

$\text{BiFeO}_3/\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ 异质结的 界面输运与磁介电特性研究

牛利伟, 邢 辉, 陈长乐, 董祥雷, 金克新

(西北工业大学 陕西省凝聚态结构与性质重点实验室, 陕西 西安 710129)

摘 要: 采用激光分子束外延法制备了多铁/顺磁结构的 $\text{BiFeO}_3/\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ (BFO /LSMO) 异质结, 通过外场调控的方法研究了该异质结界面的电子输运以及磁电耦合特征。结果表明, 异质结的输运机制来源于空间电荷限制电流机制; 复合薄膜在室温下表现出的铁磁性, 且磁矩来源于 BFO 层, 异质结界面处诱导出的网状磁矩会使样品产生比较明显的磁电耦合。在零场冷却 (ZFC) 和场冷却 (FC) 下, 样品的磁介电系数分别在 160 和 170 K 达到极大值, 介电损耗-温度曲线在 150~170 附近产生分裂, 该温度区间与 BFO 层的铁弹-极化相变相关。

关键词: 异质结构; 多铁性材料; 磁介电效应; 磁电耦合性

中图分类号: TM271

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2017)05-1315-06

多铁性材料是指同时具备两种或者两种以上基本铁性 (铁磁性、铁电性、铁弹性等) 的材料, 由于在特定温度下同时存在外场诱导的自发极化、自发磁化以及磁电耦合效应等, 在信息储存、自旋电子器件、磁传感器以及电容-电感一体化器件方面都有极其重要的应用前景^[1-4]。随着自旋电子学的发展^[5-7], 多铁性材料的磁电耦合特性为基于电荷序与自旋序基础上的器件设计原理之外提供了新的设计自由度: 电场控制电子自旋, 或磁场控制电荷极化, 特别是电场控制电子自旋态的研究可以为新型多功能材料与器件的发展提供重要的科学依据与使用价值, 正成为凝聚态物理学与信息科学研究的热点问题^[8-11]。

多铁性材料的研究始于单相多铁性, 以立方钙钛矿 (ABO_3)、六角锰酸盐 (RMnO_3 , $R=\text{Ho-Lu}$ 或 Y)、稀土钨酸盐以及复杂铁氧体等为主要研究对象。其中, BiFeO_3 (BFO) 是唯一发现室温下同时具有铁磁、铁电性的单相多铁性材料, 其中 B 位 Fe 的 3d 未满轨道电子提供了铁磁性, A 位 Bi 的孤对电子产生了铁电性。由于铁磁和铁电性源于不同的离子^[4], 基于孤对电子机制^[12]的单相钙钛矿结构无法产生较强的磁电耦合。根据量子力学的对称性理论, 铁磁性和铁电性所要求的宏观对称性是不同的, 铁磁性反映了时间反演对称

性破缺, 铁电性则要求空间反演对称性的破缺; 从微观机制上来说铁磁性和铁电性所要求的微观电子态也是相互矛盾的, 铁磁性要求过渡金属离子具有未满 d 轨道电子, 而铁电性却要求其 d 轨道为空态。这即是自然存在的单相多铁性材料较少的根本原因^[12]。

多铁性材料研究至今, 寻求性能优异的单相多铁材料已经日益艰难, 而对于复合材料的研究, 通过构建铁磁/反铁磁、铁磁/铁电界面, 研究多种界面耦合机制从而实现复合材料的磁电耦合性已经成为多铁材料发展的新热点。多铁性的复合材料根据耦合机制主要有以下两类: (1) 铁磁/铁电复合材料, 主要通过铁电材料压电性和铁磁材料磁致伸缩性, 实现从电场到应变到磁场的间接耦合。Van den Boomgaard^[13]等人制备了 CFO 和 BaTiO_3 的复合材料, 但实验发现其磁电耦合性仅有理论值的 1/50; Srinivasan^[14]等人用甩带法制备了 NFO/PZT 多层膜, 获得了 15 000 V/cm·T。较大的磁电耦合性, 与理论预测值符合较好; (2) 铁磁/多铁复合材料, 由于多铁材料同时具有铁磁、铁电性, 可以和铁磁材料形成较强的耦合作用, 通过多铁层的铁电极化, 诱导界面产生较强的自旋磁序, 达到调制界面自旋耦合的目的, 继而增强复合材料的磁电耦合性。Chu^[15]等测量了 CoFe/BFO 的交换偏置, 并从微

