



第七届先进功能材料与原子力显微技术研讨会
暨2024微纳技术分会学术年会 (AFM² 2024)

会议手册

2024.11.8-10 | 中国·黄石





◆ 参会须知

1. 本会议手册为代表们提供了有关会议的相关信息，供参会时参考。未尽事宜、日程与议程变更及临时活动，请随时留意会务组发布的通知；
2. 出席会议、乘坐会议班车，请佩带参会证；
3. 请在会场内关闭手机等通讯工具，会场禁止吸烟，禁止大声喧哗；
4. 会议期间代表们自由活动所产生的交通等费用自理；
5. 会议代表凭房卡在酒店用早餐，凭会务组发放的餐券在指定地点用午餐和晚餐。餐券只能在会议指定的时间和地点使用，餐券遗失不补，结余券不退。如自行安排餐饮，则费用自理；
6. 会议期间请注意安全，请妥善保管好公、私财物；
7. 会议期间会场门口设置医疗保障点，如有身体不适，请与会务工作人员联系或及时到医疗点就医。
8. 如遇有其他紧急情况或特殊问题，请与会务工作人员联系。

◆ 联系方式

会议注册：孙富华18086164433	熊东彬15822953855	金 霞13597631163
会议报到：张勇军18258262052	马 祯15251835523	刘易斯18772289593
会期交通：王心宇13612924907	伍作徐13345871235	周建清15623239002
酒店住宿：张勇军18258262052	熊 欢18671469082	熊东彬15822953855
会议餐饮：刘 飞18907236609	殷婷婷13597659570	曹 涛13972769882
会场服务：曹 艺18086166905	李 中18186142650	林 静15072062980
会务统筹：杨 伦15850730461	刘美风15172099515	
黄石富力万达嘉华酒店：熊 欢18671469082		

大会秘书组邮箱 E-mail: sunfh@hbnu.edu.cn



◆会议简介

第七届先进功能材料与原子力显微技术研讨会暨2024微纳技术分会学术年会定于2024年11月8~10日在“青铜古都”黄石召开。本次会议旨在聚集学术界及工业界信息功能材料、先进能源材料以及原子力显微技术等学科领域的专家学者，交流思想、讨论问题、促进合作，深入研究先进的原子力显微方法和数据分析在信息功能材料、先进能源材料、生物体系中的应用，促进先进功能材料及应用的产学研深度融合，推动我国先进功能事业高质量发展。会议期间，还将举行中国硅酸盐学会微纳技术分会理事会。

◆会议主题

信息功能材料与器件、先进能源材料与器件、先进功能陶瓷材料与器件、低维材料与器件、新结构材料设计与表征、原子力显微技术及应用。

主办单位：中国硅酸盐学会微纳技术分会

承办单位：湖北师范大学光电转换材料与器件湖北省重点实验室

大会主席：

南策文(清华大学)， 李宏(湖北师范大学)

大会学术委员会：

南策文，李敬锋，李江宇，黄云辉，刘俊明，汪宏，马秀良，李晓光，林媛，谷林，陈文，顾豪爽，唐新峰，程一兵，詹明生，袁辉球，孙军强，舒学文，李宏，王赛玉，王秀章

大会组委会：

李江宇(南方科技大学)，李敬锋(清华大学)，王秀章(湖北师范大学)

大会秘书组：

孙富华，张勇军，曹艺，王心宇，刘美凤，杨伦，刘飞

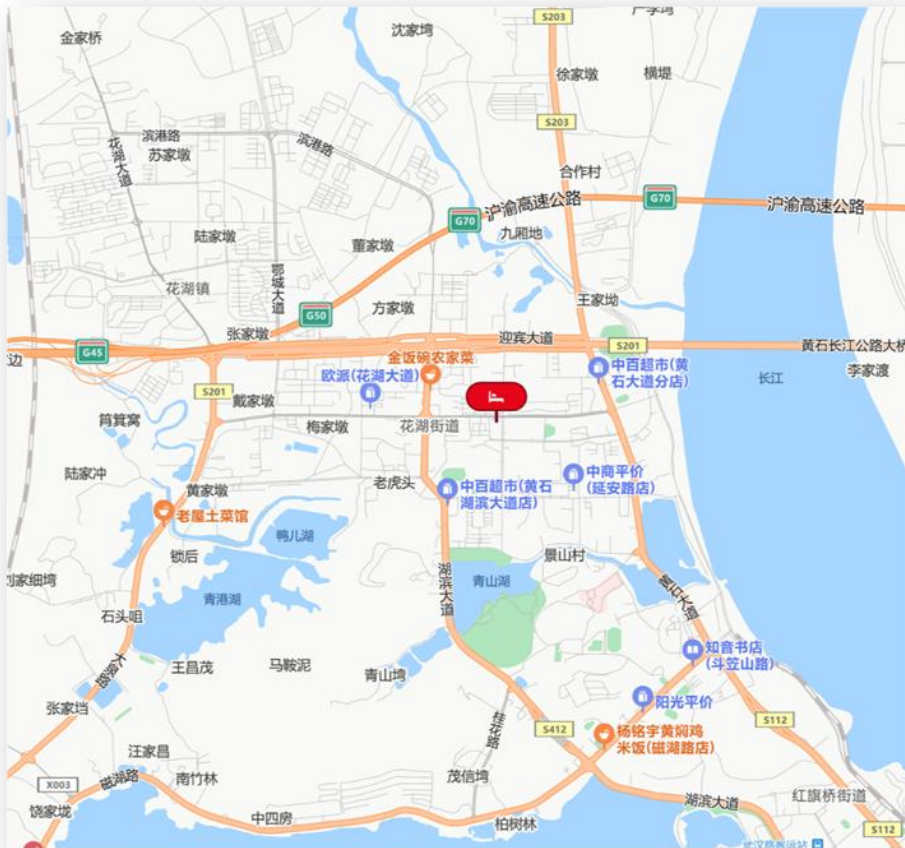


◆ 赞助单位：

1. 成都博康力源科技有限公司
2. 武汉科贝科技股份有限公司
3. 牛津仪器科技（上海）有限公司
4. QUANTUM 量子科学仪器贸易（北京）有限公司
5. 岛津企业管理（中国）有限公司
6. 卡尔蔡司（上海）管理有限公司
7. 南京迈塔光电科技有限公司
8. 佛山市翁开尔贸易有限公司
9. 致真精密仪器（青岛）有限公司
10. 上海展悦电子科技有限公司
11. 埃地沃兹贸易（上海）有限公司



◆会议协议酒店：黄石富力万达嘉华酒店

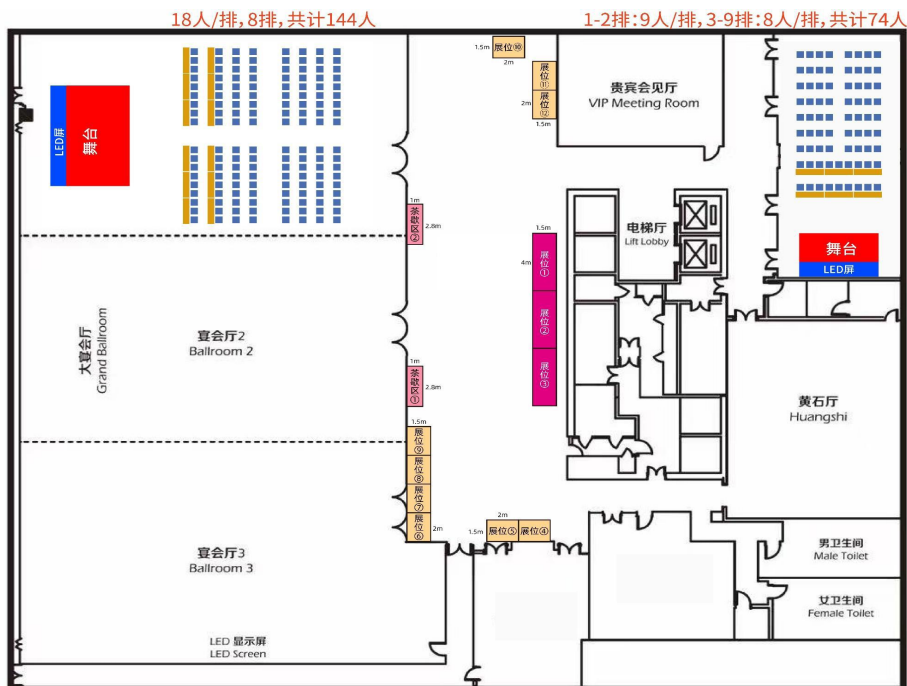




◆会议主会场：湖北师范大学学术报告厅



◆会议分会场：黄石富力万达嘉华酒店





第七届先进功能材料与原子力显微技术研 2024 微纳技术分会学术年会 邀 请 函

尊敬的参会代表：

您好！

随着科技的飞速发展，先进功能材料在能源、环境、生物医学、信息技术等领域扮演着越来越重要的角色。为了促进该领域的学术交流与合作，推动新材料的研究与应用，我们将于 2024 年 11 月 8 日至 10 日在湖北省黄石市举办“第七届先进功能材料与原子力显微技术研讨会暨 2024 微纳技术分会学术年会”。会议由中国硅酸盐学会微纳技术分会主办，湖北师范大学光电转换材料与器件湖北省重点实验室承办。会议旨在聚集学术界及工业界信息功能材料、先进能源材料以及原子力显微技术等学科领域的专家学者，交流思想、讨论问题、促进合作，深入研究先进的原子力显微方法和数据分析在信息功能材料、先进能源材料、生物体系中的应用。

感谢您的光临！

会议主席：南策文 李 宏

2024 年 10 月 16 日





目 录

◆ 主要日程安排	1
大会报告安排	2
A 会场日程(宴会1厅)	3
B 会场日程(黄石厅)	6
C 会场日程(花湖厅)	9
◆ 会议报告摘要	12
大会报告摘要(P-01~P-04)	12
A 分会场报告摘要(A-01~A-33)	16
B 分会场报告摘要(B-01~B-33)	47
C 分会场报告摘要(C-01~C-33)	78
◆ 墙报展示	108
◆ 平台简介	110



◆主要日程安排

日期	时间		主要日程	地点
11月8日	全天	08:00-21:30	会议注册	万达酒店大堂
		14:00-16:30	科研培训	万达酒店3楼黄石厅
		16:00-17:30	理事会议	万达酒店3楼花湖厅
		18:00-20:30	酒店自助晚餐	万达酒店一楼餐厅
11月9日	上午	08:30-09:00	开幕式	湖师大学术报告厅
		09:00-9:20	大会集体合影	湖师大教育大楼前
		09:20-11:30	大会报告	湖师大学术报告厅
		11:30-13:30	酒店自助午餐	万达酒店一楼餐厅
	下午	13:30-18:00	分会报告	万达酒店3楼宴会1厅
		13:30-18:00		万达酒店3楼黄石厅
		13:30-18:00		万达酒店3楼花湖厅
晚上	18:30-21:00	欢迎晚宴	万达酒店3楼宴会厅	
11月10日	上午	08:30-12:05	分会报告	万达酒店3楼宴会1厅
		08:30-12:05		万达酒店3楼黄石厅
		08:30-12:05		万达酒店3楼花湖厅
	下午		离会	



◆大会报告安排

时间	编号	报告人	题目
08:30-09:20		开幕式主持人：南策文（中国科学院院士） 议程： 1.中国硅酸盐学会理事长高瑞平致辞； 2.湖北省科技厅领导致辞； 3.湖北省教育厅领导致辞； 4.黄石市领导致辞； 5.湖北师范大学党委书记致欢迎辞； 6.合影。	
主持人：李江宇			
09:20-09:50	P-01	李晓光 中国科学技术大学	铁电信息存储与铁电计算
09:50-10:20	P-02	刘俊明 南京大学	昨日登高望，针尖实验潮
10:20 - 10:30 茶歇			
主持人：李敬锋			
10:30-11:00	P-03	马秀良 中国科学院物理研究所 /松山湖材料实验室	新型铁电极化拓扑结构的实验探索
11:00-11:30	P-04	黄云辉 华中科技大学	高比能电池与电池安全



◆A 会场日程 (宴会 1 厅)

时间	编号	报告人	报告类型	报告题目
11 月 9 日下午				
主持人：毕科、高兴森				
13:30~13:50	A-01	汪宏 南方科技大学	邀请报告	高密度三维集成与电介质储能
13:50~14:10	A-02	沈宗洋 景德镇陶瓷大学	邀请报告	BST-BNT 弛豫铁电陶瓷及其微晶玻璃复合材料的储能特性增强研究
14:10~14:25	A-03	罗能能 广西大学	邀请报告	铌酸盐反铁电体的可逆相变和储能性能温度稳定性调控
14:25~14:40	A-04	谢淑红 湘潭大学	邀请报告	组分掺杂和应变工程对 $(1-x)\text{BiTi}_{0.1}\text{Fe}_{0.8}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_3-(x)\text{CaTiO}_3$ 薄膜电性能的影响
14:40~14:55	A-05	武海军 西安交通大学	邀请报告	点缺陷及序构调控电子功能材料
14:55~15:05	A-06	夏保举 中国科学技术大学	口头报告	Study of thermal-electrical conversion in unpoled sodium bismuth titanate-based ferroelectric ceramics
15:05~15:15	A-07	彭睿 中国科学技术大学	口头报告	Study of enhanced electrocaloric effect and dielectric relaxations in $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}(\text{VDF}-\text{TrFE})$ nanocomposite
15:15~15:25	A-08	周梦君 武汉理工大学	口头报告	弯曲独立 PbTiO_3 铁电纳米线中的畴演化、介电和压电响应
15:25~15:35	A-09	亓亚刚 中国科学技术大学	口头报告	Enhanced magnetoelectric response in Sc-doped $\text{BiFeO}_3\text{-BaTiO}_3$ ceramics
15:35 - 15:50 茶歇				
主持人：汪宏、袁国亮				



15:50~16:10	A-10	江安全 复旦大学	邀请 报告	铁电畴反转的尺寸效应研究
16:10~16:25	A-11	王婧 航空航天结构力学及控制 全国重点实验室	邀请 报告	掺杂、取向及拓扑结构协同调控的 铌酸钠陶瓷储能性能
16:25~16:40	A-12	张茂华 乌镇实验室	邀请 报告	铌酸钠基反铁电陶瓷的场致相变
16:40~16:55	A-13	陆旭兵 华南师范大学	邀请 报告	铪基铁电晶体管中的电荷注入效 应与耐久特性
16:55~17:10	A-14	樊贞 华南师范大学	邀请 报告	面向类脑计算的压电神经元
17:10~17:20	A-15	杜文通 中国科学院上海硅酸盐研究所	口头 报告	多层陶瓷电容器的微结构、性能及 失效评价
17:20~17:30	A-16	杨子奇 北京科学技术大学	口头 报告	Li/Sb 共掺 KNN 基无铅铁电陶瓷的 压电应变特性调控
17:30~17:40	A-17	吴明 西安交通大学	口头 报告	面向复杂电力设备局部放电检测的 柔性压电超声传感系统开发及应用
17:40~17:50	A-18	郭熊鑫 中国科学技术大学	口头 报告	Effect of A-site excess on the shape memory effect of sodium bismuth titanate ceramics
17:50~18:00	A-19	李志涛 安阳工学院	口头 报告	钛酸铋钠基无铅压电陶瓷性能协 同提升研究

时间	编号	报告人	报告 类型	报告题目
11月10日上午				
主持人：江安全、王秀章				
8:30~8:50	A-20	吴兴龙 南京大学	邀请 报告	多肽自组织和室温磁电耦合效应及其应用
8:50~9:10	A-21	高兴森 华南师范大学	邀请 报告	铁电拓扑结构构筑及新原理器件探索



9:10~9:25	A-22	钟妮 华东师范大学	邀请 报告	转角 BN 超晶格中莫尔铁电的 PFM 研究
9:25~9:40	A-23	甘志星 南京师范大学	邀请 报告	面向神经形态视觉传感器的新型人工 光子突触
9:40~9:55	A-24	黎长建 南方科技大学	邀请 报告	从原子尺度设计高均一性忆阻器件
9:55~10:05	A-25	程月雨杉 清华大学	口头 报告	调控应力释放改善外延 BiFeO ₃ 薄膜的准 同型相界范围与压电性
10:05~10:15	A-26	陈超 华南师范大学	口头 报告	Deterministic Manipulation of Multi-State Polarization Switching in Multiferroic Thin Films
10:15~10:25	A-27	刘志坚 大连海事大学	口头 报告	基于 AFM 胶体探针技术的老化 PVC 表 面 zeta 电势研究
10:25 - 10:45 茶歇				
主持人：谢淑红、王婧				
10:45~11:05	A-28	吕笑梅 南京大学	邀请 报告	ABO ₃ 铁电薄膜/Si 半导体异质结构的极化 开关及负电容现象
11:05~11:20	A-29	伍亮 昆明理工大学	邀请 报告	重金属/反铁磁绝缘体异质结中的奇异反常 霍尔效应
11:20~11:35	A-30	刘亦轩 清华大学	邀请 报告	低场下锆钛酸铅-铋镁酸铅 (PZT-PMN) 复 合压电陶瓷的电致应变
11:35~11:50	A-31	袁国亮 南京理工大学	邀请 报告	基于 Hf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ 铁电薄膜的耐高温铁电 存储器件
11:50~12:00	A-32	田瑜 空军军医大学	口头 报告	铁电氧化物材料表面结构设计 with 功能调控 研究
12:00~12:10	A-33	王磊 UNSW Sydney	口头 报告	Anomalous Reverse Mechanical Polarization Switching In Negative Piezoelectric CuInP ₂ S ₆



◆B 会场日程 (黄石厅)

时间	编号	报告人	单位	报告类型	报告题目
11月9日下午					
主持人：张倩、刘玮书					
13:30~13:50	B-01	刘玮书	南方科技大学	邀请报告	离子热电器件的工作模式与性能优化
13:50~14:10	B-02	王钊	湖北大学	邀请报告	基于氧化物低维纳米结构的半导体 氢气传感器研究
14:10~14:25	B-03	毛俊	哈尔滨工业大学 (深圳)	邀请报告	塑性铋化镁单晶热电材料
14:25~14:40	B-04	潘瑜	重庆大学	邀请报告	拓扑材料的磁热电性能
14:40~14:55	B-05	蔡博文	广西自贸区见炬 科技有限公司	邀请报告	面向产业化的高性能 N 型碲化铋基 热电材料制备
14:55~15:05	B-06	余锦程	清华大学	口头报告	高效稳定的硒化亚铜基热电材料
15:05~15:15	B-07	庄华鹭	清华大学	口头报告	新型热变形工艺提升(Bi,Sb) ₂ Te ₃ 热电性能
15:15~15:25	B-08	韩湛然	清华大学	口头报告	应力工程提高碲化铋薄膜的面内热 电性能
15:25~15:35	B-09	王正沁	清华大学	口头报告	非晶二硫化钼复合提升 Bi ₂ (Te, Se) ₃ 的热电性能
15:35 - 15:50 茶歇					
主持人：李千、钟高阔					
15:50~16:10	B-10	方国家	武汉大学	邀请报告	钙钛矿光伏电池中的纳米结构透明 电极材料与界面调控



16:10~16:25	B-11	王瑶	北京航空航天大学	邀请报告	光敏铁电复合材料多场耦合效应及柔性器件
16:25~16:40	B-12	欧阳俊	齐鲁工业大学	邀请报告	集成友好的高储能密度钛酸钡薄膜及其纳米结构表征
16:40~16:55	B-13	李桃	西安交通大学	邀请报告	二维铁离子材料的本征多重极化态
16:55~17:10	B-14	王宇佳	中国科学院金属研究所/松山湖材料实验室	邀请报告	极化布洛赫点的理论预测与实验发现
17:10~17:20	B-15	舒亮	清华大学	口头报告	Partitioning polar-slush strategy in relaxors leads to large energy-storage capability
17:20~17:30	B-16	郎茜婷	中国科学院宁波材料技术与工程研究所	口头报告	Mechanisms of UV-induced Degradation in Wide-Bandgap Perovskite Solar Cells: Implications for Long-Term Stability
17:30~17:40	B-17	李宇豪	南京大学	口头报告	石墨烯摩尔超晶格的力电耦合研究
17:40~17:50	B-18	关赵	华东师范大学	口头报告	机械力调控界面铁电
17:50~18:00	B-19	孙富华	湖北师范大学	口头报告	黝铜矿 $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ 基热电材料的纳米调控及其电热输运性质

时间	编号	报告人	单位	报告类型	报告题目
11月10日上午					
主持人：陈万平、陆成亮					
8:30~8:50	B-20	顾豪爽	湖北大学	邀请报告	无铅压电纳米线及其微纳传感器件
8:50~9:10	B-21	周敏	中国科学院理化技术研究所	邀请报告	低温热电材料和器件
9:10~9:25	B-22	朱立峰	北京科技大学	邀请报告	高性能 KNN 基织构压电陶瓷及其 1-3 型超声换能器研究



9:25~9:40	B-23	刘庆	电子科技大学	邀请报告	兼具荧光特性和高且热稳定压电性能的 KNN 基无铅压电陶瓷
9:40~9:55	B-24	魏天然	上海交通大学	邀请报告	无机塑性层状晶体的变形机制、筛选策略与力-热耦合
9:55~10:05	B-25	黄凤珍	南京大学	口头报告	反铁电材料储能性能优化及机理探索
10:05~10:15	B-26	于涵	清华大学	口头报告	钛酸钡薄膜极化旋转路径的缓冲层调控及电光性能优化
10:15~10:25	B-27	陈西煜	东南大学	口头报告	EuM_2X_2 ($\text{M} = \text{Zn}, \text{Cd}; \text{X} = \text{P}, \text{As}$) 磁性和电输运性质的调控
10:25 - 10:45 茶歇					
主持人：方国家、朱立峰					
10:45~11:05	B-28	余颖	华中师范大学	邀请报告	三维纳米结构非贵金属电催化剂分解碱性海水研究
11:05~11:20	B-29	钟高阔	中国科学院深圳先进技术研究院	邀请报告	高通量铁电薄膜与器件
11:20~11:35	B-30	王学云	北京理工大学	邀请报告	铁电拓扑缺陷的力学调控
11:35~11:50	B-31	陆成亮	华中科技大学	邀请报告	$J_{\text{eff}}=1/2$ 反铁磁 Sr_2IrO_4 中的磁电阻效应
11:50~12:00	B-32	吴金根	西安交通大学	口头报告	基于磁电耦合效应的甚低频天线器件设计应用研究
12:00~12:10	B-33	陶红	湖北师范大学	口头报告	磁有序致柔性薄膜具有优异的热电性能



◆C 会场日程 (花湖厅)

时间	编号	报告人	单位	报告类型	报告题目
11月9日下午					
主持人：何云斌、罗震林					
13:30~13:50	C-01	陈万平 武汉大学		邀请报告	摩擦催化：从摩擦化学到能源化学的跨越
13:50~14:10	C-02	曾华荣 中国科学院上海硅酸盐研究所		邀请报告	多模态纳米热学显微术及其应用研究
14:10~14:25	C-03	戴志高 中国地质大学（武汉）		邀请报告	声子极化激元材料三氧化钨的可控制备与芯片缺陷检测应用
14:25~14:40	C-04	李玲龙 东南大学		邀请报告	探针诱导的纳米尺度离子调控
14:40~14:55	C-05	姜小明 中国科学院福建物质结构研究所		邀请报告	固体实空间电子结构与缺陷结构的实验表征
14:55~15:05	C-06	姚松佑 中山大学		口头报告	基于光热效应原子力探针技术的有机极性结构演化表征方法
15:05~15:15	C-07	郝春霖 中山大学		口头报告	一种用于消除导电原子力显微镜中形貌串扰的通用校准方法及其应用
15:15~15:25	C-08	朱余红 中科大		口头报告	Artificial retina for vision restoration constructed by BiFeO ₃ -BaTiO ₃ /P(VDF-TrFE) ferroelectric nanocomposites
15:25~15:35	C-09	王思旭 清华大学		口头报告	极性斯格明子的巨大电场诱导二次谐波产生效应
15:35 - 15:50 茶歇					
主持人：曾华荣、戴志高					



15:50~16:10	C-10	何云斌 湖北大学	邀请 报告	铁电-半导体异质结基光电器件研究
16:10~16:25	C-11	鲁年鹏 中国科学院物理研究所	邀请 报告	离子调控机理探究
16:25~16:40	C-12	邹崇文 中国科学技术大学国家同步辐射实验室	邀请 报告	二氧化钒外延薄膜的相变调控及其器件应用
16:40~16:55	C-13	邱文丰 中国科学院宁波材料技术与工程研究所	邀请 报告	氧化铝基体的连续纤维增强陶瓷基复合材料研究
16:55~17:10	C-14	黄博远 南方科技大学	邀请 报告	基于原子力显微镜的载流子演化观测
17:10~17:20	C-15	焦放 中国科学物理研究所	口头 报告	基于高速原子力显微镜的 NINJ1 质膜破裂机制研究
17:20~17:30	C-16	廖洛城 湘潭大学	口头 报告	通过同时直接测量开放环境下的局部电卡和电致应变揭示电卡效应的机制
17:30~17:40	C-17	李忠文 淮阴工学院	口头 报告	BiFeO ₃ 纳米材料中的极化拓扑畴及其导电性
17:40~17:50	C-18	王山虎 昆明理工大学	口头 报告	中熵岩盐矿氧化物薄膜的室温自旋玻璃态
17:50~18:00	C-19	张学莹 致真精密仪器(青岛)有限公司	口头 报告	高精度扫描探针显微镜的研制和应用

时间	编号	报告人 单位	报告 类型	报告题目
11月10日上午				
主持人：鲁圣国、郭金明				
8:30~8:50	C-20	王凌飞 中国科学技术大学	邀请 报告	高质量自支撑氧化物薄膜的结构优化与物性调控
8:50~9:10	C-21	高鹏 北京大学	邀请 报告	界面热运输的原子尺度测量



9:10~9:25	C-22	金纶 东南大学	邀请 报告	A Pyroxene-based Quantum Magnet with Multiple Magnetization Plateaus
9:25~9:40	C-23	郭金明 湖北大学	邀请 报告	钛酸铋钠基介电储能陶瓷原子尺度 设计与性能研究
9:40~9:55	C-24	李洋 哈尔滨工业大学	邀请 报告	范德华层状铁电/压电晶体
9:55~10:05	C-25	张世元 北京科技大学	口头 报告	非化学计量调控 BiFeO ₃ -BaTiO ₃ 压电 陶瓷漏导机制
10:05~10:15	C-26	胡金浩 北京科技大学	口头 报告	高通量制备 BiFeO ₃ -BaTiO ₃ 无铅压电 陶瓷
10:15~10:25	C-27	冯天翼 清华大学	口头 报告	铌酸钾钠基无铅压电陶瓷中压电性 能和机械品质因数的协同提升
10:25 - 10:45 茶歇				
主持人：张鑫、鲁年鹏				
10:45~11:05	C-28	鲁圣国 广东工业大学	邀请 报告	电致伸缩效应与电场的解析关系以及 与电卡效应的正关联关系
11:05~11:20	C-29	吴梦昊 华中科技大学	邀请 报告	长离子位移铁电的非传统性
11:20~11:35	C-30	张鑫 武汉理工大学	邀请 报告	聚合物/陶瓷纳米复合材料中的界面效 应与介电性能
11:35~11:50	C-31	罗震林 中国科学技术大学	邀请 报告	薄膜结构的同步辐射研究
11:50~12:00	C-32	谭旺 南京航空航天大学	口头 报告	气泡揭示的离子键合云母多层弯曲刚度
12:00~12:10	C-33	颜志波 南京大学	口头 报告	锡基钙钛矿卤化物薄膜的添加剂工程与光 学性质研究
12:10~12:20	C-34	竺仁 牛津仪器科技(上海)有限公司	口头 报告	锡基干涉式原子力显微镜在压电铁电材料 中的应用



◆大会报告摘要 (P01-P04)

HfO₂ 基 5d 电子材料与信息存储器件：挑战与机遇

李晓光

中国科学技术大学物理学院

5d 电子材料因具有扩展的电子轨道分布和强自旋轨道耦合效应,展现出独特的物理和化学特性,并被广泛地应用于国防与航空航天、电子信息、能源等众多领域。以 5d 电子轨道主导原子间成键的新型 HfO₂ 基铁电材料具有独特的介电和铁电性能,在构建信息存储和存算一体器件中,有明显的优势,但也存在着制约器件应用的材料和技术瓶颈问题。本报告将从 5d 电子轨道的角度出发,简要分析 HfO₂ 基铁电材料的物性特征和亟待优化的关键材料与技术问题,并介绍相关信息器件的研究进展:通过探索高性能高介电和铁电薄膜异质结,既可以获得用于动态随机存储器中电容器用材料,也能够用于构建新兴非易失信息存储器以及忆阻器,为构筑存算一体神经网络提供材料和器件原理基础。开展相关研究可以促进我国存储器领域集成电路产业的发展,对下一代人工智能类脑芯片的研发至关重要。



李晓光,中国科学技术大学讲习教授。1982 年获安徽大学学士学位,1989 年获中国科学院固体物理研究所博士学位。1989 年 3 月起,服务于中国科学技术大学至今。主要从事电子材料及信息存储和能量转换器件研究,发展了铁电超快信息存储材料与器件。



昨日登高望，针尖实验潮

刘俊明

南京大学

自从 1980 年代 STM 技术发明以来，基于针尖(tip)视角下的物理世界已经增加了许多独特的形态和印象。也因此，针尖探测与操控正成为物质科学研究一种重要的微结构表征手段，被包括报告人在内的一些学人冠名“针尖实验室 tip-lab”的意向。依报告人看来，针尖实验室最大的优点是：既具有足够的空间探测分辨率，又无需对观测样品状态进行任何加工处理。当材料科学进入到微纳尺度——本次会议的主题——和量子材料能标时，任何对样品进行形态和尺度的再加工，都会引入外部干扰，妨碍对样品基态的探测。次大的优点是：微尺度光电磁热力操控技术的发展，已能够将这些激励信号注入到针尖上，形成当下最为普遍的多维度 PFM (piezo-force microscopy) 表征与操控技术：针尖实验室。报告人所在的团队，就是这一“针尖实验室”概念的践行者之一。

报告人所在团队，长期关注铁电和多铁性磁电耦合物理与材料科学的研究。众所周知，铁电畴是这些材料最重要的功能单元，而且其尺度正是针尖实验室所关注的尺度。通过在针尖上绑定电场、磁场、光场和力场等激励场，我们在 2010 年前后开始系统建设铁电多铁材料的针尖实验室平台，并开展探索。报告人是这一实验室的一位普通成员，只是因为比较年长而被礼让以机会，在这里展示我们针尖实验室取得的一些成果。这里报告的，全是本实验室过去的结果，所以只能称之为“昨日登高望”，就如昨日黄昏：

(1) 立足于对铁电畴表征与加工的前期经验，在 2017 年利用针尖实验室发现了拓扑中心畴(topological centro-domains)，开启了铁电和磁电畴的表征与操控研究之序幕。

(2) 将拓扑铁电畴的概念拓展到多种形态，发展了畴壁电学通/断开关的操控技术。这是铁电畴壁电子学一种新的探索，效果良好。

(3) 将基于拓扑畴结构的功能单元应用到类脑计算控制的材料实现，完成了一些原型器件的演示。

(4) 将针尖实验室的概念拓展到磁电耦合和磁性拓扑畴结构的表征操控上，取得一些进展。

总之，这一报告展示了针尖实验室概念的一些面目，希望能够引起同行关注。事实上，我国拥有 PFM 实验平台的团队很多，应该是探索物质科学针尖实验室的肥沃土壤。



刘俊明, 1984年毕业于华中工学院、获得学士学位, 1989年毕业于西北工业大学、获得博士学位, 其后在南京大学物理系任教至今。曾经获得国家杰出青年基金资助(1997)、获聘长江学者特聘教授资质(2004)、获选美国物理学会会士(2015)。是国家自然科学基金委和科技部多个科研项目的承担者参与者;是数百篇学术论文的共同作者, 论文他引超过 2.8 万次;是勤奋的业余科普作者;是若干学术期刊的编委并担任 *Nature* 集团旗下期刊《npj Quantum Materials》的执行编辑。

