

La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇/SrTiO₃-Nb 异质结的整流和光伏特性

张强 王建元 罗炳成 邢辉 金克新 陈长乐

Rectifying behavior and photovoltage effect in La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇/SrTiO₃-Nb heterostructure

Zhang Qiang Wang Jian-Yuan Luo Bing-Cheng Xing Hui Jin Ke-Xin Chen Chang-Le

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 65, 107301 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.107301

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.107301>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I10>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同组分厚度比的 LaMnO₃/SrTiO₃ 异质界面电子结构和磁性的第一性原理研究

First-principles study of the electronic properties and magnetism of LaMnO₃/SrTiO₃ heterointerface with the different component thickness ratios

物理学报.2016, 65(7): 077301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.077301>

阻挡杂质带红外探测器中的界面势垒效应

Interfacial barrier effects in blocked impurity band infrared detectors

物理学报.2015, 64(22): 227302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.227302>

F8BT 薄膜表面形貌及与 Al 形成界面的电子结构和反应

Surface morphology of F8BT films and interface structures and reactions of Al on F8BT films

物理学报.2015, 64(7): 077304 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.077304>

Cd_{0.96}Zn_{0.04}S/Cd_{0.97}Mn_{0.03}S/Cd_{0.96}Zn_{0.04}S 多层纳米线中 s-d 交换作用的研究

Observation of s-d exchange interaction within Cd_{0.96}Zn_{0.04}S/Cd_{0.97}Mn_{0.03}S/Cd_{0.96}Zn_{0.04}S multilayer nanowires

物理学报.2014, 63(18): 187302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.187302>

拓扑绝缘体 Bi₂Te₃ 的热膨胀系数研究

Research of thermal expansion coefficient of topological insulator Bi₂Te₃

物理学报.2014, 63(11): 117301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.117301>

La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇/SrTiO₃-Nb 异质结的 整流和光伏特性*

张强 王建元[†] 罗炳成 邢辉 金克新 陈长乐

(西北工业大学理学院, 陕西省凝聚态结构与性质重点实验室, 西安 710072)

(2016年1月13日收到; 2016年2月22日收到修改稿)

采用脉冲激光沉积法在 SrTiO₃:0.7%Nb(100) 单晶衬底上生长了 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇(LSMO) 薄膜, 并研究了 LSMO/SrTiO₃-Nb 异质结的输运性质和光伏效应. 研究发现, 异质结具有良好的整流特征和明显的光生伏特效应. 在 532 nm 激光辐照下, 光生电压随温度升高先增大后减小, 并且在 150 K 达到最大值 400 mV, 此温度点与 LSMO 薄膜发生金属-绝缘体转变的温度一致, 这表明异质结的光生伏特效应受 LSMO 薄膜内部的输运特征调控. 进一步, 从光生电压随时间的变化曲线中分析发现, 上升沿符合一阶指数函数, 这与载流子的迁移过程相关; 而下降沿符合二阶指数函数, 这与结两侧载流子的外部回路中和以及材料内部的电子-空穴湮灭有关. 值得注意的是, 上升沿和下降沿的时间常数均随着温度先增大后减小, 且最大值均出现在 LSMO 薄膜的金属-绝缘转变温度.

关键词: 光生伏特效应, 双层钙钛矿, 异质结, 载流子寿命**PACS:** 73.40.-c, 73.61.-r, 75.47.Lx, 72.40.+w**DOI:** 10.7498/aps.65.107301

1 引言

钙钛矿结构的氧化物薄膜异质结蕴含了丰富的磁、光、电物理特性, 如双绝缘体界面超导和二维电子气^[1-3]、正的巨磁电阻^[4,5]、光电响应特性^[6-8]、磁热效应^[9]、磁结构共存^[10]. 尤其对于 A_{1-x}A'_xMnO₃ (A = La, Pr 等, A' = Sr, Ca 等) 型钙钛矿结构锰氧化物异质结的光电响应行为, 研究者在光电转化效率^[11]、光伏响应速度^[12-15]、面内横向光伏等^[16]方面进行了较为系统的研究. 事实上, A_{1-x}A'_xMnO₃ 型锰氧化物属于 A_{n+1}B_nO_{3n+1} 型 Ruddelsden-Popper 化合物家族中的一员. 当 n = ∞ 时为 ABO₃ 结构; 而当 n = 2 时为 A₃B₂O₇ 双层钙钛矿结构. 双层钙钛矿结构可以看成钙钛矿与岩盐层相互交替堆积而成. 这样双层钙钛矿锰氧化物(如 La_{2-2x}Sr_{1+2x}Mn₂O₇) 即构成了天然