收稿日期: 2016-05-06

基金项目: 国家自然科学基金(61078057, 61471301, 51172183, 51402240 和 51471134); 陕西省自然科学基金(2012JQ8013); 西北工业大学专项研究基金(JC20120246); 西北工业大学博士论文创新基金(CX201325); 高等学校博士学科点专项科研基金(20126102110045)

作者简介: 牛利伟, 男, 1984 年生, 博士生, 西北工业大学应用物理系, 凝聚态结构与性质陕西省重点实验室, 陕西 西安 710129, 电话: 029-88431670, E-mail: dxl881104@126.com

观上观察了铁磁与铁电畴壁的耦合, 实验发现, CoFe 的铁磁畴壁平行于 BFO 的反铁磁畴壁, 当翻转 BFO 的铁电畴时, CoFe 的铁磁畴也会发生对应的翻转。Wang 等^[16]在 BFO 上生长一层几纳米厚的铁磁性 (FM) $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (LSMO) 层, 对 LSMO/BFO 异质结的晶相结构, 应变的厚度依赖性、铁电性、铁磁性以及磁电耦合性进行了系统的研究。该实验证实了在界面处的 BFO 中诱导出了铁磁矩。BFO 的极化反转对这种磁矩有强烈的影响, 诱导了对 LSMO 交换偏置的电场控制以及与之相伴的对 LSMO 磁矩的控制。

尽管复合材料的磁电特性与界面耦合效应的研究已经得到广泛地关注, 然而界面诱导磁有序以及磁电耦合的内在机制研究仍然面临比较严峻的挑战。理论上认为, 界面诱导磁有序起源于双交换作用 (DE)^[17]。然而, 根据文献[18]和[19]的报道, 在 LSMO/BFO 异质结中 BFO 上被诱导出的磁矩被认为是与电荷转移有关的 Fe-Mn 轨道杂化相关。此外, 传统的磁电耦合测量受限于测试回路与电极作用的影响^[20], 尤其是针对异质结器件而言, 往往难以获得材料本征的界面耦合特性。因此, 复合多铁性材料的界面诱导机制与界面耦合特性的研究, 还需要进一步的实验探索与论证。

本文基于界面耦合机制, 试图构建一种特殊的多铁/顺磁结构的复合薄膜, 通过抑制铁磁层体相的双交换作用, 以探索界面诱导磁矩的机制与磁电耦合性的来源。其中多铁层选取立方结构的 BFO_3 薄膜, 而对于顺磁性材料, 采用缺氧的 LSMO 层。尽管由于氧空位的存在导致双交换作用的弱化, 使 LSMO 由铁磁相转变成顺磁相, 但是在界面附近, 由于 J-H 畸变的存在, LSMO 仍然可以保持电荷、自旋、轨道与晶格等多自由度耦合的强关联体系特征, 因此通过这种多铁/顺磁材料的构建能够更深层地揭示界面诱导自旋磁矩与磁电耦合的内在机理。

1 实验

靶材制备: 按比例将 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{La}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ 分别溶解于适量的乙二醇甲醚, 形成无沉淀的透明溶液; 将上述溶液按材料混合, 并且分别倒入总金属摩尔比 1:1.2 的柠檬酸溶液中, 搅拌、静置, 形成溶胶, 然后在 90 °C 水浴搅拌加热, 直到形成凝胶, 在 180 °C 下烘干凝胶。在 600 °C 下去除有机物, 分别得到 $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{-MnO}_3$ 和 BiFeO_3 粉体, 通过进一步的研磨, 压制成型, 分别在 1300 和 400 °C 下煅烧 24 和 6 h 后, 得到完整坚硬的靶材。

镀膜工艺: 用激光分子束外延技术 (LMBE) 先

后在单晶的 LaAlO_3 -(100) (LAO) 基底上沉积 LSMO 层和 BFO 层, 沉积 LSMO 层的条件如下: 脉冲激光的波长为 248 nm, 能量为 140 mJ, 频率为 1 Hz, 靶材与基片的距离为 6.0 cm, 衬底温度保持在 720 °C, 氧压为 5×10^{-2} Pa, 沉积时间为 1.5 h, 镀膜完成后原位退火 1 h; 然后在 LSMO 层镀上 BFO 层, 其中激光的参数保持不变, 靶材与基片的距离为 4.8 cm, 衬底温度保持在 600 °C, 氧压为 1.4 Pa, 沉积时间为 1 h, 镀膜完成后原位退火 1 h。