新型铁电极化拓扑结构的实验探索

马秀良^{1,2}

¹ 中国科学院物理研究所; ² 松山湖材料实验室

氧八面体是钙钛矿型铁电氧化物中重要的结构单元。通过脉冲激光沉积, 将铁电氧化物(如 PbTiO_3 、 BiFeO_3 等)以原子尺度外延成长在特定的衬底上, 外延体系中特性的边界条件以及晶格参数的不匹配导致氧八面体的位移、畸变、旋转等, 从而调控出一系列新型铁电极化拓扑结构, 如通量全闭合畴、涡旋畴、半子及半子晶格、斯格明子、周期性电偶极子波以及布洛赫点(Bloch Point)等。这些新型铁电拓扑结构的发现为与铁磁材料类比的结构特性增添了新的实质性内容, 对探索基于铁电材料的高密度非易失性信息存储器件具有重要意义。



马秀良, 1988年毕业于大连理工大学材料工程系。曾师从我国著名科学家、中国电子显微学奠基人之一郭可信先生, 在中国科学院北京电子显微镜实验室和大连理工大学从事十次对称准晶及复杂合金相的冶金学和晶体学研究, 1994年获博士学位。2003年获国家杰出青年科学基金。现任中国科学院物理研究所研究员;松山湖材料实验室研究员、大湾区显微科学与技术研究中心主任。兼任中国电子显微学会副理事长、中国电子显微学会物理与材料专业委员会主任。曾任中国科学院金属研究所研究员(2001—2022);沈阳材料科学国家(联合)实验室固体原子像研究部主任(2006—2018), 沈阳材料科学国家研究中心材料结构与缺陷研究部主任(2018—2022), 金属研究所学术委员会主任(2018—2022)。



高比能电池与电池安全

黄云辉, 许恒辉

华中科技大学材料科学与工程学院, 武汉, 430074

以锂离子电池为主的二次电池在新能源汽车、新能源、电子器件等领域已广泛应用, 是我国“出口新三样”的引擎和新质生产力的代表, 人们对电池能量密度、安全性等的要求也随之越来越高。围绕电池能量密度与安全性等的关键科学与技术问题, 研究电池能量密度和安全性的本质关系, 从正负极、电解液(质)、集流体等关键材料的角度探索协同提升电池能量密度和安全性的有效策略。创制了系列综合性能优异的安全电池及其材料体系, 开发了固态电池用高电导固态电解质、高稳定金属锂基负极、耐穿刺的复合集流体以及自愈合、声子调控等材料与技术, 构筑能量密度 400Wh/kg 以上的高安全电池, 实现电池本征安全。同时利用超声波扫描成像、光纤传感等电池原位无损分析技术, 对电池进行健康监测, 结合电池管理系统对电池进行安全预警, 为新能源汽车和规模储能保驾护航。



黄云辉, 华中科技大学教授、博导, 校学术委员会副主任, 长江学者、国家杰青, 中国材料研究学会常务理事, 中国硅酸盐学会固态离子学分会理事, *Electrochem. Energy Rev.* 副主编等。长期从事锂离子电池等新能源材料与器件领域的研究工作, 在 *Science*、*Nat. Mater.* 等学术期刊上发表论文 600 余篇, 引用 6.9 万余次, H-因子 135, 2018-2023 年连续入选全球高被引科学家和中国高被引学者, 授权专利 100 余件, 所研发的磷酸铁锂复合正极材料、电池超级快充、电池超声扫描成像等技术已获广泛应用。获国家自然科学基金二等奖 1 项、教育部和湖北省自然科学一等奖各 1 项、中国材料研究学会技术发明一等奖 1 项。

◆A 分会场报告摘要(A01-A33)

A-01 高密度三维集成与电介质储能

汪宏

南方科技大学

摘要: 随着电子系统不断小型化和高密度集成化,对电子材料与元器件也提出相应的高性能、多功能、高频化和低能耗等要求,急需研发相关的高性能电子材料和元器件。本报告将介绍面向有源无源集成应用的新型低温共烧陶瓷材料、面向储能电容器应用的复合电介质材料的新近研究进展,阐释结构设计调控电介质材料性能的基本策略和相关制备工艺的突破,探讨高性能电介质材料在电子和通信领域的应用前景和挑战,为高功率密度储能器件、毫米波通信器件和新一代芯粒集成的发展提供高性能电介质材料。

关键词: 电介质; 结构调控; 低温烧结; 高储能密度; 三维集成



汪宏,南方科技大学副教务长、研究生院院长、讲席教授,IEEE Fellow、国家杰青、教育部长江学者、国家万人领军、国务院政府特殊津贴专家。现任中国硅酸盐学会理事、IEEE 国际铁电委员会委员等学术职务。汪宏教授长期从事电子信息材料与器件的应用基础研究,已发表 SCI 论文 380 多篇,获授权中国发明专利 44 项、美国发明专利 1 项,制定并获准 1 项 IEC 国际标准,应邀做国际学术会议大会和特邀报告 60 多次,荣获教育部自然科学奖一等奖、国家级教学成果奖二等奖、IEEE 铁电学成就奖(该奖设立 41 年来 33 位获奖者中第二位获奖的中国学者)等。

A-02 BST-BNT 弛豫铁电陶瓷及其微晶玻璃复合材料的 储能特性增强研究

沈宗洋

先进陶瓷材料江西省重点实验室，景德镇陶瓷大学材料科学与工程学院

摘要：弛豫铁电陶瓷具有很高的介电常数，微晶玻璃具有很高的电击穿强度，如何有效结合两者的优点对开发新型高储能密度电介质材料具有重要意义。本研究先制备了 $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3\text{-Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$ (BST-BNT) 基固溶体陶瓷，通过调整成分优化极化行为，可以获得具有高 $P_{\text{max-Pr}}$ 的典型弛豫特性的细长 P-E 电滞回线。特别地，通过缺陷工程显著增强了其在低电场下 (~ 100 kV/cm) 的极化强度 (>60 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$) 和有效储能密度 (>2.0 J/cm^3)，同时兼顾介电常数超过 3500 (@1 kHz) 且在 20~380°C 的宽温度范围内的优异性能。然后，以熔融水淬法制备了 $\text{BaO-SrO-Bi}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (以 GS 表示) 玻璃粉，采用固相法制备了 $(\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7})_{0.5}(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})_{0.5}\text{TiO}_3+x\text{wt.}\% \text{GS}$ 陶瓷 (缩写为 $\text{BS}_{0.5}\text{BNT-xGS}$)，结果表明：该玻璃能析出与 $\text{BS}_{0.5}\text{BNT}$ 组成相近的微晶和纳米晶，保证了玻璃相和陶瓷相的高效结合，形成了一种具有均匀“核-壳”结构的新型 $\text{BS}_{0.5}\text{BNT}$ 弛豫铁电陶瓷-微晶玻璃复合材料，有效提高了电击穿强度。当 GS 添加量为 14wt.% 时，陶瓷具有兼顾高介电常数 ($\epsilon_r > 3200$) 和高电击穿强度 ($E_b \sim 170$ kV/cm) 的特点，并增强了储能特性。本研究可为开发新型兼具高介电常数和电击穿强度的脉冲功率电容器用陶瓷材料提供新的策略。

关键词：弛豫铁电体；储能陶瓷；微晶玻璃； $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$ (BNT)； $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ (BST)



沈宗洋，武汉理工大学博士，清华大学博士后，美国宾西法尼亚州立大学访问学者，澳大利亚伍伦贡大学访问教授。现为景德镇陶瓷大学教授，博士生导师，材料科学与工程学院副院长。入选江西省百千万人才工程、省青年科学家（井冈之星）培养对象、省青年井冈学者奖励计划。主要研究方向包括电介质储能陶瓷和压电陶瓷，主持国家自然科学基金项目 4 项，主持中国博士后科学基金、江西省重点研发计划“揭榜挂帅”项目和省自然科学基金重点项目等 16 项；获江西省科技进步二等奖 1 项，获江西省优秀新产品一等奖 1 项，获第九届中国硅酸盐学会青年科技奖提名奖；以第一/通讯作者发表 SCI/EI 学术论文 60 余篇。

A-03 铌酸盐反铁电体的可逆相变和储能性能 温度稳定性调控

罗能能, 马力, 雷归绮, 陈贞谷

广西大学资源环境与材料学院, 省部共建特色金属材料与组合结构全寿命
安全国家重点实验室

摘要: NaNbO_3 和 AgNbO_3 作为两类重要的无铅反铁电材料, 在储能电容器等领域具有重要的应用前景。 NaNbO_3 由于在室温下反铁电 P 相和铁电 Q 相共存, 且 P 相在电场作用下会向 Q 相发生不可逆相变, 导致无法得到反铁电体的双电滞回线。针对该问题, 我们基于对其精细结构进行分析, 结合密度泛函理论计算, 提出通过减小氧八面体倾转角稳定反铁电 P 相的新思路。在理论计算的指导下, 我们通过降低体系容忍因子、电负性差和离子极化率等策略, 成功设计和制备了具有高反铁电相稳定性的 NaNbO_3 基固溶体系, 陶瓷表现出明显的可逆反铁电-铁电相变和典型的双电滞回线特征。同步辐射 XRD 和 STEM 证实阳离子位移和 $[\text{BO}_6]$ 八面体倾转角的降低是实现可逆反铁电-铁电相变和双电滞回线的原因。为进一步拓宽无铅反铁电体的温度使用范围, 我们提出基于结晶学取向调控温度稳定性的策略, 并以 AgNbO_3 为代表制备了 $[001]$ 取向的织构陶瓷。 AgNbO_3 织构陶瓷的储能密度和效率随温度的变化率从无序状态的 7% 和 14% 分别降低到 0.7% 和 0.6%, 远优于目前报道的各类电介质陶瓷材料。陶瓷织构化降低了氧空位等缺陷的含量, 提高了电导激活能, 从而提升了温度稳定性。相关研究为具有可逆反铁电-铁电相变和高温度稳定性的无铅反铁电体的设计提供了新思路。

关键词: 铌酸盐反铁电体; 可逆相变; 双电滞回线; 温度稳定性; 织构陶瓷



罗能能, 广西大学资源环境与材料学院副院长, 教授、博士生导师。广西自然科学奖二等奖、第十七届广西青年科技奖、中国科协第六届“青年人才托举工程”项目获得者。主持了国家自然科学基金面上项目、广西杰出青年基金等项目。在 *Nature Commun.* 等学术期刊发表 SCI 论文 60 余篇。担任中国仪表功能材料学会电子元器件关键材料与技术专业委员会委员, *Crystals* 编委, *Journal of Materiomics*、*Journal of Advanced Dielectrics (JAD)* 青年编委。主要研究领域包括: 新型无铅功能材料(铁电/压电/反铁电)的研究。



A-04 组分掺杂和应变工程对 (1-x)BiTi_{0.1}Fe_{0.8}Mg_{0.1}O₃-(x)CaTiO₃ 薄膜电性能的影响

赵昌兴, 赵志明, 谢淑红*
湘潭大学 材料科学与工程学院

摘要: (1-x)BiTi_{0.1}Fe_{0.8}Mg_{0.1}O₃-(x)CaTiO₃ (BTFM-CTO)多铁性材料由于其存在着菱方体(R)与正交相(O)共存的准同型相界, 具有优异的电性能以及丰富的多场耦合效应, 被广泛应用于驱动器、换能器、传感器、能量收集器等领域。相较于块体陶瓷材料, 纳米薄膜材料由于其丰富的尺寸效应和表界面效应, 促进了器件的集成化、微型化和多功能化。然而在薄膜的制备过程中, 由于 Bi 元素的挥发和 Fe 元素的还原会导致薄膜中的氧空位含量增加, 漏电流增大, 材料的电性能降低。通过元素掺杂、生长控制和异质结构等手段可以在一定程度上降低薄膜的漏电, 提高其电性能。其中, 当 BFO 基薄膜生成四方相(T)时, 其铁电极化值将会提高至 230 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 。因此通过基底施加应力和掺杂钙钛矿, 可实现四方相(T)的生成, 从而实现一个三相共存的结构, 提高了 BFO 基薄膜的铁电性。首先通过溶胶凝胶法在 NbSrTiO₃ 基底上制备(1-x)BiTi_{0.1}Fe_{0.8}Mg_{0.1}O₃-(x)CaTiO₃ (x=0.14, 0.18, 0.22, 0.26, 0.30)薄膜。在给基底施加压应力的同时, 改变 CTO 的含量, 诱导 T 相的生成, 同时导致 R 相转变为 O 相, 虽然降低了薄膜的漏电流, 但其铁电性的提升并未达到理想值。随后, 通过第三组元钙钛矿的掺入制备三元固溶体薄膜, 即 (0.78-x)BiTi_{0.1}Fe_{0.8}Mg_{0.1}O₃-0.22CaTiO₃-(x)Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ (BTFM-CTO-NBT, x=0.00, 0.03, 0.05, 0.08, 0.10)薄膜。实验结果表明 NBT 的掺入可以细化晶粒尺寸并诱导四方相的生成, 同时抑制了 Fe³⁺元素的还原反应, 降低了薄膜的氧空位含量。且当 x=0.05 时, 薄膜具有最较高的铁电极化: 175.87 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 和较高的击穿场强: 1753.68 kV/cm, 较低的介电损耗 0.1055 和漏电流 $1.17 \times 10^{-7} \text{ A}/\text{cm}^2$ 。

关键词: BiFeO₃; 外延薄膜; 准同型相界; 组分掺杂; 应变工程; 电性能

谢淑红, 女, 汉族, 1978 年 9 月生, 中共党员, 湖南祁阳人, 博士, 湘潭大学教授、博导, 湘潭大学“韶峰学者”学术带头人、湖南省杰青、教育部重点实验室主任。中国材料研究学会青年工作委员会第八届理事、中国硅酸盐学会微纳技术分会第一届理事、湘潭市科协第十届委员、湘潭大学优秀教师。Nanoscale 等 10 余种 SCI 期刊审稿人, 国家自然科学基金项目通讯评审专家。已发表 SCI 学术论文 100 余篇, 授权国家发明专利 4 项。主持国家级科研项目 5 项, 湖南省杰出青年基金项目 1 项。

A-05 点缺陷及序构调控电子功能材料

武海军

西安交通大学

摘要：高效电子功能材料在国家重大战略领域具有广泛的应用潜力，以航空/航天/航海领域为例，深空探测器中放射性同位素温差发电、发动机燃气轮机高温区温度、应变、热流等参数准确测试，以及深海探测中的声波检测等。汇报人围绕这些国家战略需求，长期从事可实现力 \leftrightarrow 电 \leftrightarrow 热环境感知和能量转换的铁电/压电和热电材料的结构设计、机理分析及性能调控。这些材料的序参量往往具有长程属性，这导致材料对外场的静态响应（例如极化强度）优异但是动态响应（例如压电系数 d_{33} ）往往不佳。汇报人基于点缺陷及序构设计，调控序参量短程有序化，实现电子功能材料高性能化/新型化；通过点缺陷调控材料的相结构，实现短程有序，研发出一系列兼具高性能和宽温域的铁电压电材料；通过点缺陷调控电声输运特性，实现长程电传输+短程热传输，研发出一系列兼具高性能和耐高温性的热电材料。



武海军，西安交通大学材料学院和金属材料强度国家重点实验室教授、博士生导师。西安交通大学本科和硕士，新加坡国立大学博士，曾任李光耀博士后研究员(Lee Kuan Yew Postdoctoral Fellow)。入选国家级青年人才计划，担任重点研发计划“智能传感器”专项青年科学家项目首席。从事可实现力 \leftrightarrow 电 \leftrightarrow 热环境感知和能量转换的压电和热电材料的结构设计、机理分析及性能调控。H 因子 58 (WOS)，入选全球高被引学者(2021-2023)。



A-06 Study of thermal-electrical conversion in unpoled sodium bismuth titanate-based ferroelectric ceramics

Baoju Xia, Baojin Chu*

CAS Key Laboratory of Materials for Energy Conversion and Department of Materials Science and Engineering, Key Laboratory of Precision and Intelligent Chemistry, University of Science and Technology of China; Hefei, 230026, China

Abstract : The study of thermal-electrical conversion mainly focuses on the thermoelectric effect, with some attention given to the pyroelectric effect. However, for the study of pyroelectricity in ferroelectric materials, no matter how the experimental conditions are designed, it is inseparable from the effect of applied electric field. In our study, we found that the thermal-electrical conversion process can still occur in ferroelectric ceramics without prior poling treatment or an external electric field applied, as long as the sample and test methods are appropriately designed. For example, by performing asymmetric reduction operations on the sample, applying three-point bending to the sample during the test to introduce a strain gradient or appropriate component doping with temperature difference, the thermal-electrical conversion with some current peaks can be obtained which is different from those in pyroelectric studies. Therefore, the thermal-electrical conversion of unpoled sodium bismuth titanate-based ferroelectric ceramics is introduced in this report, and the current peaks that occurs during this process are systematically study.

Keywords: Thermal-electrical conversion; Unpoled ferroelectric ceramics; The current peaks



夏保举，中国科学技术大学，化学与材料科学学院初宝进教授课题组在读研究生。

A-07 Study of enhanced electrocaloric effect and dielectric relaxations in Al₂O₃/P(VDF-TrFE) nanocomposite

Rui Peng¹, Baojin Chu¹

¹ CAS Key Laboratory of Materials for Energy Conversion and Department of Materials Science and Engineering, Key Laboratory of Precision and Intelligent Chemistry, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026, China

Abstract : Poly (vinylidene fluoride)- based polymers have a relatively large electrocaloric effect (ECE) but low thermal conductivity. In some studies, the ECE obtained from indirect measurement deviates substantially from direct measurement. In this work, the ECE was investigated in composites containing the ferroelectric poly (vinylidene fluoride-trifluoro ethylene) [P(VDF-TrFE)] copolymer and Al₂O₃ fillers. The ECE of the composites was directly measured using an infrared thermograph and indirectly obtained utilizing the Maxwell relation. The temperature changes obtained by indirect and direct measurements agree reasonably well with each other. In direct measurement, we found the temperature increase is larger than the temperature decreases at a high field or in the composites with a high concentration of nanoparticles, which can be attributed to the Joule heating effect caused by increased conductivity and dielectric loss. Moreover, the temperature change is 6.12K in the composite with 0.5% Al₂O₃ fillers. To understand the reason of the enhanced ECE, we attempted to use dielectric spectroscopy to meticulously probe the structural changes and relaxation behavior within polymer nanocomposites. We have investigated the relaxation behavior in neat P(VDF-TrFE) and in composites incorporating different mass fractions of nanoparticles with different temperature and frequency. It is expected to provide a theoretical basis for the preparation of polymer nanocomposites with high dielectric constant and polarization strength.



Keywords : Electrocaloric effect; P(VDF-TrFE); Infrared thermograph; Direct measurement; Dielectric spectroscopy

彭睿，中国科学技术大学化学与材料科学学院在读。

A-08 铌酸钾钠铁电薄膜中超畴结构及其性能的相场模拟

周梦君¹, 王博^{2,3}, 陈龙庆², 南策文⁴

¹ 武汉理工大学材料科学与工程学院, 智能材料与器件研究中心

² 宾夕法尼亚州立大学材料科学与工程系材料研究所

³ 美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室

⁴ 清华大学材料科学与工程学院新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室

摘要: 应变工程对于铁电薄膜的畴结构及其相关功能性质方面有着至关重要的调控作用, 迄今为止, 对于块体四方铁电相如 BaTiO_3 和 PbTiO_3 和三方铁电相体系如 BiFeO_3 的外延薄膜已存在广泛的研究, 但对于块体正交铁电材料如 $\text{K}_x\text{Na}_{1-x}\text{NbO}_3$ (KNN) 的薄膜研究却知之甚少。本次报告将以环境友好型, 高压电的 KNN 外延薄膜作为模型体系, 展示了近几年我们利用热力学理论和相场模拟在 KNN 薄膜中失配应变相图的建立, 理解新奇畴和畴壁结构的形成, 以及介电和压电特性等方面的相关进展。报告中, 我将重点展示如何基于两个多孪晶结构沿特定界面叠加形成“条纹状”和“鱼骨状”两种超畴结构, 并预测了其对应的形成条件、形态特征和相关实验验证等; 此外针对这两种超畴结构, 系统探究了薄膜中介电和压电响应的畴尺寸效应的探究, 揭示了铁电薄膜中各向异性的畴尺寸依赖性, 并预测通过畴尺寸调控可实现对于介电常数 κ_{33} 和压电系数 d_{33} 的分别高达 20% 和 70% 的提升, 这为通过畴工程来优化材料的综合性能提供了新思路。

关键词: KNN 铁电薄膜; 畴结构; 畴尺寸效应; 介电压电性能; 相场模拟



周梦君, 武汉理工大学特岗教授, 入选湖北省高层次青年人才和武汉市优秀青年人才, 武汉理工大学青年拔尖人才, 主要从事纳尺度介电、铁电和锂电材料的多尺度计算, 包括相场模拟、第一性原理计算和机器学习。近五年在领域顶级期刊如 *Acta Materialia*, *Nano Energy* 和 *Nano Research* 上发表高水平论文数近 20 余篇, 主持国家自然科学基金青年基金、湖北省自然科学基金面上基金等项目 5 项; 作为研究骨干参与国家重大项目; 多次受邀相场国际会议, 亚洲铁电会议, 并于中国物理秋季会议做特邀报告。



A-09 Enhanced magnetoelectric response in Sc-doped BiFeO₃-BaTiO₃ ceramics

Yagang Qi¹, Baoju Xia¹, Xiongxin Guo¹, Baojin Chu^{1*}

¹CAS Key Laboratory of Materials for Energy Conversion and Department of Materials Science and Engineering, Key Laboratory of Precision and Intelligent Chemistry, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026, China

Abstract: In recent years, the single-phase BiFeO₃-BaTiO₃ multiferroic ceramics have gained attention for their magnetoelectric response above room temperature, but substantial endeavors to improve the property have yielded modest results. An optimized BiFe_(1-x)Sc_xO₃-BaTiO₃ composition having magnetoelectric coefficient (α_{ME}) \sim 567 mV/(cm·Oe) measured at the resonant frequency (\sim 95 kHz) is reported in this work. The high α_{ME} is attributed to the combined effect of improved piezoelectric coefficient and enhanced ferromagnetism. Improved piezoelectricity is attributed to enhanced intrinsic response caused by the octahedral distortions, and enhanced ferromagnetism is induced by the destabilized cycloidal spin structure resulting from the octahedral distortions. Besides, the addition of Sc³⁺ can exhibit increased resistivity and reduced defect dipole effects, which is conducive to improving electric properties.

Keywords: BiFeO₃-BaTiO₃, Magnetic properties, Piezoelectric properties, Magnetoelectric response.



齐亚刚，中国科学技术大学 2022 级硕士研究生在读。

* Corresponding author: chubj@ustc.edu.cn



A-10 铁电畴反转的尺寸效应研究

江安全

复旦大学微电子学院

摘要: 随着人工智能技术 (AI)、移动设备、大数据和云服务等发展, 对大容量、高速度、长寿命、低功耗的存储芯片的需求大幅飙升。铁电存储介质利用铁电畴自发极化及其方向在电场下反转, 非易失地存储逻辑“1”和“0”信息, 具有比 DRAM 更快的数据读写速度 (ns-ps), 且擦写电压低(1.2-1.8V)和读写次数高($\sim 10^{14}$), 未来有望应用于 HBM 领域, 能耗更低。通过在硅基读写电路上键合大面积 LiNbO_3 单晶薄膜, 采用电子束直写和离子刻蚀工艺, 制备出 20-300nm 铁电存储单元; 通过施加面内电场, 制造平行和反平行电畴以及它们之间可擦写导电畴壁, 实现信息“0”和“1”的非易失性写入和开关电流的非破坏性信息读出。通过不同写电压下畴壁开关电流随时间变化的测量结果表明, 尺寸较大的存储单元内电畴反转瞬间所产生的开关电流切换时间短, 类似电介质材料中电击穿, 意味着电畴反转时间是由首个临界电畴成核时间决定的, 而电畴生长的时间可以忽略, 不符合传统的 Kolmogorov-Avrami-Ishibashi(KAI)电畴反转的动力学模型。相反, 小存储单元内电畴的反转开关电流切换时间长, 区域内电畴成核和长大满足 Breit-Wigner 随机分布, 满足缺陷控制的电畴成核机制。大量实验统计数据表明, 小尺寸铁电畴在较低外加电场下反转速度更快, 在较高外加电场下与大尺寸的铁电畴反转速度基本一致。以上研究结果证明, 铁电存储单元尺寸越小, 存储器集成密度越高, 低场下读写速度越快, 能耗越低。

关键词: 铁电畴壁存储器; 铌酸锂单晶薄膜; 电畴反转速度; 尺寸效应



江安全, 1999 年博士毕业于中科院固体物理所, 1999-2001 年、2001-2006 年分别在中科院物理所和剑桥大学从事博士后研究, 2006 年获聘为复旦大学微电子研究院研究员, 发明了高密度铁电畴壁存储器、选择管和晶体管及其相应的测量技术, 具有纳秒量级读写速度、3D NAND 一样存储密度以及存算一体化功能, 拥有自主知识产权。近年来在 *Nature Materials*、*Nature Communications*、*Advanced Materials* 等国际刊物发表论文 120 多篇, 获得国内外授权发明专利 40 多项。在 ISIF、IMF 等本领域知名国际会议中作了 50 多次邀请报告。担任 ADL、AELM、EPL 等国际期刊副编辑, 以及 IEDM 国际电子器件大会存储



器分会、国际智能材料大会 (CIMTEC)、国际 ISIF 集成功能器件等顾问委员会委员等。获得了 2012 年获得了国家杰出青年基金、上海市高校特聘教授 (东方学者)、教育部新世纪优秀人才、上海市浦江人才等研究计划; 承担了国家 02 科技重大专项、国家重大基础研究计划课题、国家自然科学基金面上项目、上海市科委重大基础研究项目等。

A-11 掺杂、取向及拓扑结构协同调控的铌酸钠陶瓷储能性能

王婧¹、杨雨晴¹、王络²、张骥³、胡秀兰²、朱孔军¹

¹ 航空航天结构力学及控制全国重点实验室, 航空学院, 南京航空航天大学, 南京 210016, 中国

² 材料科学与工程学院, 南京工业大学, 南京 211816, 中国

³ 材料科学与工程学院, 南京理工大学, 南京 210094, 中国

摘要: 电介质电容器因其超快充放电速率和超高功率密度在大功率系统和脉冲动力系统领域有着广阔的应用前景。铌酸钠 (NaNbO_3) 陶瓷作为一种无铅且低成本的电介质材料在应用领域具有显著优势。本研究系统探索了掺杂、取向及拓扑结构对 NaNbO_3 陶瓷的协同优化: (1) $\text{Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$ 的引入用来增强弛豫特性。在成分优化的体系中, 可释放储能密度达到了 6.2 J/cm^3 , 效率为 77%。在引入织构后, 陶瓷的最大极化强度得到了提升; (2) 由普通陶瓷层和织构陶瓷层交替堆叠形成的三明治结构可以同时提升极化强度及介电击穿强度。在优化的织构度为 90.6% 的三明治结构中, 最大极化强度和介电击穿场强分别达到了 $38.3 \mu\text{C/cm}^2$ 和 678 kV/cm , 这些使得该结构的储能密度和能量效率提升至 9.2 J/cm^3 和 85%。

关键词: 介电储能; 铌酸钠; 取向调控; 拓扑结构



王婧, 女, 南京航空航天大学航空学院教授、博导, 研究方向为铁性材料及功能器件。主持国家自然科学基金 4 项、省部级科研项目 2 项、其它项目 4 项 (含横向项目 1 项); 近 5 年发表 SCI 论文 38 篇; 参与翻译出版国外经典著作 1 部; 以第一发明人获授权中国发明专利 5 项; 在国际、国内学术会议上做邀请报告 12 次。



A-12 铌酸钠基反铁电陶瓷的场致相变

张茂华¹, 赵倡皓², Jurij Koruza³, 王轲^{1,4}, 龚文¹

¹ 先进功能陶瓷材料研究中心, 乌镇实验室, 嘉兴, 314000

² 电工材料电气绝缘全国重点实验室, 西安交通大学, 西安, 710049

³ 材料化学与技术研究所, 格拉茨技术大学, 格拉茨 (奥地利), 8010

⁴ 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

摘要: 反铁电材料在电场作用下能够在反铁电态和铁电态之间相互转变, 该相变过程伴随着高密度电荷的快速释放和较大的体积膨胀, 使其在能量存储、功率电子和致动器等领域有着广阔的应用前景。铌酸钠 (NaNbO_3) 是一类最为经典的无铅反铁电材料, 其反铁电性的发现可以追溯到上世纪 50 年代^[1]。然而, 铌酸钠不可逆的反铁电-铁电场致相变行为限制了其在相关领域的应用。

本工作针对铌酸钠基反铁电材料的场致相变机制和物理性能调控方法开展了一系列研究。基于非原位和原位电学和结构表征, 我们阐明了纯铌酸钠陶瓷不可逆相变的结构机制^[2-3]。结合第一性原理计算, 我们设计了具有可逆相变的 $\text{NaNbO}_3\text{-SrSnO}_3$ 固溶体体系, 在铌酸钠基陶瓷材料中获得了双电滞回线^[4]。通过调控材料的局域结构和缺陷化学, 我们获得了具有低剩余极化强度的、具有标准双电滞回线的铌酸钠基反铁电陶瓷, 并通过进一步调控材料的微观无序度, 在保证高介电储能密度的同时大幅提升了储能效率^[5]。

关键词: 反铁电, 场致相变, 电介质储能, 同步辐射, 铌酸钠

参考文献

- [1] Vousden. *Acta Crystallographica*, 1952, 5, 690.
- [2] M.-H. Zhang et al., *Acta Mater.*, 2020, 200, 127.
- [3] M.-H. Zhang et al., *Appl. Phys. Lett.*, 2021, 118, 132903.
- [4] M.-H Zhang et al., *Chem. Mater.*, 2021, 33, 266.
- [5] M.-H Zhang et al., *Nat. Commun.*, 2023, 14, 1525.



