度。本报告将重点汇报 PZT 辐照内容,主要包括伽马射线辐照对体相与界面处晶格、缺陷、物性的多重调控机制,进一步,我们通过结合界面工程和辐照处理实现了 PZT 铁电性质的大幅提升。

口头报告

D11-39

热处理对 BTO-PVDF 纳米复合薄膜介电性能和储能性能的影响

孙婷

西华大学材料科学与工程学院

为进一步提高陶瓷-聚合物纳米复合材料的介电常数和能量储存能力、降低其介电损耗,采用旋涂法制备 30 vol% BaTiO₃ (BTO)纳米颗粒和聚偏氟乙烯(PVDF)纳米复合膜,膜厚均匀约为 7μm,后对其进行淬火。结果表明随着淬火温度的升高,纳米复合膜的介电常数在 100 Hz 时减小;在 100°C空气中淬火后,BTO-PVDF 纳米复合膜的介电常数为 75.4,比未淬火膜的介电常数高 21.4%。薄膜的击穿强度随淬火温度的升高而增大,在 160°C时分别达到最大值 1400KV/cm 和 1600 KV/cm。在 140°C时,液氮淬火膜的击穿强度最高可达 1600 KV/cm。随着淬火温度的升高,BTO-PVDF 纳米复合膜的充电密度呈现先增大后减小的趋势,在 140°C时达到最大值 11.165 J/cm³,比未淬火膜提高了 146%。因此热处理将是提高陶瓷-聚合物纳米复合薄膜介电性能和储能性能的一种有效方法。

口头报告

D11-40

熵效应驱动下动态掺杂 n 型 PbSe 的热电性能优化

吴淑洁、陈飞达*

南京航空航天大学

作为中温区优异热电材料 PbTe 的替代者,PbSe 具有极大的应用潜力。协同优化电热输运性质是提升热电性能的关键。本工作基于优化后的动态掺杂体系成功合成了一系列熵增 n 型铅硫族化合物 Pb_{1-y}SnySe_{1-x}TexS_{x-2at%}Cu (x=0.1, 0.25, y=0; x=0.25, y=0.125),通过合金化 Te/S/Sn 逐步增大 PbSe 的构型熵来调控电子和声子传输特性。研究表明,构型熵增加提高了 PbSe 的晶体对称稳定性,显著增大了塞贝克系数,同时维持了较好的电学性能。同时,高熵效应产生的大量晶格畸变和缺陷结构驱使声子局域化,有效抑制了声子传播,增加了非谐波性,最低总热导率由 1.17 W m⁻¹ K⁻¹ 降低至 0.68 W m⁻¹ K⁻¹,室温热导率显著下降了 69.8%,晶格热导率也降低至 0.73W m⁻¹ K⁻¹。在电热输运性质的综合作用下,高熵样品 Pb_{0.875}Sn_{0.125}Se_{0.5}Te_{0.25}S_{0.25}-2at%Cu 的热电性能显著提升,在 623K 下获得了最大 ZT 值为 1.46,300-700K 下的平均 ZT 值为 1.15。此外,室温 ZT~0.64 达到了 n 型 PbSe 已报道的最高水平。本工作提出了一种将熵工程与动态掺杂结合调控电子和声子输运的优化策略,展示了一种提高热电材料性能的可行手段。

闪报

D11-41

(1-x)BaTiO₃-xBi(Mg_{0.25}Zn_{0.25}Ti_{0.5})O₃ 弛豫铁电陶瓷的介电储能性能研究

陈珂羽、张建军*

西华大学

介电陶瓷具有温度稳定性好和循环寿命长的优点，是制备脉冲功率储能电容器的优秀候选材料。然而，储能密度较低、储能效率不高、击穿电场强度低等限制了其应用。面对资源能源和生态环境的强约束，发展无铅高储能性能材料迫在眉睫。为了提高储能性能，本研究以 BaTiO₃ (BTO) 为研究对象，采用掺杂改性的方式，通过向 BaTiO₃ 中掺杂不同含量的 Bi(Mg_{0.25}Zn_{0.25}Ti_{0.5})O₃，制备了 (1-x) BaTiO₃ - x Bi(Mg_{0.25}Zn_{0.25}Ti_{0.5})O₃ 弛豫铁电陶瓷 (x=0、0.06、0.12、0.20)，并对所得产物的结构和性能进行了系列研究。具体研究如下：