采用 X 射线衍射仪 (XRD) 及原子力显微镜 (AFM) 分析样品的结构与形貌特征; 利用椭圆光谱仪测量样品的厚度与介电特性; 利用超导量子干涉仪 (SQUID) 测量和分析样品的磁特性; 在 LSMO 层和 BFO 层上镀上银电极, 并且引出 Ag 微带线, 通过低温物理测试平台测量样品的阻温特性、介电-温度特性等。

2 结果及分析

2.1 BFO/LSMO 的晶体结构与表面形貌

BFO/LSMO 异质结的 X 射线衍射图谱如图 1 所示, 图中 BFO 和 LSMO 层仅出现了 (001) 和 (002) 衍射峰, 表明 BFO 和 LSMO 薄膜均具备较为理想的单一取向特征, 并且没有出现杂相。

通过 AFM 对 BFO/LSMO 异质结的各层薄膜进行形貌表征, 图 2 为其 AFM 图像。其中, LSMO 的平均表面粗糙度低于 0.5 nm, 表明该薄膜具备较为理想的层层生长 (layer by layer) 结构, 其表面的晶粒尺寸较小, 平均为 15 nm, 且多数相邻晶粒之间表现为连通趋势, 反映了生长过程中的多岛融合 (coalesce) 与团簇聚集 (aggregation), 表明 LSMO 的层层生长具体表现为亚单层生长模式, 经历着从亚单层岛向单层膜的形貌转变; BFO 的平均表面粗糙度约为 2.5 nm, 晶粒尺寸为 40 nm, 且晶粒分离度较大, 无明显的连通

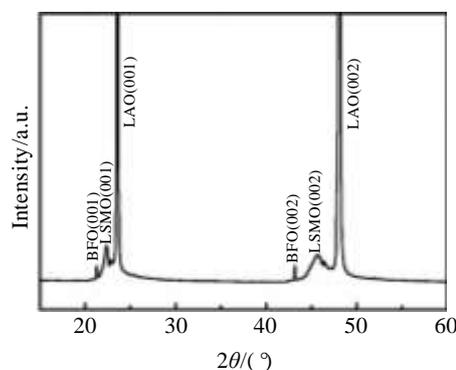


图 1 BFO/LSMO 异质结的 XRD 图谱

Fig.1 XRD pattern of BFO/LSMO heterostructure

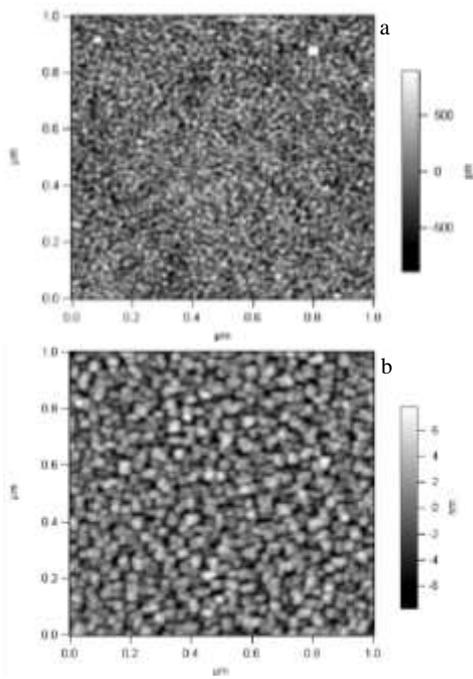


图 2 BFO/LSMO 的 AFM 图像

Fig.2 AFM patterns of BFO/LSMO heterostructure: (a) surface morphology of LSMO film and (b) surface morphology of BFO film

现象, 表明 BFO 使得外延薄膜样品由层层生长模式向岛状生长转变。由于表面粗糙度较低, 晶粒形状呈现出明显的四对称结构, 且晶粒分布大致均匀, 并没有发现较大起伏的分子团簇, 因而可以认为 BFO 以单相立方结构生长, 具备较为良好的生长形貌。