的隧道结结构: 铁磁金属层-绝缘体层-铁磁金属层. 与非层状锰氧化物结构相比, 双层钙钛矿锰氧化物不仅具有巨磁电阻特性, 而且还具有持久光电导等新颖的物理特性^[17-19]. 然而, 基于双层钙钛矿锰氧化物异质结的相关物理性质特别是光伏性质鲜有报道. 因此本文选取了双层钙钛矿锰氧化物 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇, 在 n 型 SrTiO₃:0.7%Nb 衬底上生长了薄膜, 研究了 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇/NSTO 异质结的伏安特性和由 532 nm 激光辐照产生的光伏效应, 并分析了该异质结的光电响应的动力学过程.

2 实验

本文采用固相反应法制备了单相 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇(LSMO) 靶材, 靶材详细的制备工艺见参考文献^[20]. 用脉冲激光沉积 (PLD) 方法在

* 国家自然科学基金(批准号: 51402240, 51471134, 51202195, 51172183, 61471301, 51572222)、陕西省自然科学基金(批准号: 2014JQ6218)、中央高校基本科研业务费(批准号: 3102014KYJD026)和西北工业大学翱翔新星人才计划资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: wangjy@nwpu.edu.cn

SrTiO₃:0.7%Nb(100) 衬底上沉积 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇ 薄膜, 脉冲激光的波长 248 nm, 脉冲宽度为 22 ns, 频率为 1 Hz, 沉积时间为 1 h, 激光能量 120 mJ, 本底真空优于 5×10⁻⁵ Pa, 衬底的温度保持在 800 °C, 沉积氧压 2 Pa, 靶与衬底之间的距离为 3.3 cm. 沉积后的薄膜在氧氛围中退火 2 h, 然后冷却到室温, 制备好的样品经过 SpecEI-2000-VIS 椭偏仪的测量, 薄膜的厚度约为 86 nm. 采用 In 电极直接进行样品的引线, 并置于 Janis CCS-300 低温恒温器 (温度范围 20—300 K), 用 Keithley 6487 的测试系统测试 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇ 面内的电阻和异质结的 *I-V*. 并且对样品的光伏也进行了测量, 具体的测量光生电压的实验装置见文献 [21], 测量光伏的激光光源是 Nd:YVO₄ 连续激光器, 波长是 532 nm, 用超高速光电门控制激光的开启与关闭, 触发信号和光电压信号均采用 500 MHz Tektronix 数字示波器采集.

3 结果与分析

3.1 异质结的整流特性

图 1 给出了 300 K 时 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇/SrTiO₃-Nb 异质结的伏安特性 (*I-V*) 曲线, 其中电流的正

向定义为从 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇ 层到 SrTiO₃-Nb 层. *I-V* 曲线呈现明显的非对称性, 即具有与传统半导体 p-n 结相似的整流特性. 考虑到 In/SrTiO₃Nb/In 和 In/La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇/In 结构的 *I-V* 曲线为直线, 如图 1 中左插图所示, 即 In 与 SrTiO₃-Nb 和 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇ 均形成欧姆接触. 从而证实了整流特性来源于异质结本身的特征. 已有的研究表明 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇ 呈现 p 型导电特征 [22], 而 SrTiO₃-Nb 具有 n 型导电特征, 所以 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇ 与 SrTiO₃-Nb 结合时会在界面处形成耗尽层和产生扩散势垒. 这样, 当施加正偏压时, 势垒降低, 耗尽层宽度变窄, 形成大的正向电流; 反之, 当施加负偏压时, 势垒升高, 耗尽层宽度变宽, 形成很小的反向电流. 进而, 可以利用传统的二极管理论来分析异质结的 *I-V* 曲线:

$$I \propto \exp\left(\frac{eV}{nk_B T}\right), \quad (1)$$

其中 k_B 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度, V 为所加偏压, e 为电子电量, n 为理想因子. 对 300 K 的 *I-V* 曲线进行拟合, 如图 1 右插图所示, 得到异质结的理想因子为 3.56, 大于传统二极管的理想因子 (1—2), 这是因为 La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇ 和 SrTiO₃-Nb 的晶格不匹配而在界面处形成较多缺陷, 导致部分载流子被缺陷俘获 [23].