通过高温固相法备了 (1-x) BTO - x BMZT (x=0、0.06、0.12、0.20) 陶瓷，X 射线衍射结果表明：在 x = 0.06、0.12、0.20 的组分中，BMZT 掺杂物完全固溶进入 BTO 晶格中，形成了单一的钙钛矿结构。其中，所有组分在 45° 左右均为单衍射峰，属于立方相，且随掺杂量的增加向右偏移，这是由于较大离子半径的 Bi³⁺ 和 (Mg_{0.25}Zn_{0.25}Ti_{0.5})³⁺ 分别取代 BTO 的 A 位和 B 位，晶胞体积增大。通过相同烧结温度下的扫描电镜图可以观察到，随着 BMZT 掺杂量的增加，晶粒尺寸先减少后增大，平均晶粒尺寸由 x = 0 时的 2.06 μm 减小到 x = 0.12 时的 0.62 μm，BMZT 的添加可以有效降低 BTO 的最佳烧结温度。BMZT 的掺杂量 x = 0.12 时获得最佳介电性能，介电常数为 1917.85，介电损耗为 0.0054，相较纯相 BTO (x = 0) 的介电性能（介电常数为 1693.89，介电损耗为 0.015）有较大提升。通过电滞回线 (P-E 曲线) 得到，随着 BMZT 掺杂量的增加，电滞回线变得更加“纤细”和“线性”，由铁电体转变为弛豫铁电体。当 x = 0.12 时储能陶瓷具有最佳的能量存储性能，最大击穿电场为 66 kV/cm，储能密度为 0.245 J/cm³，能量存储效率为 87.5%，相较纯相 BTO (x = 0) 的储能性能（最大击穿电场为 60 kV/cm，储能密度为 0.197 J/cm³，能量存储效率为 35.7%）在能量存储效率方面有较大提升。同时，x = 0.12 时陶瓷在外加电场 40 kV/cm，1 Hz 至 50 Hz 的频率范围、30 °C 到 90 °C 的温度范围内，可回复能量存储密度和储能效率值的变化小，展现出良好的频率稳定性和温度稳定性。

邀请报告**D11-42****集成电路先进背部供电网络关键互连材料与成形工艺研究**

冯波*

湖南大学粤港澳大湾区创新研究院（广州-增城）

晶体管发明后 77 年的今天，前道工艺 (FEOL) 中晶体管形态的演变和特征尺寸的缩放逐渐逼近物理极限，如 FinFET、GAA、Forksheet 和 CFET 等。与此同时，集成电路中道 (MOL)、后道 (BEOL) 及封装技术的创新对芯片 PPAC 的优化尤为重要。背部供电网络 (BSPDN) 将供电模块和信号互连线分开并移至晶圆背面，能有效缓解传统正面供电技术中的 IR-Drop 和功耗问题，降低 BEOL 设计复杂度，为后摩尔时代芯片的微缩提供新的解决方案。本文聚集 BSPDN 芯片开发过程中的关键材料、工艺和集成挑战，

(1) 基于 ALD 技术，采用 Ru 金属有机前驱体和 O₂ 反应，成功制备粗糙度和电阻率低至 0.805 nm 和 ~15 μΩcm 的 Ru 金属薄膜，为进入“互连 3.0”时代奠定基础；(2) 开发 Ru-nanoTSV 成套工艺，获得关键尺寸 (CD) ~30 nm，深宽比 (AR) ~15 的高密度 nanoTSV 阵列，并实现 Ru 金属的高质量填充 (无 Void)；(3) 提出高良率和低电阻率的 Ru 金属回蚀刻工艺，实现埋入式电源轨 (BPR) 的有效集成；(4) 开发极端减薄工艺 (Si ~500 nm)，并提出高精度嵌套集成方案，实现 BPR 和 nanoTSV-middle 的高精度集成 (误差 <10 nm) 和背部突出互连；(5) 开发新型低温氧化技术，实现 BPR 和 nanoTSV-last 在体硅内的低电阻率互连 (Line resistance <20 Ω/μm)，为 BSPDN 的自主开发提供新的工艺路线和技术支撑。

邀请报告

D11-43

高性能 InP 基光电探测器的研究

金运姜*

中山大学电子与信息工程学院

随着通信技术的发展,对基础电子的要求也越来越高,具备超大带宽、高响应度及高饱和特性的光电探测器是满足未来高端通信技术需求的关键器件。单行载流子光电探测器(UTC-PD)只有电子作为唯一载流子,在高速探测和高饱和输出功率等方面展现优异的综合性能。课题组通过器件设计、工艺、散热等方面的优化,实现了带宽 12GHz,射频输出功率 26dBm 的高功率探测器。此外,高性能单片集成硅基 InP 探测器一直以来都是国内外的研究难点,关键因素之一就是缺乏大尺寸高质量 InP/Si 异质集成平台。针对这一挑战,我们基于有机化学气相沉积(MOCVD)方法,实现了大尺寸高质量侧向 InP 晶体薄膜的外延,为设计和实现新型硅基 III-V 光电器件提供了集成平台。

