



大湾区显微科学与技术研究中心

Bay Area Center for Electron Microscopy

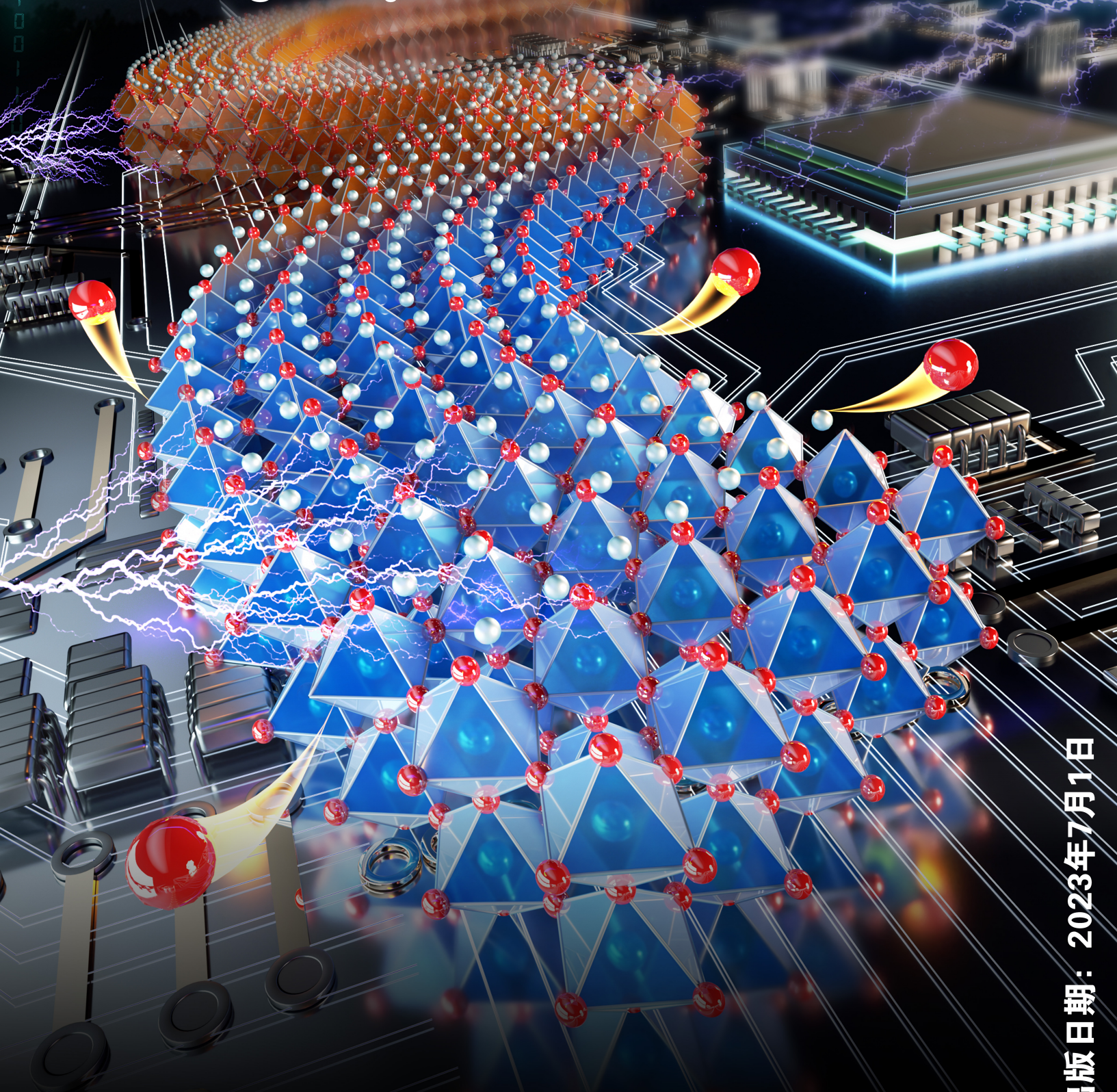
简讯

第7期

松山湖材料实验室

广东省东莞市大朗镇屏东路333号

Email: bacem@sslslab.org.cn



2023年第3期 (总第7期)

出版日期: 2023年7月1日



## 马秀良研究员荣获 2023 广东省五一劳动奖章

4月28日，东莞市庆祝“五一”国际劳动节暨五一劳动奖表彰大会顺利召开。大湾区电镜中心负责人马秀良研究员获颁广东省总工会授予的2023年“广东省五一劳动奖章”。据悉，省总工会此次评选旨在表彰先进，树立榜样，在全社会营造劳动光荣、知识崇高、人才宝贵、创造伟大的社会风尚，授予132个单位广东省五一劳动奖状，317名职工广东省五一劳动奖章，164个集体广东省工人先锋号。