张茂华，国家级青年人才，乌镇实验室特聘研究员、科研创新部部长。长期从事压电、铁电、反铁电陶瓷的制备工艺、电学性质、结构-性能关系、场致相变行为的研究。在国际权威期刊上发表 SCI 论文 40 余篇，以第一作者/通讯作者身份在 *Nat. Commun.*、*J. Am. Chem. Soc.*、*Mater. Today*、*Chem. Mater.*、*Appl. Phys. Lett.*、*J. Am. Ceram. Soc.* 等期刊发表论文 20 余篇，被他人引用 1800 余次，H 因子 23。主持和参与了包括中国自然科学基金、德国自然科学基金、德国黑森州政府科学基金等发起的多项科研项目。曾获美国陶瓷学会摩根奖章全球优秀博士论文奖、中国政府优秀自费留学生奖学金、中国建筑材料联合会-中国硅酸盐学会建筑材料科学技术奖一等奖，受邀参加第 71 届林道诺贝尔奖获得者大会。担任中国复合材料学会学术交流工作委员会委员、硅酸盐学会 *J. Materiomics* 青年编委。

A-13 铅基铁电晶体管中的电荷注入效应与耐久特性

陆旭兵

华南师范大学

摘要：氧化铅薄膜中铁电性的发现，重新激发了学术界和工业界对铁电存储技术的研究热潮。铁电晶体管具有高密度集成、低功耗、抗辐照、快速擦写等优异特性，是一种具有广泛应用前景的新一代非易失性信息存储器件。铅基铁电晶体管近年来取得了诸多突破性的进展，但是当前其商业化量产所面临的一个重要挑战是其反复擦写的疲劳耐久特性差，普遍在 10⁶ 次左右。影响其耐久性不好的关键机理是来自于界面的电荷注入效应。本报告将分析其界面电荷注入产生的机理，以及可能的解决办法和思路。最后，报告将介绍我们课题组在这一方面所做的相关工作。



关键词：氧化铅；铁电晶体管；电荷注入；耐久性

陆旭兵，华南师范大学教授、博士生导师。2002 年博士毕业于南京大学物理学院，获凝聚态物理博士学位。2002-2010 年分别在北京大学微电子研究院、日本东京工业大学、日本产业技术综合研究所、德国马普微结构物理所等地从事集成电路材料与器件技术的研究工作。主要研究领域为高介电常数材料、新型铁电薄膜材料及其在非易失性存储器件、神经形态器件和集成无源电子器件等方向的应用。

A-14 面向类脑计算的压电神经元

樊贞

华南师范大学华南先进光电子研究院，广东广州，510006

摘要：受人脑启发的类脑计算具有高度并行、超低功耗等优势，被认为是打破传统计算机局限性、实现新一代人工智能的理想途径之一。类脑计算的硬件实现依赖于人工神经元和人工突触两种器件，其中人工神经元负责信息处理，其重要性不言而喻。然而，目前仍缺乏结构简单且性能优异的人工神经元。本次报告将介绍一种基于逆压电效应的新型压电神经元。它结构简单，仅由压电悬臂梁、并联电容、串联电阻构成。它基于逆压电效应和电容充放电效应协同工作，能够实现完整的泄露-积分-点火(LIF)神经元功能。该工作原理也赋予了压电神经元高可靠性，其循环间差异性低至~1.9%，循环次数高达1010。此外，压电神经元的积分/发放时间短至~9.6/~0.4 μs ，能耗低至~13.4 nJ/spike。上述结果表明压电神经元是一种同时具备结构简单、高可靠性、高速、低能耗等优点的人工神经元。进一步地，我们构建了基于压电神经元的脉冲神经网络，并演示了其模式识别功能。本工作为人工神经元的硬件实现提供了一种新方案，也将助力于高性能类脑计算系统的构建。

关键词：人工神经元；压电悬臂梁；逆压电效应；类脑计算



樊贞，华南师范大学研究员、博导。2011年获上海交通大学学士学位，2015年获新加坡国立大学博士学位，2016年担任华南师范大学副研究员，2020年晋升为研究员。研究兴趣集中在铁电材料、器件及类脑计算应用。以第一/通讯作者身份在 *Nat. Commun.*、*Adv. Mater.* 等期刊上发表论文 50 篇，其中 ESI 热点论文 1 篇，高被引论文 3 篇。论文总引用 5000 余次，H 因子 35。获批主持国家自然科学基金项目 3 项、广东省杰出青年项目 1 项。荣获广东省青年珠江学者等学术荣誉。担任广州市智能光电材料与类脑器件重点实验室副主任，以及 *J. Materiomics*、*J. Adv. Dielectr.* 等期刊青年编委。



A-15 多层陶瓷电容器的微结构、性能及失效评价

杜文通, 曾华荣, 赵坤宇, 羿成, 张发强, 刘志甫
(中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 201899)

Nanoscale Characterization of Microstructures, Properties and Failure behaviors of Multilayer
Ceramic Capacitors

DU Wen-tong, ZENG Hua-rong, ZHAO Kun-yu, YI Cheng, ZHANG Fa-qiang, LIU Zhi-fu
(Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201899)

摘要: 多层陶瓷电容器 (Multilayer Ceramic Capacitors, MLCCs) 愈来愈趋向小型化、薄层化、叠层化趋势发展, 其物理特性与微结构变异及失效行为密切关联, 在微观尺度上开展 MLCCs 微结构、性能及失效评价显得尤为重要。为此, 本工作针对 MLCCs 的发展趋势及其结构-性能-失效互作用关键科学问题, 以自行建立的纳米热学、声学、热电显微术为基础, 发展了面向 MLCCs 纳米尺度结构失效与性能评价新方法, 实现了 MLCCs 核-壳结构的高分辨显微成像、MLCCs 微区局域电场分布、微区局域导电通道动态演化、介质层内部缺陷以及微区老化等原位动态表征研究, 为揭示高储能陶瓷电介质材料微结构变异-失效-性能退化之间关联提供了新启示。

关键词: 多层陶瓷电容器 (MLCC); 微结构; 失效; 扫描探针显微术

Abstract: Multi-layer ceramic capacitors (MLCC), typically comprising multiple layers of BaTiO₃ ceramic dielectric material with monolithic structures, have been increasingly developed as one of the most important passive components in electronic devices. With the reduction of the dielectric layer thickness rapidly towards the nanoscale regime, it is very imperative to understand the fundamental mechanism between structure-functionality-reliability in MLCC devices. In the present work, advanced scanning probe microscopies combined with the macroscopic electric measurement and the finite element simulation have been employed to perform studies of microstructures, physical properties, and failure behavior of BaTiO₃-based MLCCs. Nanoscale core-shell structures of the single BaTiO₃-based grains, unusual local electric field concentration, local conductive path and their dynamic electrical-tree growth behaviors and local HALT were demonstrated, which give us a direct, unique view to understand local physical phenomena, and deepen our understanding the insulation degradation and reliability of MLCCs, and also provides new clues for the development of MLCCs.

Keywords: Multi-layer ceramic capacitors (MLCC); microstructures; failure behavior; scanning probe microscopy



杜文通, 男, 博士在读, 纳米功能表征与应用研究。

A-16 Li/Sb 共掺 KNN 基无铅铁电陶瓷的压电应变特性调控

刘欢^{1,2}, 杨子奇², 张波萍¹, *李敬锋², *

¹材料学院, 北京科学技术大学; ²材料学院, 清华大学

摘要: 迄今为止, (K,Na)NbO₃(KNN)基高性能无铅压电陶瓷已取得了显著进展。然而, 大多数研究均围绕提高其压电系数(d_{33})展开。为了拓宽压电陶瓷材料在驱动器领域的应用前景, 需要提高其在低电场下的电致应变以及在宽温域内的温度稳定性。在本研究中, 我们基于缺陷工程和畴工程开发了具有高电致应变的 Li/Sb 共掺杂 KNN (LKNNs)陶瓷。该材料在 20 kV/cm 电场下的应变值与 d_{33}^* 值可分别高达 0.43% 与 2177 pm/V。此外, 其在室温到 150 °C 的温度区间内性能衰减幅度可小于 15%。这种优异的电致应变主要归因于 A 位空位-氧空位缺陷偶极子的存在以及纳米畴数量的增加。分级畴结构和缺陷偶极子能够有效钉扎极化后的畴转向, 阻止其在高温下恢复至原始状态。缺陷偶极子的偶极矩随着温度升高而增大, 补偿了应变的减小, 从而增强了温度稳定性。本研究为面向低电场的宽温域高性能压电材料的创制提供了理论指导与实验依据。

关键词: 无铅压电陶瓷; 缺陷工程; 分级畴结构; 电致应变; 温度稳定性



杨子奇, 目前在清华大学材料学院李敬锋教授课题组从事博士后研究。本科毕业于中南大学, 在曼彻斯特大学获得硕士和博士学位。他的研究兴趣涵盖铁电陶瓷的非线性介电和压电特性、同步辐射衍射技术、高温无铅铁电材料以及介电储能材料。

A-17 面向复杂电力设备局部放电检测的柔性压电超声 传感系统开发及应用

吴明

西安交通大学

摘要: 在电力行业, 电气设备的局部放电是严重的安全隐患, 因此对其进行实时准确的检测对于保障电力系统安全至关重要。而按照检测手段, 大致分为电测法与声测法两大类。其中, 声测法由于其抗电磁干扰能力强, 能精确识别和定位局放源等优点, 成为目前研究的热点。但是传统的刚性超声传感器由于其体积大, 且与复杂表面不能完全贴合等问题, 导致其灵敏度低, 且应用场景受空间限制极大。因此, 我们基于 PZT 基材料改进开发的 PZT/TiO₂/LNO/Mica 柔性薄膜超声传感系统应运而生。我们通过柔性 PZT 复合薄膜传感材料开发、柔性电子材料封装、传感器性能测试平台搭建、超声传感在线集成装置研发、后端数据处理软件开发等五方面研究, 完整实现了全套超声传感系统自主化研究生产, 成功开发出了一款可以准确监测复杂电力设备表面及恶劣应用环境下的局部放电超声信号的柔性传感系统。这种传感器具有出色的柔韧性, 能完美匹配复杂电力设备表面环境, 并且具备很高的灵敏度和优异的频响特性, 能够对于局部放电产生的微小超声信号进行实时在线检测。该项目将推动超声波检测技术的发展, 并开启新的应用领域, 为科技进步和社会发展做出贡献。

关键词: 复杂电力设备; 局部放电超声检测; 柔性 PZT 复合薄膜超声传感器; 高贴合性; 高灵敏度。



吴明, 西安交通大学电气学院副教授, 西安交通大学“青年优秀人才支持计划”学者, IEEE P3150 国际标准工作组专家, 获得陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖。主要从事铁电、压电、挠曲电等功能电介质材料与器件, 电力装备绝缘结构健康监测用智能传感系统, 新一代乙烯基非交联电缆绝缘材料及电缆系统等新材料新系统研发工作。



A-18 Effect of A-site excess on the shape memory effect of sodium bismuth titanate ceramics

Xiongxin Guo^{1,2}, Pan Chen^{1,2}, Baojin Chu*^{1,2}

¹ CAS Key Laboratory of Materials for Energy Conversion and Department of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology of China, No. 96 Jinzhai Rd., Hefei, Anhui 230026, China

² Key Laboratory of Precision and Intelligent Chemistry, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China

Abstract: Shape memory materials (SMMs) are capable of recovering their original shape through a proper stimulus. The extraordinary shape recoverability is based on temperature- or stress-induced martensitic transformations or glass transitions. Shape memory ceramics (SMC), known for their high-temperature resistance, are extensively studied. Recently, we found that ferroelectric ceramics can exhibit the shape memory effect (SME) through the phase transition between their high-temperature paraelectric and low-temperature ferroelectric phases. However, the recoverable strain of (Na,Bi)_{0.5}TiO₃ (NBT)-based ferroelectric ceramics remains relatively small compared to ZrO₂-based ceramics. Therefore, we improved the recoverable strain of NBT-based ceramics by more than 10% through A-site excess. The enhancement is attributed to a change in the crystal structure from rhombohedral to that with a notable amount of monoclinic phase, which further alters the phase transition behavior between the ferroelectric and nonpolar phases. Concurrently, the A-site excess results in a decrease in grain size and more obvious relaxor-like behavior, potentially due to inhomogeneity in the crystal structure. This investigation proposes a strategy to modulate the crystal structure and the associated phase transition processes, ultimately increasing the recoverable strain to ~0.39% from ~0.35%.



Keywords: Shape memory effect; Ferroelectrics; Non-stoichiometry; Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃; Phase transition

郭熊鑫：中科大化材学院初宝进实验室博士生在读



A-19 钛酸铋钠基无铅压电陶瓷性能协同提升研究

李志涛

安阳工学院

摘要: 无铅压电陶瓷经过数年研究,在某些性能上已经可以媲美甚至优于铅基陶瓷,但在综合性能方面尚有不足。本研究针对钛酸铋钠基无铅压电陶瓷压电性能与温度稳定性、机电耦合系数与温度稳定性不能同时提升的问题开展。通过在陶瓷中引入缺陷结构,使得陶瓷的综合性能得到协同提升。利用 XPS、高能 X 射线衍射、电畴尺寸分析等手段,验证了陶瓷性能的协同提升,来源于缺陷的引入改变了陶瓷晶体结构、电畴尺寸、晶粒尺寸等。该研究为无铅压电陶瓷性能协同提升的研究提供了可行路径。

关键词: 钛酸铋钠基无铅压电陶瓷; 压电性能; 温度稳定性; 协同提升



李志涛博士,安阳工学院材料科学与工程学院教师。从事无铅压电陶瓷研究。近年来主持升级科技攻关项目 1 项,市级科技攻关项目 1 项,教育部产学合作协同育人项目 1 项,企业合作项目 2 项,参与各类项目 10 余项。发表学术论文 10 余篇,申请国家发明专利 4 项。近年来研究兴趣为压电陶瓷综合性能协同提升,压电陶瓷在传感器及光催化领域的应用。

A-20 多肽自组织和室温磁电耦合效应及其应用

吴兴龙

南京大学物理学院

摘要: 氨基酸组成的二肽(联苯丙胺酸, DPA)是由两个苯环和一个羧基和一个氨基组成,它是艾滋海默病的基因片段。在水分子存在的情况下,它可以自组装成具有多种形貌和性质的有序结构。报告将从多肽纳米管的自组装结构出发,介绍在不同浓度水分子存在的情况下,怎样进行自组装生长及其相关的电子和声子行为,特别关注这种生物分子组装体系的铁电极化。在此基础上,我们采用 Ni 离子和二肽分子的协同生长,合成出了一种新型的层状金属有机框架 Ni(DPA)₂,层内由四种处于不同畸变态的 Ni 中



心八面体 NiN_2O_4 组成，其拥有室温的铁电性（304 K）和铁磁性（324 K），铁电性来源于 N/O 中的 p 轨道电子的不对称分布，铁磁性来源于镍的 d 轨道单电子，在近 283 K 的室温下，由自旋-电荷-轨道相互作用可引发磁电耦合效应。最后将介绍这种单相层状有机多铁材料的一些应用实例，如：在生长中引入可在光照下发生顺反异构改变的偶氮苯分子，可实现可调谐的铁电极化；施加外磁场，可实现对过氧离子的可控存储和释放；基于 NiN_2O_4 中 Ni-N 键取向的各向异性，可同时实现电路元件中的四个基本功能（电阻、电容、电感和忆阻器）；基于层内苯环对 NiN_2O_4 八面体外层结构的锁定，其单层结构具备了铁电性，目前更多有趣的性质特征还在探索中。

关键词：多肽自组织；Mi-MOF 结构；磁电耦合；光致铁电性；活性氧离子



吴兴龙，男，1995 年 2 月博士毕业于南京大学物理系凝聚态物理专业，随后留校工作。现为南京大学物理学院教授、博士生导师。国家杰出青年基金获得者(2002)和教育部长江学者特聘教授(2007)。长期从事半导体微纳结构的设计、发光和拉曼散射特性的研究，近期开展微纳结构在光电磁和催化效应方面的探索。在包括 *Nat Nanotechnol*、*Nat Commun*、*Phys Rev Lett*、*J Am Chem Soc*、*Nano Lett*、*Adv Mater*、*Angew Chem Int Ed* 等国内外学术杂志上发表论文 400 余篇，获国家发明专利十余项和美国专利 2 项，2014 至今每年入选爱思唯尔公布的最具影响力的中国高被引学者榜单。近年来主持科技部重点研发计划、江苏省基础研究计划重点项目及国家自然科学基金委面试项目多项。曾获国家自然科学基金四等奖、江苏省科技进步一、二等奖，2017 年获教育部自然科学一等奖。2005 年获江苏省高校优秀共产党员称号。

A-21 铁电拓扑结构构筑及新原理器件探索

高兴森¹，田国²，刘俊明²

¹ 华南师范大学先进光电子研究院；² 南京大学物理学院

摘要：铁电极化拓扑畴(如流量闭合的涡旋畴、中心畴、斯格明子等)蕴含者丰富的新兴效应和新功能(小尺度、拓扑保护、可外场调控、导电性)，在未来纳米信息器件具应用潜力。这里将汇报极化拓扑畴的可控制造，以及拓扑构型和及其功能的精准调控，包括，在高质量 BiFeO_3 纳米岛阵列内的中心型和涡旋型拓扑畴的形成及调控，以及静

电场、挠曲电等效应竞争及协同作用从而影响拓扑畴构型的机制，以及拓扑缺陷引起的导电通道。此外，还探索用于构筑新概念极化拓扑信息器件。

关键词：铁电畴；极化拓扑；极化拓扑电子学；扫描探针



华南师范研究员，主要研究兴趣为多功能扫描探针显微镜测试、铁性材料畴畴结构，存储材料及器件等。

A-22 转角 BN 中莫尔铁电的 PFM 研究

钟妮，范文成，魏鹿奇，关赵，段纯刚

华东师范大学，上海市，200241

摘要：基于人工堆叠构筑的莫尔铁电由于不受限于二维材料极性空间群的要求，且具有更高的灵活性和普适性，有望突破目前具有室温面外极化二维 vdW 铁电体系极度缺乏的发展瓶颈。其展现的莫尔条纹特殊畴结构，是研究基于 vdW 层间电荷转移的铁电稳定性、极化翻转动力学及其极化调控的绝佳平台。本工作中，通过优化机械剥离和干法转移的工艺，构筑高质量的双层或多层莫尔铁电。基于转角双层 BN 和双层 WSe₂ 结构，开展了基于扫描探针显微镜莫尔铁电的研究，通过多功能扫描探针显微镜具有多种测试模式可高精度表征微区的机电响应、电荷、输运和力学特性的显著优势，实现铁电畴（面外极化、面内极化）和电荷的原位同步表征，发现了莫尔云纹的边缘铁电性、铁电拓扑态及应力可控性，结合第一性原理计算理解了转角体系中复杂的极化分布。相关的研究将为深入理解莫尔铁电，探索铁电电子学及转角电子学交叉领域的新奇物理效应，研制原子级厚度的铁电新型原型器件提供重要实验和理论指导。

A-23 面向神经形态视觉传感器的新型人工光子突触

甘志星

南京师范大学

摘要: 由于物理上存储器和处理器的分离, 人工智能时代对数据处理能力的爆炸性需求给基于冯·诺伊曼架构的传统计算机带来了越来越大的压力。为了克服这一困境, 研究人员一直试图寻找一种更有效计算架构。神经形态计算以模拟大脑的结构和并行处理能力而备受关注, 基于人工突触的神经形态计算显示出高速计算、感知、学习和记忆的能力, 并且能耗超低, 有望成为解决算力瓶颈问题的重要方法。具有类量子阱多层结构的二维有机-无机杂化钙钛矿 (OIHP), 其本身自带二维界面, 并且二维钙钛矿光响应强、结构相对稳定、易于制备, 是构造光子突触器件重要候选材料。在本报告将介绍一种基于离子-激子耦合的光记忆机制, 在基于二维 OIHP 的简易光电器件上模拟了多种人类视觉功能。由于内部固有的有机/无机界面和强激子-离子耦合, 无需设计额外异质界面, 基于单片二维层状 OIHP 的光电器件表现出持续约 90 s 的非易失性光电流。该光电器件可以模拟多种生物突触对外部刺激的响应行为, 包括兴奋性突触后电流、双脉冲易化、长/短时记忆和学习-遗忘-再学习等。每个突触事件的电功率消耗低至约 0.145 fJ。该光子突触器件成功模拟了视觉感知、视觉记忆和颜色识别功能。

关键词: 人工光子突触; 钙钛矿; 二维半导体



甘志星, 2015 年获南京大学物理学博士学位, 曾在瑞典皇家工学院应用物理系、澳大利亚斯威本科技大学微光子中心等海外研究机构学习和访问, 长期从事光电半导体材料和器件方面的研究, 以第一/通讯作者身份在 *Angew. Chem.*、*Adv. Mater.*、*Nano Lett.*、*ACS Nano*、*Adv. Funct Mater.*、*Adv. Energy Mater.*、*Adv. Sci. Research*、*Appl. Phys. Lett.* 等高水平期刊发表论文百余篇, 所发表的论文被 *Science*、*Nature* 系列等 SCI 期刊论文引用 5000 余次, H 因子 37。授权国家发明专利 5 项。研究成果获江苏省光学学会青年光学科技奖, 合作研究成果获山西省自然科学二等奖(排名 3/4), 入选斯坦福大学发布的全球前 2% 顶尖科学家“年度影响力”榜单、江苏省青年科技人才托举工程、江苏省 333 工程等。



A-24 从原子尺度设计高均一性忆阻器件

黎长建

南方科技大学, 材料科学与工程系

摘要: 近年来, 超低功耗类脑存算器件是研究热点之一。由于非易失性, 高响应速度和高集成度, 阻变存储是低功耗存算器件中极具竞争力。然而, 器件与器件均一性与循环稳定性为制约忆阻器阵列的规模化, 其本质原因为阻变机理的理解尚不清晰。在此报告中, 我将介绍 (1) 利用相分离制备镍纳米细丝, 形成均匀分布的导电纳米丝, 极大提升器件循环稳定性与均一性。(2) 另外, 通过精确设计反位相界, 从而实现氧空位的局部聚集, 实现了均匀导电纳米丝的分布, 并结合扫描隧道显微镜与透射电镜解释其导电机理, 从而展示了反位相界在高密度、高开关比、高耐久性忆阻器件方面的潜力, 并且实现了压力敏感的忆阻行为。在原子尺度设计异质界面及周期性缺陷预置导电路径为高均一性忆阻器件提供一个新颖的设计思路。

关键词: 忆阻器; 界面工程; 扫描透射电镜

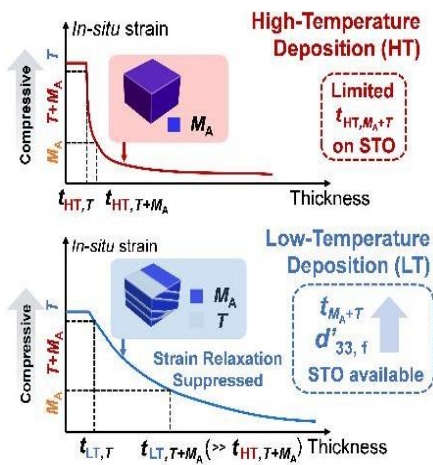
A-25 调控应力释放改善外延 BiFeO₃ 薄膜的准同型相界范围与压电性

程月雨杉, 胡雨弦, 村下太一, 宋宇, 王宏亮, 冈本和树, 刘丽莎,

刘亦轩, 张鑫, 黄厚兵*, 李敬锋*, 舟窪浩*

清华大学, 材料科学与工程学院, 新型陶瓷及精细加工国家重点实验室, 北京, 中国, 100084 东京工业大学, 物质理工学院, 横滨, 日本, 226-8502

摘要: 基板应力实现的铁酸铋 (BiFeO₃) 外延薄膜中的四方-菱方相 (T-R 相) 准同型相界能提高其压电性能。然而, 过往高温沉积工作显示, 基板应力会随着薄膜厚度增加而显著释放, 只能在有限厚度范围 (< 300 nm) 和强压应力 (-4.5%) 单晶基板上生长的外延 BiFeO₃ 薄膜中观察到 T 相。为了抑制应力释放, 打破上述限制, 本工作提出降低外延薄膜生长温度的策略。利用水热合成法, 外延 BiFeO₃ 薄膜的生长温度降被降低



到 200°C, 在钛酸锶(001)SrTiO₃ 衬底上 (基板应力约-1.5%) 生长出了 T 相的 BiFeO₃ 外延薄膜。此外, 在 600 nm 厚的外延 BiFeO₃ 薄膜中仍能观察到 T 相, 并与类 R 相的 A 型单斜相 (MA) 共存, 构成了 T-MA 准同型相界。这种状态显著提升了外延 BiFeO₃ 薄膜中的压电响应 ($d'_{33,f} = 110$ pm/V)。本工作综合非原位和原位晶体衍射、理论计算、相场模拟, 共同揭示了低温生长能有效抑制薄膜生长过程中基板应力的释放。此外, 热处理过程中的原位测试揭示, 400°C 可能为该效应得以实现的临界温度。该策略为高性能压电薄膜的制备提供了更多可能性。

A-26 Deterministic Manipulation of Multi-State Polarization Switching in Multiferroic Thin Films

Chao Chen¹, Deyang Chen^{1*}, Peilian Li¹, Guofu Zhou¹, Xingsen Gao¹, Jun-Ming Liu².

¹South China Normal University; ²Nanjing University

Abstract: Deterministically controllable multi-state polarizations in ferroelectric materials are promising for the application of next-generation non-volatile multi-state memory devices. However, the achievement of multi-state polarizations has been inhibited by the challenge of selective control of switching pathways. Herein, an approach to selectively control 71° ferroelastic and 180° ferroelectric switching paths by combining the out-of-plane electric field and in-plane trailing field in multiferroic BiFeO₃ thin films with periodically ordered 71° domain wall is reported. Four-state polarization states can be deterministically achieved and reversibly controlled through precisely selecting different switching paths. These studies reveal the ability to obtain multiple polarization states for the realization of multi-state memories and magnetoelectric coupling-based devices.

Keywords: Multi-state polarization; BiFeO₃; Scanning Probe Microscopy; Periodic stripe domain wall; Trailing field;



陈超，华南师范大学，特聘副研究员。主要从事铁电/多铁薄膜的基础研究，包括铁电奇异拓扑畴结构的构建与调控、铁电多态存储的针尖调控、铁电超晶格能量存储等方向。已发表 SCI 论文 20 余篇，包括在 *Nature Communications*, *Applied Physics Reviews*, *Advanced Functional Materials*、*Matter*、*National Science Review* 等，授权国家发明专利 2 篇，主持国家自然科学基金青年基金，国家资助博士后研究人员计划 C 档。

A-27 基于 AFM 胶体探针技术的老化 PVC 表面 zeta 电势研究

刘志坚，宋永欣，李冬青
大连海事大学轮机工程学院

摘要：聚氯乙烯（PVC）塑料因其优良的理化性质，在日常生活中被广泛使用。当 PVC 塑料与液体接触时，其表面会形成双电层。双电层的 zeta 电势在 PVC 塑料众多界面现象如吸附重金属离子等行为中起决定性作用。因此，掌握 PVC 与液体接触时表面 zeta 电势具有重要意义。然而，自然界中 PVC 塑料因光照等原因会发生老化，进而导致其表面 zeta 电势发生变化。当前，利用传统 zeta 电势测量方法（如电泳法、电渗流法等）研究 PVC 塑料老化前后 zeta 电势的变化规律时，出现了不一致甚至矛盾的结果。这是由于传统 zeta 电势测量方法都需引入电场或流场等，而这些外加物理场会改变 PVC 表面双电层的结构，从而导致测量结果不够准确。为此，本文提出利用 AFM 胶体探针技术在不外加物理场的前提下测量 PVC 塑料老化前后的 zeta 电势。首先，搭建 PVC 人工加速老化实验台，利用 UV 照射制备不同老化程度的 PVC 塑料样品。接着，利用 AFM 胶体探针在 0.1mM NaCl 溶液中分别测量老化初期疏水 PVC 或老化后期亲水 PVC 表面的力曲线，并拟合计算不同老化程度 PVC 表面双电层 zeta 电势，再通过 PVC 塑料老化过程中外观变化、接触角变化、表面化学键变化等阐明 PVC 老化过程中双电层 zeta 电势变化机理。研究表明：不同老化程度 PVC 塑料表面都带负电，但 zeta 电势绝对值在老化初期随着老化时间的增加显著减小，但在老化后期几乎不再变化。这主要是由于在老化初期，疏水性快速减小，表面纳米气泡占比减小。而在老化后期，表面亲水性较好，表面再也难以形成纳米气泡。此外，随着老化时间的增加，PVC 塑料表面的老化产物如 -OH 自由基等也趋于稳定。



关键词：AFM 胶体探针技术；zeta 电势；PVC 塑料；老化



刘志坚，轮机工程学院副教授、硕士研究生导师，美国克莱姆森大学访问学者，主要从事涉海领域的微纳传感技术及原子力显微镜胶体探针技术研究。现发表 SCI 检索论文 20 余篇，获授权发明专利 10 余项，主持 2 项国家自然科学基金项目和 3 项省部级项目，参与国家重点研发计划等国家级项目 8 项；入选大连海事大学“星海工程”人才培养计划，曾获大连市青年科技之星、大连海事大学优秀研究生指导教师等称号。

A-28 ABO₃ 铁电薄膜/Si 半导体异质结构的极化开关及 负电容现象

吕笑梅，刘琳，雷林，黄凤珍，朱劲松

南京大学物理学院，固体微结构物理国家重点实验室

摘要：基于铁电薄膜的异质结构在电、磁、声、光等领域展现出新颖的性能和广泛的应用前景。当薄膜被直接沉积在 Si 衬底上，两者之间可形成特殊的异质界面，导致复杂而有趣的电场响应。我们通过脉冲激光沉积法在 p-Si 衬底上制备了 Bi_{0.8}La_{0.2}FeO₃ 薄膜，其电滞回线末端几乎水平而中心明显收缩，矫顽电压很小。分析认为薄膜与衬底之间形成了 pn 异质结，影响了氧空位等荷电缺陷的分布、迁移及其对极化开关的钉扎作用。BaTiO₃/p-Si 异质结构的介电谱测量则显示，在较低频率以及较大偏压下可测得负电容值。分析认为，负电容主要源于界面电荷注入引起的弛豫电响应。该工作可为低能耗的铁电/半导体集成器件设计提供重要参考。



关键词：铁电/半导体异质结构；pn 结；电滞回线；负电容。

吕笑梅，南京大学教授、博导。曾获教育部提名国家自然科学基金二等奖（排名第二）、教育部新世纪优秀人才支持计划、国家杰出青年科学基金。研究领域包括铁电介电物理学、铁性材料的扫描探针显微镜研究、纳米结构设计与制备、磁电多场调控与物性。在 *Phys. Rev. Lett.*、*Adv. Mater.*、*Natl. Sci. Rev.* 等刊物发表论文 100 余篇。先后主持省部级以上科研项目 10 余项。



A-29 重金属/反铁磁绝缘体异质结中的奇异反常霍尔效应

伍亮

昆明理工大学材料科学与工程学院

摘要: 反常霍尔效应 (AHE) 作为一种量子相干输运现象, 通常在高温下因热退相干而消失。然而, 令人惊奇的是, 重金属 (HM) /反铁磁绝缘体 (AFMI) 异质结构中的 AHE 在高温下才会出现, 反而在低温下逐渐消失。我们发现了一种仅在反铁磁尼尔温度 (Néel 温度) 附近显现的非常规高温 AHE 现象, 其 AHE 电阻率可高达 $40 \text{ n}\Omega \cdot \text{cm}$ 。这一现象可以归因于反铁磁体内自旋织构所导致的 Berry 相位。原子尺度的自旋动力学模拟表明这种独特的自旋织构是由共线反铁磁交换耦合、界面 Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用、热涨落以及磁场共同作用的结果。

关键词: 反常霍尔效应; 重金属/反铁磁异质结; 自旋织构



伍亮, 广西桂林人。2012 年 6 月获得清华大学材料科学与工程工学学士学位, 数学与应用数学理学学士学位, 2018 年 6 月获得清华大学材料科学与工程工学博士学位, 师从南策文院士。后在美国罗格斯大学, 新加坡南洋理工大学从事博士后研究工作。2020 年加入昆明理工大学材料学院。研究方向为铁性薄膜材料。担任《*Mod. Phys. Lett. B*》, 《*Int. J Mod. Phys. B*》, 《*Nano*》编委, 《*硅酸盐学报*》青年编委。

A-30 低场下锆钛酸铅-铌镁酸铅 (PZT-PMN) 复合压电陶瓷的电致应变

蒋昱奇¹, 张茂华², * 刘亦轩^{1,2}, * 龚文², * 王轲¹

¹ 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;

² 乌镇实验室, 嘉兴, 314500

摘要: 随着现代科技的发展, 微定位系统和超声驱动等领域对高精度驱动器的需求日益增长。压电陶瓷驱动器具有响应快速、精确度高、耐久性强等优点, 得到了广泛应用。压电陶瓷材料的大应变响应往往在高电场下获得。然而, 这类材料在高场下的电致应变呈现出显著的非线性与滞回, 严重限制了其在实际应用中的可靠性。因此, 开发在低电场下产生大位移的压电陶瓷材料对于提高致动精度和服役稳定性极具意义。本研究提出利用弛豫型 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ 组分调控 MPB 相界处 $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3$ 铁电短程有序性的方法, 来提升低场下的电致应变。结果表明, 在 1 kV/mm 的低电场下可获得 1380 pm/V 的超高逆压电系数 d_{33}^* , 同时保持了 11.5% 的超低滞回, 显著优于现有的标杆商用压电陶瓷 PIC151 ($d_{33}^* \sim 850 \text{ pm/V}$)。进一步采用了电场原位同步辐射 X 射线衍射技术和亚微秒级时间分辨率的铁电畴翻转动力学表征技术, 揭示了材料在低场下产生大应变的物理机制: PZT-PMN 中晶格畸变的减小和畴结构的细化有助于降低畴壁移动的能量势垒, 从而提高材料在低电场下的电致应变响应。该研究不仅为压电致动器的应用需求提供了新的解决方案, 还为探索大电致应变的物理机制提供了新的分析视角。