口头报告

D11-44

基于碳纳米管薄膜的 TEM 原位加热芯片

赵中远、魏洋*

清华大学

低维纳米材料所具有的特殊而优异的性能使它们有望集成到高性能微机电系统中。在这里,我们介绍一种基于碳纳米管薄膜的原位 TEM 微加热芯片,交叉堆叠的超顺排碳纳米管(SACNT)薄膜电阻器通过范德华(vdW)相互作用贴附在悬空的 SiNx 膜上,利用焦耳热效应,在 TEM 下可以实现加热过程的原位观测。归因于碳纳米管材料的微纳结构,碳纳米管微加热芯片具有快速高温响应和低功耗的特点。此外,得益于 CNT 与 SiNx 膜之间的弱范德华相互作用,在 800 °C 时膜的凸起效应被大大抑制,仅为约 100 nm。在自主开发的温度控制系统的帮助下,使用该加热芯片成功对 Sn 熔化过程进行了原位观测。均匀的晶圆级碳纳米管薄膜能保证这种芯片的高度一致性和低成本批量生产。该原位芯片及相关技术为纳米科学、材料科学和电化学领域提供了有力的研究平台。

口头报告

D11-45

电磁定向结晶法制备 MnSi_{1.73}、FeSi₂ 合金、Mn-Si-Fe 三元共晶合金及热电性能研究

龚哲*

昆明理工大学

由于热电(TE)材料能将废热转化为电能,对节约能源十分重要。因此热电材料被广泛研究,并应用到许多科技领域。本研究首先通过电磁定向结晶方法分离 Si-Mn、Si-Fe 熔体制备 MnSi_{1.73}、FeSi₂ 合金,并测试合金热电性能。然后,为了将 MnSi_{1.73}、FeSi₂ 两种热电材料结合,依据 Mn-Si-Fe 三元合金相图,选取 Mn_{22.1}Fe_{10.8}Si_{67.1}(at.%)成分点,通过电磁定向结晶分离熔体,得到 Mn-Si-Fe 共晶合金,并测试其热电性能。通过电磁定向结晶分别制备了 MnSi_{1.73}、FeSi₂ 合金、Mn_{21.3}Fe_{10.1}Si_{68.6}(at.%)共晶合金,为制备多元热电材料提供了一种有效的方法。

口头报告

D11-46

Enhanced thermoelectric performance of $\text{Mg}_3\text{Sb}_2\text{-xBi}_x$ thermoelectric thin films through carrier concentration modulation by Bi alloying

Yijun Ran, Zhi Yu, Kaiping Tai*

IMR

Mg_3Sb_2 -based alloys exhibit promising characteristics as thermoelectric materials owing to their non-toxicity, low cost, abundance of earth constituent elements, and high thermoelectric performance. However, the thermoelectric performance of Mg_3Sb_2 -based films remains challenging due to their inherently low carrier concentration. To address this challenge, this work focuses on elevating the carrier concentration of $\text{Mg}_3\text{Sb}_2\text{-xBi}_x$ films via alloying Bi in Mg_3Sb_2 . The results demonstrate that the incorporation of the Bi element successfully increases the carrier concentration of $\text{Mg}_3\text{Sb}_2\text{-xBi}_x$ ($x=0, 0.5, 1.5$, and 2) films from 10^{16} cm^{-3} ($x=0$) to 10^{20} cm^{-3} ($x=2$). Furthermore, the introduction of Bi in $\text{Mg}_3\text{Sb}_2\text{-xBi}_x$ films suppresses the phonon transport by enhancing boundary scattering of phonon, leading to a decrease in thermal conductivity. Ultimately, the synergistic optimization drives the peak ZT value to 0.27 for $x=1.5$ in $\text{Mg}_3\text{Sb}_2\text{-xBi}_x$ at 525 K, which is more than seven times higher compared to the Mg_3Sb_2 thin film (ZT ~ 0.035 at 525 K). This work has improved the thermoelectric properties of Mg_3Sb_2 -based films, making an essential contribution to the advancement of Mg_3Sb_2 -based film materials in the field of Micro-thermoelectric devices.