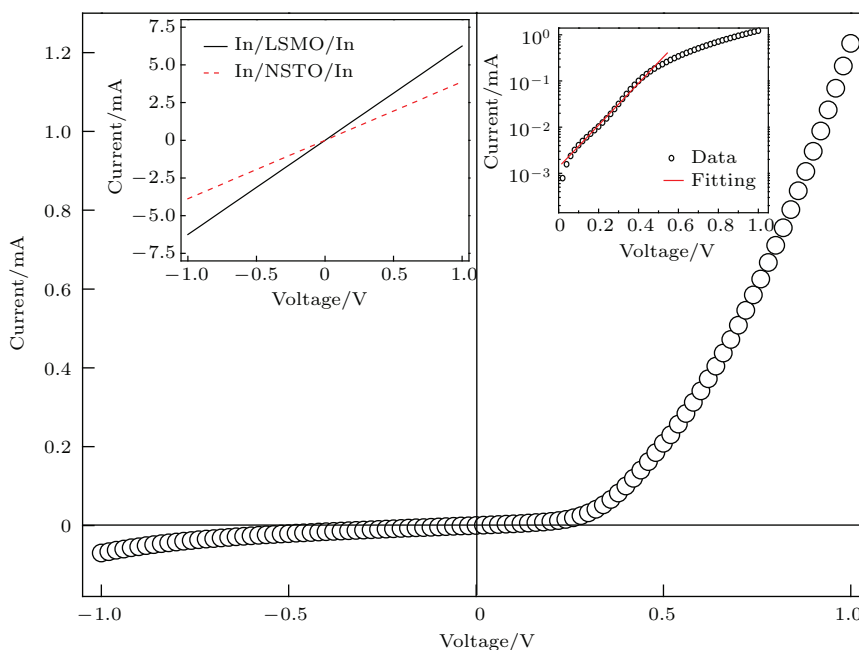


图 1 300 K 时异质结的伏安特性 (*I-V*) 曲线, 其中左上插图为 In/NSTO/In 和 In/LSMO/In 结构的 *I-V* 曲线, 右上插图为异质结正偏压 *I-V* 曲线的拟合

Fig. 1. The *I-V* curves for the LSMO/NSTO heterostructure at 300 K, the left inset shows the *I-V* curves for In/NSTO/In and In/LSMO/In structure, while the right inset presents the fitting of the *I-V* curve for the LSMO/NSTO heterostructure under positive bias.

3.2 异质结的光伏效应

图2描述了300 K时异质结无激光辐照和不同功率密度的532 nm激光辐照下的*I-V*曲线. 显然, 异质结呈现明显的光伏效应. 当激光功率密度为250 mW/cm²时, 异质结的开路电压为150 mV. 由于La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇的带隙*E_g*约为1 eV, SrTiO₃Nb的带隙大约为3.1 eV, 而532 nm激光器的光子能量为2.33 eV, 因此, 当532 nm激光辐照样品时, 将会被La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇层吸收, 促使其价带上的电子跃迁到导带, 在价带中形成空穴. 在内建电场的作用下, La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇中的电子转移到n区, 与此同时, SrTiO₃-Nb的空穴转移到p区, 这样, 在异质结开路的情况下会产生一定的光生电压, 而短路的情况下会形成与反向电流方向一致的短路电流. 此外, 随着辐照激光的功率密度增大, 异质结的开路电压*V_{oc}*和短路电流*I_{sc}*增大, 说明了非平衡光生载流子的浓度受到入射光强的调控, 证实了异质结的光伏效应是由界面处激光诱导产生电子-空穴对和内建电场诱使电子-空穴对分离所造成的. 值得注意的是, 开路电压*V_{oc}*随辐照激光功率密度*P*的变化规律很好地符合了传统的半导体二极管理论^[6]:

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{e} \ln(1 + \alpha P), \quad (2)$$

其中, *k_B*是玻尔兹曼常数, *e*是电子电量, *P*是激光功率密度, *T*为绝对温度, α 为参量, 如图2中插图所示. 这与Sun等^[6]在钙钛矿锰氧化物异质结La_{0.32}Pr_{0.35}Ca_{0.33}MnO₃/Nb-SrTiO₃中观察到的结果一致.

图3(a)给出了不同温度下光生电压随时间的变化曲线. 从图中可以看出, 当激光开启时, 光生电压迅速增大, 达到最大值后保持稳定; 当激光关闭时, 光生电压缓慢减低, 最后到零.