## 显微科学与技术—松山湖论坛

为加强学术与技术交流，电镜中心设立了“显微科学与技术—松山湖论坛”。该论坛旨在为广大青年学者提供学术与技术交流的新平台。

近日，西安交通大学贾春林教授和厦门大学廖洪钢教授分别应邀在松山湖论坛上做了学术讲座。



SONGSHAN LAKE  
MATERIALS LABORATORY  
松山湖材料实验室



大湾区显微科学与技术研究中心  
Bay Area Center for Electron Microscopy

(第4期)  
2023

### 显微科学与技术—松山湖论坛



主讲人：贾春林 教授  
西安交通大学

时间：2023年4月20日(周四) 16:00 - 17:00  
地点：松山湖材料实验室A4栋314会议室

**Microstructure, strain and polarization of epitaxial nano-columnar PbTiO<sub>3</sub>/ (PbTi)O composite films**

Lattice strain has been used to modify the properties of ferroelectric oxide films. Introducing strain in thin film is usually realized based on the lattice mismatch of the heterostructure materials, which form multilayer systems or composite structure. For the composite structure of PbTiO<sub>3</sub>/α-PbO<sub>2</sub>-type structure phase, a high strain in the PbTiO<sub>3</sub> nano-columnar grains is induced by the nearby α-PbO<sub>2</sub>-type structure phase. The off-center displacements of atoms in the highly strained PbTiO<sub>3</sub> are quantified by quantitative high-resolution transmission electron microscopy. The measured off-center displacement Δ<sub>r,co</sub> (0.052 nm) is about 60% larger than the value of unstrained bulk PbTiO<sub>3</sub>, leading to a polarization of 122 mC/cm<sup>2</sup>. The atomic details including cations and oxygen of the α-PbO<sub>2</sub> structure phase are revealed, which show the α-PbO structure with parts of the Pb atoms being substituted by Ti atoms, forming a (PbTi)O phase. Local inhomogeneity in Ti atom distribution is found at nanometer scale in the (PbTi)O phase. The formation mechanism of the composite film is discussed on the basis of the atomic details of the interface to the La<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>MnO<sub>3</sub> electrode layer.

**嘉宾介绍：贾春林**  
西安交通大学教授（2010年—现在），于1993年获德国亚琛工大博士学位，1989-2020年任德国于利希研究中心研究员。研究领域包括高温超导氧化物薄膜、金属氧化物电薄膜及界面的亚纳米结构缺陷与性能、微米精度定量高分辨透射电子显微学。特别在像差校正高分辨电子显微学及其应用于材料结构及缺陷的原子尺度研究方面做出了具有重大影响的工作。利用球差校正透射电子显微镜中的球差可调性，开发了负球差高分辨成像技术。基于该成像技术对导致铁电氧化物自发极化的离子位移进行了测量，在原子尺度上实现对晶体单胞电偶极矩的定量。特别是对畴界面、晶格缺陷对纳米及亚纳米区域电性能的影响进行了原子尺度地测量分析，实现了用电子显微技术在单胞尺度上表征了铁电材料的性能。2004年获京都信託会科学奖，2014年分别获国际显微联合会(IFSM) Hattajiro Hashimoto Medal和中国电镜学会钱临照奖。