关键词: 压电陶瓷; 锆钛酸铅; 电致应变; 铁电畴壁



刘亦轩, 男, 汉族, 1995 年。2022 年于清华大学材料学院获得博士学位, 后前往英国剑桥大学材料科学与冶金系从事博士后工作。致力于研究无铅压电陶瓷的烧结行为与缺陷调控, 以及氧化镧基薄膜的铁电物性调控。在 *Science*、*Nature Communications*、*Advanced Materials* 等国际高水平期刊发表文章 40 余篇, 近五年以第一作者/通讯作者发表论文 10 篇, 被引 1100 次。授权国家发明专利 1 项, 曾获浙江省青年科技工作者优秀科技论文奖。主持多项国家自然科学基金及省级自然科学基金。

A-31 基于 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 铁电薄膜的耐高温铁电存储器件

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

摘要: 纳米级厚度的 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ (HZO)铁电薄膜具有较大的铁电极化、其 ALD 制备工艺与现有的硅基 CMOS 技术兼容, 这有望显著增加铁电存储芯片存储密度和市场竞争能力。本文研究了 HZO 薄膜厚度、界面、电极、交流电场频率和振幅、环境温度对 HZO 薄膜存储器件的“1/0”读写次数和时间耐久性的影响机制。W/HZO/W 存储单元在 380°C 仍然具有标准的铁电回线, 在 -40°C 至 250°C 的剩余极化大于 $15\mu\text{C}/\text{cm}^2$, 在 25-250°C 具有优异的读写耐久性, 200°C 和 250°C 时存储单元的最大读写次数可以超过 1010 次和 108 次。随着温度的升高, HZO 薄膜漏电流增加和矫顽场 E_c 减小, 高温下的读写耐久性和时间保持性能变差。250°C 下 20 天的保持性能优异, 外推模型说明其在 -55°C-125°C 下“1/0”信息可以保持 10 年以上, 满足车规级和军工级电子产品标准。

关键词: 铁电薄膜; $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$; 铁电存储; 耐高温



袁国亮教授, 2005 年获南京大学理学博士学位, 先后在香港理工大学、法国 CNRS 国家实验室、德国波恩大学(洪堡学者)、日本筑波大学(JSPS 研究员)工作。2009 年 10 月以来在南京理工大学材料科学与工程学院工作, 曾任材料物理系主任, 中国材料研究学会微纳技术分会第一届理事。主要研究铁电薄膜及其存储器件、压电陶瓷及其驱动和传感器件、铁电半导体材料与器件等, 已发表 SCI 科技论文 200 余篇, 获授权中国发明专利 20 余项。

A-32 铁电氧化物材料表面结构设计与功能调控研究

田瑜, 廖佳佳, 范宇昕, 张跃林, 周益春, 张金星
空军军医大学; 西安电子科技大学; 北京师范大学

摘要: 由于具有良好的压电、热电、磁电、光电等效应, 铁电氧化物是新一代信息存储、能源、催化领域研究的宠儿, 其表面结构作为主要影响材料性能表达的影响一直



以来都受到人们的广泛关注。研究发现铁电氧化物薄膜的表面结构与极化的大小、方向等之间存在很强的相互耦合作用，但其表面微观结构对极化影响的物理机制尚不明确。文章以铁电氧化物铁酸铋薄膜为模型体系，利用探针显微镜等实验手段在微观尺度上探测表面晶格结构、电子结构及电荷分布与铁电极化稳定性之间的关系；综合考虑铁电氧化物的晶格、电荷及轨道自由度的耦合作用，通过设计铁电氧化物(超薄)薄膜表面结构实现对铁电极化的大面积调控，并通过边界条件调节薄膜退极化场、表面电荷迁移率以及内建电场的大小，进一步提升其极化保持性能，为探索新的量子现象及稳定的铁电存储器件的开发奠定理论和实验基础。

关键词：铁电极化；表面结构；铁电畴结构；



田瑜，空军军医大学基础医学院，讲师，主要从事基于铁电薄膜材料的存储器件及新型纳米生物器件、生物传感研究，在 *Nature Communications*、*Advanced Functional Materials* 等杂志期刊上发表论文 10 篇，主持国家自然科学基金青年科学基金项目 1 项，陕西省自然科学基金基础研究计划（青年项目）1 项。

A-33 Anomalous Reverse Mechanical Polarization Switching In Negative Piezoelectric CuInP_2S_6

Lei Wang^{1#}, Dawei Zhang^{1#}, Zheng-Dong Luo², Patrick D. Taylor³, Kevin Tran³, Wenjie Ming⁴,

Jianbo Tang⁵, Pankaj Sharma⁶, Michelle J.S. Spencer³, Jan Seidel^{1*}

¹School of Materials Science and Engineering, UNSW Sydney, Sydney NSW 2052, Australia

²Hangzhou Institute of Technology, Xidian University, Hangzhou 311200, China

³School of Science, RMIT University, GPO Box 2476, Melbourne, Victoria 3001, Australia

⁴Department of Materials Science and Engineering, Southern University of Science and
Technology, Shenzhen, Guangdong 518055, China

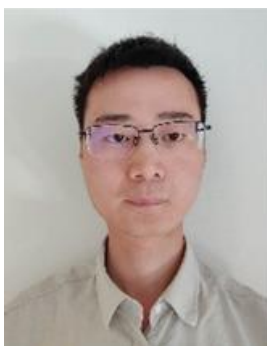


⁵School of Chemical Engineering, UNSW Sydney, Sydney NSW 2052, Australia

⁶College of Science and Engineering, Flinders University, Bedford Park, Adelaide, SA 5042,
Australia.

Abstract: Van der Waals ferroelectric CuInP_2S_6 (CIPS) has drawn significant attention not only because of its unique properties but also owing to its technological potential for nanoelectronics. Mechanical polarization switching provides a new approach to modulating polarization states through flexoelectricity. This approach is particularly favourable for CIPS to avoid surface damage under an electric field due to the coupling between polarization switching and ionic motion. Here, we report anomalous downward-to-upward polarization switching under tip force in CIPS nanoflakes, which is believed to stem from the competition between piezoelectric and flexoelectric fields induced by tip pressure, together with the unique quadruple-well state present in CIPS. This work provides novel insights into the polarization switching mechanism of CIPS, elucidating the interplay between competing piezoelectric and flexoelectric fields, and it may pave the way for the design of electromechanical devices based on flexoelectric engineering.

Keywords: CuInP_2S_6 , flexoelectricity, negative piezoelectricity, polarization switching



王磊本科和硕士均毕业于西安交通大学，于2020年取得硕士学位。他现在是澳大利亚新南威尔士大学材料科学与工程学院的一名博士生，导师 Jan Seidel 教授。他的研究兴趣是利用多种扫描探针显微镜技术在纳米尺度研究先进功能材料，特别是铁电材料和铁磁材料。目前已在《*Advanced Functional Materials*》（一作），《*Materials Horizons*》（一作），《*Advanced Materials*》（二作）等国际知名期刊发表文章 18 篇。



◆B 分会场报告摘要(B01-B33)

B-01 离子热电器件的工作模式与性能优化

刘玮书

南方科技大学材料科学与工程系, 深圳

摘要: 离子热电材料以离子能量载体实现热到电的直接转换, 在微小温差下具有高电压输出的优点。另一方面, 由于巨热电势离子热电凝胶的柔性可拉伸性质, 在面向人体环境集成应用有明显的优势。本报告将从简要介绍离子最新进展, 包括基本原理, 材料体系, 工作模式与潜在应用场景。报告还将详细介绍离子热电器件的电极设计, 以及离子热电器件的工作温度区间等关键技术问题, 阐明离子热电工作的上限温度与离子热电凝胶的高温胶溶, 以及下限温度与溶剂凝结相关的机制, 以及相应的调控策略。

刘玮书, 南方科技大学材料科学与工程系教授, 国家杰出青年基金获得者, 英国皇家化学学会 Fellow。主要研究领域: 电子热电、离子热电、磁热电、光热电、传感器自供能、热功能皮肤等, 目前正在 *Science*、*PNAS*、*Nat. Sci. Rev.*、*Nat. Comm.*、*Energy Environment Sci*、*Adv. Mater.*、*Acta Mater.* 等发表学术论文 160 余篇, 引用 >12000, H-index 55, 共申请发明专利 34 件, 授权 19 件。2019 年, 获得首届腾讯科学探索奖, 2020 年入选斯坦福大学全球前 2% 顶尖科学家, 2021 年入选深圳市国家级领军人才, 2022 年入选深圳市杰出青年。撰写了三部专著中的 6 个章节。入选第十二批“国家特聘专家(青年项目)”, 英国皇家化学学会会士, 2019 年获首届腾讯“科学探索奖”, 2024 年获中国材料学会“学术贡献奖”。担任中国材料学会热电材料及应用分会理事, 中国体视学会材料分会副主任委员。



B-02 基于氧化物低维纳米结构的半导体氢气传感器研究

王钊*, 李志伟、杨洋、谈论、胡永明, 顾豪爽

湖北大学微电子学院, 微纳电子材料与器件湖北省重点实验室, 湖北 武汉,
430062

摘要: 快速、灵敏、可靠性好的氢气传感器是实现氢泄露安全检测的核心前端, 其研发与应用对保障氢能大规模推广应用具有重要意义。半导体氢气传感器的灵敏度高、成本低廉、使用寿命长且制备工艺易于 MEMS 工艺兼容, 是最具发展潜力的一类氢气传感器件, 其氢敏响应源自表面气固作用与半导体载流子输运行为的耦合, 器件的灵敏度、响应速度、选择性和稳定性等核心指标与敏感层的表面活性和电输运特性密切相关。然而, 传统半导体氢气传感器的敏感层表面活性普遍不高, 需采用贵金属催化剂等化学敏感途径提升其与氢的相互作用。此外, 传感器通常基于厚膜或多晶体系, 大量晶界会制约表面气固作用对电输运的调控作用。因此, 现有商业化半导体氢气传感器普遍需在 200 °C 以上的高温下运行, 从而提高敏感层的表面活性并降低晶界势垒对电输运的影响, 导致传感器功耗大、选择性差且容易中毒失效等一系列问题, 严重制约此类器件在氢安全检测等领域的实际应用。

针对上述问题, 团队成员利用新颖的液态金属氧化层剥离转印技术, 制备了由超薄二维晶粒构成的 SnO₂、In₂O₃ 等超薄膜材料, 基于原位扫描探针技术分析材料的尺寸、微结构等对其表面气固作用的影响规律。通过调控超薄膜的尺寸和表面吸附氧含量等关键特性, 同时获得了优异的表面气固反应活性和良好的表面调制型电输运行为, 实现了 60 °C 下对氢气的超快、高灵敏、高选择性检测。在此基础上, 利用剥离转印过程中因金属残余而自发形成的内嵌型金半接触, 进一步增强了表面气固作用对超薄模电输运特性的影响, 研制出室温下具有优异综合性能的超薄膜氢气传感器。此外, 团队成员结合原子尺度原位显微分析技术证实了 MoO₃ 纳米材料的氢致半导-金属转变行为, 发现其氢敏响应灵敏度超越传统吸附氧反应模型的极限, 可实现对氢气的特异性、超高灵敏度(> 10⁴) 和超快 (< 0.2s) 检测。基于上述发现, 研制了柔性自支撑的新型纸基高性能半导体氢气传感器, 满足可穿戴、贴敷式等应用场景对高性能氢气传感器的应用需求, 为开发新型高性能半导体氢气传感器开辟了新路径。

关键词: 氢气传感器; 半导体氧化物; 低维纳米结构



王钊，湖北大学微电子学院教授、博士生导师，湖北省微纳电子材料与器件湖北省重点实验室副主任，氢能源安全检测与控制工程技术研究中心副主任。2013 年获湖北大学与香港理工大学联合培养博士学位，新加坡国立大学访问学者。主要从事金属氧化物低维纳米结构及其微纳传感与智能感知器件研究，主持国家自然科学基金面上项目、湖北省杰青项目、湖北省技术创新专项重大项目等课题。在 *ACS Nano*、*Nano Energy*、*ACS Sensors* 和 *Sensors and Actuators B* 等权威期刊发表论文 100 余篇，授权发明专利 10 余项，获湖北省教学成果三等奖 1 项。

B-03 塑性铋化镁单晶热电材料

毛俊*，张倩*

哈尔滨工业大学（深圳）

传统高性能热电材料多为无机半导体，其化学键以共价键为主，材料往往表现出本征脆性，在弯曲和拉伸状况下易发生断裂。研究发现，铋化镁单晶在面内方向的压缩应变超过 75%，拉伸应变高达 100%，这一数值相较传统热电材料高出了一个数量级，甚至超过了部分具有类似晶体结构的金属材料。此外，铋化镁单晶可以在室温下轻松实现弯折、扭曲等多种类型的塑性形变。扫描透射电子显微表征发现塑性变形后的铋化镁单晶中存在大量滑移带和位错。此外，第一性原理计算发现铋化镁中的多个滑移面均具有较低的滑移势垒，这表明材料中可能存在多个滑移系对铋化镁单晶的塑性变形起到贡献。不仅如此，利用晶体轨道分布密度积分对滑移过程中的键能进行量化分析，发现滑移中连续的动态成键过程能够有效地阻止原子面的解理，这对材料的塑性变形也起到了重要贡献。此外，碲掺杂的铋化镁单晶在面内方向的热电功率因子约为 $55 \mu\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-2}$ ，室温热电优值 zT 约为 0.65。

B-04 拓扑材料的磁热电性能

潘瑜

重庆大学

摘要: 拓扑材料因独特的能带结构与拓扑性质为开发新型热电材料提供了重要平台。本报告将针对不同的热电效应, 阐述新型拓扑热电材料的开发及其热电性质探索。例如, 对于常规能斯特效应, 利用高迁移率的双载流子协同贡献特性, 在 WTe_2 中实现了优异的能斯特效应与功率因子。对于反常能斯特效应, 针对铁磁体抗干扰能力差、且费米能附近较重的电子轨道使得迁移率较低, 不利于整体热电性能的提升等问题, 提出了利用倾斜反铁磁中净磁矩不为零、以及 p-d 轨道杂化和层状晶体结构从而同时实现大反常能斯特效应、高迁移率、以及较低的热导率的材料设计思路, 在 YbMnBi_2 中实现了远高于其他拓扑铁磁金属的反常能斯特热电优值。对于塞贝克效应, 提出了多子补偿、带隙调控等能带设计手段, 实现了 YbMnSb_2 、 Mg_3Bi_2 的类单载流子传输特性; 在 $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ 中实现了显著增强的磁塞贝克效应和优异的热电优值。

关键词: 热电材料; 拓扑材料; 能斯特效应; 磁塞贝克效应



潘瑜, 重庆大学前沿交叉学科研究院、量子材料与器件研究中心教授, 博士生、硕士生导师, 国家级青年人才项目入选者。2018 年博士毕业于清华大学材料学院, 2018-2023 年于德国马克斯普朗克固体化学物理研究所从事博士后研究, 2021-2023 担任拓扑与热电研究组长。主要研究兴趣包括新型热电材料及器件、拓扑材料的制备与低温输运性质、无机材料磁电声耦合作用等。共发表学术论文 40 余篇, 其中以第一作者/通讯作者身份在 *Nat. Mater.* (2), *Nat. Commun.*, *Adv. Mater.* (2), *Energy Environ. Sci.* (2), *Adv. Funct. Mater.*, *Adv. Energy Mater.* 等国际期刊上发表论文 10 余篇, 被引用 2700 余次, H 指数 27。受邀担任 *Nature*, *Science*, *Nat. Electron.*, *Nat. Commun.*, *Adv. Funct. Mater.*, *Adv. Energy Mater.* 等期刊审稿人, 受邀担任加拿大自然科学与工程研究会 (NSERC) 和德国研究基金会 (DFG) 相关科研项目评审人。曾获得 2023 年度国际热化学会优秀博士后 (全球每年仅 1 名)、德国“洪堡学者”、国家奖学金、北京市优秀毕业生等奖励或荣誉称号。



B-05 面向产业化的高性能 N 型碲化铋基热电材料制备

蔡博文^{1,2,*}, 赵健博^{1,2}, 劳士桂¹, 刘锋铭¹

¹ 广西自贸区见炬科技有限公司, 广西钦州市钦南区中马产业园区电子信息
产业基地 6 栋, 535000;

² 桂林电子科技大学南宁研究院, 广西南宁市江南区下津路 12 号, 530000

摘要: 热电材料可实现热能与电能直接相互转化, 在废热回收、固态制冷等领域获得广泛应用。特别地, 5G 通信市场的繁荣发展使碲化铋这一传统热电材料重焕新机, 成为了制备微型热电制冷器件的唯一热电材料, 但碲化铋, 尤其是 N 型碲化铋, 又因其固有的层状晶体结构和对取向性敏感度高特性, 面临加工性不强, 制成微型热电臂成品率低等一系列问题, 提高 N 型碲化铋的热电性能和机械强度, 实现其综合性能提升成为了碲化铋材料体系研究的重中之重。我们采用工业级热挤压手段制备 N 型碲化铋, 通过调节挤出压力, 有效避免了晶棒裂纹的产生, 实现了公斤级 N 型碲化铋的制备, 室温稳定 PF 达到了 $50\mu\text{W}/\text{cmK}^2$ 左右, 其机械强度高, 可实现 0.4mm 左右的切片, 有力支持产业界微型热电器件的生产。后续我们将进一步优化实验参数, 改善制备工艺, 以期获得性能更优异更稳定的 N 型碲化铋基热电材料。

关键词: 碲化铋; 热挤压; 热电性能; 机械性能。

B-06 高效稳定的硒化亚铜基热电材料

余锦程, 李敬锋*

清华大学材料学院

摘要: 硒化亚铜是一种环境友好的 p 型快离子导体, 在中高温热电发电领域具有极大的应用潜力。虽然具有类液态流动性的 Cu 离子可以在参与导电的同时散射声子, 但是其在电场或温场中的定向迁移能够引发 Cu 单质的偏析, 使材料与器件的稳定服役面临着巨大的挑战。本工作基于密度泛函理论和微动弹性带模拟, 利用 Ag 和 F 元素在 $\text{Cu}_{1.99}\text{Se}$ 基体共掺杂的策略, 成功诱导了离子限域效应。进而, Cu 离子的长程迁移得到有效抑制, 体系内载流子浓度显著降低。最终, 材料的峰值 ZT 在 1050 K 时可达 3.0。



所制备的热电模组历经 120 次循环测试仍能在 518 K 温差下维持 13.4% 的转换效率。本工作作为高效稳定的类液态热电材料的研发积累了相关经验。

关键词：热电材料；快离子导体；稳定性



Mater. 等国际期刊发表 SCI 论文近 40 篇。

余锦程，清华大学材料学院博士后（助理研究员）。本科与硕士毕业于山东大学，博士毕业于曼彻斯特大学。入选国家级博士后专项、博士后国际交流计划（引进项目）、清华大学“水木学者”计划。主要从事热电材料与器件的开发与应用研究。特别是围绕 Cu_2Se 热电材料，在其显微结构解析、电声输运解耦以及服役稳定性等方面开展了一系列研究工作，在材料合成和器件创制领域积累了相关经验。迄今为止，在 *Nat. Mater.*、*Joule*、*Nat. Commun.*、*Adv. Energy*

B-07 新型热变形工艺提升 $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$ 热电性能

庄华鹭，李敬锋*

清华大学 材料学院

碲化铋合金是目前唯一实现大规模商业化应用的近室温热电材料，在光电子器件的温控热管理方面具有广阔的应用前景。本工作为了进一步提升其热电性能，通过改进传统的热锻工艺，开发了一种新型热变形工艺。该工艺可使 $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$ 块体经历剧烈的塑性变形，从而在其内部引入大量异质结构与缺陷，包括高密度位错、层错和缺陷团簇。多尺度缺陷结构显著增强了变形处理材料在宽频率范围的声子散射，从而大幅降低了其晶格热导率。在此基础上，通过成分优化策略精细调控载流子浓度，从而确保了良好的电输运性能，并最终可将 ZT 值提升至超过 1.7。这项工作表明制备技术是进一步提升 P 型 $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$ 基热电材料性能的关键。



B-08 界面应力工程提高碲化铋薄膜的面内热电性能

韩湛然, 余锦程, 庄华鹭, 李敬锋*

清华大学材料学院, 北京

摘要: 热电薄膜材料的功率因子(PF)对微型热电器件的输出功率有决定性的作用, 高功率因子的热电薄膜材料在微区主动制冷和物联网领域具有广泛的应用前景。碲化铋得益于层状晶体结构和室温下高载流子迁移率, 是目前热电薄膜材料中的研究热点。本研究使用磁控溅射制备高质量 Bi_2Te_3 薄膜, 通过调整衬底与离子束之间的入射角对薄膜的界面应力进行调控。结果表明, 层状生长的薄膜均具有高织构度, 与衬底间的应力以面内方向为主导; 宏观应力随入射角的增大而大幅降低, 显著的应力释放在提升有效质量的同时抬升了材料费米能级, 因此在缺陷密度和散射因子相近的情况下, 样品的载流子浓度和迁移率得以协同提升。制得样品的面内最大功率因子在 423K 下达到 $14.9 \mu\text{W cm}^{-1}\text{K}^{-2}$, 相较未进行调控的样品提升约 53.6%。

关键词: 碲化铋, 热电薄膜, 磁控溅射, 应力工程



韩湛然, 2021 年本科毕业于清华大学材料学院, 2021 年至今于清华大学材料学院李敬锋教授课题组攻读博士学位, 研究方向为热电薄膜材料的开发与改性。

B-09 非晶二硫化钼复合提升 $\text{Bi}_2(\text{Te,Se})_3$ 的热电性能

王正沁, 庄华鹭, 李敬锋*

清华大学 材料学院

摘要: 碲化铋(Bi_2Te_3)基合金在室温附近具有高热电性能, 被广泛应用于固态制冷领域。近年来 p 型 $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$ 基热电材料热电优值(ZT 值)得到显著提升, 而 n 型 $\text{Bi}_2(\text{Te,Se})_3$ 的性能提升研究进展缓慢。在本研究中, 我们发现通过引入非晶态二硫化钼

(MoS₂)可以显著改善 n 型 Bi₂(Te,Se)₃ 基合金的热电性能,这种改善效果比其晶态更为显著。非晶态 MoS₂的引入可以调节反位缺陷和晶粒尺寸,从而提高载流子浓度和迁移率,进而实现 Bi₂(Te,Se)₃ 基合金的高电导率。由于电导率的显著增加,在室温条件下,本研究实现了高达 37 μ W·cm⁻¹·K⁻¹ 的功率因子。此外,非晶态二硫化钼在基体中引入点缺陷,并原位生成了一系列纳米粒子,作为散射中心的缺陷可以有效降低晶格热导率。最终,样品的最大 ZT 值可达 1.3,表明非晶态纳米粒子的引入可以有效调节热电性能。

关键词: n 型碲化铋; 热电材料; 纳米复合



王正沁, 本科毕业于中南大学材料科学与工程学院, 现就读于清华大学材料学院。研究方向是热电材料。

B-10 钙钛矿光伏电池中的纳米结构透明电极材料与界面调控

方国家^{1, 2*}, 葛艳松¹、王海兵²、周顺¹、柯维俊¹、陶晨²

¹ 武汉大学 物理科学与技术学院

² 武汉纺织大学 电气与电子工程学院

摘要: 钙钛矿电池因其高效能和低成本在光伏领域备受关注。然而, 界面光电特性和晶体质量对其性能的影响至关重要。通过将天冬氨酸盐酸盐(AspCl)引入到底部空穴传输层、钙钛矿体吸光层、和上界面层中, 开发了一种采用同一分子处理的一体化掺杂策略。研究发现 AspCl-SnI₂ 和 AspCl-PbI₂ 具有很低的形成能, 有利于形成中间体或者络合物, 这极大地改善了钙钛矿薄膜的质量。除了与钙钛矿前驱体配位外, AspCl 分子还具有很强的分子间氢键, 富集在钙钛矿上、下界面处的 AspCl 还充当了钙钛矿层和传输层界面之间的分子锁, 进一步提升了钙钛矿材料的性能和稳定性。通过天冬氨酸盐一体化

掺杂策略同时提高了窄带隙钙钛矿子电池的效率和稳定性，实现了稳态效率为 27.62%（第三方权威认证效率 27.34%）的两端全钙钛矿叠层电池。除了与钙钛矿前驱体配位外，AspCl 分子还具有很强的分子间氢键，富集在钙钛矿上、下界面处的 AspCl 还充当了钙钛矿层和传输层界面之间的分子锁，进一步提升了钙钛矿材料的性能和稳定性。此外，在钙钛矿相薄膜退火形成前，使用少量的油胺氯（OACl）进行提前干预处理，可以稳定钙钛矿晶界。这种提前干预的方法使得钙钛矿及其晶界得到了重构。这不仅提高了晶体质量，而且有效抑制了晶界处的缺陷和晶界处残余碘化铅的形成，从而大幅提升了光伏电池的效率和稳定性。对于正置电池还提出了采用 NbCl₅ 和 BABr 上下内封装的概念，抑制了卤素 I 的迁移，提高了器件的 MPP 测试稳定性。揭示了零价铅的起源和作用，提出了抑制残余碘化铅和零价铅的措施，使小面积器件效率达到 25%，MPP 测试稳定性得到大幅改善。通过研究添加剂阳离子结构对称性对器件性能的影响，利用界面修饰剂阳离子的空间结构对称性，促进了功能层之间的空穴载流子抽取，并减少了钙钛矿表面的非辐射复合。通过中间相工程调控获得了高质量的钙钛矿薄膜，使得钙钛矿（001）取向的结晶得到增强，并且由于使用的添加剂与晶界残余 Pb²⁺和 FA⁺的作用使得钙钛矿薄膜中的缺陷得到有效的抑制。

关键词：广角光反射；非辐射复合；钙钛矿电池；界面调控



方国家，工学博士，武汉大学物理科学与技术学院二级教授、博士生导师；曾担任电子科技系系主任、学院副院长、电子科技一级学科博士点和博士后流动站负责人；湖北省彩虹特聘教授。湖北省优秀博士论文和国务院政府津贴获得者，863 项目课题负责人。承担了国家 863 计划课题、国家 973 计划子课题、国家重点研发计划项目、国家自然科学基金重点和面上、湖北省科技创新重大专项、湖北省重点研发计划项目等多项科研课题。授权发明专利四十余项。研究领域是光电转换材料与半导体器件(包括薄膜太阳能电池、电致发光材料与器件、光电探测器)。在 *Nature*、*Nature Photonics*、*Nature Communications*、*Nature Energy*、*JACS*、*Joule*、*Advanced Materials*、*IEEE EDL*、*APL* 等国际重要刊物发表 SCI 论文 300 余篇。

B-11 光敏铁电复合材料多场耦合效应及柔性器件

王瑶

北京航空航天大学材料科学与工程学院

摘要：铁电材料因晶格-电荷强关联而具有丰富的物理内涵，在机电能量转换、信息存储、无源电子器件等领域有广泛应用。与无机铁电材料相比，铁电聚合物易于加工、重量轻、柔韧性好、成本低；但其较低的电极化值 ($\sim 10 \mu\text{C}/\text{cm}^2$) 限制了它们在铁电相关器件中的应用，亟需开发高极化强度的铁电聚合物材料。金属卤素杂化钙钛矿是一类具有独特缺陷结构和可极化性的光电材料，我们发现将其与铁电聚合物复合，意外地大幅提高了聚合物电极化强度 ($\sim 19.6 \mu\text{C}/\text{cm}^2$)、表现出超越传统铁电材料的机电耦合优值。通过对复合材料多尺度微观结构精细分析，结合分子动力学模拟，认为如此非常规高的极化性能来自于电场诱导产生的 Frenkel 缺陷对，通过界面交换耦合作用被极化 PVDF 稳定。这种策略同时也具有普适性，非铁电相 P(VDF-HFP) 与卤素钙钛矿的纳米复合材料同样实现了强极化。更有意义的是，我们在这类光敏铁电复合材料中实现了铁电极化与光电相关效应的耦合，进一步发展了基于钙钛矿/铁电聚合物复合材料光-力-电多场耦合效应的柔性多功能传感阵列，在新一代光电子器件、多能源利用、多态信息存储等领域极具应用潜力。

关键词：铁电聚合物；卤素钙钛矿；纳米复合，多场耦合



王瑶，北京航空航天大学副教授、博导、材料物理系教学主任。长期致力于多场耦合功能复合材料结构-性能关联研究，面向未来国防装备对高功率、小型轻质、极端服役条件长效可靠的发展需求，开展新器件研制。以第一或通讯作者在 *Nature Communications* 等期刊发表 SCI 论文 110 余篇。承担国家自然科学基金、国家重点研发重点专项、装备发展部预研共用技术、航天科工集团等 10 余项。担任 *Acta Materialia*、*Scripta Materialia* 助理编辑、*Soft Science* 青年编委。



B-12 集成友好的高储能密度钛酸钡薄膜及其纳米结构表征

欧阳俊^{1,2}, 薛银秀¹, 宋传奇¹, 刘超¹, 成宏卜¹, 朱汉飞¹

¹ 齐鲁工业大学 (山东省科学院), 化学与化工学院;

² 湘潭大学, 材料科学与工程学院

摘要: 铁电陶瓷电容器的高功率密度、优异的热稳定性和循环稳定性, 使其成为介电储能研究的前沿。为了将其以薄膜的形式集成到微电子系统里, 需要在较低的温度下将其沉积到基底上。低温将导致薄膜的结晶性变差, 其场致极化和可回收储能密度大幅降低。而另一方面, 高温沉积的高结晶铁电薄膜确实显示出高的场致极化, 伴随着高的储能密度和储能响应 (单位电场下的可回收储能密度), 但与此同时, 其剩余极化亦随着结晶度的提高而增加, 导致铁电薄膜电容器的能量效率变低。因此, 对于现有的铁电薄膜电容器, 其热预算、电极化能力和能量效率三者间存在相互制约关系, 难以同时实现优化。以 BaTiO₃ 这一常用铁电陶瓷材料为研究体系, 使用物理气相沉积 (溅射) 方法, 本课题组提出了三种典型思路来解决上述问题。首先是通过柱状纳米晶的结构设计, 在中温 (500°C) 制备获得了可回收储能密度 W_{rec} 大 (~161.1 J/cm³)、储能响应 ξ 强 (373.8 J/(kV·m²)) 但储能效率 η 一般的 (~65%-70%) 的 BaTiO₃ 薄膜。其次用柱状纳米晶结合梯度混合相成分设计, 在 500°C 下制备获得了 W_{rec} 高达 208 J/cm³, ξ 维持在 364.9 J/(kV·m²) 的高水平, 同时 η 得以大幅提升 (~88%) 的 Ba(Zr,Ti)O₃ 薄膜。最后, 通过调控导电缓冲层厚度, 促进晶粒取向的优化组合, 提高了场致极化里介电部分的贡献, 在低温 (200°C) 制备的 BaTiO₃ 薄膜上实现了对其电极化能力的精准优化, 亦即在降低剩余极化的同时提高其介电常数和场致极化。在 4 MV/cm 的电场下, 该薄膜的场致极化高达 ~55.8 μ C/cm², 而剩余极化只有 ~5.9 μ C/cm², 对应了优异的可回收储能密度和能量效率 (W_{rec} ~94.7 J/cm³, η ~78.2%), 开辟了一条储能电介质材料在微电子系统中集成应用的创新思路。在本工作中使用了多种 AFM 技术来表征薄膜的纳米晶粒和电畴结构, 帮助建立了薄膜的极化储能特性与其微纳结构之间的构效关系。