2.2 BFO/LSMO 异质结的界面运输特性

漏电流机制是衡量铁电材料性能好坏的标志之一, 铁电材料应该首先是一种绝缘的介电材料, 因此运输特性与机制的研究是铁电材料与器件的重要课题。图 3 为不同温度下异质结的电流-电压特性, 从图 3a 中可以看出, $I-V$ 曲线基本对称且并没有观察到明显的整流特征。绝缘薄膜的运输机制主要有 3 种: 肖特基机理 (Schottky)^[21]、普尔-富兰克机理 (Poole-Frenkel) 和空间电荷限制电流机理 (space-charge-limited current, SCLC)^[22,23]。其中, 肖特基机理是由于材料与电极界面势垒形成而导致的界面现象, 而另外两种都起因于材料的体内^[24,25]。S. Habouti^[26], R. Ranjith^[27]认为, BFO 最可能的漏电流机制是 Poole-Frenkel (PF) 机理。而另一方面, 在空间电荷限制电流机理中, 电流-电压曲线可以分为 3 个阶段, 当电场强度 E 较小时, 它们受欧姆定律的限制, $I \propto J \propto E$, 此时的导电主要由热电子所引起; 当电场强度 E 为中等强度时它们受势阱填充的限制, $I \propto J \propto E^\alpha$ (α 为正数), 此

时的电流-电压曲线上会有一个电流的陡峭上升; 而当电场强度 E 更高时它们受 Child 定律的限制, $I \propto J \propto E^2$ ^[28,29]。样品的 $\ln I - \ln V$ 曲线示于图 3b 中。对不同温度所测的电流-电压数据拟合, 其指数 α 均大于 1 但是小于 2, 表明其界面运输特性受空间电荷限制电流机制主导。

2.3 BFO/LSMO 薄膜的磁性

图 4 为 SQUID 下 BFO/LSMO 在 300 K 的磁滞回线, 插图是 LSMO 层的电阻-温度关系。可以看出样品在室温下示出比较典型的铁磁性, 饱和磁矩约为 190 A/cm, 整体上表现为 BFO 层的反铁磁磁矩。内插图表明, LSMO 层表面缺氧处于绝缘态, 导致双交换作用减弱, 因而表现出顺磁性。可以认为 LSMO 层对薄膜整体磁性贡献不大, BFO/LSMO 在室温下的磁性主要来自于 BFO 层。异质结界面附近的自旋序较为复杂, 常规的磁性测量比较困难, 但是, 可以通过界面磁电耦合性的测试进行间接表征。

2.4 BFO/LSMO 异质结的磁介电效应与磁电耦合

为研究材料的界面磁电耦合特性, 使用 TH2617 型电容测量仪对异质结的磁介电效应进行了测试与表征。在 10 kHz 频率下, 通过垂直于样品表面施加 0.6 T

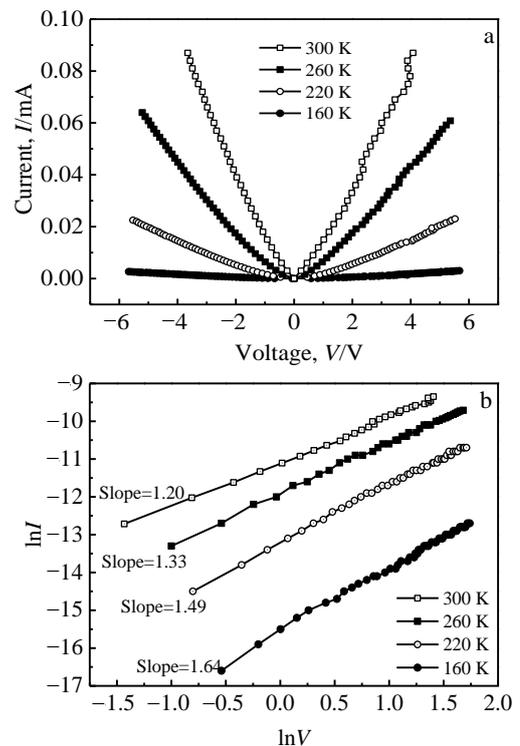


图 3 BFO/LSMO 的运输特性

Fig.3 Transport properties of BFO/LSMO heterostructure: (a) $I-V$ curves of the heterostructure at different temperatures and (b) leakage characteristics of heterostructure suggesting the SCLC mechanism