主办单位：大湾区显微科学与技术研究中心  
<http://baecm.sslab.org.cn/>



SONGSHAN LAKE  
MATERIALS LABORATORY  
松山湖材料实验室



大湾区显微科学与技术研究中心  
Bay Area Center for Electron Microscopy

2023  
第5期

### 显微科学与技术—松山湖论坛

**原位环境电镜中光电力热外场引入及其在材料化学中的应用**



主讲人：廖洪钢 教授  
厦门大学

时间：2023年4月26日(周三) 下午：14:00-15:00  
地点：松山湖材料实验室C栋会议中心203会议室

**报告摘要：**

经过近90年的电镜技术开发，人们已经成功地使透射电镜的分辨率从最初的50nm左右推进到了0.05nm，提高了1000倍之多。与在高分辨和高精度成像两方面所取得的广泛进展相比，液体和气体环境中的原位透射电镜观察才刚刚起步。其中的一个主要原因是电镜的整个光路系统需要在高真空环境中运行，气体环境在电镜中不易实现。我们通过使用纳米加工制备的原位芯片液体反应池，实现了高分辨率的实时原位观察多种纳米晶体在溶液中的成核生长及形貌演变过程。通过原子分辨率观察纳米立方体生长，发现广为接受的表面活性剂改变表面能及晶面生长速度的形貌控制理论在纳米尺度可能不适用。同时原位的方法还可以拓展到固液界面结构、能源材料储能过程研究，实时观察锂离子电池充放电过程，SEI生成等。目前通过开发制备的原位芯片及配套系统还可同时引入光、电、热、力等外场。通过对原位反应池芯片中的电镜电极界面施加电位，可高分辨率的实时观察溶液多种电化学反应过程，包括电催化、储能过程等。原位液相电镜可从原子分子尺度高分辨实时成像并获取相关材料电学界面结构及价态的高空间分辨率信息，为深入研究化学、材料基础及应用提供了一个新的视角。

**嘉宾介绍：**  
廖洪钢，厦门大学化学化工学院教授，博士生导师，国家高层次人才引进人才、闽江学者特聘教授。主要研究领域为原位电镜技术开发及其在材料合成、电催化、能源存储与转换过程的应用。2011至2015年在美国劳伦斯伯克利国家实验室工作期间完成了原位液体透射电镜的早期示范性研究，研究工作发表在2012及2014《Science》等刊物上，被报道和评论为“Shaping the future of nanocrystal”，“颠覆了一百多年来对晶体生长规律的认识”。发表学术论文80余篇，专利、软著40余项，自主开发多种原位电镜分析芯片及系统，可在基础研究与产业升级等方面广泛应用。目前担任中国能源学会专家委员会委员，中国化学会高分子材料分析技术与表征方法专业委员会委员，厦门大学校友会创业分会监事长。

主办单位：大湾区显微科学与技术研究中心  
<http://baecm.sslab.org.cn/>

## 朱银莲研究员应邀到访湖南科技大学

2023年3月30日，朱银莲研究员到访湖南科技大学材料学院并作题为“亚埃尺度解析新型拓扑结构”的学术报告，与学院师生分享了在铁电拓扑结构构筑及其亚埃尺度结构解析

方面取得的研究成果。

报告中朱银莲研究员详细介绍了铁电拓扑结构的理论构型和实验构筑，并重点阐述了亚埃尺度下铁电拓扑结构的极化特性。

报告后，朱银莲研究员与在座师生进行了充分的互动和讨论，详细解答了与会者的多项科研和技术难题，并分享了她对铁电拓扑领域研究方向的展望。最后，朱银莲研究员指出透

射电子显微镜作为材料科学研究领域的一项重要研究手段，发挥其重要作用的关键点在于应将其作为一项具有测试功能的研究型装备，而非简单的测试性表征仪器。

## 朱银莲研究员出席扫描透射电子显微镜及相关分析技术国际研讨会

2023年5月19日-22日，扫描透射电子显微镜及其相关分析技术国际研讨会（2023）在上海举办，研讨会邀请国际国内知名专家学者40余人作相关研究报告，大湾区电镜中心朱银莲研究员和耿皖荣副研究员应邀参加本次研讨会并作了邀请报告。

该研讨会旨在为增进电子显微学领域的国

际国内专家、学者之间的交流合作，提升我国在该领域的学术水平、技术创新能力和影响力，本次研讨会着重探讨了扫描透射电子显微学技术和方法学的最新研究进展、扫描透射电子显微镜相关硬件及软件研制开发的最新成果、电子显微学技术在凝聚态物理和材料科学中的应用等主题。



## 西北五省第九届电镜学术交流及技术研讨会在兰州召开

为了推动西北五省（陕甘青宁新）电子显微学的发展，2023年6月9日-6月12日，“西北五省第十三届电镜学术交流及技术研讨会”在甘肃省兰州大学举办，电镜中心朱银莲研究员应邀出席此次会议并作大会报告。