关键词: 介电储能; 铁电薄膜; 钛酸钡; 溅射; 柱状纳米晶; 混合相; 缓冲层; P-E 回线



欧阳俊，齐鲁工业大学化工学院教授，“新能源材料化学与功能器件”科研团队负责人，湖南省“芙蓉学者”讲座教授。1999年、2005年分别获得材料科学与工程学士、博士学位。2005.06-2010.04期间在美国希捷科技任职电子材料研发工程师。2010.04-2019.12期间在山东大学材料学院任教授和博士生导师，2020年1月调入齐鲁工业大学并工作至今。目前担任中国硅酸盐学会特种陶瓷分会理事和山东硅酸盐学会电子陶瓷专家委员会常务委员，《先进陶瓷》编委，《Applied Physics Letters》期刊“Piezoelectric Thin Films for MEMS”专刊编辑，《Nanomaterials》期刊“Dielectric, Ferroelectric and Piezoelectric Properties of Nanomaterials”专刊编辑 (<https://mdpi.com/si/201568>)

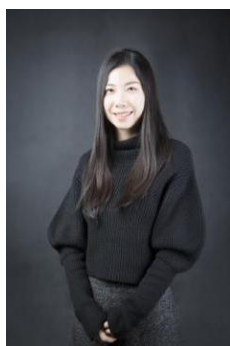
B-13 二维铁离子材料的本征多重极化态

李桃¹，吴永毅¹，陈明星²，张振宇³，闵泰¹

¹ 西安交通大学；² 湖南师范大学；³ 中国科学技术大学

摘要：多值存储是提高存储密度的最有力的解决方案之一。铁电存储器中实现多值的主要方法为调控器件中的反向畴面积比例以及利用铁电-介电薄膜的超晶格等。然而，不同于该类器件中测得的多个电阻水平，铁电薄膜本身仍然具有两个本征极化态的特性，体现在其具有双稳态的电滞回线。目前本身就具有多重极化态的铁电材料少之又少。原则上来说，本征多重极化态具有更稳定、更持久、更灵活、更低成本等优势，可免于非本征多态器件中所需的额外激励条件或复杂制备工艺。近期，我们在二维铁离子材料 CuInP_2S_6 当中，初次获得到六重本征极化态，表现为在电滞回线中探测到铁电极化的六次翻转，打破了在三维以及二维铁电体系中实现的四重极化态的现状。并且在 CuInP_2S_6 的极化翻转过程中，发现了不同于传统铁电材料的非常规现象，即具有不同极化态数目（六、四、二）的极化阶之间可以在特定电场下进行可逆转换，打破了铁电材料具有固定极化阶的传统认知。以上现象可以归因于 CuInP_2S_6 中丰富的 Cu 离子占位与活性，以及 Cu 离子占位与铁电性的强关联，在局域非均匀电场的作用下，在垂直方向上形成铁电/反铁电畴堆叠耦合，实现本征六态和四态。

关键词：二维铁离子、本征多重极化态、压电力显微镜



李桃, 教授, 分别于 2009 年与 2013 年获得新加坡国立大学学士与博士学位, 2014 至 2018 年先后在新加坡国立大学以及美国内布拉斯加大学林肯分校开展博士后研究工作, 2018 年 9 月入职西安交通大学。围绕非易失铁性存储材料与器件牵头主持国家重点研发计划青年科学家项目 1 项、基金委青年项目 1 项、华为海思横向项目 1 项、省级重点研发项目 1 项。研究结果发表在 *Nat. Mater.*、*Nat. Commun.*、*Sci. Adv.*、*Adv. Mater.* 等专业期刊 70 余篇, 申请中国发明专利 14 项。主要研究方向包括铁性存储器件的研发、二维铁电铁磁材料及其界面耦合效应、原位多场耦合效应研究等。

B-14 极化布洛赫点的理论预测与实验发现

王宇佳¹, 冯燕朋², 朱银莲², 唐云龙¹, 马秀良²

¹中国科学院金属研究所; ²松山湖材料实验室

摘要: 布洛赫点是矢量场中的奇点, 其周围的矢量朝向空间中的各个方向。早在 20 世纪 60 年代, 就有学者在磁性材料中预测磁化布洛赫点的存在。它们在涡旋的翻转、斯格明子的形成与湮灭等过程中扮演了重要的角色, 是联系经典磁学和量子磁学之间的桥梁。在磁性材料中直接观察到磁化布洛赫点是一件非常困难的事情; 而在铁电材料中, 仅有少数理论工作预测极化布洛赫点会在特定条件下出现。我们在前期半子晶格 (*Nature Materials* 2020) 工作的基础上, 利用相场模拟构建对称电极模型, 发现随着电极厚度的增加, 汇聚和发散型半子分别演化成两种类型的布洛赫点。利用脉冲激光沉积技术在 SmScO_3 衬底上生长由 SrRuO_3 电极夹持的超薄 PbTiO_3 薄膜, 并通过像差校正透射电子显微镜对平面样和截面样进行观察, 在 PbTiO_3 薄膜中观察到了面内面外呈发散和汇聚特征的极化布洛赫点。进一步相场模拟表明: 布洛赫点处的极化为 0, 其周围会出现负电容的区域, 这为新型低功耗电子器件的设计提供了新思路。

关键词: 极化拓扑畴结构; 铁电薄膜; 相场模拟; 像差校正透射电子显微镜



王宇佳, 中国科学院金属研究所研究员, 博士生导师。2006 年本科毕业于华中科技大学, 2012 年于中国科学院金属研究所获工学博士学位, 2015 年至 2016 年在美国华盛顿大学做访问学者。已经发表 100 余篇学术论文, 其中第一/通讯作者论文有 *Nature Materials*、*Nature Communications*、*Nano Letters*、*Acta Materialia* 等; 主持国家自然科学基金委优秀青年基金、中国科学院青年创新促进会会员等项目; 获得 2020 年辽宁省自然科学一等奖(4/5)、“兴辽英才计划”青年拔尖人才、中科院金属所师昌绪青年科技人才基金等荣誉。

B-15 Partitioning polar-slush strategy in relaxors leads to large energy-storage capability

Liang Shu^{1†}, Xiaoming Shi^{2,3†}, Xin Zhang^{1†}, Ziqi Yang^{1,4†}, Wei Li¹, Yunpeng Ma¹, Yi-Xuan Liu¹, Lisha Liu⁵, Yue-Yu-Shan Cheng¹, Liyu Wei¹, Qian Li¹, Houbing Huang^{2*}, Shujun Zhang^{6*}, Jing-Feng Li^{1*}

¹ Tsinghua University; ² Beijing Institute of Technology; ³ University of Science and Technology Beijing; ⁴ University of Manchester; ⁵ Nanjing University of Science and Technology; ⁶ University of Wollongong

*Corresponding authors

†These authors contributed equally to this work.

Abstract : Relaxor ferroelectric (RFE) films are promising energy-storage candidates for miniaturizing high-power electronic systems, which is credited to their high energy density (U_e) and efficiency. However, advancing their U_e beyond 200 joules per cubic centimeter is challenging, limiting their potential for next-generation energy-storage devices. We implemented a partitioning polar-slush strategy in RFEs to push the boundary of U_e . Guided by phase-field simulations, we designed and fabricated high-performance $\text{Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3\text{-SrTiO}_3$ -based RFE films with isolated slush-like polar clusters, which were realized through suppression of the nonpolar cubic matrix and introduction of highly insulating networks. The simultaneous enhancement of the reversible polarization and breakdown strength leads to a U_e of 202 joules per cubic centimeter with

a high efficiency of ~79%. The proposed strategy provides a design freedom for next-generation high-performance dielectrics.

Keywords: Dielectric energy storage films ; Relaxor ferroelectrics ; Chemical solution deposition



舒亮，清华大学材料学院博士研究生，本科毕业于华中科技大学，主要研究方向为高储能密度无铅弛豫铁电薄膜和无铅反铁电薄膜材料。博士在读期间以一作或共一身份在 *Science*、*Journal of Materials Chemistry A* 和 *Nano Energy* 期刊发表研究论文，获授权发明专利 1 项。

B-16 Mechanisms of UV-induced Degradation in Wide-Bandgap Perovskite Solar Cells: Implications for Long-Term Stability

Xiting Lang,^{1,2*} Zhiyu Gao,³ Yue Zhao,⁴ Yongjie Jiang,^{2,5} Xirui Liu,^{2,6} Minghui Li,^{2,6} Yangyang Gou,² Cong Chen,³ Dewei Zhao,³ Changlei Wang,⁴ Xiuxun Han,¹ Jichun Ye,² and Chuanxiao Xiao^{2,7*}

¹ Institute of Optoelectronic Materials and Devices, School of Materials Science and Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, 341000, China.

² Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Ningbo, 315200, China.

³ College of Materials Science and Engineering & Engineering Research Center of Alternative Energy Materials & Devices, Ministry of Education, Sichuan University, Chengdu 610065, China.

⁴ School of Optoelectronic Science and Engineering & Collaborative Innovation Center of Suzhou Nano Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China.

⁵ University of Science and Technology of China (USTC), Hefei, 230041, China.



⁶ School of Material Science and Chemical Engineering, Ningbo University,
Ningbo 315211, China.

⁷ Ningbo New Materials Testing and Evaluation Center CO. Ltd, Ningbo,
315201, China.

Abstract: Wide-bandgap (WBG) perovskite solar cells (PSCs) show great potential as the top subcells in tandem devices, yet their vulnerability to ultraviolet (UV) radiation remains a significant barrier to commercialization. This study combines macroscopic electrical performance assessments with detailed atomic force microscopy (AFM)-based to uncover the mechanisms of UV-induced degradation in WBG PSCs. We focus on critical factors such as conductivity, leakage current pathways, defect evolution, and nanomechanical properties. Our results reveal that the primary causes of performance degradation are reductions in short-circuit current and fill factor, accompanied by increased hysteresis. UV irradiation causes up to a 90% reduction in photocurrent and a fivefold increase in leakage current, particularly at grain boundaries due to interfacial defects. Additionally, negative ions accumulate first at the grain boundaries, accompanied by a 75% decrease in elastic modulus. This degradation appears to stem from a malfunctioning junction or increased interfacial recombination, due to high-energy UV photons damaging the junction interface or inducing shallow interfacial defects. These findings highlight the critical need to stabilize the light-facing interface or strengthen the near-surface region of perovskite materials to mitigate the harmful effects of UV exposure.

Keywords: ultraviolet; degradation mechanisms; wide-bandgap perovskite; failure analysis; grain boundaries



郎茜婷，于 2022 年在中国计量大学获得功能材料学士学位，并自 2022 年起在中国科学院宁波材料所与江西理工大学联合培养项目中攻读硕士学位，专注于钙钛矿太阳能电池新型电池的紫外失效机制的研究以及相关新型电池稳态测试分析，主要通过扫描探针显微技术多角度深层次的研究钙钛矿太阳能电池的失效机理情况。曾与国内外多个光伏课题组的老师和同学进行合作交流，在导师肖传晓研究员的带领下，完成相关研究内容的原子力显微测试部分，并参与发表相关文章 3 篇，并以导师为第一作者，本人为第二作者发表

发明专利 2 篇。



B-17 石墨烯摩尔超晶格的力电耦合研究

李宇豪¹

¹ 南京大学，电子科学与技术学院

Abstract : The coupling of mechanical deformation and electrical stimuli at the nanoscale has been a subject of intense investigation in the realm of materials science. Recently, twisted van der Waals (vdW) materials have emerged as a platform for exploring exotic quantum states. These states are intimately tied to the formation of moiré superlattices, which can be visualized directly exploiting the electromechanical response. However, the origin of the response, even in twisted bilayer graphene (tBLG), remains unsettled. Here, employing lateral piezoresponse force microscopy (LPFM), we investigate the electromechanical responses of marginally twisted graphene moiré superlattices with different layer thicknesses. We observe distinct LPFM amplitudes and spatial profiles in tBLG and twisted monolayer-bilayer graphene (tMBG), exhibiting effective in-plane piezoelectric coefficients of 0.05 pm/V and 0.35 pm/V, respectively. Force tuning experiments further underscore a marked divergence in their responses. The contrasting behaviors suggest different electromechanical couplings in tBLG and tMBG. In tBLG, the response near the domain walls is attributed to the flexoelectric effect, while in tMBG, the behaviors can be comprehended within the context of piezoelectric effect. Our results not only provide insights into electromechanical and cooperative effects in twisted vdW materials with different stacking symmetries, but may also offer a way to engineer them at the nanoscale.

Keywords: lateral piezoresponse force microscopy; twisted bilayer graphene; twisted monolayer-bilayer graphene; flexoelectric effect; piezoelectric effect



本人 2021 年毕业于南京航空航天大学固体力学系。毕业至今，任职于南京大学电子科学与工程学院，开展二维摩尔材料的跨尺度研究。

B-18 机械力调控界面铁电

关赵, 魏鹿奇, 范文成, 曹伟, 万能, 钟妮, 段纯刚

华东师范大学; 南京工业大学; 东南大学

摘要: 莫尔超晶格因其独特的周期性结构和电子特性,在凝聚态物理、纳米科学以及新型电子器件领域具有广泛应用前景。其中,在小转角条件下,莫尔超晶格会通过晶格重构、电荷转移等新奇物理机制形成界面铁电。然而,由于不同莫尔极化畴之间存在着复杂的耦合关系,且在材料制备中很难避免外部应力的引入,使得界面铁电调控颇具不确定性和挑战。本研究中,我们采用滑移扰动测量法,利用扫描探针显微镜纳米探针提供干扰机械力,弯曲 PDMS 提供全局应力,设计调控莫尔铁电畴;通过对不同类型莫尔畴形态演变规律的特征与比较,结合分子动力学模拟,指出沿莫尔畴扶手方向摩擦力极小,且在外力场作用下,莫尔畴会沿垂直机械力方向迁移。该项工作为界面铁电性的极化控制提供了有效途径和方向指导。

关键词: 界面铁电, 扫描探针显微镜, 机械力



本人于 2020 年获得华东师范大学博士学位,师从褚君浩院士,2018 年获国家留学奖学金赴美 Alexei Gruverman 教授(铁电领域领军人物)课题组交流访问,2020 年以博士后身份加入华东师范大学段纯刚教授研究团队,2022 年至今于华东师范大学任副研究员。本人长期从事基于多功能扫描探针显微镜(SPM)的极性材料物性表征与调控的研究,近年来主要围绕低维铁性材料及器件开展研究,在国际高影响力期刊如 *Advanced Materials*, *ACS Nano*, *Nature Communications* 等期刊共发表 SCI 论文 32 篇,其中,本人还受邀撰写了二维铁电综述,目前已被包括 *Nature*、*Review of Modern Physics* 等期刊引用 300 余次(google 引用 313 次),入选 ESI 高被引论文。本人先后入选了上海脑科学与类脑研究中心“求索杰出青年”计划,上海市“晨光计划”,获国家自然科学基金青年项目支持。

B-19 黝铜矿 $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ 基热电材料的纳米调控及其 电热输运性质

孙富华¹, 李敬锋²

¹湖北师范大学; ²清华大学

摘要: 热电材料是一种能够实现热能和电能直接相互转化的功能材料, 成功应用于温差发电和全固态制冷领域。黝铜矿 ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) 作为天然矿物, 具有元素丰度高、对环境友好的特点, 同时, 因其较低的热导率而被热电领域工作者普遍关注。研究发现, 采用固溶原子调节结合纳米第二相弥散的方法可以提高 $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ 材料电输运性质, 同时降低热导率, 达到优化热电优值 ZT 的目的。本文采用机械合金化结合放电等离子体烧结 (MA-SPS) 的方法, 合成系列纳米颗粒复合 $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ -x vol% NPs 样品, 进行电导率 (σ)、Seebeck 系数 (S) 和热导率 (κ) 测试。实验结果表明, $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ 热电材料的功率因子 ($S^2\sigma$) 与纳米第二相尺寸密切相关, 引入较小尺寸纳米颗粒可以获得高功率因子值 (超过 $16 \mu\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-2}$)。并且, 第二相对黝铜矿材料的中-低频声子形成强烈散射作用, 有效降低了材料的晶格热导率, 高温时最低值接近理论下限值 ($0.32 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)。最终, 超细纳米颗粒 Nb_2O_5 复合的样品获得高 ZT 值, 723 K 时约为 1.2, 相较于纯相 $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{12.7}$ 样品提高了 60%。

关键词: 热电材料; 黝铜矿; 纳米颗粒; 机械合金化



孙富华, 博士, 湖北师范大学材料科学与工程学院副教授, 硕士生导师, 湖北省“楚天学者”, 中国硅酸盐学会微纳技术分会青年理事, 黄石市第二批知识产权专家库专家。主要从事热电材料的可控制备与电、热、磁学性质以及电热磁耦合机理研究。近年来, 主持国家自然科学基金、中国博士后科学基金、省自然科学基金等基金项目 8 项, 参与国家重点研发计划、973 项目、国家自然科学基金重点项目等 5 项, 在 *Nature Communications*、*Reports on Progress in Physics*、*Nano Energy*、*Energy & Environmental Science* 等国际学术期刊上发表 SCI 论文 40 余篇, 申请专利 15 项, 参与制定行业/团体标准 4 项, 参与撰写《热电材料及其制备技术》专著中的部分章节。获湖北省科学技术进步二等奖 1 项, 中国光学工程学会铜奖 1 项, 中国工程科技论坛优秀青年论文奖 1 项, 无机非金属材料高层论坛科研创意奖 1 项。



B-20 无铅压电纳米线及其微纳传感器件

姜蕾, 王钊, 胡永明, 顾豪爽*

湖北大学

摘要: 压电材料作为一种重要的功能材料, 可实现机械能和电能的相互转换, 已广泛应用于工业生产、航空航天、物联网等领域。一维压电材料具有较好的柔性、高灵敏度以及多维压力传感特性, 成为近年来的研究热点。其中, 铌酸钾钠($(K,Na)NbO_3$)因其居里温度高、压电性能良好且生物相容性好, 被认为是最有应用潜力的无铅压电材料。然而, $(K,Na)NbO_3$ (KNN)纳米线的压电性能与含铅材料相比仍有较大差距。为进一步提升其压电性能, 我们通过 A 位阳离子空位调控、Li 掺杂和 Ta 掺杂, 在室温下构建了正交相(O)-四方相(T)相界, 将 KNN 纳米线的平均 d_{33} 提升至 554 pm/V, 大大缩小了与铅基一维纳米材料的性能差距。此外, 利用 KNN 与衬底之间的晶格失配, 在 KNN 纳米线中引入螺位错缺陷并对电畴结构进行调控, 也是提升 KNN 纳米线压电性能的可行性策略。基于压电性能优异的 KNN 纳米线, 仿真设计并组装了不同结构的柔性微纳器件, 初步实现了压力传感器件在运动状态监测、二维触觉感知、生理信号监测及手势姿态识别等智能感知领域的应用。

关键词: 无铅压电; 铌酸钾钠; 物相调控; 压力传感; 触觉感知



顾豪爽, 教授, 博士生导师。中国物理学会电介质专业委员会委员, 现任湖北省氢能源安全检测与控制工程技术研究中心、武汉市半导体氢气传感器加工检测中试平台主任, 湖北省有突出贡献中青年专家。长期从事铁电压电材料与器件、半导体气敏材料与微纳器件等领域的研究工作, 在 *Advanced Materials*, *Chemical Reviews*, *Nano Energy* 和 *Journal of Materials Chemistry A* 等国际重要学术刊物上发表 SCI 论文 200 余篇, 获授权发明专利 20 余项。先后主持科技部 863 项目课题、国家自然科学基金联合基金重点项目等科研项目 20 余项, 获湖北省自然科学二等奖 2 次, 获湖北省教学成果一等奖 2 次。



B-21 低温热电材料和器件研究

周敏¹, 李来凤¹

¹中国科学院理化技术研究所

摘要: 近年来,中高温热电材料的研究发展迅速。然而,低温热电材料尚未得到足够的重视。事实上,低温热电材料不仅可用于诸如红外探测器、遥感器、低温电子学、低温医学等方面的低温制冷,还可用于低温冷能(LNG、LN₂等)的温差发电。因此,低温热电材料和器件在低温制冷和冷能发电等领域展示出巨大的应用潜力。本文综述了用于热电制冷的低温热电材料和器件,重点讨论了近室温热电材料的研究进展,包括传统 Bi₂Te₃ 基热电材料,新型 Mg₃(Bi,Sb)₂ 基热电材料,新型 SnSe、PbSe 基热电材料等;以及低温区热电材料,尤其是 Bi_{1-x}Sb_x 热电材料和器件的研究进展,并对低温热电材料在热电制冷技术的应用进行了分析和展望。

关键词: 热电材料; 热电器件; 低温热电制冷



周敏, 博士, 中国科学院理化技术研究所研究员, 博士生导师。主要从事热电材料的基础研究, 及其在半导体固态制冷、热电发电领域的应用研究; 此外, 还开展了弹热材料基础研究, 及其在固态弹制冷领域的应用研究; 高熵合金研究等。承担包括国家重点研发计划, 国家自然科学基金, 国家重大科研装备研制等在内的多项科研项目, 在包括 *Nat. Commun.*, *J. Mater. Chem. A*, *Adv. Func. Mater.*, *Appl. Phys. Lett.*, *J. Am. Chem. Soc.* 等学术期刊发表学术论文 50 余篇, 受邀为 *Inorg. Chem. Front.*, *NPG Asia Mater.* 等期刊撰写研究进展综述文章, 多次受邀做大会报告。撰写学术专著《热电材料及其制备技术》(科学出版社)。获得北京市科学技术三等奖, 中国材料研究学会优秀青年学者奖等, 担任中国材料研究学会热电分会理事, 中国制冷学会未来制冷技术工作委员会委员等。



B-22 高性能 KNN 基织构压电陶瓷及其 1-3 型超声换能器研究

朱立峰^{*1}, 刘东¹, 张波萍¹, 李敬锋²

¹材料科学与工程学院, 北京科技大学 100083 中国

²材料学院, 清华大学 100084 中国

摘要: 压电材料是一种可以实现机械能与电能相互转化的功能材料, 也是人工智能、医疗健康、电子信息等领域中不可替代的关键材料。如作为压电材料重要应用之一的压电超声换能器可应用于交通运输、通讯传感、制造加工、医疗诊断等领域。目前市场主要应用的铅基压电陶瓷由于优异的压电性能和温度稳定性。然而铅是一种有毒元素, 且在铅基压电陶瓷体系中, PbO (或者 Pb_3O_4)的含量约占比 60%以上。由于 PbO 的易挥发性和 Pb^{2+} 的水溶性特点, 传统的铅基压电陶瓷在生产、使用和废弃处理过程中, 都会给生态环境和人类社会可持续发展带来严重危害。因此, 迫切需要研究和开发环境友好型的无铅压电材料将替代铅基压电材料。本研究基于结构软化和织构模板法制备并获得性能优异的 $(\text{K}, \text{Na})(\text{Nb}_{1-x}\text{Sb}_x)\text{O}_3\text{-Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{ZrO}_3\text{-BiFeO}_3$ (KNN-xSb)基无铅压电陶瓷, 其 d_{33} 高达 807 pC/N 和 T_c 为 245 °C。在此基础之上, 利用高性能 KNN-xSb 基无铅压电陶瓷制备了 1-3 压电复合材料并研究了其超声换能器信号。

关键词: KNN 压电陶瓷, 晶格软化, 织构化, 压电性能。

B-23 兼具荧光特性和高且热稳定压电性能的 KNN 基无铅压电陶瓷

刘庆¹, 潘二¹, 刘富才¹, 李敬锋²

¹光电科学与工程学院, 电子科技大学, 四川省成都市;

²材料学院, 清华大学, 北京市海淀区

摘要: 随着下一代现代电子产品以高集成度、多功能、高可靠性的特点发展要求, 对多功能材料的需求越来越大。在此, 我们展示一款新型的稀土掺杂的 KNN 基无铅压电

陶瓷，该陶瓷不仅具有高且热稳定的压电特性，并展示出了吸引人的荧光特性。通过对该陶瓷引入弥散多晶型相变并利用 BaZrO₃ 含量的优化调整单位晶胞畸变度，该 KNN 基陶瓷在室温-110°C 区间内展现出 590 pm/V ±10% 的逆压电常数 d_{33}^* ，同时也具有在 20-80°C 温度范围内稳定的较大压电常数 d_{33} (330 pC/N ± 10%)。除了具有上述压电特性之外，该陶瓷还展现出了较为可观的荧光特性。研究表明，BZ 含量的变化可以略微影响其荧光强度，这可能与陶瓷的局部不均匀性和晶胞畸变程度改变有关。同时，低温 3K-室温的荧光发射谱的测试表明，该陶瓷亦在极低温下具有更为明显的荧光特性。该工作前所未有地设计并制备了一款同时具有优异压电性能和荧光特性的 KNN 基陶瓷，展示出了稀土掺杂的 KNN 基陶瓷在多功能器件上的应用潜力。

关键词：无铅压电陶瓷；压电性；稀土；荧光性



刘庆，男，博士，2019 年 7 月毕业于清华大学材料学院，现任职于电子科技大学光电科学与工程学院，副教授、硕士生导师，作为纳米光电子学实验室研究骨干从事铁电材料及铁电光电子学器件方面研究。

B-24 无机塑性层状晶体的变形机制、筛选策略与力-热耦合

魏天然

上海交通大学

摘要：近年来，人们在 Ag₂S、InSe 晶体等材料中发现了罕见塑性，为变革无机非金属材料加工制造方法提供了新的潜在路径。本报告将汇报我们在 InSe 等无机塑性层状晶体研究方面的最新进展。（1）提出基于滑移和解理过程的材料变形因子，实现了相关参量的高通量计算方法与流程，筛选并验证了系列无机塑性半导体及热电材料；（2）通过分子动力学模拟与电镜表征，发现 InSe 晶体在压缩条件下发生一种具有马氏体相变特征的层状到四方相转变，为此类材料塑性机制的研究提供了新的视角；（3）



通过中子实验与理论计算，量化阐释了 InSe 层间滑移、声子谱、热输运之间复杂的耦合关系，发现层间滑移打破了面外方向的长程有序特性，带来某些振动模式的软化、宽化、甚至消失，从而导致显著偏离德拜模型的比热性质、极低的声子弛豫时间与低晶格热导率。

关键词：无机塑性半导体；范德华晶体；塑性变形；化学键；热输运



魏天然，上海交通大学材料科学与工程学院教授、博士生导师，国家优秀青年科学基金获得者。2012 年本科毕业于山东大学，2017 年博士毕业于清华大学（导师：李敬锋教授），2015 年在美国西北大学访问研究。2017-2018 年任职于中国科学院上海硅酸盐研究所，任助理研究员；2018 年入职上海交通大学，历任助理教授、副教授、教授。主要从事无机塑性半导体与热电能量转换材料的研究，以第一或通讯作者身份在 *Science*、*Sci. Adv.*、*Nat. Commun.*、*Adv. Mater.*、

J. Am. Chem. Soc.、*Joule* 等期刊上发表论文 30 余篇；入选上海科技青年 35 人引领计划，担任中国材料研究学会青年工作委员会理事、热电材料及应用分会理事、《*Journal of Materiomics*》期刊编委。

B-25 反铁电材料储能性能优化及机理探索

黄凤珍，杨玉龙，沈笔威，吕笑梅，朱劲松

南京大学物理学院，固体微结构物理国家重点实验室

摘要：电介质电容器因具有快速充放电能力和高的功率密度而在脉冲功率技术领域受到广泛关注。获得大的最大极化和剩余极化差值、大的击穿电场是提高电介质电容器储能性能的关键。反铁电材料具有独特的双电滞回线，表现大的最大极化和接近于零的剩余极化，在储能领域具有良好的应用潜力，但其大的极化电场滞回面积限制了材料储能效率的提高。基于 PbZrO_3 和 AgNbO_3 两种反铁电材料，我们研究了化学无序、多相共存、空位缺陷、晶格畸变、晶粒尺寸等因素对体系极化开关过程及储能性能的影响。在此基础上，在 PbZrO_3 和 AgNbO_3 体系分别获得了有效储能密度和效率的同时提高，以及优秀的温度、频率和疲劳稳定性。相关结果为反铁电电容器储能性能的优化提供了可行的策略。

关键词：电介质储能；反铁电材料；相变弛豫；有效储能密度。



黄凤珍，南京大学物理学院副教授、博士生导师。主要从事电介质物理、多铁性氧化物材料的制备及相关效应研究，在该领域发表 SCI 论文 90 余篇，论文被 SCI 引用 2000 余次。先后主持国家自然科学基金青年基金 1 项、面上项目 2 项，主持江苏省自然科学基金面上项目 1 项，参加多项 973 项目子课题、纳米调控专项、国家自然科学基金重点项目等。

B-26 钛酸钡薄膜极化旋转路径的缓冲层调控及电光性能优化

于涵¹，邓晨光¹，郑强²，李敬锋¹，李千¹

1 清华大学，材料学院，新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室

2 国家纳米科学中心

摘要：钛酸钡 (BaTiO_3) 凭借其优异的电光性能和多功能性，被视为下一代集成光子学领域最为关键的材料之一。然而， BaTiO_3 薄膜电光系数仍有较大提升的空间，其相结构、畴切换动力学与电光性能之间的复杂关系也尚未得到充分理解。本研究借助铁电极化旋转路径的设计思想，通过在 BaTiO_3 外延薄膜中引入钆酸钪 (GdScO_3) 缓冲层，成功实现了 BaTiO_3 薄膜中由面外到面内的连续极化旋转路径，由此实现相结构渐变调控。相结构优化的 BaTiO_3 薄膜实现了电光性能的大幅提升，其有效电光系数至 175 pm/V ，光学多级移相窗口宽度高达 182%。此外，借助原位二次谐波成像技术，对薄膜电光响应过程中的铁电畴成核动力学过程进行了系统分析，为受限畴成核 (NLS) 统计模型提供了有力的实空间观测依据，从而为高性能集成光子器件的设计提供了重要参考。

关键词：钛酸钡、电光薄膜、畴翻转动力学、极化旋转



于涵，现就读于清华大学材料学院，博士研究生二年级。主要研究方向为钛酸钡薄膜结构调控及电光性能优化。



B-27 EuM_2X_2 ($\text{M} = \text{Zn}, \text{Cd}; \text{X} = \text{P}, \text{As}$) 磁性和电输运 性质的调控

陈西煜, 王志成

东南大学物理学院

摘要: 近年来, 具有 CaAl_2Si_2 结构的层状 Eu 基材料 EuM_2X_2 ($\text{M} = \text{Zn}, \text{Cd}; \text{X} = \text{P}, \text{As}$) 相继被报道具有拓扑物态, 庞磁阻效应和反常的输运性质等奇特的物性, 这使得该材料体系受到了广泛的关注。早期的理论和实验文章表明 c 轴自旋极化态的 EuCd_2As_2 是理想的磁性外尔半金属。然而, 最近的报道称纯净的 EuCd_2As_2 ($n < 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) 的基态是磁性半导体, 甚至 EuCd_2As_2 中少量的 Eu 空位可以诱导出铁磁性 ($T_C = 26 \text{ K}$), 而没有 Eu 空位的 EuCd_2As_2 基态为反铁磁 ($T_N = 9.2 \text{ K}$), 这表明该材料体系的物理性质对载流子浓度非常敏感。在本报告中, 我们成功将 EuZn_2P_2 , EuZn_2As_2 和 EuCd_2P_2 从反铁磁态调控为铁磁态, 相应的铁磁居里温度分别为 72 K , 42 K 和 47 K 。磁性和输运性质的研究表明 Eu 空位引入的空穴载流子是导致 EuM_2X_2 的层间反铁磁耦合转变为铁磁耦合的主要原因。此外, 我们发现 T_C 与 Eu 层间距离之间存在线性关系, 这意味着层间铁磁耦合强度与 T_C 高度相关, 并且通过增强层间耦合可以进一步提高 T_C 。 EuM_2X_2 高度可调的磁基态和电荷输运性质, 使其具有自旋电子学领域的应用潜力。