闪报

D11-47

通过变形势调制和热变形工艺在 n 型 Bi_2Te_3 中实现了高热电致冷温差

张福东、杨祖培*

陕西师范大学

热电制冷技术可利用珀尔帖效应实现固态制冷，在包括人工智能和微芯片行业在内的诸多近室温热管理场景中具有广泛的应用潜力。对于热电材料而言，除了热电优值(ZT) 外，较大的功率因数(Power factor) 是产生最大致冷密度的主要因素。目前适合近室温热电致冷商业化的材料仍以 Bi_2Te_3 基合金为主。然而，目前限制 Bi_2Te_3 基器件冷却性能提升的主要原因在于 n 型 $\text{Bi}_2(\text{Te}, \text{Se})_3$ 的热电性能滞后于 p 型 $(\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{Te}_3$ 。在这项工作中，我们通过逐步施加 Cu, Nd 和热变形(giant hot deformation)调控工艺成功地在 n 型 $\text{Bi}_2\text{Te}_{3.7}\text{Se}_{0.3}$ 中实现了热电优值和功率因子的同步提升，并在 10-对热电冷却模拟模块中实现了最大冷却温差为 70 K (热端温度为 300 K)。

仅发表论文

D11-PO01

Ultrafast Synthesis of $[\text{Ca}_{24}\text{Al}_{28}\text{O}_{64}]^{4+}(4e^-)$ electride through Joule Heating

Xiao Luo, Peng Zhao*, Jiangjiang Li

Chang'an University

$[\text{Ca}_{24}\text{Al}_{28}\text{O}_{64}]^{4+}(4e^-)$ ($\text{C}_{12}\text{A}_7:e^-$) electride is a promising material for a variety of applications, including chemical catalysts, electron emission, and other fields. However, the conventional synthesis methods always are performed at a high temperature and take for tens of hours due to complicated multi-step preparation process and slow reaction dynamics, resulting in energy and time consumption, thus hindering its scale-up in industrial

applications. Herein, a “one-pot” Joule heating strategy is proposed for the ultrafast synthesis of $C_{12}A_7:e^-$ electride within seconds. The Joule heating process features rapid heating/cooling rate and fast reaction dynamics that is advantageous for reducing the energy and time consumption. The “one-pot” process can achieve an in-situ transformation of raw materials (CaO and Al_2O_3) to $C_{12}A_7:e^-$ electride. Meanwhile, the resulting $C_{12}A_7:e^-$ electride exhibits dense structure and good electrical conductivity. These results show that our strategy provides an efficient route for the ultrafast synthesis of high-quality $C_{12}A_7:e^-$ electride, which will facilitate its future industrial applications.

D11-PO02

Preparation of Carbon Nanomesh/Graphene-Enhanced Heat-Conductive Epoxy Composite Materials

Jian Li*, Yong Zhang, Mengyi Xu

Guangzhou Panyu polutechnic

As an essential component in electronic devices, polymers play a significant role in enhancing the performance and lifespan of electronic components through improved thermal conductivity. As a crucial electronic packaging material, it is highly necessary to enhance the thermal conductivity of epoxy resin. This study focuses on the preparation of 3D nanofibrous scaffolds through biosynthesis, further fabricating 3D carbon nanofibers as the thermal conductive skeleton. Through solvent dispersion of graphene/epoxy resin prepolymer vacuum impregnation and scaffold assembly, a 3D carbon nanofiber/graphene epoxy resin composite material is formed after post-curing. By optimizing the combination of 3D carbon nanofibers and graphene, it is expected to prepare a new electronic material with excellent thermal conductivity by leveraging the synergistic effect of graphene's short-range high thermal conductivity and the long-range heat flow channels of 3D carbon nanofibers.

D11-PO03

Sm_2O_3 - YF_3 对无压烧结氮化铝陶瓷性能的影响

贺逸轩¹、汪小红*¹、姜海²、吕文中¹

1. 华中科技大学
2. 宁波大学

采用新型二元烧结添加剂 Sm_2O_3 与 YF_3 通过无压烧结制备了结构致密、热导率和力学性能较优的 AlN 陶瓷。XRD 结果表明 AlN 陶瓷中的第二相为 $SmAlO_3$ ， Sm_2O_3 的引入促进了 AlN 的致密化、抑制晶粒生长并起到除氧作用。当 Sm_2O_3 为 5 wt% 时，热导率达到最高。相较于传统的烧结方法，两步烧结法不仅减少了陶瓷中的第二相，还促进第二相向三叉晶界分布，进而增加了 AlN 晶粒之间的接触，显著提高了热导率。与此同时第二相分布的变化可调控 AlN 陶瓷的抗弯强度。两步烧结的添加 6.5 wt% Sm_2O_3 -1 wt% YF_3 的 AlN 陶瓷综合性能最佳，其热导率为： $176.92 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ，弯曲强度为： 368.60 MPa 。