会议以电镜及相关仪器在材料科学、纳米科技、物理学、生命科学、化学化工、环境科学、地质学等领域的应用和电镜相关仪器的理论、技术和试验方法的发展与改进为主题，采

用专家报告、学术交流、厂商报告、设备实际操作演示等方式与参会代表进行研讨和交流，提供了一个全面反映电子显微学的应用与新技术的综合性展示交流平台。

作为特邀报告人，朱银莲研究员作了题为“氧化物超晶格中的极性拓扑结构”的学术报告，为与会学者展示了像差校正透射电子显微技术在铁电拓扑结构解析方面发挥的重要作用。

### 西北五省（陕甘青宁新）第十三届电镜学术交流及技术研讨会留念 2023.06.10





## 研究发现铁电极化斯格明子的临界厚度不遵循经典 Kittel 定律

近日，大湾区电镜中心宫风辉博士等人澄清了铁电极化斯格明子的临界尺寸问题，该结果是继通量全闭合 (Science, 2015)，半子 (Nature Materials, 2020)，电偶极子波 (Science Advances, 2021) 之后，该研究团队在有关铁电材料拓扑畴组态方面的又一项重要突破，为与铁磁材料类比的结构特性又添新的实质性内容，也为探索以铁电薄膜为基的电子器件提供了新的参考和借鉴，2023年6月8日，Nature Communications 以“Absence of critical thick-ness for polar skyrmions with breaking the Kittel’s law”为题在线发表了该研究成果。

进入后摩尔时代，电子器件的设计和制造所面临的临界尺寸问题变得尤为重要。特别是在信息存储领域，铁电薄膜的临界厚度问题也得到了广泛的关注，以前普遍认为铁电性在铁电薄膜的临界厚度以下就会减弱甚至消失。宫风辉等人发现在超薄 PbTiO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> 超

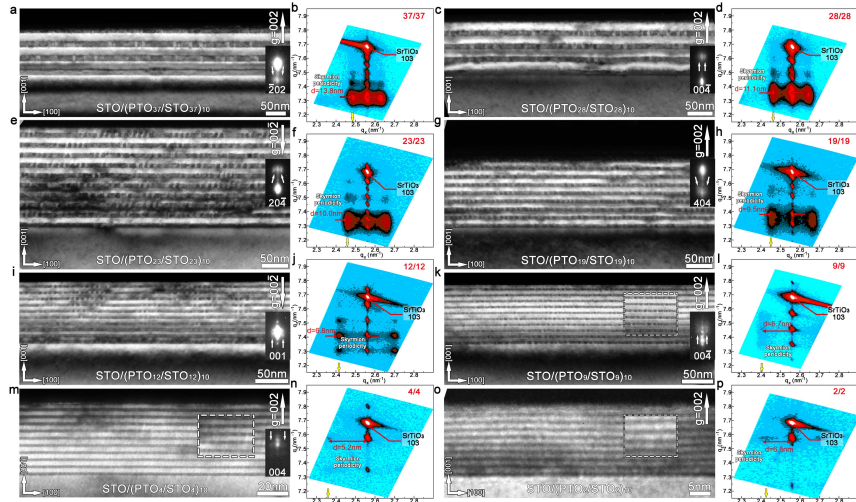


图 1: 系列不同厚度的 PbTiO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> 超晶格的截面视场的衍射衬度像及其对应的 X 射线倒易空间图谱。插图是选区电子衍射花样中单个衍射斑点的局部放大图像。

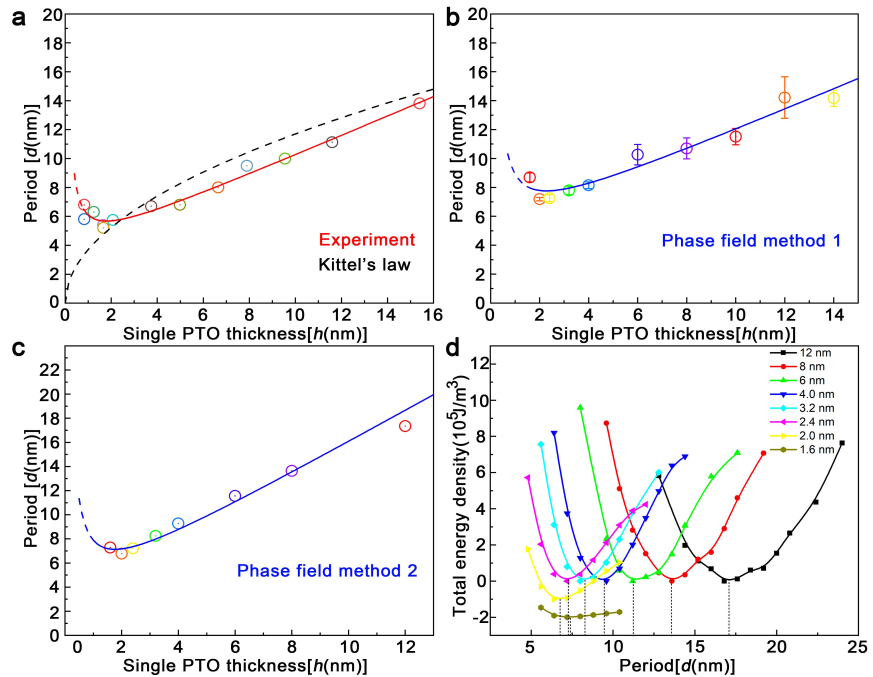


图 2: (a-c) 基于实验和理论计算分别提取的斯格明子周期和单一 PbTiO<sub>3</sub> 层的厚度关系; (d) 在斯格明子晶格模型中，不同厚度的 SrTiO<sub>3</sub>/PbTiO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> 三层膜的总能量密度曲线确定斯格明子的最佳周期。