关键词: 铁磁性; 空穴载流子; 自旋电子学



东南大学物理学院博士生

B-28 三维纳米结构非贵金属电催化剂分解碱性海水研究

余颖^{1*}, 余罗^{2,3}, 黄楚强¹, 余家国², 李莉萍³, 任志锋⁴

¹ 华中师范大学物理科学与技术学院, 武汉, 430079; ² 中国地质大学(武汉) 太阳燃料实验室, 武汉, 430074; ³ 吉林大学无机合成与制备化学国家重点实验室, 长春, 130012; ⁴ 休斯顿大学物理系, 美国德克萨斯休斯顿, 77204

摘要: 氢能是有望替代传统化石能源的新一代清洁能源, 电解水是一种绿色且高效的大规模制备氢气的方法, 但是使用淡水资源作为电解液将加剧淡水资源短缺问题。如果直接电解海水生产氢气, 氢气作为燃料又会生产高纯度淡水, 将同时实现海水净化和产氢的目的, 可谓一箭双雕。但是, 海水成分非常复杂, 其中高浓度 Cl⁻ 离子不仅会在阳极与电解水的产氧反应 (OER) 发生竞争, 更会严重腐蚀大部分含有金属元素的电催化剂, 导致催化剂的活性和稳定性都比较差。为了解决该问题, 我们在前期制备出三维核壳结构高效电解水催化剂的基础上, 选择过渡金属氮化物作为研究对象, 将 NiFeN 纳米颗粒均匀地修饰在 NiMoN 纳米棒上面, 在泡沫 Ni 基底上制备了 NiMoN@NiFeN 的三维核壳纳米结构电极, 该催化剂在电解海水的 OER 过程中表现出优异的电催化活性和稳定性。将该 OER 催化剂和另一产氢反应 (HER) 催化剂 NiMoN 组合搭建碱性电解槽用于全分解海水测试, 在 60°C 碱性海水中, 电流密度达到 500 和 1000 mA/cm² 时, 所需电位分别为 1.608 和 1.709 V, 显示了广阔的应用前景^[1]。此外, 我们还发现所制备的铁修饰羟基硫化镍样品在 OER 过程中随着 S 元素析出, 导致样品快速自重构, 同时还产生了高价态 Ni⁴⁺ 物种, 使析氧过程更多地服从活性更高的晶格氧反应机理, 从而使该催化剂能在 500 mA/cm² 的电流密度下稳定电解碱性海水超过 900 小时^[2]。而且, Co、Fe 共同修饰的 Ni₂P 沉积到镍毡所得到的双功能电极在阴离子交换膜电解水器件中能在工业运行 1A/cm² 的大电流密度下 6 M KOH 的碱性海水电解质体系中稳定工作超过 350 小时^[3]。

关键词: 电解海水; 非贵金属催化剂; 三维分等级结构



余颖, 华中师范大学教授(二级), 博士生导师, 物理科学与技术学院纳米科技研究所所长, 湖北省自然科学杰出青年基金获得者。目前为爱思唯尔旗下国际刊物 *Materials Today Physics* 副主编。1996 年在大连理工大学获得硕士学位, 2000 年于南开大学获得理学博士学位



位。随后来到华中师范大学从事教学和科研工作，期间分别到香港中文大学、普林斯顿大学、波士顿学院、休斯顿大学和奥胡斯大学从事了博士后和访问研究工作。目前主要从事纳米结构材料制备及其在能源转换与存储领域的应用研究，在 *Nat. Commun.*、*J. Am. Chem. Soc.*、*Energy Environ. Sci.*、*Angew. Chem. Int. Ed.* 等刊物上发表论文 170 多篇，被引用 1 万余次，H 指数为 61。于 2023 和 2013 年作为第一完成人分别获得湖北省自然科学一等奖和二等奖，入选科睿唯安 2022-2023 年度全球“高被引科学家”名单。

B-29 高通量铁电薄膜与器件

钟高阔

中国科学院深圳先进技术研究院

摘要：无机铁电薄膜具有铁电性、压电性等丰富的物理效应，在微纳集成电子器件中具有极大的应用潜力。其性能与结构、制备工艺等密切相关，传统制备手段费时费力，也无法避免实验误差和人为误差。基于脉冲激光沉积系统开发高通量薄膜的制备方法，可以获得厚度、组分、制备工艺等参数梯度变化的高通量薄膜样品，基于此开展了材料参数与性能的高通量筛选研究。同时，针对铁电材料缺少快速无损的极化表征技术，开发高通量表征方法（高通量光学二次谐波扫描法），该方法具有精准定位和自动扫描功能，可以快速探测和筛选铁电材料的极化强度。

关键词：铁电薄膜；高通量；脉冲激光沉积；二阶非线性光学

B-30 铁电拓扑缺陷的力学调控

王学云

北京理工大学

摘要：在本次报告中，我将简要汇报六角锰氧化物铁电体中拓扑铁电畴结构的演化规律以及力学调控的研究。首先我将从拓扑铁电畴形成的机制展开，阐述其形成机制与描述相变动力学的 Kibble-Zurek 机制的内在联系，并展示该机制在铁电体系中的应用。在了解铁电畴基本特性的基础上，我将介绍这类结构型拓扑铁电畴的力学调控方法——“马格努斯力”（Magnus Force）调控方法，该方法的思想将流体力学中流场改变旋转

物体运行轨迹的概念借鉴至固体材料中，将应变场类比于流场，将涡旋的旋性类比于物体的旋转，进而产生对铁电涡旋畴的力学调控。实验上，在测量杨氏模量等关键力学性质的基础上，利用纳米压痕与划痕技术产生残余应变/应变梯度，实现力学调控，该种调控方法可以实现大面积单手性拓扑条纹畴。

关键词：六角锰氧化物，铁电涡旋，纳米压痕，力学调控



王学云，博士，北京理工大学力学系长聘副教授，博士生导师，国家级青年人才。2015 年博士毕业美国 Rutgers, the State University of New Jersey 物理系。主要从事先进功能材料的单晶制备，扫描探针技术与功能性微结构的研究。在铁电畴结构的形成机理与演化，多物理场耦合调控等方面做出若干有影响力的成果。在相关领域主持国家自然科学基金三项，参与重点研发计划青年项目等。以一作/通讯作者发表 *Nature Phys.*, *Nature Commun.*, *Phys. Rev. Lett.* 等。担任中国仪表功能材料学会电子元器件关键材料与技术专业委员会委员，SCI 期刊 *J. Adv. Dielect.* 青年编委，并获得卓越青年编委称号。获 2023 年 *Symmetry* 杰出青年科学家奖，2023 年中国科技新锐闪耀潜力奖。

B-31 Magneto-transport of the $J_{\text{eff}}=1/2$ antiferromagnetic Sr_2IrO_4

陆成亮

华中科技大学物理学院

Abstract: Iridates have been providing a fertile ground for studying emergent phases of matter that arise from delicate interplay of various fundamental interactions with approximate energy scale. Among these highly focused quantum materials, perovskite Sr_2IrO_4 stands out and has been intensively addressed in the past decade, since it hosts a novel $J_{\text{eff}}=1/2$ Mott state and quasi-two-dimensional square antiferromagnetic lattice. In this talk, I will discuss some interesting aspects of magneto-transport of the $J_{\text{eff}}=1/2$ antiferromagnet Sr_2IrO_4 , including the giant anisotropic magnetoresistance (AMR) reaching $\sim 160\%$, H -driven AMR-reversal

behaviour due to bandgap engineering, and their control by various means such as magnetic/electric field, strain, and chemical substitution.

Keywords: antiferromagnet, magnetoresistance, spin-orbit coupling

B-32 基于磁电耦合效应的甚低频天线器件设计应用研究

吴金根¹, 胡忠强¹, 王志广¹, 刘明^{1*}

1 精密微纳制造技术全国重点实验室, 电子陶瓷与器件教育部重点实验室,
西安交通大学电子科学与工程学院, 陕西 西安 710049

摘要: 甚低频电磁波传播特性稳定, 传播衰减小、趋肤深度大, 适用于跨介质无线通信技术。在对潜通信、水下传感网络、水下短距离通信、油气勘探等领域有广泛的应用需求, 已成为当前科研热点之一。本文提出了基于磁电耦合原理的甚低频天线器件, 该器件利用电信号激励压电材料产生应变, 压磁材料在应变作用下产生磁通量的变化, 继而辐射电磁波。本文利用磁电天线原理样机, 搭建甚低频电磁波收发系统, 进行空气/水下的信号衰减测试, 空气通信距离 >15 m, 水下通信距离 >5 m, 实现了跨介质的水下甚低频通讯。基于原理样机开发了跨介质的通讯系统, 并实现了跨介质的字符、图片、音乐传输。

关键词: 磁电耦合; 甚低频; 天线



吴金根, 西安交通大学电子学院副教授, 博士生导师, 累计发表 SCI 论文 70 余篇, 其中第一作者/通讯作者 SCI 论文 20 余篇, 第一作者/通讯作者论文主要发表在 *Advanced Functional Materials*、*Acta Materialia*、*IEEE Transactions on Industrial Electronics*、*Journal of Materials Chemistry C*、*Applied Physics Letters* 等学术期刊上, 获得中国物理学会“2021 年度最有影响论文”奖, 授权国家发明专利 15 余项, 主持科研项目 6 项 (含国家级 2 项), 参与国家自然科学基金面上项目、国家自然科学基金重点项目、国家科学技术部

重点研发计划等国家级项目。



B-33 磁有序致柔性薄膜具有优异的热电性能

陶红, 柯少秋*, 孙富华

湖北师范大学

摘要: 柔性热电 (TE) 薄膜的电传输性能较差, 是开发基于珀尔帖效应的面内散热技术的主要瓶颈。本文将有序铁纳米粒子 (Fe-NPs) 和原位 Fe_3O_4 纳米粒子 (Fe_3O_4 -NPs) 作为磁性功能元素 (MFEs) 嵌入到 $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ (BST)/环氧柔性薄膜中, 以提高 TE 性能。经证实, BST/MFEs/BST/环氧柔性薄膜电导率的显著提高源于载流子迁移率的增加。大塞贝克系数的保持归因于 MFE 自旋散射和弱局域效应引起的负磁电阻 (MR⁻)。因此, BST/MFEs/BST/环氧柔性薄膜的最大功率因数提高了 45%, 最大冷却温差提高了 1.6 倍。该研究揭示了有序 MFE 能显著提高柔性 TE 薄膜的电热转换性能, 磁阻理论能揭示热电磁柔性薄膜中电荷载流子的散射机制。

关键词: 基于 $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ 的柔性薄膜; 磁功能元件; 磁阻; 自旋散射



陶红, 男, 20 岁, 重庆市丰都人, 本科毕业于湖北师范大学, 现就读湖北师范大学材料科学与工程学院硕士研究生。本科期间曾获三好学生, 全国大学生物理实验竞赛二等奖等荣誉。现学习方向为热电薄膜材料。

◆C 分会场报告摘要(C01-C33)

C-01 摩擦催化：从摩擦化学到能源化学的跨越

陈万平

武汉大学物理科学与技术学院

摘要：从能量转化的角度来看，机械催化与电催化、光催化一样，是一种最基本的催化方式，而摩擦催化则是机械催化的一种主要形式。本报告首先将对摩擦催化发展历史进行一个梳理，介绍摩擦催化从摩擦化学向能源化学领域的跨越。然后将重点介绍近年摩擦催化研究的主要进展，包括摩擦催化分解有机污染物、摩擦催化还原二氧化碳的研究成果，以及对摩擦催化实验设备的设计研究。最后将对摩擦催化在碳中和、新能源、水资源、医药化工等一系列国家战略和国计民生问题的应用前景进行简单的展望。

关键词：摩擦催化；摩擦化学；能源化学；超滑



陈万平教授，博士生导师。1989年7月本科毕业于清华大学材料科学与工程系，1992年7月硕士毕业于华中科技大学固体电子学系，1998年5月年博士毕业于清华大学材料科学与工程系。1998年5月-2001年5月在日本东北大学金属材料研究所工作，2001年5月-2004年12月在香港理工大学应用物理系工作。2005年初进入武汉大学物理科学与技术学院工作。近三十年一直从事多种金属氧化物功能材料的制备与性能研究。近年对于一种机械催化—摩擦催化进行了一些探索研究，在国际上率先报道了有机污染物的摩擦催化降解、二氧化碳的摩擦催化还原，并对摩擦催化的实验设备进行了有效的改造研究。

C-02 多模态纳米热学显微术及其应用研究

曾华荣，徐琨淇，杜文通，赵坤宇

中国科学院上海硅酸盐研究所

摘要：扫描探针显微术已经成为开展纳米科技研究的最有力工具之一，并且成为开展许多原创性研究的核心手段。SPM技术不仅给原子/分子/纳米尺度结构显微成像、结

构操纵、物性测量、功能表征和失效评价带来了革命性突破，同时也是发展纳米尺度局域空间多物理参量测量的新原理、新方法和新技术的重要平台，为研究纳米尺度限域条件下多物理参量及其相互耦合效应提供了重要新方法，有力推动了物理、化学、材料、生命科学等学科的深入发展。本工作将介绍在原子力显微镜基础上发展起来的三倍频纳米热学显微术及其衍生的纳米热电显微术、扫描热电容显微术、纳米光热显微术、纳米热红外显微术等多模态纳米热学显微术及其在纳米物性表征、纳米化学成像和纳米失效评价等方面的应用研究等。

关键词：纳米热学显微术；纳米热电显微术；纳米光热显微术，扫描热电容显微术



曾华荣，博士，研究员（二级），博士生导师，中国科学院上海硅酸盐研究所信息功能材料与器件研究中心副主任。主要从事纳米功能表征及应用研究，主持科技部纳米重点研发计划课题、中国科学院重大科学仪器研制等项目。发展了多场耦合纳米功能表征技术，其中“纳米热学-声学显微成像技术”被遴选为国家重大科技成就展成果，获上海市技术发明一等奖、中国科学院科技促进发展奖科技贡献一等奖、上海市优秀党务工作者等荣誉称号，

现为中国硅酸盐学会微纳技术分会理事。

C-03 声子极化激元材料三氧化钽的可控制备与芯片缺陷检测应用

戴志高

中国地质大学（武汉）材料与化学学院

摘要：本研究成功展示了一种基于双轴范德瓦尔斯晶体三氧化钽的超高分辨率渠道化超透镜，该透镜能够在三个方向上实现多频段的亚波长成像，并展示其在芯片缺陷检测中的潜在应用。三氧化钽晶体具有天然的双曲色散特性，且无需光刻加工即可构建，与传统的超透镜相比，它具有更低的光学损耗和更大的波矢。通过变换光学中的极端映射机制，三氧化钽能够完美地将电磁波限制在特定方向传播，实现无衍射的传播波和渐变波的传输。利用这一机制，我们实现了超高分辨率成像，能够清晰地分辨出宽度为 15 nm 的单个物体和 100 nm 间距的光栅。此外，通过近场显微镜进一步验证了三氧化钽成

像技术在质量控制和故障诊断方面的功能，为电子电路的纳米级检测提供了一种有效的手段。本研究为超分辨率成像技术的发展提供了新的方向，有望推动三维宽带光学成像技术的发展，并为基于低损耗二维材料平台的纳米结构和生物分子成像提供新的机会。

关键词：三氧化钼；超透镜；芯片缺陷检测；渠道化极化激元；准三维成像



戴志高先后在武汉大学物理科学与技术学院、澳大利亚蒙纳士大学材料科学与工程学院学习和工作。于2019年9月加入中国地质大学（武汉）任教授，博士生导师。以第一或通讯作者在 *Nature Communications*, *eLight*, *Advanced Materials*, *Advanced Functional Materials*, 《中国激光》, *Chemical Reviews* 等期刊发表论文 30 余篇。研究成果被 *Nature*, *Science* 等亮点评论推荐，谷歌学术引用 5000 余次，ESI 热点论文 2 篇，高引论文 5 篇。

C-04 探针诱导的纳米尺度离子调控

李玲龙¹，于浦²，董帅¹

¹江苏省南京市东南大学物理学院 ²北京市清华大学物理系

摘要：强关联氧化物具有许多新奇的物理性质，其中室温附近调控材料的金属-绝缘态相变对于阻变器件，类脑存储，智能玻璃等未来应用场景具有重要意义。近期，电场诱导的离子调控，尤其氢离子调控因其质量小体积小的特点，表现出强大的调控能力。然而，传统的离子调控主要面临难以在纳米尺度上实现高效可逆的操控，以及离子调控的反应时间长两大难题。我们利用扫描探针显微镜技术，使用具有催化作用的铂镀层纳米级探针，在氢气氛围下实现了 VO₂ 薄膜在纳米尺度的氢化作用。这一创新性的调控策略不仅实现了氢离子对 VO₂ 材料绝缘体-金属转变的调控，更是将调控尺度推进到百纳米级别，实现了氢离子调控的局域化。相比于宏观的贵金属催化或离子电介质门电路调控方法，探针偏压有效的降低了质子与氧化物在表面结合的势垒，缩短了反应时间，将质子交换从宏观器件中的分钟量级提高到了毫秒量级。不同于氧空位调控和电场调控界面效应，电场作用下氢离子的可逆调控有望将离子调控扩展到其他体系，为集成化的离子型忆阻器、神经元器件开发提供新的指导。

关键词：离子调控；扫描探针显微镜；催化；绝缘体-金属转变



李玲龙，东南大学物理学院副教授、博导。2018 年博士毕业于西安交通大学，期间于美国橡树岭国家实验室 Sergei Kalinin 教授组联合培养。之后在清华大学物理系于浦教授组从事博士后研究。主要研究方向是通过紧密结合扫描探针显微镜等先进实验手段，进行磁电功能材料物性的多尺度调控。已发表 SCI 论文 37 篇。以第一作者或通讯作者身份发表了 *Nature Materials*, *Science Advances*, *Advanced Functional Materials* 等学术论文 11 篇，合作论文 *Nature Materials*, *Nature Communications* 等 26 篇，被引 1200 余次，H 因子 16。主持国自然青年基金、江苏省青年基金、国家重点实验室开放课题基金。入选江苏省青年科技人才托举工程(2024)，中国仪表功能材料学会电子元器件关键材料与技术专业委员会“学术新秀奖”(2023)，江苏省“双创博士”(2022)，“博士后创新人才支持计划”(2018)。在 2023 亚洲铁电会议等国际国内会议上做邀请报告。

C-05 固体实空间电子结构与缺陷结构的实验表征

姜小明，郭国聪

中国科学院福建物质结构研究所

摘要：电子结构与缺陷结构是物质科学领域的重要研究对象，其精确实验表征方法与技术一直是富有挑战性的研究课题。电子结构通常由第一性原理计算获得，由于大量使用假设与近似，理论计算结果（理论电子结构）对于指导材料设计与创制存在一定的局限性。通过 X 射线衍射技术（X 射线光子与电子的相干散射）可以重构出物质或材料在实（坐标）空间中的实验电子结构（电子密度与波函数），为材料科学家提供真实的电子结构信息。另外，实际固体中普遍存在晶格缺陷，而且晶格缺陷之间往往存在关联作用，导致形成中长程的缺陷序，缺陷序对多铁、热电和超导等量子材料的性质有重要影响，通过 X 射线漫散射技术可以重构出物质或材料的缺陷结构（缺陷在三维空间中形成的严格的或统计的序结构），支持量子功能材料的定量构效关系研究。

关键词：电子结构；电子密度分布；缺陷结构；缺陷序；X 射线散射



姜小明,中国科学院福建物质结构研究所研究员, 博士生导师。2006 年本科毕业于中南大学无机非金属材料专业, 2011 年博士毕业于中科院福建物质结构研究所无机化学专业, 2011 年至 2015 期间先后在南京大学凝聚态物理专业和德国慕尼黑工业大学无机化学专业从事博士后研究。在国内率先开展实空间电子结构实验测试的方法学研究, 发展了电子结构晶体学, 即采用高精度 X 射线单晶衍射法测试晶体材料的实验电子密度与波函数。主持过国家自然科学基金委青年面上、国家重大科研仪器(子课题), 中国科学院仪器研制, 中央引导地方科技发展、福建省杰青等多项国家和省部级项目, 入选中国科学院青年创新促进会、福建省青年拔尖人才等。发表论文 100 余篇, 获得授权发明专利 9 件, 著有《电子结构晶体学》, 科学出版社; 《Electronic Structure Crystallography and Functional Motifs of Materials》, WILEY。

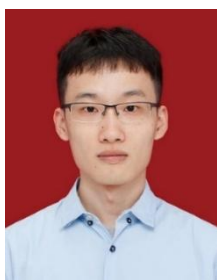
C-06 基于光热效应原子力探针技术的有机极性结构演化表征方法

姚松佑¹, 张潇悦^{1*}

¹ 中山大学物理学院, 广东省磁电物性分析与器件重点实验室, 广州 510000

摘要: 极性演化在调控材料的多物理场耦合方面有重要作用, 如压电性、铁电性、电卡效应等。而现有技术在纳米尺度下揭示有机极性演化及其组分关联仍具有挑战。为此, 本报告提出了一种基于光热效应多场加载下的有机极性结构表征方法。该方法通过光致热膨胀, 以探针的力学振动信息反映样本的红外吸收大小及跃迁偶极矩取向。其实现了极性演化-有机组分的联合表征。本报告使用该方法分析了 P(VDF-TrFE) 中 CF₂ 基团的极性演化动力学行为。其借助波长的选择, 特异性观察了不同组分对极化的响应。进一步地, 我们使用该方法探究了新颖面内极性涡旋结构的 P(VDF-TrFE) 链轴方向上铁电演化机制。据此建立了构象转换极性演化机制模型。同时, 我们进一步讨论了在电场加载下不同作用力对探针振动的贡献。由于红外特异性吸收的特点, 使用该方法有望够规避电压加载过程中电荷注入以及诱导极化等作用力形成的假象。该方法将能够促进对有机极性材料极性演化物理机制的进一步探究, 为材料设计及调控提供指导。

关键词: 原子力显微镜; 有机极性演化; P(VDF-TrFE); 红外光谱



姚松佑，中山大学物理学院凝聚态物理博士研究生。2020 年于华南师范大学获得工学学士学位，同年进入中山大学物理学院攻读博士学位。开展研究以来，长期围绕有机极性材料的微结构及其物性调控的科学问题，基于扫描探针技术，进行有机极性结构演化表征方法拓展及极性演化机制的研究。研究领域主要涉及扫描探针技术的拓展及应用，包括：压电力显微镜、纳米探针红外技术等；有机极性材料物性表征及机制探究，包括有机铁电聚合物、生物压电铁电体等。在 *ACS Applied Materials & Interfaces*、*Applied Physics Letters* 等知名期刊合作发表论文 5 篇。

C-07 一种用于消除导电 AFM 中形貌串扰的通用校准方法 及其应用

郝春霖，徐昊，林世权，张亚菊，何靳淼，刘备，张远征，吴帮昊，沈国震，郑海务
河南大学；北京纳米能源所；北京理工大学

摘要：随着纳米科技的不断发展，人们对材料在微观尺度上的形貌和电学性质的表征需求日益增长。能够同时表征微观形貌和电导率这一特点使得导电原子力显微镜（CAFM）在不同材料体系中得到了广泛应用。然而当我们对 Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃ 块体陶瓷进行 CAFM 测试时，观察到了与形貌相关的显著电流。为什么绝缘体可以在 CAFM 测试中表现出“导电性”？该工作系统地研究了 CAFM 测试中与形貌起伏相关的电流误差。基于电流与形貌一阶导数之间的线性依赖性，提出了消除形貌串扰的校准方法，并将该方法在 Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃ 块体陶瓷、一维（1D）ZnO 纳米线、二维（2D）NbOI₂ 纳米片和生物材料荷叶上进行了评估。经校准后，形貌串扰电流可忽略不计，这些结果进一步证实了该校准方法的可行性和普适性。这项工作有效地解决了 CAFM 表征中形貌串扰的挑战，从而避免了对未知材料电导率的错误判断。

关键词：导电原子力显微镜；形貌串扰；电流误差；校准方法



郝春霖，男，河南大学硕士，中山大学博士在读。对扫描探针显微镜非常感兴趣，平时会记录一些比较基础的原子力显微镜笔记。
https://www.zhuhu.com/column/c_1607175374462447616



C-08 Artificial retina for vision restoration constructed by BiFeO₃-BaTiO₃/ P(VDF-TrFE) ferroelectric nanocomposites

Yuhong Zhu ^{a§}, Xi Liu ^{b§}, Jinyu Ma ^c, Zhaopeng Wang ^a, Haitao Jiang ^a, Cheng Sun ^c,
Dae-Yong Jeong ^d, Huaijin Guan ^{b*}, Baojin Chu ^{a*}

^a CAS Key Laboratory of Materials for Energy Conversion and Department of Materials Science and Engineering, Key Laboratory of Precision and Intelligent Chemistry, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026, China

^b Eye Institute, Affiliated Hospital of Nantong University, Medical School of Nantong University, Nantong University, Nantong, 226001, China

^c Key Laboratory of Neuroregeneration of Jiangsu and Ministry of Education, Co-Innovation Center of Neuroregeneration, NMPA Key Laboratory for Research and Evaluation of Tissue Engineering Technology Products, Nantong University, Nantong, 226001, China

^d Department of Materials Science & Engineering, Inha University, Incheon, 22212, Korea

Abstract: Natural vision relies on complex, highly coordinated, time-synchronized electrical signals emitted by retinal ganglion cells. However, individuals with retinitis pigmentosa (RP) and age-related macular degeneration (AMD) experience degradation of the light-sensitive cells in the retina. To address this, the development of simple and highly functional artificial retinas is crucial. In this study, we successfully synthesized BiFeO₃-BaTiO₃ (BFO-BTO) particles using the hydrothermal method and fabricated a flexible P(VDF-TrFE)/BFO-BTO composite film through solution casting. By leveraging the superior light absorption properties of BFO-BTO particles and pyroelectricity of polymer, the composite films can efficiently convert light into heat and then into electricity. The photo-induced open-circuit voltage and short-circuit current reached 41.3 V and 57.1 nA/cm², respectively, in the 3 vol% composite film, providing a strong foundation for visual recovery. Additionally, we created a periodic microarray artificial retina to enhance effective contact between the artificial retina and cells, thereby facilitating electric signal transmission. Upon implantation of the artificial retina into rat eyes, remarkable restoration of visible light sensitivity was achieved. More surprisingly, the rat also demonstrated the ability to perceive near-infrared light, highlighting the tremendous potential for vision restoration.



KEYWORDS: composites; ferroelectric polymers; photoelectric response; artificial retina



朱余红，中国科学技术大学材料系博士生，导师初宝进教授。主要研究方向为热释电材料及其应用。

C-09 极性斯格明子的巨大电场诱导二次谐波产生效应

王思旭¹，李千¹

¹ 单位：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

摘要： 电场诱导的二次谐波发生使得通过电学手段控制非线性光-物质相互作用成为可能，这对新兴的集成光子学应用至关重要。尽管电场诱导二次谐波效应在材料中广泛存在，但其性能仍有待提高，以实现新颖的器件功能。在这里，我们展示了在 $\text{PbTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ 铁电超晶格中自发形成的一种拓扑畴：极性斯格明子（polar skyrmions），它具有很高的综合电场诱导二次谐波性能。在 800 nm 非共振激励下测得的二阶非线性光学系数和调制深度分别达到 $\sim 54.2 \text{ pm V}^{-1}$ 和 $\sim 664\% \text{ V}^{-1}$ ，同时还表现出较高的响应带宽（高于 10 MHz）、较宽的工作温度范围（高达 $\sim 400 \text{ K}$ ）和良好的抗疲劳性（大于 1010 次循环）。通过结合原位实验和相场模拟，我们建立了极性斯格明子的独特极化构型和外加电场下的极化演化路径与其电场诱导二次谐波响应之间的微观联系。我们的研究不仅为片上器件的构建提供了一种极具竞争力的薄膜材料，而且为在光子学和光电子学领域中极性拓扑结构的应用开辟了新的途径。



关键词： 极性拓扑结构；非线性光学；二次谐波产生；电光调制器件

个人简介：王思旭，男，汉族，清华大学材料学院博士五年级生，主要研究方向为铁电薄膜材料与器件、极性拓扑结构、非线性光学等。



C-10 铁电-半导体异质结基光电器件研究

何云斌*, 陈剑, 程盈盈, 董艳慧, 朱弘毅, 严爽, 卢寅梅

湖北大学材料科学与工程学院, 武汉, 430062

摘要: 铁电材料的最本征特性是具有自发极化, 且其自发极化可随外加电场调控而改变方向。该特性使得铁电材料在低功耗信息存储器件得到实际应用, 同时在光伏型(自驱动)光电探测器和太阳能电池等光电器件领域具有巨大应用潜力。铁电材料内部存在的退极化电场可驱动光生载流子的分离, 然而单一铁电退极化电场分离光生载流子能力有限, 而且其大的电阻也不利于光生载流子的传输, 导致铁电基光伏型探测器和太阳能电池的光电转化性能有限, 难以满足实际应用需求。针对该问题, 我们在前期工作中将铁电 PLZT 与高功函数 Au 金属电极、NiO 和 ZnO 分别构筑异质结, 利用铁电退极化场与肖特基、p-n 结、II 型 n-n 结界面内建电场的耦合叠加效应, 增强光生载流子的分离和传输, 研制出高性能自驱动光电探测器^[1-3]。近期, 我们将典型铁电材料(BiFe_{0.95}Mn_{0.05}O₃:BFMO; Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂:HZO) 与新型超宽禁带半导体 Ga₂O₃ 结合构建具有 II 型能带配置的 Ga₂O₃/铁电异质结, 发展了新型高性能 Ga₂O₃ 基日盲紫外光探测器^[4, 5]。进一步地, 我们以高载流子浓度 Si_{0.0075}Ga_{0.9925}O₃ (Si:Ga₂O₃) 为功能层, 同时引入 ZnO, 构建 Ag/ZnO/Si:Ga₂O₃/BFMO/FTO 多结探测器, 利用 ZnO/Si:Ga₂O₃ 和 Si:Ga₂O₃/BFMO 异质结界面、BFMO/FTO 肖特基结界面内建电场和 BFMO 中铁电退极化电场多场叠加耦合, 来协同分离光生载流子, 实现了性能更优异的铁电退极化场增强型多结自驱动紫外光电探测器(在弱光 $P = 0.001 \text{ mW/cm}^2$ 下, $R^*260\text{nm}=103.9 \text{ mA/W}$ 、 $D^*260\text{nm}=2.29 \times 10^{12} \text{ Jones}$) [6]。此外, 我们将铁电 BFO 纳米粒子 (NPs) 引入到 Cu(InGa)Se₂ (CIGS) 薄膜太阳能电池的 p-n 结中, 以 Mg_{0.04}Zn_{0.96}O/Mg_{0.08}Zn_{0.92}O 双层膜为窗口层, 构建出高效的 Mg_{0.04}Zn_{0.96}O/Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/BFO NPs/CIGS 基太阳能电池, 其中 BFO 铁电退极化场和 p-n 结内建电场协同增强光生激子的分离, 器件在 +3 V 电压下极化后表现出最佳性能 (JSC=39.56 mA/cm², VOC=0.673 V, FF=66.37%, PCE=17.67%), 相对于传统无 BFO NPs 铁电层的 ZnO/CIGS 基器件 PCE (12.26%) 提高了 44%^[7]。

关键词: 铁电材料; Ga₂O₃; 退极化电场; 多结耦合; 光电器件

参考文献

- [1] Chen, Lu*, Guo*, He*, et al. *Sensor. Actuat. A-Phys.* 315 (2020) 112267.
- [2] Chen, Lu*, He*, et al. *Adv. Electron. Mater.* 7 (2021) 2170054.
- [3] Chen, Lu*, He*, et al. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 12 (2020) 53957.

- [4] Cheng, Chen*, Lu*, He*, et al. *J. Mater. Chem. C* 11 (2023) 15197.
[5] Yan, Chen*, Lu*, He*, et al. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 15 (2023) 22263.
[6] Cheng, Chen*, Lu*, He*, et al. *ACS Photonics*, 2024, in press.
[7] Dong, Chen*, Li*, He*, et al. *Chem. Eng. J.* 495 (2024) 153667.



