

物理所电子铁电体研究取得新进展

中科院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室（筹）李建奇研究组近几年来一直致力于电荷有序多铁材料的微结构与物理性能的关联研究，在新型电子型铁电体 LuFe_2O_4 体系电荷有序及自发极化机理研究中取得系列进展【*Phys. Rev. Lett.* 98 (2007) 247602; *Phys. Rev. B.* 76, 184105 (2007).; *Phys. Status Solidi B*, 247, 870, 2010, feature article】。

近期，该研究组的杨槐馨副研究员、博士生宋源军等人利用低温原位电子显微镜技术在 Fe_2OBO_3 中观察到了明显的无公度调制结构及其对应的从室温几个纳米到低温数百纳米的随温度逐渐演变的反相条带状畴结构，结合结构和介电分析认为 Fe_2OBO_3 是一种新的电荷有序电子型铁电体，原位电镜观察（如 Fig. 1 所示）揭示了电荷序和铁电极化畴关系。在结构和物理性能分析的基础上，预测了 Fe_2OBO_3 可能存在磁电耦合效应。通过和田焕芳博士及清华大学赵永刚教授合作，实验证实了在相变点附近外电场可以改变材料的磁化状态，而相变点的磁电耦合效应最为强烈，在 5kV/cm 的外场作用下， δM 可达 33%。该结果发表在 1 月 7 日出版的美国《物理评论快报》上【*Phys. Rev. Lett.* 106, (2011)016406】。

Fe_2OBO_3 是一种混合价态的硼镁钛矿结构化合物，其中，Fe 的平均价态为 2.5，该材料在 340K 附近发生电荷有序相变，同时晶体的平均结构由正交相转变为单斜相，而且电阻和比热在 T_{co} 处都出现了明显的跳变。 Fe_2OBO_3 基本结构模型中 4 个 FeO_6 八面体连成条带结构，条带平行于 a 轴排列。在前期研究中，该小组用原位 TEM 观察了 Fe_2OBO_3 从 360K 到 20K 的电荷序特性，发现 Fe_2OBO_3 在 T_{co} 以下有明显的无公度结构，调制矢量 $q=(1/2, 0, \epsilon)$ 。HRTEM 结果表明，这种调制结构是由于沿 FeO_6 八面体条带（a 方向）的 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 阳离子有序和沿 c 方向反相条带的非公度排列引起。反相条带的周期随温度降低有明显变化，经过一系列中间相，到 150K 伴随磁相变，结构变成调制矢量 $q=(1/2, 0, 0)$ 的超结构相【*Physical Review B* 81, 020101(R), 2010】。伴随着调制结构的变化，反相条带畴的尺寸逐渐增大，从几个纳米向数百纳米逐渐演变， Fe_2OBO_3 中相变点附近介电异常和强的磁电耦合效应都和这种特殊的调制结构及反相条带畴结构相关。

李建奇研究组多年来一直从事关联系统的电荷/轨道有序化的实验研究，涉及多种重要物理系统，例如，高温超导体的多种条纹相，巨磁阻 Mn-氧化物系统的轨道有序化，在 *PRL*, *PRB* 等国际期刊上发表多篇相关论文。电荷有序多铁材料是近年来得到密切关注的功能材料体系，该体系中微结构特征，尤其是畴结构特征是理解材料物理性能的关键。现代电子显微镜技术可以在纳米尺度揭示材料和器件的多种重要结构现象，包括电畴和磁畴结构、结构相变和局域结构等，是理解多铁材料耦合机制的有利手段。