首先来分析光生电压峰值*V_{peak}*随温度变化的规律, 如图3(b)所示. 可以看出, 本文研究的异质结光生电压峰值是随温度升高先增大后减小的, 出现一个峰值, 其对应的温度为150 K. 实际上, 在原先研究的单层钙钛矿异质结中, 科研工作者也观察到了这一现象, 并且认为是与钙钛矿材料的金属-绝缘转变特性有关^[24]. 为此, 我们测量了La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇薄膜的电阻-温度曲线, 如图3(b)所示. 对比图3(b)中的两条曲线, 明显地, La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇薄膜的金属-绝缘转变温度为150 K, 与异质结光生电压峰值所对应温度一致.

一般来说, 光生电压与光生载流子的累积和耗尽层的宽度有关, 并且只有位于耗尽层附近或通过扩散到达耗尽层的光生载流子才能对光生电压有贡献^[25]. 当温度大于150 K, La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇表现为绝缘体导电特征, 此时, 随着温度增加, 由于热涨落, 光生载流子的积累就会减少, 同时耗尽层的宽度也会变窄, 因而光生电压减小. 当温度小于150 K, La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇表现为金属导电特征, 相比于绝缘体状态, La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇的能带结构发生了变化, 即自旋向上和自旋向下次能带的分裂, 也就相当于增加了La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇的带隙^[25], 因此La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇与SrTiO₃-Nb之间能带的差异就会变小, 也即扩散电势变低, 从而随着温度的降低, 光生电压也降低.

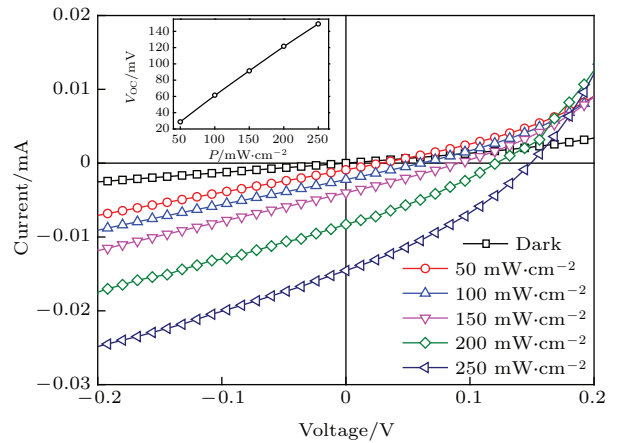


图2 无激光辐照和不同功率密度的532 nm激光辐照下异质结的*I-V*曲线图, 其中插图为异质结开路电压随辐照激光功率密度的变化曲线

Fig. 2. The *I-V* curves for the LSMO/NSTO heterostructure under no laser irradiation and 532 nm laser irradiation with different power density. The inset is the curve, which shows the open circuit voltage varying with the laser power density.

为了理解光生电压的动态过程, 我们对光生电压的上升沿按照如下的指数函数分析^[26]:

$$V = V_0 + V_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (3)$$

其中 *V₀*, *V₁* 为系数, *t* 是测试时间, τ 是上升时间常数. 典型的拟合结果如图3(c)所示, 其中上升时间常数 τ 随温度变化曲线如图3(c)中插图所示. 从插图中可以看出, 随着温度升高, τ 先增加后减少, 在150 K出现峰值, 此温度与La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇薄膜的金属-绝缘体转变温度相同. 我们知道, 上升时间常数 τ 是与载流子迁移有关的^[27]. 当温度小于150 K, 随着温度降低, La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇铁磁性增强, 局域自旋的取向趋向有序, 有利于载流子的迁

移, 这样光生载流子从表面到空间电荷区扩散时间相应会减少, 即上升时间常数 τ 减小. 当温度大于 150 K, $\text{La}_{1.3}\text{Sr}_{1.7}\text{Mn}_2\text{O}_7$ 的导电机理主要为小极化

子输运机理, 这样温度的升高就促进了载流子的非局域化, 增加了迁移的概率, 导致上升时间常数 τ 减小.