晶格中，斯格明子的出现不遵循经典的 Kittel 定律；斯格明子甚至可以保持在两个单胞厚的 PbTiO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> 超晶格和双层膜中。实验和理论

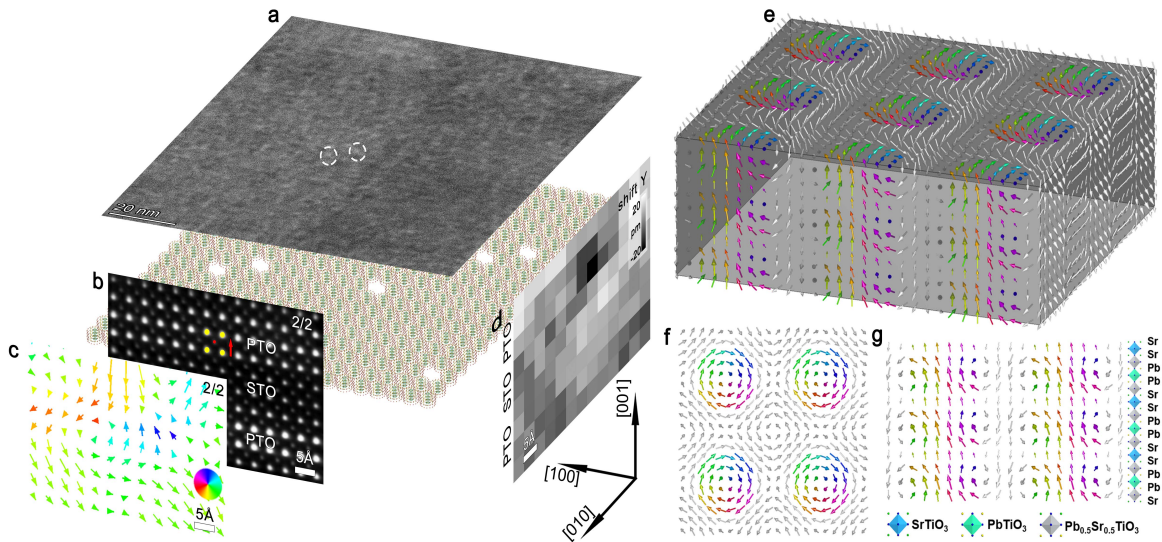


图 3: (a-g)实验和计算共同证实斯格明子可以维持在 $[(\text{PbTiO}_3)_n/(\text{SrTiO}_3)_n]_{10}$  ( $n = 4, 2$  u.c.)超薄超晶格中。

计算均表明,超晶格中斯格明子周期( $d$ )和单一 $\text{PbTiO}_3$ 层的厚度( $h$ )服从双曲函数  $d = Ah+B/h$ ,而不是之前认知的平方根定律。相场分析表明,异常的周期-厚度关系主要取决于块体能、弹性能、静电能和梯度能之间的相互竞争。

该项工作进一步完善了铁电材料中拓扑畴的内涵,揭示了极化体系中斯格明子的极限尺

寸问题,对设计和研发基于铁电材料的信息存储等功能的电子器件具有重要的意义。同时,极限尺寸下的拓扑结构以实空间的形式展现,表明具有亚埃尺度分辨能力的像差校正透射电子显微术是科学家认识物质结构和自然规律的有力工具。

### 非共格界面的结构与物性研究取得进展

功能材料界面由于经常表现出不同于块体材料的新颖物理、化学现象与性质而备受关注。例如,人们在材料界面上发现了二维电子气、界面超导、界面发光和界面磁性等。这些有趣的界面现象与性质通常归因于界面上强烈的物理与化学交互作用,因此它们大多数出现在共格界面和半共格界面上。