何云斌：德国吉森大学博士、美国杜兰大学博士后，湖北大学二级教授、博士生导师。主要在宽禁带氧化物半导体薄膜及紫外光探测和功率电子器件、铁电光伏与介电储能、低维钙钛矿材料与新型光电器件等领域/方向开展研究。主持国家重点研发计划课题、国家自然科学基金面上/合作交流项目(6项)、教育部及湖北省重大重点项目等共计 30 余项研究；以第一或(共同)通讯作者在 *Nature Mater.*、*Nat. Commun.*、*Phys. Rev. Lett.*、*Mater. Sci. Eng. R* 等国内外期刊发表 SCI 论文 260 余篇，被 SCI 引用近 7500 次；技术成果获授权美国/澳大利亚国际发明专利 2 项、中国发明专利 50 余项。入选教育部新世纪优秀人才、湖北省楚天学者特聘教授、省百人计划特聘专家、省新世纪高层次人才工程、武汉市学科带头人等人才计划/工程，获湖北省创新研究群体、省杰出青年基金资助，并获中国产学研合作创新奖、湖北省青年科技奖、省有突出贡献中青年专家称号。

C-11 离子调控机理探究

鲁年鹏

中国科学院物理研究所

摘要：由于晶格、电荷、轨道和自旋自由度间关联耦合效应，功能氧化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、连续和可逆体效应调控，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，嵌入时对功能氧

化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。

关键词：离子调控，功能氧化物，协同掺杂效应，金属-绝缘体相变，离子电导

参考文献

- 1.N.P. Lu, *et al.*, *Nat. Energy* 7, 1208 (2022).
- 2.L. Gao, N.P. Lu*, *et al.*, *Adv. Mater.* 35, 2300617 (2023).
- 3.Y.Q. Wang, N.P. Lu*, *et al.*, *Adv. Electron. Mater.* 10, 2400029 (2024).
- 4.J. Liu, N.P. Lu*, *et al.*, Submitted (2024).

C-12 二氧化钒外延薄膜的相变调控及其器件应用

李亮，赵闪光，邹崇文

中国科学技术大学国家同步辐射实验室

摘要：二氧化钒(VO_2)是一种典型的强关联氧化物，在临界温度（68 °C）发生金属绝缘态相变，并表现出电导率和红外透过率的突变。 VO_2 的这种独特相变特性使其在智能窗、激光防护、红外/THz 调制器以及低功耗射频器件等方面有着广泛的应用。近年来我们在 VO_2 相变调控方面发展了室温氢化，电场调控和多层膜调制等相变调控技术，并利用同步辐射技术研究了其相变调制机制；在器件应用方面研制了突破红外调制理论极限的 VO_2 电控智能窗，制备了“冷热双吸”的 VO_2 智能涂层，并实现了 VO_2 神经元突触动态连接的量子成像。此外针对国家重大需求，实现了 VO_2 激光防护窗口关键部件的研制和初步应用。

关键词：二氧化钒；金属绝缘相变；电子态；同步辐射



邹崇文，中国科大核科学技术学院/国家同步辐射实验室研究员，博士生导师，安徽省领军人才特聘教授。主要从事钒氧化物相变材料的光电特性调控的同步辐射研究以及红外/太赫兹器件的应用研究。以第一/通讯作者在 *PNAS*, *Science Advances*, *Nat. Comm.* 等期刊发表论文 100 余篇，授权发明专利 6 项。作为项目负责人主持国家自然科学基金重点、面上项目以及军民融合专项等 20 余项，曾入选中科院青年创新促进会并被评为“优秀会员”。

C-13 氧化铝基体的连续纤维增强陶瓷基复合材料研究

邱文丰

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

摘要: 随着我国航空航天技术的发展,飞行器性能不断提高,对热端部件的高温结构材料提出了更高的性能要求。连续氧化物陶瓷纤维增强氧化物陶瓷基复合材料作为新兴的航空航天高温结构材料,具有良好的机械性能、优异的高温抗氧化侵蚀性能等优点,有着广泛的应用前景。本论文的研究面向连续 NextelTM720 纤维增强氧化物(N720/Al₂O₃、N720/Al₂O₃-ZrO₂)陶瓷基复合材料(Ceramic matrix composites,简称 CMCs),采用不同粒径分布的陶瓷粉体与氧化铝溶胶相组合使用来构建氧化物 CMCs 的多孔基体,再使用聚合物陶瓷前驱体通过浸渍热解工艺(Precursor infiltration pyrolysis,PIP)进一步强化基体,制得具有良好力学性能和高温稳定性的氧化物 CMCs 并开展相应的性能研究。

关键词: 连续纤维; 陶瓷基复材; 陶瓷前驱体; 涂层



邱文丰, 华南理工大学前沿软物质学院、华南软物质科学与技术高等研究院, 教授。研究方向: 聚合物陶瓷前驱体与高性能复合材料树脂基体的设计、合成、工程化制备及应用研究, 开展杂化功能材料及聚合物陶瓷前驱体制备先进陶瓷材料的研究。主要业绩: 迄今发表文章 40 多篇, 曾主持/参与多项国防重大项目。多年来从事聚合物陶瓷前驱体与特种树脂材料的研发、应用, 完成锆基、钨基、钽基、氧化铝、莫来石等聚合物陶瓷前驱体的研制, 应用于耐超高温/高温陶瓷基复合材料制备, 并开拓聚合物陶瓷前驱体在特种陶瓷纤维、注射成型、特种陶瓷涂层等方面的应用。

C-14 基于原子力显微镜的载流子演化观测

黄博远

南方科技大学

摘要: 先进信息材料与能源材料中的电子、离子演化行为始终吸引着人们的关注。我们近期基于原子力显微镜, 对二维材料、固态电解质中载流子受极化或外场调控的演化行为进行了研究。首先, 我们观测了在铁电场效应晶体管中, 铁电极化如何影响二维

半导体材料的载流子浓度。通过结合扫描微波阻抗显微术和压电响应力显微术，我们发现 PZT 的铁电极化翻转可使 MoS₂ 的载流子浓度改变两个数量级，与其器件开关比相对应。随后，我们也将探讨微观离子运输的表征挑战。通过发展时空分辨扫描开尔文探针显微术，我们实现了对 LiZr₂(PO₄)₃ 固态电解质中离子迁移的原位观测，成功定量了其微观离子迁移率。本报告旨在揭示载流子的微观动力学过程，为二维电子器件和全固态电池的研究提供方法支撑。

关键词：载流子浓度；离子迁移；二维材料；固态电解质；



黄博远，南方科技大学材料科学与工程系副教授、国家级青年人才。致力于纳米尺度力电耦合表征与器件研究。首创人工智能原子力显微系统、力栅晶体管，系列成果入围科技“奥斯卡”R&D 100 Awards Finalist、入选 MIT Technology Review 最发人深思论文、荣获深圳市自然科学二等奖。目前以第一/通讯作者身份在 *Science Advances*、*Advanced Materials*、*National Science Review* 等刊发表论文 24 篇，实现 2 项授权专利的成果转化，主持国自然原创探索

计划项目、重大研究计划集成项目课题等 8 项基金。

C-15 基于高速原子力显微镜的 NINJ1 介导质膜破裂机制研究

翟兆毅，焦放*

软物质与生物物理实验室，中国科学院物理研究所，北京

摘要：细胞质膜破裂（plasma membrane rupture, PMR）是细胞程序性死亡的最后一步，这一过程会将细胞内容物（包括促炎细胞因子和损伤相关分子模式等）释放到细胞外环境，引发或放大炎症反应。研究发现神经损伤诱导蛋白 1（NINJ1）是多种程序性细胞死亡中质膜破裂的关键介质 1。最近两个团队通过冷冻电镜分别解析了激活状态下的 NINJ1 结构，并基于各自结果提出了两种彼此矛盾的 NINJ1 介导 PMR 模型 2,3。此外，其激活机制尚未可知。这里我们利用原位原子力显微镜（AFM）和高速原子力显微镜（HS-AFM）探究了 NINJ1 的激活因子及其介导 PMR 的整个过程，并提出一种新的 NINJ1 介导 PMR 模型。我们发现磷脂酰丝氨酸（PS）是 NINJ1 激活的关键触发因子。



NINJ1 最初以低聚且可移动的寡聚体形式存在于脂膜中，在激活后，这些寡聚体从随机排列组装形成不规则的环状结构，随后环内的磷脂分子被置换到溶液中形成孔道结构，并且这些孔道会沿着其边缘高曲率区域向外扩展，最终导致大面积脂膜破坏并残留 NINJ1 双丝纳米纤维结构和不规则的膜碎片。

参考文献

1. Kayagaki, N. *et al.* NINJ1 mediates plasma membrane rupture during lytic cell death. *Nature* **591**, 131, doi:10.1038/s41586-021-03218-7 (2021).
2. Degen, M. *et al.* Structural basis of NINJ1-mediated plasma membrane rupture in cell death. *Nature* **618**, doi:10.1038/s41586-023-05991-z (2023).
3. David, L. *et al.* NINJ1 mediates plasma membrane rupture by cutting and releasing membrane disks. *Cell* **187**, doi:10.1016/j.cell.2024.03.008 (2024).

C-16 通过同时直接测量开放环境下的局部电卡和电致应变揭示电卡效应的机制

廖洛城，山东良，刘运牙*

湘潭大学材料科学与工程学院，湘潭大学，湘潭，湖南 411105

摘要：基于电卡效应的固态制冷技术是微电子系统理想的下一代制冷方法的主要候选者。然而，由于缺乏直接的相关证据，电热效应的作用机制尚不清楚，特别是对于新的负电卡的 (NEC) 效应。在这项工作中，我们开发了一种高精度的直接测量方法，可在环境条件下同时测量局部电卡和电致应变响应，提供电卡效应期间伴随的电致应变证据。结合实验、热力学分析和有限元模拟，发现当发生 NEC 和大正电卡 (PEC) 响应时，电致应变非常大，NEC 效应是由铁电-铁电相变引起的，而大正电卡响应源于铁电-铁电相变。结果还表明，NEC 温度变化不随电场增加而增加，并且在相变临界电场时显示最大温度变化，不同于随电场增加的 PEC 温度变化。我们所发展的方法为研究电卡效应提供了一种可替代和灵敏的途径。

关键词：负电卡效应，正电卡效应，电致应变，扫描热显微镜，铁电材料

C-17 BiFeO₃ 纳米材料中的极化拓扑畴及其导电性

李忠文

淮阴工学院

摘要: 拓扑缺陷因其在力学、电学和磁学领域的独特性质而引起广泛关注。本研究利用基于原子力显微镜 (AFM) 的系列扫描探针显微镜 (SPM) 技术研究, 对 BiFeO₃ 薄膜和纳米点的畴结构及其导电性进行表征。AFM 扫描提供了 BiFeO₃ 薄膜和纳米点的三维形貌。借助于矢量压电响应力显微镜 (vector PFM), 我们成功表征了纳米材料中的自发极化及其调控过程, 识别出多种极化拓扑态。通过结合压电响应力显微镜与开尔文表面电势显微镜的成像技术, 我们揭示了在电场作用下, 纳米点阵列中的氧空位能够发生迁移。相场模拟结果表明, 这些拓扑畴的形成机制源于界面上电荷 (如氧空位) 的积累与纳米点几何约束之间的相互作用。通过导电原子力显微镜的测量, 我们探测到了薄膜中畴壁电流的存在, 并确定了由带电畴壁引发的导电特性。这些独特的中心型拓扑畴及其导电性为 BiFeO₃ 纳米铁电材料在高密度存储器件中的应用奠定了基础。

关键词: SPM; 拓扑畴; BiFeO₃



李忠文, 现任淮阴工学院应用物理系党支部书记, 中国物理学会会员。主要研究领域包括铁电材料和扫描探针显微镜表征。主持过江苏省科技副总项目和产学研项目各一项。作为第一作者或通讯作者, 在《Science Advances》、《Journal of Materials Chemistry C》、《Physica Status Solidi RRL》和《Journal of Applied Physics》等高水平期刊上发表多篇论文。诚挚欢迎各位老师和同学进行交流与合作。

C-18 中熵岩盐矿氧化物薄膜的室温自旋玻璃态

王山虎¹, 韩慧萍¹, 伍亮¹

昆明理工大学材料科学与工程学院

摘要: 磁性系统中阻挫的交换作用对于构造独特的磁性至关重要。岩盐结构的过渡金属一氧化物 (例如 MnO、FeO、CoO 和 NiO) 都是比较优异的反铁磁体。通过制备包

含多种过渡金属离子的中熵岩盐氧化物，可在较大程度上增强交换无序性，进而有可能诱导出新奇的磁结构。在本研究中，我们首次使用脉冲激光沉积（PLD）方法生长了 $\text{Mn}_{0.25}\text{Fe}_{0.25}\text{Co}_{0.25}\text{Ni}_{0.25}\text{O}$ 中熵氧化物（MEO）薄膜。发现（MEO）薄膜在室温下呈现出自旋玻璃态，并在其与邻近 Pt 层形成的异质结构中观察到了反常霍尔效应（AHE）。此外，Pt/MEO 异质结构中的（AHE）与其面外磁矩（ M_z ）呈比例关系，这与自旋霍尔磁阻（SMR）理论相符。我们的研究表明，通过调控磁性氧化物的熵可能获得奇异的磁结构。

关键词：反常霍尔效应；交换相互作用；阻挫；中熵氧化物；自旋玻璃态



王山虎，新疆昌吉人。2023年6月获得昆明大学宝石及材料工艺学工学学士学位，2023年9月至今昆明理工大学材料工程硕士在读，导师为伍亮博士。研究方向为中高熵磁性薄膜材料。

C-19 高精度扫描探针显微镜的研制和应用

张学莹

致真精密仪器（青岛）有限公司

摘要：扫描探针显微镜在物理科学、材料科学、集成电路和半导体等领域具有广泛应用，而我国高端扫描探针显微镜长期严重依赖国外进口。近年来，致真精密仪器团队聚焦高精度扫描探针显微镜研发，突破了高精密度位移控制系统、FPGA 硬件系统及减震隔音系统等关键核心技术，实现了可亚纳米级形貌表征成像、噪音水平在 100fm/Hz 内的科研级/晶圆级原子力显微镜。在此基础上，该系统还集成了多功能模块，包括磁力显微镜、静电力显微镜、扫描开尔文显微镜、压电力显微镜、纳米刻蚀和液下成像等，将解决纳米尺度下的几何量、力学、电学和磁学等特性参数的测量难题，支撑相关基础研究和先进制造领域的高质量发展。

C-20 高质量自支撑氧化物薄膜的结构优化与物性调控

王凌飞

合肥微尺度物质科学国家研究中心 中国科学技术大学

摘要: 过渡金属氧化物薄膜异质结中的多自由度的耦合带来了一系列衍生量子现象和丰富的功能特性,但薄膜/基底界面上的强共价键在很大程度上限制了氧化物电子学器件的实用化。针对这一短板,基于水溶性牺牲层材料的自支撑氧化物膜的剥离和转移技术近年来被提出并迅速发展,极大地推动了氧化物异质结、范德华尔斯材料和硅基半导体的集成和器件研究。然而,自支撑薄膜的水辅助释放过程常常伴随着高密度裂纹的产生,显著影响薄膜完整性,并导致功能特性的退化。针对这一普遍性问题,我们开发了一种新型水溶性牺牲层材料: $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 。 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 具有四方对称性,与多数钙钛矿氧化物可以共格外延生长,显著提升了剥离后自支撑氧化物薄膜的结晶性和完整性,使其无裂纹区域扩展到厘米级,且其功能性可以与外延薄膜相当。在利用 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 实现高质量氧化物薄膜的剥离和转移的基础上,我们也进一步开发了利用高精度红外成像技术自支撑氧化物薄膜实现缺陷高效检测的技术,并利用各向异性应变,可控褶皱等方法实现自支撑铁磁、铁电薄膜中物性的有效调控。

关键词: 薄膜异质结, 氧化物电子学, 自支撑氧化物薄膜



王凌飞教授现任职于中国科学技术大学合肥微尺度物质科学研究中心,博士生导师,国家创新人才计划青年项目(2020年)和中科院“百人计划”B类(2019年)入选者。2013年于中国科学技术大学获得凝聚态物理博士学位,2013至2015年在阿伯杜拉国王科技大学从事博士后研究,2015年至2018年在韩国首尔国立大学从事博士后研究。2018年至2020年于韩国首尔国立大学担任助理研究教授。2020年3月加入中国科学技术大学。主要从事钙钛矿结构过渡金属氧化物薄膜与异质界面中的新奇量子现象和功能特性研究。在 *Science*、*Nature Materials*、*Advanced Materials*、*Advanced Functional Materials*、*Nature Communications* 等学术期刊共发表论文五十余篇,论文被引4000余次(Google Scholar),H因子25,3篇论文入选ESI高被引论文。



C-21 界面热输运的原子尺度测量

高鹏

北京大学, 100871

摘要: 声子描述了物质中原子的振动行为, 是物质的指纹, 也是物质中热、电、力、光等物理过程的纽带, 因此声子技术在生产生活和前沿科技中有广泛应用。尽管已有多种方法可以探测物质中的声子, 但在表界面科学和纳米科学领域里, 由于缺少同时具备高空间分辨和动量分辨能力, 之前一直没有普适性的技术能够得到单个界面和单个纳米结构的声子色散信息。近年来我们基于扫描透射电子显微镜的电子能量损失谱, 发明了“四维电子能量损失谱”技术, 克服了传统谱学无法同时具备高动量分辨和纳米级空间分辨的缺点, 并且能够根据实际问题的需要在空间分辨率和动量分辨率之间取得最佳平衡。据此, 我们绘制了单个纳米结构、单个异质结界面的声子色散分布图。该谱学方法在推动晶格动力学在纳米尺度上的前沿研究, 有望在凝聚态物理、材料科学与工程、信息技术等研究中发挥了作用。在本报告中, 我们重点展示这些局域声子测量使得我们能够在纳米甚至原子尺度上来研究界面的热输运行为。主要包括以下例子: 在半导体异质结中, 局域在界面附近的增强和减弱的声子模式如何影响界面热导; 位错附近的局域声子模式以及对界面热导的影响行为; 在单个纳米线中, 应力梯度对热导的影响行为。

关键词: 四维电子能量损失谱; 界面热输运; 声子色散; 原子尺度



高鹏, 北京大学博雅特聘教授, 电子显微镜实验室主任。从事原子尺度界面科学研究, 主要兴趣是设计和制备原子尺度的功能界面, 并利用快电子散射等研究界面原子结构、电子结构、声子结构、非平衡态等。发表研究论文三百余篇, 含七十多篇《自然》/《科学》系列期刊论文和十余篇《物理评论快报》等。多次入选科睿唯安、爱思唯尔高被引科学家。部分研究工作入选中国电子科技十大进展、中国光学十大进展、中国半导体十大研究进展、中国十大科技进展新闻提名等。曾获科学探索奖、北京市优秀指导教师等。主持国家杰出青年基金、国家重点研发计划等。



C-22 A Pyroxene-based Quantum Magnet with Multiple Magnetization Plateaus

Lun Jin^{1*}†, Shiyu Peng^{2†}, Aya Nakano Rutherford³, Xianghan Xu¹, Danrui Ni¹, Chen Yang¹, Yen Ji Byeon¹, Weiwei Xie⁴, Haidong Zhou³, Xi Dai² and Robert J. Caval^{1*}

¹Department of Chemistry, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544, USA

²Department of Physics, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China

³Department of Physics and Astronomy, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 37996, USA

⁴Department of Chemistry, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, USA

Abstract: Pyroxenes (AMX₂O₆) consisting of infinite one-dimensional edge-sharing MO₆ chains and bridging XO₄ tetrahedra are fertile ground for finding quantum materials. Thus, here, we have studied calcium cobalt germanate (CaCoGe₂O₆) and calcium cobalt silicate (CaCoSi₂O₆) crystals in depth. Heat capacity data show that the spins in both compounds are dominantly Ising-like, even after being manipulated by high magnetic fields. On cooling below the Néel temperatures, a sharp field-induced transition in magnetization is observed for CaCoGe₂O₆, while multiple magnetization plateaus beneath the full saturation moment are spotted for CaCoSi₂O₆. Our analysis shows that these contrasting behaviors potentially arise from the different electron configurations of germanium and silicon, in which the 3d orbitals are filled in the former but empty in the latter, enabling electron hopping. Thus, silicate tetrahedra can aid the interchain superexchange pathway between cobalt (II) ion centers, while germanate ones tend to block it during magnetization.

Keywords: pyroxene, quantum magnet, floating-zone crystal growth, low-dimensional anisotropic magnetism, field-induced magnetic transitions



金纶教授 2015 年本科毕业于英国华威大学，随后进入英国牛津大学继续深造并于 2019 年取得博士学位，在美国普林斯顿大学完成为期五年的博士后研究后，于 2024 年 9 月加入东南大学物理学院，长期致力于新型无机功能材料研究，在非常规复合金属氧化物的可控合成、精准表征及物性按需调控等方面取得了系统的创新性研究成果



C-23 钛酸铋钠基介电储能陶瓷原子尺度设计与性能研究

郭金明

湖北大学材料科学与工程学院

摘要: 高储能性能的电介质陶瓷对于下一代先进大功率电容器的发展至关重要。然而,同时实现超高可回收能量密度和效率仍然是一个挑战。本工作通过在 $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3$ (BNT) 陶瓷的 A 位引入不同元素,系统研究材料畴结构、晶格极化和铁电介电性能的变化,在原子尺度揭示 Mg、La、Ca、Sr 等元素不同程度增强弛豫行为的原因。其中, Mg 和 La 对 BNT 基陶瓷的弛豫化尤为明显。通过引入 Mg、La 设计了一系列基于 BNT 的高熵组分 $(\text{Ca}_{0.2}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.2}\text{Mg}_x\text{La}_x\text{Bi}_{0.2-x}\text{Na}_{0.2-x})\text{TiO}_3$ (CSBBNT-xML), 在提高击穿场强的同时将极性纳米微区的尺寸降低到 1 nm 左右。最终在 CSBBNT-0.05ML 高熵陶瓷中获得高达 10.1 J/cm^3 的可回收能量密度和 90% 的超高效率。另外,通过引入 La^{3+} 取代部分 Bi^{3+} , 设计并利用流延工艺制备了一系列 BNT 基陶瓷 $0.9\text{Bi}_{0.5-x}\text{La}_x\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3-0.1\text{SrAl}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ (0.9BL_xNT-0.1SAN), 对氧空位、极化强度、击穿场强、相和畴结构等多尺度进行调控,将极性纳米微区平均尺寸从 5 nm 减小到 2 nm,且部分四方相和三方相转变为无极性的立方相,使材料进一步弛豫化。最终 0.9BL_{0.09}NT-0.1SAN 单层陶瓷流延膜在 820 kV/cm 电场下表现出高达 11.2 J/cm^3 的可回收能量密度和 88% 的效率,并且其储能性能具有良好的频率稳定性、热稳定性和循环稳定性。通过原子尺度高熵设计和 La^{3+} 的多尺度调控大幅提升了 BNT 基无铅陶瓷的介电储能性能,使其具备应用潜力并为后续研究工作提供重要借鉴作用。

关键词: 介电储能; 高熵陶瓷; 钛酸铋钠; 弛豫铁电; 极性纳米微区



郭金明, 湖北大学材料科学与工程学院教授、博士生导师, 湖北大学球差电镜中心主任, 湖北省重点人才计划入选者。主要研究领域为铁电压电材料、介电储能材料、透射电子显微学表征技术。2021 年 1 月, 任湖北大学材料科学与工程学院教授, 独立承担双球差校正电镜 Spectra 300、高分辨电镜 Talos F200X、聚焦离子束电镜 Helios 5 UC 三台设备的选址、场地建设、设备安装调试、运行及维护工作。目前已在 *Nature Communications*、*Advanced Materials*、*Advanced Energy Materials*、*Acta Materialia*、*Journal of the European Ceramic Society* 等高水平 SCI 期刊发表论文 60 余篇。近三年主持国家自然



科学基金及企业横向项目等 8 项。担任多所大学及企业电镜采购及场地建设项目咨询与评审专家。担任《自然科学进展：国际材料》(Progress in Natural Science: Materials International) 与《硅酸盐学报》期刊青年编委。

C-24 范德华层状铁电/压电晶体

李洋¹, 方裕强², 徐成彦³, 甄良¹, 黄富强²

¹哈尔滨工业大学 材料学院; ²上海交通大学 材料学院;

³哈尔滨工业大学 (深圳) 材料学院

摘要: 铁性材料具有铁电性、铁弹性或铁磁性等, 在信息存储、传感、非线性光学等领域具有广泛的应用。微型化、柔性化以及多功能化是未来铁性功能器件发展的重要方向。二维层状范德华铁电与压电材料由于其独特的电子结构与物理性质、丰富的物性调控手段以及功能器件易构筑等优点, 在后摩尔时代信息功能、传感器件等领域具有重要的应用前景。在该报告中, 我将主要报告我们在该领域的发展, 譬如, 新型八面体结构层状铁电/压电晶体的创制、新奇铁性 (铁电性、铁弹性及多铁性) 的揭示、非线性光学性质的高压调控与结构演变以及高分辨微纳结构的飞秒激光微纳制造等。

关键词: 范德华层状铁电; 非线性光学; 高压调控; 飞秒激光微纳制造



李洋, 教授/博士生导师, 德国洪堡学者。研究方向为范德华铁电/压电晶体及其传感器件应用。近年来, 以第一/通讯作者在 *Advanced Materials* (2)、*ACS Nano* (4)、*Advanced Functional Materials* (7)、*Nano Letters* (3) 等领域重要期刊上发表论文 45 篇, 入选封面 6 篇、引用超过 150 次论文 3 篇, 授权发明专利 10 项。获中国材料研究学会优秀博士学位论文、黑龙江省自然科学基金优秀青年基金等。现主持国家自然科学基金面上项目、国家重点研发计划子课题、国家重点研发计划“青年科学家”项目任务等项目 10 项。



C-25 非化学计量调控 BiFeO₃-BaTiO₃ 压电陶瓷漏导机制

张世元¹, 薛梦萍¹, 郝乙锦¹, 张现馨¹, 谢乐天¹, 徐浩语¹, 邵彤彤¹,
刘孜欣¹, 高伟¹, 张波萍^{1*}

¹ 北京科技大学

摘要: BiFeO₃-BaTiO₃ (BF-BT) 无铅压电陶瓷兼具高居里温度和优良的压电性能, 然而该体系存在易生成杂相 (Bi₂₅FeO₄₀/Bi₂Fe₄O₉)、Bi 挥发以及 Fe 变价等问题, 导致低的绝缘性能和高的介电损耗, 不利于其高温高电场极化和性能提升。研究者通过加入过量 Bi 补偿挥发、B 位离子取代 Fe₃₊抑制变价, 降低漏电流提升性能。本工作使用一步烧结法在较宽范围内调控了 BiFe_{1+x}O_{3-0.25}BaTiO₃ 陶瓷中 Fe 非化学计量含量(-0.05 ≤ x ≤ 0.05), 结果表明一步烧结工艺抑制了杂相 Bi₂₅FeO₃₉ 和 Bi₂Fe₄O₉ 的生成, Fe 欠量和过量 0.05 时有微量 β-Bi₂O₃ 和 Fe₂O₃ 形成, 样品的相结构和介电性能对成分变化不敏感。Fe 过量有效减少了氧空位, 空间电荷主导漏导机制, 提升了绝缘性能; Fe 欠量抑制了 Fe 变价和氧空位, 欧姆传导和空间电荷传导共同作用, 漏电流降低了 1~2 个数量级。得益于 Fe 变价和氧空位的有效抑制, 电阻率提升, 在 x = -0.05 和 0.05 样品中分别获得了 d₃₃=127 和 110 pC/N。

关键词: BiFeO₃-BaTiO₃; 一步法; 非化学计量; 漏导机制



张世元, 北京科技大学材料科学与工程学院硕士研究生, 导师为张波萍教授, 研究方向是 BF-BT 基无铅压电陶瓷。



C-26 高通量制备 BiFeO₃-BaTiO₃ 无铅压电陶瓷

胡金浩^{1,2}, 张世元¹, 周晓晓¹, 郝乙锦¹, 张现馨¹, 谢乐天¹, 徐浩语¹,
裴俊¹, 李敬锋^{2*}, 张波萍^{1*}

¹ 北京科技大学; ² 清华大学

摘要: BiFeO₃-BaTiO₃ (BF-BT) 陶瓷具有居里温度高、烧结温度低、成本低廉等优点, 但是存在易生成杂相、铁变价、铋挥发等问题, 优化烧结温度是提升 BF-BT 性能的关键策略之一。本工作提出一种借助温度梯度炉制备陶瓷样品库的高通量方法, 旨在快速筛选出 BF-BT 的最佳烧结温度。采用一步法烧结工艺一次性成功制备了不同烧结温度与不同成分的 BF-BT 陶瓷, 所有样品均表现出高于 92% 的相对密度。XRD、SEM 和 PFM 结果表明, 所有 0.7BF-0.3BT 陶瓷表现出相似的 R-PC 共存的物相结构、微观形貌和电畴结构。最优的 d₃₃、P_m、P_r 与 T_c 值分别为 154 pC/N、32.3 μC/cm²、23.6 μC/cm² 与 505 °C, 与常规方法制备样品的性能媲美。本工作提出的高通量制备策略有利于无铅压电陶瓷的快速发展。

关键词: 高通量; BiFeO₃-BaTiO₃; 无铅压电陶瓷; 制备工艺; 烧结温度



个人简介: 胡金浩, 北京科技大学材料科学与工程学院博士研究生, 导师是张波萍教授和李敬锋教授, 研究方向是 BF-BT 基无铅压电陶瓷。



C-27 铌酸钾钠基无铅压电陶瓷中压电性能和机械品质因数的协同提升

冯天翼¹, 杨子奇¹, *, 刘欢^{1,2}, 黄浩峰¹, 胡金浩^{1,2}, 王轲¹, 朱立峰²,
张波萍², 李敬锋¹, *

¹ 清华大学材料学院; ² 北京科技大学材料科学与工程学院

摘要: 高机械品质因数 (Q_m) 和低机械损耗对压电材料在大功率应用中的性能至关重要。虽然铌酸钾钠 (KNN) 陶瓷由于其良好的压电性能和环境效益而成为无铅压电材料的有希望的候选材料, 但它们传统上面临着高压电系数 (d_{33}) 和高 Q_m 之间的权衡。为了解决这个长期存在的问题, 我们提出了一种结合缺陷工程和畴工程的新方法, 引入多种异价元素 B 位共掺杂。掺杂产生的各种缺陷和缺陷偶极子破坏了局部应力和静电场, 导致多级纳米畴结构的形成, 有助于同时增强 Q_m , d_{33} 和热稳定性。优化后的复合材料的 Q_m 高达 948, d_{33} 为 132 pC/N, 与仅掺杂 Cu 的样品相比分别提高了 80% 和 25%, 并且在 100 °C 时, 其 Q_m 可以保持在 916, d_{33} 为 189 pC/N。此外, 在高功率条件下, 在 0.5 m/s 的振动速度下, Q_m 保持了其初始值的 50%, 优于几种商用铅基压电陶瓷。这些结果为硬型 KNN 基陶瓷的缺陷-畴相互作用提供了新的见解, 并展示了它们在没有铅的高功率压电应用中的潜力。