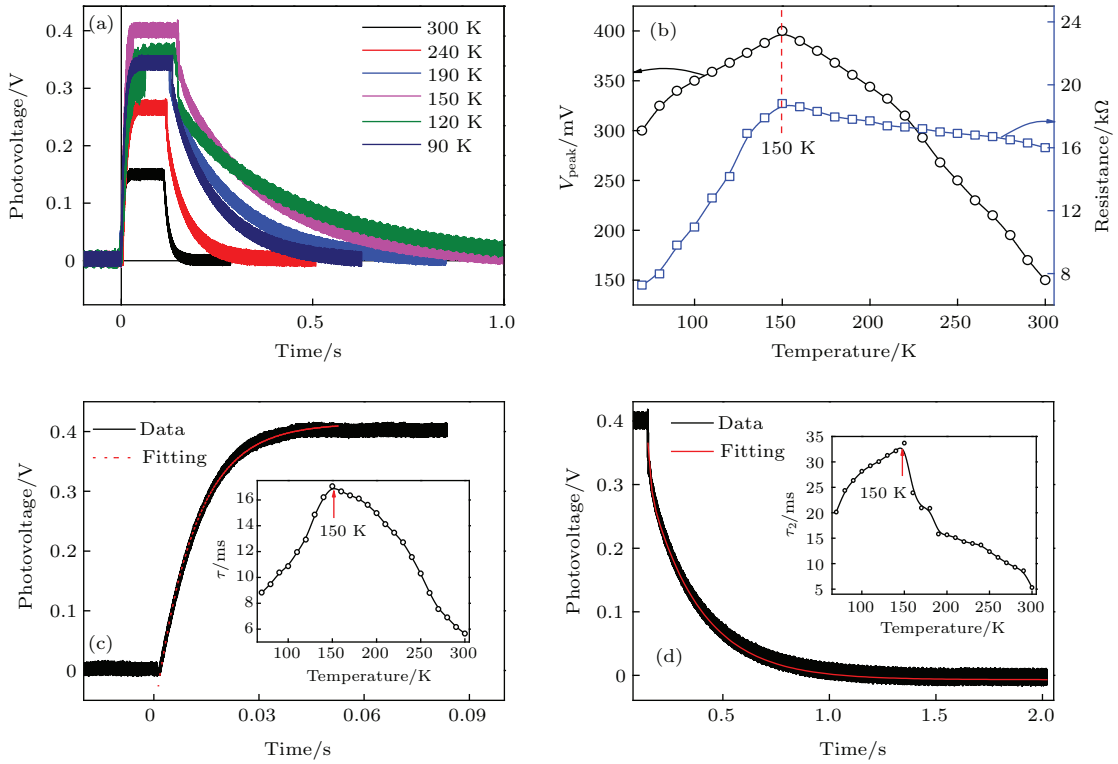


图3 (网刊彩色)(a) 不同温度下异质结光生电压随时间的变化曲线; (b) 异质结光生电压峰值和 LSMO 薄膜电阻随温度变化的曲线; (c) 150 K 下异质结光生电压上升沿的拟合曲线, 其中插图为上升时间常数 τ 随温度的变化曲线; (d) 150 K 下异质结光生电压下降沿的拟合曲线, 其中插图为下降时间常数 τ_2 随温度的变化曲线

Fig. 3. (color online) (a) The changing curve for heterostructure photovoltage varying with time under different temperatures; (b) the curve about the peak of heterostructure photovoltage and LSMO film resistance varying with temperatures; (c) the fitting curve of the rising edge of the heterostructure photovoltage at 150 K, the inset presents the curve of rising time constant τ varying with temperatures; (d) the fitting curve of the falling edge of the heterostructure photovoltage at 150 K, the inset indicates the curve of falling time constant τ_2 varying with temperatures.

当停止激光辐照时, 光生电压缓慢降低, 最后到零, 表现出与激光开始辐照时不一样的动态过程. 通常来说, 这里面含有两个过程: 一是结两边聚集的载流子在通过外部的回路发生中和, 二是电子和空穴的湮没^[26]. 为此, 我们采用两个指数函数来分析光生电压的下降沿^[22]:

$$V = V_2 + V_3 \left[1 - \exp \left(- \frac{t}{\tau_1} \right) \right] + V_4 \left[1 - \exp \left(- \frac{t}{\tau_2} \right) \right], \quad (4)$$

其中 V_2, V_3, V_4 为系数; t 是测试时间; τ_1, τ_2 是下降时间常数. 典型的拟合结果如图 3(d) 所示, 得到 τ_1 和 τ_2 分别为 254.8 和 33.7 ms, τ_1 要比 τ_2 大. 考虑到本文研究的异质结电容 10^{-7} F 和测试回路的电阻