从共格界面到半共格界面、再到非共格界面,界面上的晶格失配不断增大,从而导致了材料界面上存在不同的晶格失配调节机制和界

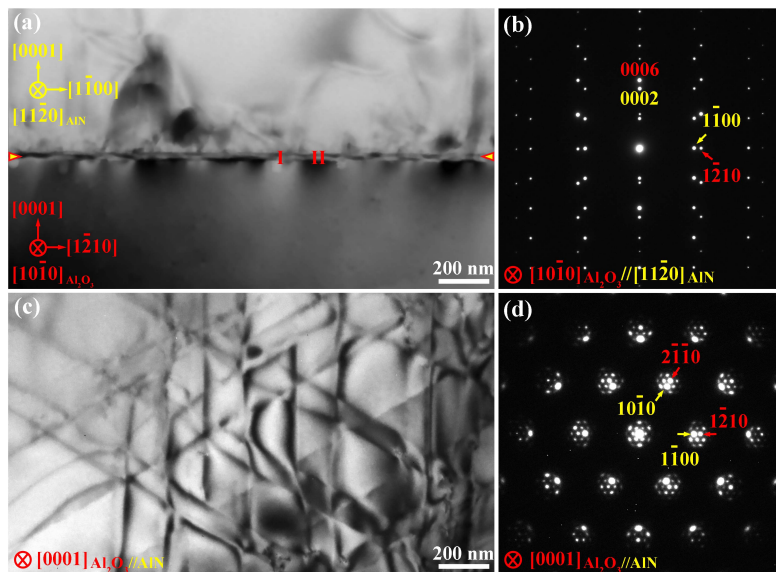


图 1:  $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ 非共格界面的显微结构

面结构。共格界面的晶格失配小,界面失配以

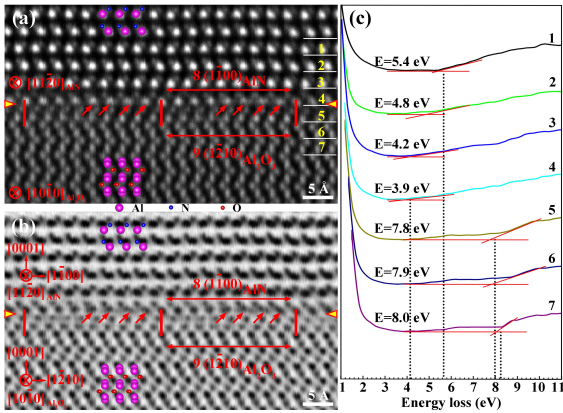


图 2: AlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面无层错区的原子与电子结构

两相邻晶格的弹性变形来调节，界面上形成了原子间完美匹配的界面结构；半共格界面的晶格失配适中，通过形成周期性排列的界面失配位错来补偿晶格失配。非共格界面的晶格失配非常大，界面两侧相邻晶体将保持各自原有的晶格而刚性堆叠在一起，不容易形成界面失配位错。虽然非共格界面比其他两类界面更常见，但由于它的晶格匹配度差并且界面键合强度弱，导致界面上的交互作用非常弱，因此非共格界面上很少表现出独特的界面现象与性质，这极大地限制了非共格界面的相关研究与应用。

近日，博士生闫学习等人发现大晶格失配（~12%）的 AlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0001) 非共格界面上存在不寻常的强界面交互作用。强烈的界面交互作用显著地调控了 AlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面的原子与电

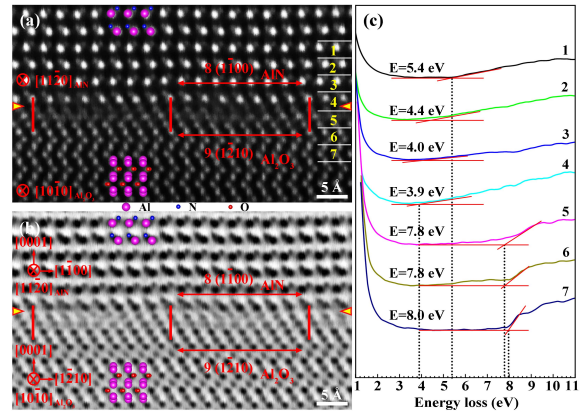


图 3: AlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面层错区的原子与电子结构

子结构及发光特性。透射电子显微学研究发现，在 AlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 非共格界面上形成了界面失配位错网络和堆垛层错，这在其他非共格界面上是很少见的。原子层分辨的价电子能量损失谱表明，AlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 非共格界面的带隙降低为~3.9 eV，显著小于 AlN 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 体材料的带隙（分别为 5.4 eV 和 8.0 eV）。第一性原理计算表明，界面上带隙的减少主要由于在界面处形成了畸变的 AlN<sub>3</sub>O 四面体和 AlN<sub>3</sub>O<sub>3</sub> 八面体，从而导致了界面上存在 Al-N 键和 Al-O 键的竞争及键长的增大。阴极荧光光谱分析表明，该非共格界面具有界面发光特性，可发射波长为 320 nm 的紫外光，发光强度比 AlN 薄膜的本征发光高得多。该研究表明具有大晶格失配的非共格界面可表现出强烈的界面交互作用和独特的界面