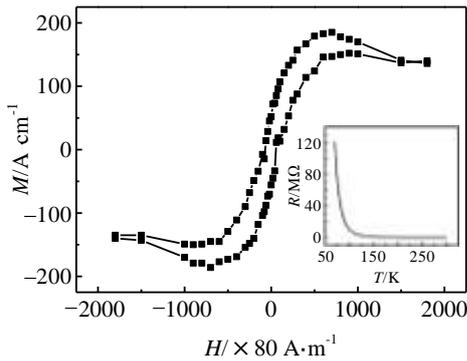


图 4 BFO/LSMO 异质结的磁滞回线，插图是 LSMO 层的电阻-温度关系

Fig.4 Hysteresis loop of BFO/LSMO heterostructure with the inset showing $R-T$ curve of LSMO layer

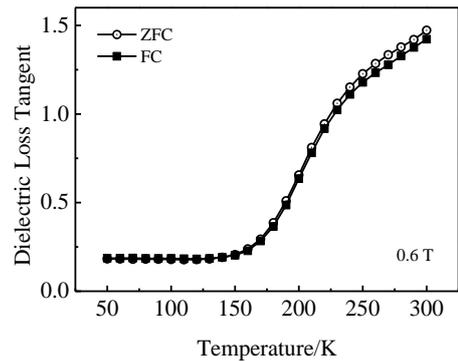


图 6 零场冷 (ZFC) 和场冷 (FC) 下样品的介电损耗随温度的变化关系

Fig.6 Dielectric losses as a function of temperature in conditions of zero field cooling (ZFC) and field cooling (FC)

的磁场研究 50~300 K 的温度范围内, 零场冷却 (ZFC) 和有场冷却 (FC, 冷却磁场为 0.2 T) 条件下样品的磁介电特性。定义样品的相对磁介电系数

$$MD = [\varepsilon(H) - \varepsilon(0)] / \varepsilon(0) \times 100\% \quad (1)$$

其中, $\varepsilon(H)$ 和 $\varepsilon(0)$ 分别是有无外磁场时样品的介电系数。

图 5 为零场冷 (ZFC) 和场冷 (FC) 下样品的磁介电系数 MD 随温度的变化关系, 由图可以看出, 在 ZFC 和 FC 条件下样品的磁介电系数具有相似的变化规律, 均在 160~180 K 附近达到极大值。ZFC 条件下, 磁介电系数随温度的变换幅度相对较大, 160 K 时 MD 达到 7.83%; FC 时, 样品的 MD 在 170 K 附近达到极大值 5.45%。表明 160~180 K 的温度区间内, 样品存在显著的强磁电耦合特征。图 6 为样品在零场冷却 (ZFC) 和有场冷却 (FC) 下, 介电损耗随温度的变化关系。可以看到, 两条曲线在 150~170 K 附近

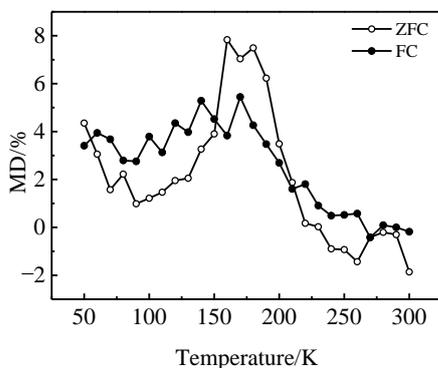


图 5 零场冷 (ZFC) 和场冷 (FC) 下样品的磁介电系数 MD 随温度的变化关系

Fig.5 Magnetic dielectric coefficients as a function of temperature in conditions of zero field cooling (ZFC) and field cooling (FC)

