

金属所等在铁电材料中发现通量全闭合畴结构

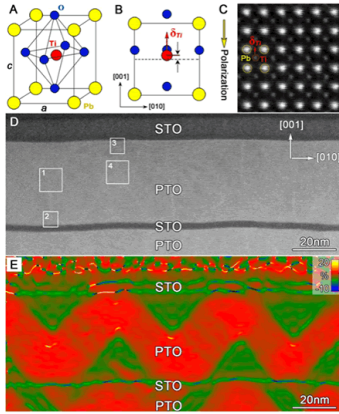


图1. SrTiO₃ (10nm)/PbTiO₃ (56nm)/SrTiO₃ (5nm)/PbTiO₃ (28nm)/GdScO₃ 多层膜中PbTiO₃ 铁电层的周期性畴结构。(A) PbTiO₃ 晶体结构示意图；(B) [100] 方向的结构投影图；(C) [100] 方向提取的高角环畴像 (HAADF) 展示离子位移的方向和大小；(D) 多层结构的低倍高角环畴像；(E) 基于显微图像的几何相位分析，c畴的空间分布或正弦曲线特征。

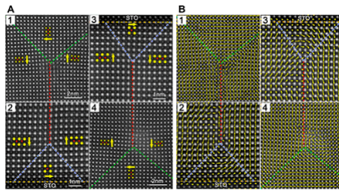


图2. 高分辨原子序数Z衬度像，所有单元中的离子位移矢量组合在一起构成具有时间和空间特征的两种通量闭合结构，这两种闭合结构在薄膜中交替排列成大尺度的周期性阵列。(A) 原始图像；(B) 相位图像与原始图像的叠加清晰展示金属畴结构的构成。

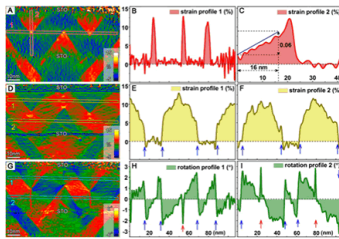


图3. PbTiO₃ 铁电体中周期性畴结构的应变分析，推导出整个闭合结构中巨大的长程弹性应变梯度 (10⁶/m)。

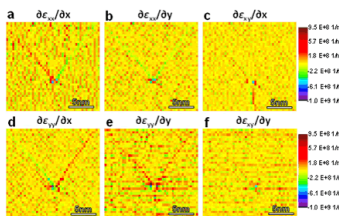


图4. PbTiO₃ 铁电体中通量闭合畴结构核心处应变梯度分布分析，计算出核心处超大的应变梯度 (10⁹/m)。

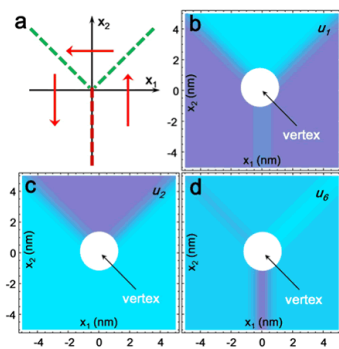


图5. 在Landau-Ginzburg-Devonshire理论框架下计算出三个畴交界处的二阶应变分布，在此基础上推导出闭合结构核心处目前最高电偶极矩 (10⁻¹⁰C·m⁻¹)。

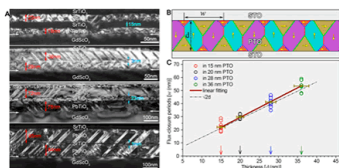


图6. PbTiO₃ 铁电体中周期性畴结构的形成规律，在一定的薄膜厚度范围内，通量闭合畴结构构成的周期性阵列的周期大小与薄膜厚度之间成比值为 $\sqrt{2}$ 的线性关系。

中国科学院金属研究所研究人员在铁电材料中发现通量全闭合畴结构以及由顺时针和逆时针闭合结构交替排列所构成的大尺度周期性阵列。4月16日，美国《科学》(Science)周刊率先通过Science Express在线发表了该项研究成果，并将在几周后以Report形式正式发表。

这项工作由金属所沈阳材料科学国家(联合)实验室固体原子像研究部研究员马秀良、朱银莲和唐云龙等人组成的材料界面电子显微学研究团队与磁学及磁性材料研究部研究员张志东以及乌克兰和美国的科学家合作完成。

铁电材料与铁磁材料具有极强的类比性，如类似的电(磁)滞回线、极化序参量以及畴结构组态等等。相比于铁磁领域的研究和应用比较成熟的发展，铁电材料的基础和应用研究明显滞后，反映出两者物理本质上的不同。自1986年起，物理学家相继预测在一定的条件下铁电材料中可能出现通量全闭合结构，且理论上该结构可带来超高密度的信息存储功能。

尽管通量全闭合结构在铁磁材料中已获普遍认识，但经过近三十年的探索，在铁电材料中却一直没有得到实验证实。其主要困难在于铁电材料中通量全闭合结构必然导致巨大的晶格应变。如何突破铁电极化与晶格应变的相互制约，实现极化反转与晶格应变的有效调控，获得有望用于超高密度信息存储的结构单元，是当今铁电材料领域面临的一个重大基础性科学难题。

金属所沈阳材料科学国家(联合)实验室的固体原子像界面结构研究团队长期致力于材料基础科学问题的电子显微学研究，经过多年的学术积累并与国内外相关科学家合作，在解决上述重大科学难题方面取得突破。

他们通过逆向思维设计，实施应变调控在钽酸盐衬底上制备出一系列超薄的PbTiO₃铁电薄膜；利用具有原子尺度分辨能力的像差校正电子显微术，不仅发现通量全闭合畴结构及其新奇的原子构型图谱，而且观察到由顺时针和逆时针闭合结构交替排列所构成的大尺度周期性阵列。在此基础上，他们揭示了周期性闭合结构的形成规律，发现在一定的薄膜厚度范围内由通量闭合结构构成的周期性阵列的周期大小与薄膜厚度之间成比值约为的线性关系；推导出闭合结构核心处超大的应变梯度(109/m)以及整个闭合结构中巨大的长程弹性应变梯度(106/m)；在Landau-Ginsburg-Devonshire理论框架下计算出闭合结构核心处目前最高量级弯电常数(10⁻¹⁰C-1m³)。

该项工作改变了之前探求通量闭合铁电畴结构的研究思路，进一步完善了通过失配应变调制铁电材料畴结构和物理特性的重要性和有效性，解决了铁电领域畴壁组态方面数十年来悬而未决的重大基础科学问题，为与铁磁材料类比的结构特性增添了新的实质性内容。铁电材料中通量全闭合结构以及核心处巨大弯电效应的发现将把铁电薄膜器件的设计和研发推向一个新的高度，为探索基于铁电材料的高密度信息存储器提供了新途径。同时，该项工作证实了巨大的弹性应变梯度可以通过多层膜的形式保存下来，实现相关物理性能连续调控，为新型梯度功能材料的设计提供了新思路。

固体原子像研究部的王宇佳以及博士研究生王文渊、许耀斌等人也参与了这项工作。

美国《科学》周刊每周从近期被录用的稿件中遴选出少量几篇文章并将作者的最终修改稿通过Science Express平台提前发布，以此在第一时间向读者提供重大科技进展或政策观点等最新资讯。这些工作将在4~6周后以在线和纸本形式同时正式发表在《科学》周刊上，通常是编辑推荐的最重要的文章。

该项研究得到国家自然科学基金以及科技部“973”计划的资助。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/76267.html>