关键词: 无铅压电陶瓷; 铌酸钾钠; 机械品质因数; 多级畴结构



冯天翼, 清华大学材料学院 2021 级博士生, 主要研究方向为铌酸钾钠基无铅压电陶瓷, 导师为李敬锋教授。

C-28 电致伸缩效应与电场的解析关系以及与电卡效应的正关联关系

鲁圣国、曾文瀚、牛翔、王世斌

广东省智能材料与能量转化器件工程技术研究中心，广东省功能软凝聚态物质重点实验室，广东工业大学材料与能源学院，广州，510006

摘要：电致应变材料被广泛用于驱动器和切削刀具、镜头等器件的控制方面，精确的应变与电场的关系具有十分重要的实际意义。本工作采用激光测微位移仪测量了电致伸缩应变与施加电场的关系，通过热力学理论得到了电场与电致伸缩应变的解析关系。得到在低电场下应变与电场的平方成正比，在较高的电场下应变与电场的 $2/3$ 方成正比，在更高的电场下与电场的 $2/5$ 方成正比。运用此关系，我们对弛豫型铁电体陶瓷、弛豫型铁电聚合物的应变与电场的关系进行了拟合，发现上述解析关系均成立。实验发现，在弛豫型铁电体聚合物中，电致伸缩应变和电卡效应都与电场的平方成比例。引入 Belo-Goryaga 方程到电卡效应，在低电场下电卡效应绝热温变与电场的平方成正比。对于电致伸缩效应，非谐振动理论得到离子的位移与电场的平方成正比。大量实验结果表明电致伸缩系数与唯象系数的商是一个常数，进一步证明电致伸缩效应与电卡效应的正关联关系。

关键词：电致伸缩效应；电卡效应；应变；电场；解析关系



鲁圣国，广东工业大学教授、博士生导师。广东省智能材料和能量转化器件工程技术研究中心主任。华中科技大学本科、硕士，西安交通大学博士。在香港理工大学、香港城市大学、美国宾州州立大学从事研发工作 14 年。国际电气电子工程师协会 (IEEE) 高级会员，中国复合材料学会介电高分子复合材料及应用专业委员会常务委员，中国硅酸盐学会微纳技术分会理事，中国仪表功能材料学会电子元器件关键材料与技术专业委员会资深常务委员，中国电子材料与元器件产学研协同创新平台专家委员会委员。近年来的主要兴趣包括，电卡致冷材料和器件、介电储能材料和器件、柔性电子材料和器件等。在 *Science*、*Advanced Materials*、*Joule* 等国内外刊物上发表论文 260 余篇，SCI 收录 180 余篇，授权美国专利 1 项，授权中国专利 35 项，公开 45 项。作为大会主席之一承担了第 17 届



全国电介质物理、材料和应用、全国第 19 届电子元件和材料及国际固态制冷材料和器件研讨会 (>700 人)。2019 年被欧洲材料学会秋季会议用于有效热管理应用的多卡材料分会邀请做报告。在国际国内会议上做邀请报告和担任分会主席 60 余次。

C-29 长离子位移铁电的非传统性

吴梦昊

华中科技大学, 湖北省武汉市, 邮编 430074

摘要: 在经典模型中, 铁电相通常是高对称顺电相在软模下的较小偏离, 只存在于属于特定十个极性点群的晶格中。报告人将介绍几类跳出该框架的非传统铁电设计, 特殊键型使其能以较低翻转势垒长离子位移, 包括提出独特的界面滑移铁电机理, 使多数非铁电二维材料能通过堆叠产生极低势垒的稳定铁电性, 其垂直极化可通过层间水平滑移翻转, 在层间扭角下还会产生一种铁电莫尔超晶格, 随后该预测在多种二维体系中实验证实, 相关报导目前已有 30 余篇文章发表于 *Nature*、*Science* 和子刊; 提出利用类共价离子键在高电离度体系诱导高极化铁电性, 由于库仑作用的长程特性, 也能极大降低长离子位移的翻转势垒; 一些质子/离子导体甚至可产生离子位移为多倍晶格常数的铁电性, 极化也呈量子化。上述铁电性可存在于非极性点群的晶体中, 即使在宏观尺度下其极化仍高度依赖于边界, 这些性质都迥异于以往的铁电研究。

关键词: 长离子位移铁电; 滑移铁电; 量子极化; 非极性点群; 边界

吴梦昊于 2007 年毕业于南京大学获得学士学位, 2011 年毕业于内布拉斯加大学林肯分校获得博士学位, 之后三年在弗吉尼亚联邦大学及麻省理工学院从事博士后研究工作, 2014 年加入华中科技大学物理学院任教授, 博士生导师。主要从事二维铁电/多铁的理论计算研究, 一系列相关预测随后得到实验证实, 尤其是提出的滑移铁电引起了广泛关注。目前以通讯作者在 *Nat Rev Phys*、*Nat Commun*、*Sci Adv*、*PNAS*、*Natl Sci Rev*、*PRL*、*JACS* 等期刊发表文章 70 余篇, 入选青年长江学者和 Elsevier 中国高被引学者。

C-30 聚合物/陶瓷纳米复合材料中的界面效应与介电性能

张鑫

武汉理工大学

摘要: 以聚合物为基体、无机纳米粒子为填料的聚合物纳米复合材料具有优异的电、力、热学综合性能,广泛应用于电力电子、信息、能源、航空航天等重要领域。长期以来,复合材料中形成的无机/聚合物界面被认为是获得性能提升的关键因素。然而,如何理解界面效应以及界面微区的结构与性能是聚合物纳米复合材料领域长期面临的难题。本报告将介绍我们关于聚合物纳米复合材料界面效应的最新研究进展。我们利用先进原子力扫描探针及电子显微技术实现了对聚合物复合材料中纳米级界面微区的高精度直接观测。基于此,发现复合材料中无机纳米颗粒与聚合物基体的界面区域内存在具有强极性聚合物构型的极性“双界面层”结构。分子动力学及相场模拟结果表明纳米颗粒表面电势以及颗粒间距的协同作用是形成界面极性构型的关键作用机制。利用高极性“双界面层”的对颗粒间距的响应行为,在具有超低无机填料含量的纳米复合材料中获得了显著增强的介电及压电性能。利用纳米叠层设计优化了极性界面层的增强效应,在层状复合材料中获得了超高介电储能密度。此外,进一步发现在纳米叠层复合材料中,界面作用诱导的纳米限域效应可以显著提升聚合物超薄膜的热稳定性,实现了纳米复合材料的优异高温介电性能。

关键词: 介电; 复合材料; 界面; 储能



张鑫, 武汉理工大学材料科学与工程国际化示范学院/材料复合新技术国家重点实验室教授, 博士生导师, 国家优秀青年科学基金获得者, 于 2012 年毕业于中南大学获工学学士学位, 2017 年毕业于清华大学获工学博士学位。主要从事高储能密度复合电介质材料、柔性传感材料与器件等方面的研究工作, 在相关研究方向发表 SCI 论文 60 余篇。曾获教育部自然科学一等奖 (2023) 以及中国电介质物理优秀青年奖 (2023) 等。



C-31 薄膜结构的同步辐射研究

罗震林

中国科学技术大学国家同步辐射实验室

摘要: 薄膜是材料三大形态中最接近硅基集成电路的形态, 便于器件的小型号和高密度集成, 在过去的几十年中受到了极大的关注, 是材料物理的重要研究方向, 例如铁电、超导、磁性、光电等等。但是, 相对单晶和粉末来说, 薄膜特别是外延薄膜的结构表征要难得多, 因为这里不光有晶体结构, 还有外延关系、晶畴结构、晶格应变等等结构信息。同步辐射是表征物质的利器, 有衍射、成像、谱学三类技术, 其中衍射就是表征材料结构的重要手段。为了应对薄膜材料结构表征的问题, 同步辐射发展出了表面衍射这个分支; 过去的二十年, 随着第三代同步辐射光源的大范围应用以及先进 X 射线探测器的出现, 表面衍射技术得到了大发展。在这期间, 我课题组独立发展出了一套同步辐射三维衍射技术, 它在表征维度、表征范围、信息量获取等方面远超过去的一维/二维衍射技术, 在铁电/铁弹/柔性单晶膜等结构表征方面展现出了独特优势。在这个报告中, 我将介绍三维衍射技术的基本原理和一些应用案例, 并分享我们的一些心得。

关键词: 薄膜; 结构; 同步辐射; 三维衍射

参考文献

1. Advanced Functional Materials, 2009376 (2021)
2. Nature Communications, 12, 4620 (2021)
3. Science 383, 388-394 (2024)
4. Science 382 1265-1269 (2023)



罗震林, 中国科学技术大学项目研究员, 博导。合肥先进光源软 X 射线显微谱学相干成像线站负责人; 全国氧化物薄膜材料青年学者论坛发起人。过去 10 年, 主要专注于同步辐射先进材料结构表征技术的发展, 开发了三维衍射等独特技术, 与国内外多个薄膜材料领域课题组形成良好合作, 开展系列重要研究工作并取得了成果, 发表论文 100 余篇。最近几年, 在合肥先进光源 HALF 的召唤下, 开始研究同时具

有高空间分辨/高化学分辨能力的同步辐射相干衍射成像/谱学成像技术, 该技术是未来第四代同步辐射光源的杀手铜技术之一, 会有很多重要而有趣的应用

C-32 气泡揭示离子键合云母多层的弯曲刚度

李保文, 谭旺, 殷俊

教育部智能纳米材料与器件重点实验室, 航空航天结构力学及控制全国重点实验室, 南京航空航天大学航空学院, 中国南京

摘要: 揭示层状材料的弯曲刚度对于指导其在具有显著的平面外变形的应用中具有重要意义, 例如柔性电子学。为此, 已经开发了专门的方法, 但通常涉及对于原子级薄片的精确操纵或者使用具有原子级分辨率的横截面特性分析, 这限制了它们的广泛应用。在这里, 我们以云母为例, 证明机械剥离过程中自发形成的气泡提供了一种简单但可靠的方法来研究其弯曲力学。通过对广泛分布的气泡的三维形貌分析, 我们根据非线性板理论提取了云母多层的弯曲刚度。与理想的非线性板解决方案相比, 较低的弯曲刚度表明存在适度的层间滑移, 云母的层间剪切系数高于多层石墨烯, 这归因于其层间离子键的强界面剪切强度

关键词: 气泡; 弯曲; 层状材料



谭旺, 2022年6月获得南京航空航天大学工学学士学位, 同年9月进入南京航空航天大学航空学院攻读硕士学位, 2024年转入硕博连读, 导师为殷俊教授。主要研究方向为微纳米力学。



C-33 锡基钙钛矿卤化物薄膜的添加剂工程与光电性质研究

颜志波, 翟文静, 张志航, 李光远, 郑文昊, 刘俊明
南京大学

摘要: 锡基卤化物钙钛矿有十分优异的光电性能, 但由于其晶体结晶速度过快、易分解、以及 Sn^{2+} 极易氧化成 Sn^{4+} 等问题导致其薄膜质量低、光电性和稳定性较差。在这里, 我们通过具有多种钝化功能团的添加剂工程【添加: 氟化铯(CsF)、三氟化硼苄胺(BBF)、4-三氟甲基苯乙胺离子(CF_3PEA^+)】来提高薄膜质量与光电性能, 并研究了相关机制。

关键词: 锡基钙钛矿卤化物; 添加剂工程; 光电响应度; 三氟化硼苄胺;



颜志波, 南京大学教授, 主要从事钙钛矿材料的多铁性、忆阻效应、以及光电性质研究, 已在 *Nat. Photon.*、*Adv. Mater.*、*Phys. Rev. B*、*Appl. Phys. Lett.*、*J. Mater. Chem. A*、*ACS Appl. Mater. Inter.* 及其它期刊发表多篇学术论文, H 指数 32。

C-34 干涉式原子力显微镜在压电铁电材料中的应用

竺仁
牛津仪器科技(上海)有限公司

摘要: 为提升压电力显微镜 (PFM) 定量分析能力, 本报告将详细介绍一种新型的 AFM 检测技术—正交相位差分干涉 (QPDI)。相比于传统的 PFM 技术, QPDI 技术不仅能够有效避免测量中形貌、静电力及摩擦力等因素的干扰, 而且基于干涉原理直接利用光波长精确校准形变量, 从而显著提高了 PFM 测量的准确性、精确性和可重复性。因此, QPDI 技术能够直接测量样品表面的真实压电形, 尤其适用于弱响应材料的表征。



◆ 墙报展示

- P-01 **多铁性超晶格中极化孤子的稳定性和拓扑相变**
刘可凡, 郭相伟, 洪子健
浙江大学
- P-02 **拓扑数据分析辅助的机器学习用于氧化物超晶格中极性拓扑结构的研究**
杜管诗涵¹, 周麟铭¹, 黄玉辉^{1,2}, 吴勇军^{1,2*}, 洪子健^{1,2*}
浙江大学
- P-03 **自支撑 BiFeO₃ 薄膜中凸起褶皱诱导形成的极化拓扑畴结构**
田国; 郑斯铮; 莫柱华; 周厚霖; 戴吉岩; 刘俊明; 高兴森
华南师范大学
- P-04 **Highly tunable skyrmion-like polar nanodomains for high-density ferroelectric hard disks**
陈洪英 洪子健 高兴森 吴迪
南京大学
- P-05 **磁分析纳米材料在超级电容器及锂离子电池中的应用**
孙海斌
信阳师范大学
- P-06 **单层 PbTiO₃ 薄膜中极性泡状畴的生长调控**
洗建标 陈瑞丰 高兴森
华南师范大学
- P-07 **CuInP₂S₆ 的力学性质研究**
吴习奇
中国科学技术大学
- P-08 **莫尔铁电中机械力诱导的层间滑移**
魏鹿奇、关赵、范文成、曹伟、万能、童文旂、陈斌斌、
向平华、钟妮、段纯刚
华东师范大学



- P-09 **Edge Polarization Topology Integrated with Sliding Ferroelectricity in Moiré System**
范文成, 关赵, 魏鹿奇, 徐浩文, 童文旖, 钟妮, 段纯刚
华东师范大学
- P-10 **Ambient Moisture-induced Self Alignment of Polarization in Ferroelectric Hafnia**
魏鹿奇
华东师范大学
- P-11 **单层 PbTiO₃ 薄膜中极性泡状畴的生长调控**
洗建标¹, 陈瑞丰¹, 田国¹, 高兴森*¹
华南师范大学
- P-12 **有机-无机杂化钙钛微米晶内复杂拓扑畴形成机制**
张怀毫, 朱光洋, 高兴森, 田国
华南师范大学
- P-13 **范德华异质结的高温超润滑**
龙雨洋, 李保文, 殷俊
南京航空航天大学
- P-14 **铌酸钠基无铅陶瓷弛豫反铁电相的构筑与储能特性优化**
杨伟伟, 赵坤宇, 翟继卫, 曾华荣
中国科学院上海硅酸盐研究所, 同济大学
- P-15 **多层陶瓷电容器的微结构、性能及失效评价**
杜文通
中国科学院上海硅酸盐研究所



◆ 平台简介



湖北师范大学是一所以教育学、文学、理学、工学为主要学科门类,以教师教育为特色,以服务基础教育为主体的省属重点本科高等师范院校,具有硕士学位授予权,是全国本科教学工作水平评估

优秀学校、国家产教融合发展工程应用型本科建设高校、湖北省“双一流”建设高校。

学校位于黄石市中心城区,规划占地 2002 亩,校舍总面积 60 余万平方米。学校襟江带湖,含山蓄水,绿茵广场、楼台亭榭、书画走廊等自然人文景观错落有致,相映成辉,风光宜人,曾被评为“湖北省绿化先进单位”“湖北省卫生先进单位”“湖北省园林式单位”和“湖北省最佳文明单位”,是读书治学和陶冶情操的理想场所。

学校师资力量雄厚,现有专任教师 1406 人,教授 164 人,副教授 437 人,博士学位 498 人,硕士学位 596 人。教师中有国家级课程思政教学名师和教学团队 1 个,教师中有省级重点联系专家 56 人,享受国务院政府特殊津贴人员 13 人,享受湖北省政府专项津贴人员 17 人,全国优秀教师 1 人,湖北名师 5 人,省新世纪高层次人才工程人选 11 人,省跨世纪学科带头人 7 人,省跨世纪学术骨干 8 人,省有突出贡献中青年专家 5 人,省青年拔尖人才 2 人,省自然科学基金杰出青年项目 3 人,省产业教授 8 人,黄石市有突出贡献专家 17 人,曾宪梓教育基金奖获得者 5 人。

现设有 17 个教学科研单位,13 个一级学科硕士点,12 个专业学位硕士点,69 个本科专业。建有 1 个湖北省国内一流学科建设学科、3 个省级优势特色学科(群)、6 个



省级重点学科，3 个国家级特色专业、8 个国家级一流本科专业建设点、39 个省级一流本科专业建设点、7 个省级品牌专业、11 个专业接受教育部师范专业认证，2 个学科进入 ESI 全球排名前 1%。12 个省级教学团队、20 个省级优秀基层教学组织，1 门国家级精品课程、2 门国家级精品资源共享课程、8 门国家级一流课程、12 门省级精品课程、8 门省级精品资源共享课程、3 门省级精品视频公开课程、2 门省级精品在线开放课程、58 门省级一流本科课程、1 个国家级课程思政示范项目、1 个省级课程思政教学研究中心、3 个省级课程思政示范项目、1 个教育部新工科研究与实践项目、1 个国家级专业综合改革试点项目、6 个省级专业综合改革试点项目、8 个湖北省战略性新兴产业人才培养计划项目，1 个国家级实验教学示范中心、10 个省级实验教学示范中心、3 个省级虚拟仿真实验教学中心，2 个省级虚拟仿真项目、6 个“荆楚卓越人才”协同育人计划项目、1 个国家级实习实训基地、6 个省级示范实习实训基地，1 个省级大学生创新活动基地，8 个省级研究生教育创新基地（工作站）。





◆ 平台简介

光电转换材料与器件湖北省重点实验室

2016 年，湖北师范大学根据国家和湖北省的战略需求创立了先进材料研究院，并开始光电转换材料、能源新材料和信息功能材料等方面的科学研究。2018 年，立项建设光电转换材料与器件湖北省重点实验室，并于 2023 年正式通过湖北省科技厅的验收，成立光电转换材料与器件湖北省重点实验室。实验室主要呼应国家能源革命战略、支撑湖北省现有光电转换材料和器件的研究布局、满足地方光电产业发展，集聚优势资源力量，面向未来二十年甚至更长时期的新生代光电转换材料需求，以探索光电转换新原理为龙头，以突破效率天花板新方案为核心，发展超快、超短光电转换激发与探测技术，设计制备高效光电转换新材料、研发新一代光电器件及集成技术。为夯实湖北省现有光电转换科技平台，为湖北省及地方光电信息与能源产业发展贡献力量。

实验室依托湖北师范大学材料科学与工程学院、物理与电子科学学院建设，清华大学教授、中科院院士南策文担任实验室学术委员会主任，学校党委书记李宏教授担任实验室主任。拥有材料科学与工程、光学工程一级学科硕士点，有光电子材料、光电子器件、非线性光学、光电信息与储能、材料物理与化学、材料学和新能源材料与器件等专业方向。实验室现有一批以中青年为主、结构合理的高水平研究队伍，现有固定人员 58 人，其中副高级以上职称人员 47 人，教师中博士学位人员占 95% 以上。实验室现有全国优秀教师 1 人，湖北省杰青 1 人、湖北省“青年拔尖人才”1 人、“楚天学者特聘教授”3 人、“楚天学子”5 人、“磁湖学者”特聘讲座教授 6 人(包括中科院院士 1 人、美国物理学会 Fellow 2 人、长江学者特聘教授 6 人)、湖北省高等学校跨世纪学科带头人 2 人、入选湖北省新世纪高层次人才工程（第二层次）3 人、湖北省百人计划 1 人，享受国务院政府特殊津贴 2 人，湖北省有突出贡献中青年专家 2 人。

近五年，实验室共承担国家重点研发计划子课题、国家自然科学基金、湖北省自然科学基金等各类项目 160 余项，横向课题 50 余项，总经费 2000 余万元。获国家发明专



利 23 项，软件著作权登记 10 项；湖北省科学技术厅登记的重大科技成果 2 项，省市新成果登记近 20 项；获各类科技奖 20 余项，其中获教育部科技进步一等奖 1 项，湖北省自然科学一等奖、二等奖和三等奖各 1 项，湖北省科技进步奖三等奖 2 项。在国内外材料科学与工程、光学工程、物理学、化学等高水平学术期刊 Nature Communication、Physical Review Letters、Nano Energy、Physical Review B、ACS Applied Materials & Interfaces、Optics Letters、Optics Express、Applied Physical Letters 等发表论文 280 篇，其中被 SCI、EI 收录 250 余篇。实验室现有科研用房面积 15000 多平米，拥有 50 多平方米的万级超净实验室，具有大型仪器及其配套设备 80 余台/套，总价值超过 6000 万元。建成了能源材料实验室、信息材料实验室、环境友好材料、光电子材料与器件等实验室，可以满足材料的模拟设计、纳米/薄膜/块体材料的可控制备和精密微加工，同时具备对材料的结构和形貌表征，以及光、电、磁、热等基本物性的测试条件。

实验室近五年来共培养硕士研究生 500 余人，历年毕业研究生就业率达到百分之百。按照湖北省重点实验室开放、联合与流动的方针，实验室利用设备及技术上的优势，设立对外开放课题，广泛吸收国内外人员来实验室访问工作；通过主办国内外学术会议，邀请国内外知名教授来本实验室讲学，或派遣研究人员到国外参加国际会议、考察、访问等方式，加强学术交流与合作，先后与清华大学、南京大学、浙江大学、武汉大学、湖北大学、东南大学、美国休斯敦大学等大学或研究机构建立了良好的合作关系。实验室十分注重与国内企业的合作，与湖北融通高科先进材料有限公司、普罗格智芯科技（湖北）有限公司、瑞视光电技术股份有限公司、湖北中环新材料有限公司、宝山钢铁股份有限公司、湖北东贝新能源有限公司等 20 多家黄石地区重要的科技企业建立了长期合作关系，签订合作协议 30 余项，合同经费达 500 多万元。





◆ 平台简介

湖北师范大学材料科学与工程学院正式成立于 2023 年，其前身为 2016 年创立的先进材料研究院。材料学院位于风景秀丽的青山湖边，有山林掩映，宜学海泛舟，可为莘莘学子提供良好的学习氛围和现代化的就学条件。学院现开设有材料科学与工程本科专业，拥有材料科学与工程一级学科硕士点。

学院有外聘专家顾问及教职工 40 人，包括教授 9 人、副教授 12 人、博士生导师 6 人、硕士生导师 25 人。其中，中国科学院院士 1 人、日本工程院外籍院士 1 人，长江学者特聘教授 4 人、国家杰出青年科学基金获得者 4 人、湖北省“青年拔尖人才”1 人、湖北省杰出青年科学基金获得者 1 人、“楚天学者特聘教授”1 人、“楚天学子”5 人、“磁湖学者”特聘讲座教授 4 人、“磁湖学者”青年才俊 4 人。95%以上的专任教师均具有博士学位。

学院具有优良的科研条件和教学环境。拥有总面积达 15000 平方米的教学科研用房，仪器设备 1000 余台，其中大型设备 55 台，总价值 4000 余万元。在光电转换材料和器件湖北省重点实验室外，还建有微纳光电子器件与集成湖北省工程研究中心、黄石市先进半导体材料与器件重点实验室、湖北师范大学分析测试分析中心等三个大型科研平台。从 2017 年至今共获批科研项目 70 余项，到账竞争性科研经费 1000 余万元。其中，获批国家重大研究计划课题 1 项、国家自然科学基金 20 项（面上项目 3 项、青年项目 17 项）、省部级项目 21 项。在科学研究方面，重点实验室也取得卓越成绩，近年来在 *Nature Communications*、*Nano Energy*、*Physical Review B*、*Applied Physics Letters* 等国际一流杂志发表 SCI 论文 200 余篇，授权国家发明专利 10 余项。近年来，学院教师获得校级教学创新奖共 3 项，其中一等奖 1 项、三等奖 2 项。

◆ 交通路线

黄石北火车站—黄石富力万达嘉华酒店 (~7.8 千米)

(1) 公交:

路线 1: 在黄石北站上车, 乘坐 23 路公交车, 途径 16 个公交站点, 到七中站下车, 步行 660 米前往黄石富力万达嘉华酒店, 全程约 60 分钟, 票价 2

路线 2: 在黄石北站上车, 乘坐 17 路公交车, 途径 15 个公交站点, 到彩虹路站下车, 步行 600 米前往黄石富力万达嘉华酒店, 全程约 50 分钟, 票价 2 元

(2) 的士: 从黄石北站打车/网约车前往酒店仅需约 10-15 分钟, 票价 20-30 元。



◆ 交通路线

黄石站（黄石火车站）—黄石富力万达嘉华酒店（23 千米）

(1) 公交：

路线 1： 在黄石火车站上车，乘坐 22 路公交车，途径 8 个公交站点，在中医院团城山新院站下车，换成 6 路公交车，途径 19 个公交站点，在 14 中站下车，步行 950 米前往黄石富力万达嘉华酒店，全程约 1 小时 50 分钟，票价 5 元

路线 2： 在黄石火车站上车，乘坐 22 路公交车，途径 9 个公交站点，在肖铺站下车，步行至海事局站，换成 17 路公交车，途径 17 个公交站点，在彩虹路站下车，步行 600 米前往黄石富力万达嘉华酒店，全程约 1 小时 50 分钟，票价 5 元

(2) 的士：从黄石站（A）打车/网约车前往酒店（B）需要大约 40 分钟，票价 40-60 元。

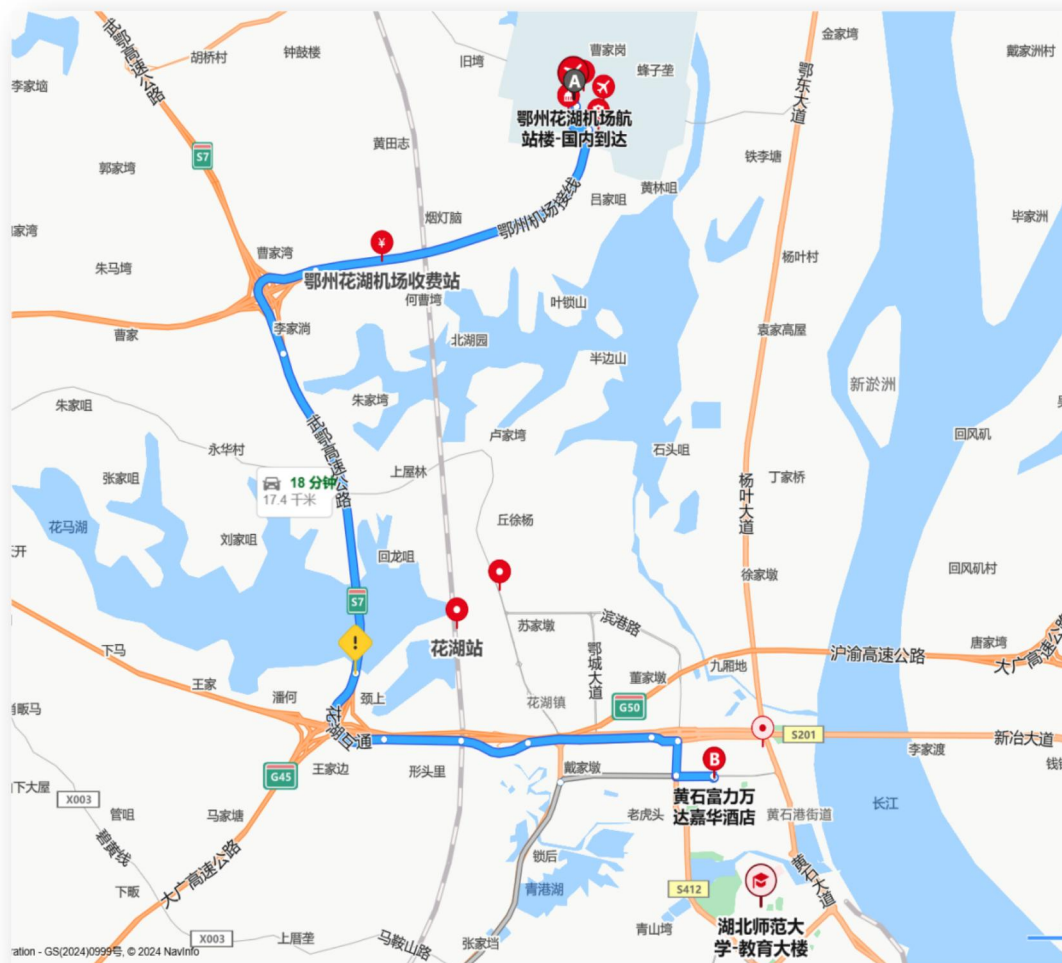


◆ 交通路线

花湖机场（鄂州花湖机场）—黄石富力万达嘉华酒店（~18 千米）

(1) **专线车**：在鄂州花湖机场航站楼站上车，乘坐黄石天虹小区候机楼方向旅游专线车，途径 1 个站点，在黄石天虹小区候机楼站下车，步行 900 米前往黄石富力万达嘉华酒店，全程约 1 小时，票价 18 元

(2) **的士**：出租车/网约车走机场高速 → 武黄高速，然后下高速进入黄石市区，通过花湖大道到达酒店。从花湖机场直接打车或叫网约车到黄石富力万达嘉华酒店，车程约为 20-30 分钟，票价 30-50 元



◆ 旅游 & 美食

1. 旅游

东方山坐落于湖北省黄石市下陆区，海拔高度 475 米，是国家 AAAA 级旅游风景区及省级森林公园。东方山被誉为“三楚第一山”，主要由曼倩埡、揽胜埡、走马寨三大主峰组成，方圆面积十八平方公里三峰鼎足而立，各具特色。森林覆盖率百分之九十以上，是黄石城区中最大的林区。保存有“青松倒插、白莲频开、铁牛懒卧、石船高撑、月涌禅关、仙履日暄、灵泉卓锡、道洞云停”等古八景。东方山致力于打造中国佛教的第五大名山，将建起“药师佛道场”，与鄂西的武当山相对应，形成“问道武当，拜佛东方”的文化旅游格局。



黄石国家矿山公园位于湖北省黄石

市铁山区境内，占地面积为 23.2 平方公里；是中国首座国家矿山公园，拥有亚洲最大的硬岩复垦基地，并成为湖北省继三峡大坝之后第二家“全国工业旅游示范点”，国家 AAAA 级景区。“矿冶大峡谷”为黄石国家矿山公园核心景观，形如一只硕大的倒葫芦，东西长 2200 米、南北宽 550 米、最大落差 444 米、坑口面积达 108 万平方米，被誉为“亚洲第一天坑”。



天空之城景区位于湖北省黄石市阳新县王

英镇，坐落在享有“荆楚第一奇湖”、“世界三大千岛湖之一”美誉的仙岛湖北岸山麓。景区核心景观“天空之镜”观景平台为全球最大玻璃底观景圆盘，已成功申请吉尼斯世界纪录。这里海拔 520.1314 米，为天下有情人打造旷世表白场所。景区游乐项目建有观光索道、悬崖秋千、镜子迷宫、丛林穿越、情人桥、粉红沙滩等诸多新奇的游乐项目，吸引无数游客前来观景体验，网红打卡，是黄石最靓丽的旅游新名片和湖北旅游新地标。



◆ 旅游 & 美食

2. 美食

太子豆腐：太子豆腐产于黄石市阳新县太子镇，是当地著名传统小吃，太子豆腐鲜嫩可口，风味独特，素有“荆楚一绝”之美誉，古时为宫廷贡品。太子豆腐整个制作过程采用手工制作，近 10 道工序：选豆-浸豆-磨豆-煮浆-起豆油-过滤-点浆-滤水-打包成型。食之，细腻绵滑，营养丰富；观之，细若凝脂，洁白如玉；掂之，托于手中晃动而不散塌，掷于汤中久煮而



黄金湖螃蟹：黄金湖有得天独厚的自然环境，水质清澈，水草茂盛，湖底土质泥硬，溶解氧适度，含钙量较高，这些都是螃蟹生长肥育的最佳生态环境和理化因子。正宗的黄金湖螃蟹具备青褐壳、白肚、金爪、黄毛的特征。由于水质好，黄金湖螃蟹吃起来有香味，肉质鲜美。

猪油饼：猪油饼是黄石本土传统特色小吃，也是当地人从小吃到的美味。刚出炉的猪油饼色泽金黄诱人，散发着猪油和芝麻混合的香味，一口咬下去，外面油润酥脆，内馅松软咸香，且越嚼越有味道。





第七届先进功能材料与原子力显微技术研讨会
暨2024微纳技术分会学术年会 (AFM² 2024)