开始发生明显的劈裂, 该位置与 MD 极大值点较为一致, 这进一步证实 150~170 K 附近存在着较强的界面耦合与磁电特性。这种强磁电耦合特性表明, BFO/LSMO 的磁电效应不仅仅来源于 BFO 层的多铁性, 而且很大程度上取决于多铁/顺磁结构的界面耦合。M. J. Calderon^[30]经过模拟指出, 在 BFO 界面处, 相邻层的电子浓度不同, 通过 e_g 电子的双交换作用与 t_{2g} 电子自旋的反铁磁超交换作用的竞争, 使得两种材料发生电荷转移和轨道重构, Fe 离子的磁矩发展成网状的铁磁磁矩, 这些已经由实验所证实^[20]。界面诱导的网状磁矩使自旋电子在顺磁 LSMO 层的界面处表现出较强的铁磁序, 因而能够与多铁性的 BFO 层产生较强的磁电耦合, 通过外加磁场诱导界面磁有序的改变可以使得薄膜的介电特性发生显著地改变。值得注意的是, 磁介电效应的峰值在 170 K 附近, 这可能与 BFO 的相变相关。Singh 和 Cazayous 等^[31,32]在拉曼谱的频率、强度和线宽中也观察到了 BFO 在 200 K 附近的异常点。Singh 等^[31]认为在 200 K 附近声子强度的增强是由于在低温下磁有序的改变引起自旋再取向。Redfern 等^[33]报道了在低温下的 BFO 陶瓷和单晶的铁弹和铁电畸变, 表明 200 K 附近会出现一个转变点, 这是转变点被解释为由铁弹性和极化之间的耦合而引起的相变。

事实上, 磁介电系数的改变是磁场诱导极化的客观反映, 因此, 测量磁介电效应可以作为间接反映磁电 (ME) 耦合的方法。磁电耦合系数能被定义为

$$\chi_E = \pm \Delta V_{ind} / H_{dc} \quad (2)$$

其中, V_{ind} 表示磁场诱导电压的大小, 磁电耦合系数 χ_E 常用的单位为 $mV/cm Oe$ ^[34]。Jang^[35]提出了一种通过

MD 效应的数据来测定 ME 耦合系数的理论方法。他们表示对于 ME 耦合系数的测量可以通过测得 MD 数据得到而不是去直接测量极化率的改变 ΔP_{ind} 。在一定程度上,对于处理有较为明显的磁电耦合效应的材料,这是一种有效的方法。通过界面耦合相变点的磁介电系数测量,推算出磁电耦合系数,可以为定量表征磁电耦合提供新的思路。

3 结 论

1) 异质结中 BFO 和 LSMO 层均沿基底 LAO 的 (001) 方向外延生长,且没有观测到明显的杂相;LSMO 薄膜的表面粗糙度在 0.5 nm 以下,表现为理想的层层生长模式,BFO 的表面粗糙度约为 2.5 nm,以单相立方结构生长,晶粒分布大致均匀,具备比较好的生长形貌。

2) BFO/LSMO 异质结的界面运输特性来源于空间电荷限制电流机制(space-charge-limited current, SCLC)。薄膜在室温下整体表现出铁磁特性,磁性来源于 BFO 体相的反铁磁自旋序以及界面耦合作用在 BFO 界面附近诱导出的网状磁矩。

3) 在零场冷却(ZFC)和有场冷却(FC)下,样品的磁介电系数分别在 160 和 170 K 达到极大值,介电损耗-温度曲线在 150~170 K 附近发生劈裂,表明样品在改温度区间附近存在着较强的磁电耦合,该耦合特性主要来源于界面诱导的网状磁矩,且与 BFO 的铁弹-极化相变相关。