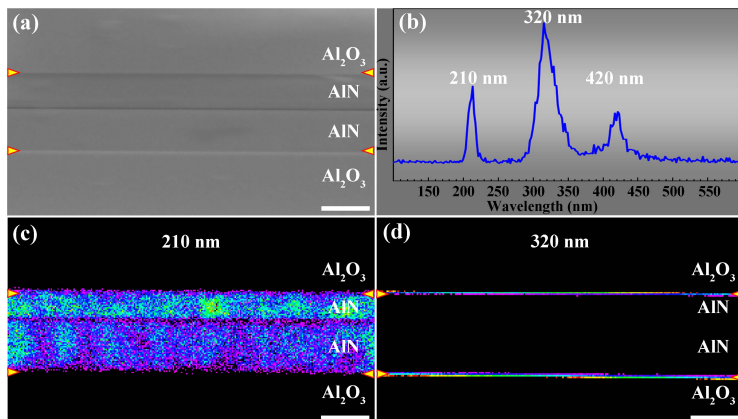


图 4: AlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面的阴极荧光测量

性质，深化和拓展了人们关于非共格界面的认识，可为开发基于非共格界面的先进异质结材料和器件提供借鉴与参考。相关研究结果于 5 月 15 日在 Nature Communications 上在线发表，题为“Interfacial interaction and intense interfacial ultraviolet light emission at an incoherent interface”。



**宫风辉**，男，博士后，1994年12月出生于山东省潍坊市。2017年毕业于沈阳工业大学材料科学与工程学院，获工学学士学位；2017-2023年就读于中国科学技术大学材料科学与工程学院和中国科学院金属研究所，获工学博士学位。2023年7月起，任职于松山湖材料实验室大湾区电镜中心，从事博士后研究。宫风辉博士主要从事铁电超晶格中极性拓扑结构的构筑及其像差校正透射电子显微学研究，现已发表论文10余篇，其中以第一作者在 *Science Advances* 和 *Nature Communications* 等杂志上发表论文4篇，曾获博士研究生国家奖学金、中国科学技术大学校优秀博士学位论文、中国科学院金属研究所师昌绪奖学金、光华奖学金、全国电子显微学学术年会优秀 Poster 奖等。



**陈雨亭**，女，博士后，1995年2月出生于河北省新乐市。2017年毕业于中南大学粉末冶金研究院，获工学学士学位。2017-2023年就读于中国科学技术大学材料科学与工程学院（中国科学院金属研究所），获工学博士学位。2023年7月起，任职于松山湖材料实验室大湾区电镜中心，从事博士后研究。陈雨亭博士主要从事钙钛矿铁电薄膜的制备以及结构和功能特性研究，目前以第一作者或共同第一作者身份在 *Nature Communications*、*Nano Letters*、*Applied Physics Letters*、*电子显微学报* 等期刊发表论文5篇。曾获中南大学“优秀毕业生”、金属研究所师昌绪奖学金、“优秀学生”、中国电子显微摄影大赛三等奖等荣誉。



**刘维政**，男，助理工程师，1998年1月出生于湖南省邵阳市。2019年毕业于辽宁工程技术大学材料成型及控制工程专业，获学士学位。2023年毕业于中国科学技术大学材料与化工专业，获硕士学位。2023年7月入职松山湖材料实验室大湾区显微科学与技术研究中心。刘维政主要从事镍基高温合金中微量元素分布及其作用机理的研究，目前于 *Materials Science & Engineering A* 期刊参与发表论文1篇。曾获辽宁工程技术大学“三好学生”、“校一等奖学金”、“国家励志奖学金”、“辽宁省普通高等学校大学生机械创新大赛二等奖”、中国科学技术大学“三好学生”、“优秀班团干部”等。