该工作得到了国家自然科学基金委，中国科学院和科技部 973, 863 项目的资助。

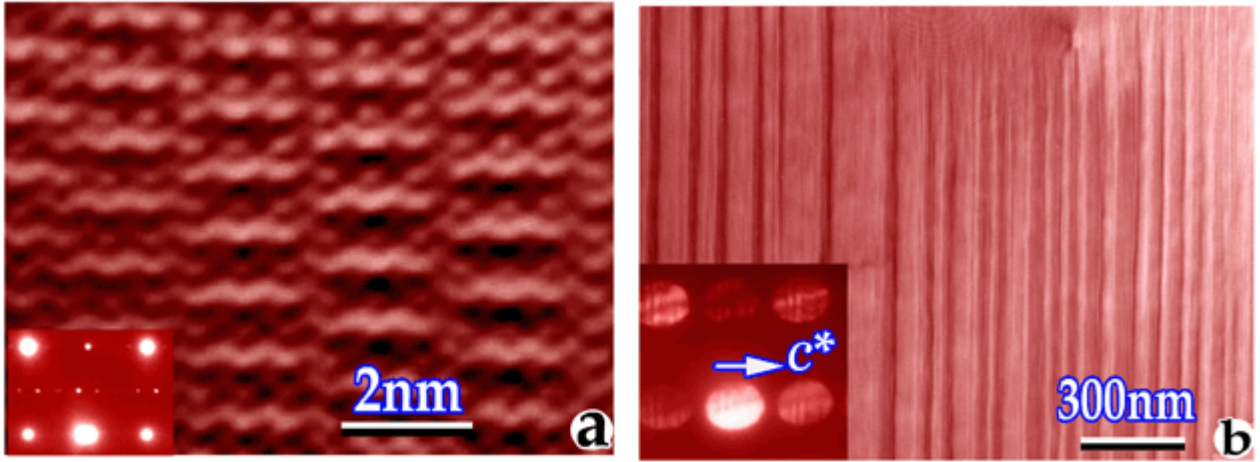


Fig. 1 Fe_2O_3 中的反相条带畴结构。(a) 室温高分辨像观察到的纳米反相条带畴结构和对应的无公度调制衍射花样(插图)。(b) 相变点附近的条带畴结构。插图为离焦情况下的衍射花样显示了条带沿着 c^* 方向。

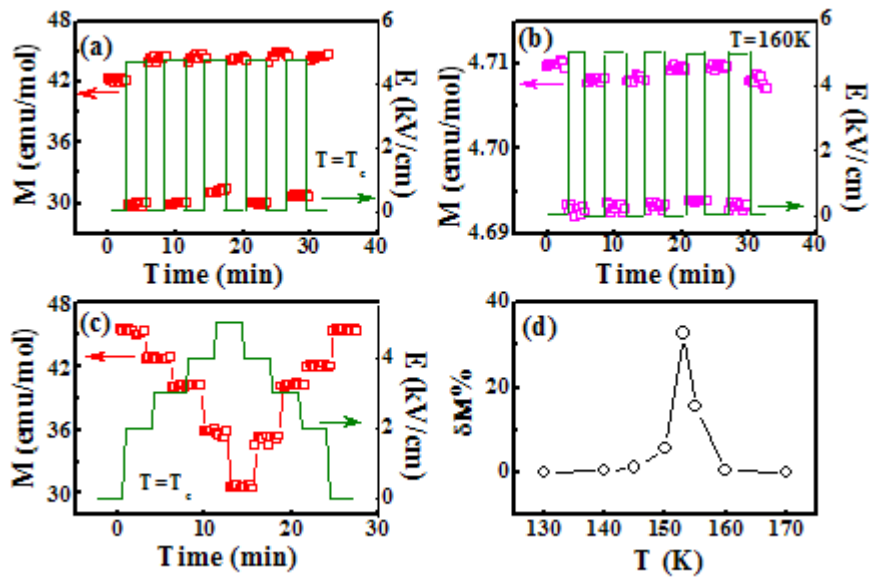


Fig. 2 Fe_2O_3 中的磁电耦合效应。在外电场作用下材料的磁矩随时间的变化关系。(a) $T = T_c$; (b) $T = 160\text{K}$ 。(c) 相变点附近材料的磁矩随外加电场的变化关系。(d) 相变点的磁电耦合效应最为强烈, 在 5kV/cm 的外场下, δM 可达 33%。