为 1 M Ω , 从而可以估算出回路放电的时间常数为 316.2 ms, 与拟合结果得到的 τ_1 相近, 因此证实了 (4) 式中的 V_3 项描述了测试回路的放电过程, 而 V_4 项与电子和空穴的湮没有关, 即 τ_2 代表了非平衡载流子的寿命. 所以, 我们这里重点关注下降时间常数 τ_2 随温度的变化趋势, 如图 3(d) 中插图所示. 显然, 下降时间常数 τ_2 随温度升高先增加后减少, 在 150 K 达到最大值, 与上升时间常数 τ 相似, 进一步证实了下降时间常数 τ_2 与电子和空穴的湮没相关. 不过值得注意的是, 相比于其他的锰氧化物 p-n 结^[28-30], 本文研究的异质 p-n 结下降时间常数 τ_2 具有较大的数值, 或许双层锰氧化物 p-n 结光伏效应器件在应用上具有更大的优势.

4 结 论

采用脉冲激光沉积方法在SrTiO₃:0.7%Nb(100)单晶衬底上制备了La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇/SrTiO₃-Nb异质结,该异质结具有良好的整流特征和明显的光生伏特效应.在300 K时,发现在不同功率密度的光强下的光生电压与光强呈线性变化关系.实验显示光生电压随温度升高先增大后减小,并且在150 K达到最大值,此温度点与La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇薄膜发生金属-绝缘体转变的温度一致,表明异质结的光生伏特效应受La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇薄膜内部的输运特征调控.光生电压随时间的变化曲线显示光生电压的上升沿满足一阶指数函数,而下降沿符合二阶指数函数,这包含了不同的物理过程.并且,上升沿和下降沿的时间常数均随着温度先增大后减小,最大值也出现在La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇薄膜发生金属-绝缘转变的温度处,且都达到毫秒量级,这或许表明了双层锰氧化物p-n结光伏效应器件在应用上具有更大的优势.