**陈真勇**，男，助理工程师，1998年3月出生于湖北省利川市。2020年毕业于北京科技大学冶金工程专业，获得学士学位，2020-2023年就读于中国科学院金属研究所，获工学硕士学位。于2023年7月入职松山湖材料实验室大湾区显微科学与技术研究中心，任透射电子显微镜助理工程师。陈真勇主要从事腐蚀基础科学问题的透射电子显微学研究，熟悉 TEM 和 AFM 制样、表征、数据处理以及电化学在腐蚀科学问题中的应用，已发表学术论文1篇。曾担任北京科技大学冶金与生态工程学院青年志愿者协会部长、金属所青年志愿者协会会长，组织创建了北京科技大学五道口志愿服务基地。



6



## 博士后招聘信息

### 1、材料科学中经典问题的电子显微学解析

专注于高性能金属结构材料中经典科学问题的再认识与新理解。包括不锈钢点蚀、深海腐蚀、微生物腐蚀、应力腐蚀；抗菌金属及其作用机理；氢致脆断过程（氢脆）；工程合金中几何密堆相（如  $\gamma$ 、 $\gamma'$ 、 $\gamma''$ 、 $\delta$ 、 $\eta$  相）、间隙相（主要包括碳化物和硼化物）和拓扑密堆相（主要包括  $\sigma$ 、Laves、 $\mu$ 、P 等）的结构与缺陷。

### 2、三维原子断层成像技术及其应用

利用三维原子断层成像方法确定特定结构或缺陷的三维原子结构，如新型铁电极化拓扑

结构。发展样品制备、显微成像数据采集、存储、传输和后续大数据处理新方法，定量描述三维原子构型与物理特性之间的关联。

#### 应聘条件：

- 1、具有材料学、材料物理与化学、电化学、电子光学或应用物理等相关专业的博士学位；博士毕业不超过两年，特别优秀者可适当放宽；
- 2、在国际学术刊物上发表过具有重要影响力的学术论文；
- 3、乐观向上、责任心强、具有团队合作意识；
- 4、具有较强的独立工作能力及英语读说写能力。

## 技术岗位招聘信息

### 拟公开招聘 X 射线衍射仪应用工程师 1 人。

本中心拥有一台马尔文帕纳科 Xpert MRD 高分辨薄膜 X 射线衍射仪，可实现物相测定、摇摆曲线测试(RC)、倒易空间图谱测试(RSM)、掠入射测试(GI-XRD)、反射率测试(XRR)、应力测试(侧倾法)、织构测试(PF)等测试功能，并配备室温~1000℃高温样品台，可对样品实现变温测试。

#### 工作职责：

负责 X 射线衍射仪的日常使用管理、运行

维护、技术开发、技术培训及测试服务。

#### 任职要求：

- 1、35 周岁以下，全日制硕士及以上学历，具有材料学、应用物理等相关专业背景（能力突出者，学历和年龄可适当放宽）；
- 2、具有 X 射线衍射仪相关技术的工作基础；
- 3、具有较强的文字表达能力，具有较熟练的英文读说写能力；
- 4、积极乐观、责任心强、善于协作，有较强的执行力和独立工作能力。

#### 封面图片：

随着当今微电子技术和高密度信息存储技术的不断进步，相关半导体元器件向着愈加微尺度且高集成度的方向发展，进一步微缩元器件尺寸来适应多功能、大容量、快速读写和更加可持续的能效性能的需求迫切提升。基于自旋属性的磁性半导体电子设备是满足诸多苛刻使役条件应用最为广泛的电子技术发明。自旋电子学在半导体领域的器件化开发拓宽了该领域未来的研究方向。

大湾区电镜中心博士生刘嘉琦等人利用先进薄膜制备技术，成功制备新型钙钛矿铁氧体  $\text{BaFeO}_3$ ，其铁磁有序温度高达 600 K。通过像差校正电子显微成像技术证实其为立方钙钛矿晶体结构，与  $\text{KTaO}_3$  衬底有着良好的共格界面，并提供了原子尺度的结构和成分信息，表明其具有良好的结构兼容性。电子能量损失谱的结果直接揭示了优异的性能表现起源于氧空位诱导的反常混合价态共存，显著增强了体系内部的双交换作用。这一工作为该研究领域的性能提升提供了新方法，并从原子尺度进行了机理性阐述，对推动相关自旋电子学器件的实用化进程具有重要参考价值。相关研究结果于 2023 年 1 月发表在 *Cell Reports Physical Science* 期刊上。

该项工作为钙钛矿铁磁氧化物家族添加了新成员，拓宽了长程磁序的应用温区。同时，具有亚埃尺度分辨能力的像差校正电子显微术直接揭示了动力学调控影响宏观性能的微结构起源，为开发高适应性的低维量子功能材料提供了新思路。