参考文献 References

- [1] Eerenstein W, Mathur N D, Scott J F. *Nature*[J], 2006, 442: 759
- [2] Scott J F. *Science*[J], 2007, 315: 954
- [3] He Hongcai(何泓材), Lin Yuanhua(林元华), Nan Cewen(南策文). *Chinese Science Bulletin(科学通报)*[J], 2009, 53: 1136
- [4] Wang Kefeng(王克锋), Liu Junming(刘俊明), Wang Yu(王雨). *Chinese Science Bulletin(科学通报)*[J], 2009, 53: 1098
- [5] Ning Haixia(宁海霞), Hou Xianbo(候现博), Yu Jian(于剑). *Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)*[J], 2016, 45(5): 1249
- [6] Jin Kexin(金克新), Chen Changle(陈长乐), Zhao Shenggui(赵省贵) et al. *Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)*[J], 2007, 36(8): 1362
- [7] Han Li'an(韩立安), Chen Changle(陈长乐). *Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)*[J], 2007, 36(11): 2027
- [8] Garcia V, Bibes M, Bocher L et al. *Science*[J], 2010, 327: 1106
- [9] Nitta J, Akazaki T, Takayanagi H et al. *Physical Review Letters*[J], 1997, 78: 1335
- [10] Chiba D, Sawicki M, Nishitani Y et al. *Nature*[J], 2008, 455: 515
- [11] Weisheit M, Fähler S, Marty A et al. *Science*[J], 2007, 315: 349
- [12] Hill N A. *The Journal of Physical Chemistry B*[J], 2000, 104: 6694
- [13] Van den Boomgaard J, Van Run A. *Solid State Communications*[J], 1976, 19: 405
- [14] Srinivasan G, Rasmussen E T, Gallegos J et al. *Physical Review B*[J], 2001, 64: 214 408
- [15] Chu Y H, Martin L W. *Nature Materials*[J], 2008, 7: 478
- [16] Wang J, Neaton J B, Zheng H. *Science*[J], 2003, 299: 1719
- [17] Salafranca J, Calderon M J, Brey L. *Physical Review B*[J], 2008, 77: 014 441
- [18] P Yu, Lee J S, Okamoto S et al. *Physical Review Letters*[J], 2010, 105: 027 201
- [19] Okamoto S. *Physical Review B*[J], 2010, 82: 024 427
- [20] Pintilie L, Alexe M. *Applied Physics Letters*[J], 2005, 87: 112 903
- [21] Simmons J G. *Physical Review Letters*[J], 1965, 15: 967
- [22] Dawber M, Rabe K M, Scott J F. *Review of Modern Physics* [J], 2005, 77: 1083
- [23] Scott J F. *Journal of Physics: Condensed Matter*[J], 2006, 18: R361
- [24] Nagaraj B, Aggarwal S, Song T K et al. *Physical Review B*[J], 1999, 59: 16 022
- [25] Zubko P, Jung D J, Scott J F. *Journal of Applied Physics*[J], 2006, 100: 114 112
- [26] Habouti S, Shiva R K, Solterbeck C H et al. *Journal of Applied Physics*[J], 2007, 102: 044 113
- [27] Ranjith R, Prellier W, Cheah J W et al. *Applied Physics Letters*[J], 2008, 92: 232 905
- [28] Chaudhuri A R, Krupanidhi S B. *Journal of Applied Physics* [J], 2005, 98: 094 112
- [29] Bose S, Krupanidhi S B. *Applied Physics Letters*[J], 2007, 90: 212 902
- [30] Calderón M J, Liang S, Yu R et al. *Physical Review B*[J], 2011, 84: 024 422
- [31] Singh M K, Katiyar R S, Scott J F. *Journal of Physics: Condensed Matter*[J], 2008, 20: 25 203
- [32] Cazayous M, Gallais Y, Sacuto A et al. *Physical Review Letters*[J], 2008, 101: 037 601
- [33] Redfern S A T, Wang C, Hong J W et al. *Journal of Physics:*

Condensed Matter[J], 2008, 20(45): 452-205

[35] Jang H M, Park J H, Ryu S *et al.* *Applied Physics Letters*[J],

[34] Nan C W. *Physical Review B*[J], 1994, 50: 6082

2008, 93: 252-904

Transport and Magnetodielectric Properties in $\text{BiFeO}_3/\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ Heterostructure

Niu Liwei, Xing Hui, Chen Changle, Dong Xianglei, Jin Kexin

(Shaanxi Key Laboratory for Condensed Matter Structure and Properties, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: A multiferroic/paramagnetic heterostructure has been fabricated by successively growing $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ (LSMO) and BiFeO_3 (BFO) layers on LaAlO_3 -(100) via a laser molecular beam epitaxy (LMBE) method. Analysis of the leakage current demonstrates that the space-charge-limited current dominates the leakage current mechanism. Magnetic measurements show that the ferromagnetism of the composite film originates from BFO layer and the net magnetic moments could be responsible for the enhanced magnetoelectric coupling. The heterostructure exhibits robust magnetodielectric effects at temperature points of 160 K and 170 K for zero field cooling (ZFC) and field cooling (FC), respectively. Furthermore, there is a split in the loss tangent-temperature curves near temperature range of 150~170 K between different cooling conditions, which is related to phase transition in the BFO layer.

Key words: heterostructure; multiferroic; magnetodielectric effect; magnetoelectricity

Corresponding author: Chen Changle, Professor, Shaanxi Key Laboratory for Condensed Matter Structure and Properties, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, P. R. China, Tel: 0086-29-88431670, E-mail: chencl@nwpu.edu.cn