参考文献

- [1] Reyren N, Thiel S, Cavaglia A D, Fitting K L, Hammerl G, Richter C, Schneider C W, Kopp K, Rüetschi A S, Jaccard D, Gabay M, Müller D A, Triscone J M, Mannhart J 2007 *Science* **317** 1196
- [2] Herranz G, Basletic M, Bibes M, Carretero C, Tafra E, Jacquet E, Bouzouane K, Deranlot C, Hamzic A, Broto J M, Barthelémy A, Fert A 2007 *Phys. Rev. Lett.* **98** 216803
- [3] Ohtomo A, Hwang H Y 2006 *Nature* **441** 120
- [4] Jin K J, Lu H B, Zhao K, Ge C, He M, Yang G Z 2009 *Adv. Mater.* **21** 4636
- [5] Lu H B, Dai S Y, Chen Z H, Zhou Y L, Cheng B L, Jin K J, Liu L F, Yang G Z 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 032502
- [6] Sun J R, Xiong C M, Shen B G, Wang P Y, Weng Y X 2004 *Appl. Phys. Lett.* **84** 2611
- [7] Liao L, Jin K J, Han P, Zhang L L, Lu H B, Ge C 2009 *Chin. Phys. Lett.* **26** 057301
- [8] Zhou W J, Jin K J, Guo H Z, He X, He M, Xu X L, Lu H B, Yang G Z 2015 *Appl. Phys. Lett.* **106** 131109
- [9] Zhong W, Au C T, Du Y W 2013 *Chin. Phys. B* **22** 057501
- [10] Hu A Y, Qin G P, Wu Z M, Cui Y T 2015 *Chin. Phys. B* **24** 067501
- [11] Assmann E, Blaha P, Laskowski R, Held K, Okamoto S, Sangiovanni G 2013 *Phys. Rev. Lett.* **110** 078701
- [12] Wang L, Jin K J, Ge C, Wang C, Guo H Z, Lu H B, Yang G Z 2013 *Appl. Phys. Lett.* **102** 252907
- [13] Wang L, Jin K J, Gu J X, Ma C, He X, Zhang J D, Wang C, Feng Y, Wan Q, Shi J A, Gu L, He M, Lu H B, Yang G Z 2014 *Sci. Rep.* **4** 6980
- [14] Wang L, Jin K J, Xing J, Ge C, Lu H B, Zhou W J, Yang G Z 2013 *Appl. Opt.* **52** 3473
- [15] Zhou W J, Jin K J, Guo H Z, Ge C, He M, Lu H B 2013 *J. Appl. Phys.* **114** 224503
- [16] Jin K J, Zhao K, Lu H B, Liao L, Yang G Z 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 081906
- [17] Moritomo Y, Asamitsu A, Kuwahara H, Tokura Y 1996 *Nature* **380** 141
- [18] Kimura T, Tomioka Y, Kuwahara H, Asamitsu A, Tamura M, Tokura Y 1996 *Science* **274** 1698
- [19] Argyriou D N, Mitchell J F, Radaelli P G, Bordallo H N, Cox D E, Medarde M, Jorgensen J D 1999 *Phys. Rev. B* **59** 8695
- [20] Han L A, Chen C L, Dong H Y, Wang J Y, Gao G M, Luo B C 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 0541 (in Chinese) [韩立安, 陈长乐, 董慧迎, 王建元, 高国棉, 罗炳成 2008 物理学报 **57** 0541]
- [21] Jin K X, Zhao S G, Chen C L, Tan X Y, Jia X W 2009 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **42** 015001
- [22] Liu Y X, Sun X C, Li B K, Lei Y 2014 *JMCA* **2** 11651
- [23] Luo Z, Gao J 2006 *J. Appl. Phys.* **100** 056104
- [24] Ma J J, Jin K X, Luo B C, Fan F, Xing H, Zhou C C, Chen C L 2010 *Chin. Phys. Lett.* **27** 107304
- [25] Chen P, Jin K X, Chen C L, Tan X Y 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 067303 (in Chinese) [陈鹏, 金克新, 陈长乐, 谭兴毅 2011 物理学报 **60** 067303]
- [26] Wang J Y, Zhai W, Luo B C, Jin K X, Chen C L 2014 *Solid State Commun.* **187** 10
- [27] Liao L, Jin K J, Lu H B, Han P, He M, Yang G Z 2009 *Solid State Commun.* **149** 915
- [28] Qiu J, Lu H B, Jin K J, He M, Xing J 2007 *Physica B* **400** 66
- [29] Jin K X, Zhao S G, Tan X Y, Chen C L 2008 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **41** 045105
- [30] Yan Z J, Yuan X, Xu Y B, Liu L Q, Zhang X 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 104101

Rectifying behavior and photovoltage effect in $\text{La}_{1.3}\text{Sr}_{1.7}\text{Mn}_2\text{O}_7/\text{SrTiO}_3\text{-Nb}$ heterostructure*

Zhang Qiang Wang Jian-Yuan[†] Luo Bing-Cheng Xing Hui
Jin Ke-Xin Chen Chang-Le

(Shaanxi Key Laboratory of Condensed Matter Structures and Properties, School of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

(Received 13 January 2016; revised manuscript received 22 February 2016)

Abstract

Perovskite oxide heterostructure possesses attractive magnetic, optical and electric properties, such as superconducting interface between two insulators, two-dimensional electron gas, positive giant magnetoresistance, photoelectric response characteristic, magnetocaloric effect, and coexistent different magnetic structures. Especially for the photoelectric response behaviors of $A_{1-x}A'_x\text{MnO}_3$ ($A = \text{La, Pr}$ etc.; $A' = \text{Sr, Ca}$ etc.) perovskite manganese oxide heterostructure, one has made a systematic study on the photoelectric conversion efficiency, the photovoltaic response speed, and the in-plane lateral photovoltage. Besides $A_{1-x}A'_x\text{MnO}_3$ structure, manganese oxides can also exhibit the double layered perovskite structure $A_{2-2x}A'_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$. Double layered perovskite structure can be regarded as the layers of perovskite and rock salt which are alternately stacked. This double layered perovskite manganese oxide (such as $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$) is a natural structure of the tunnel structure: ferromagnetic metal layer-insulating layer-ferromagnetic metal layer. Double layered perovskite manganese oxide has not only the characteristics of giant magnetoresistance, but also the novel physical properties, such as persistent photoconductivity, etc. However, there are few reports on the physical properties of the double layered perovskite manganite oxides, heterostructures, especially the photovoltaic properties. In this work, the $\text{La}_{1.3}\text{Sr}_{1.7}\text{Mn}_2\text{O}_7$ (LSMO) film is deposited on an n-type $\text{SrTiO}_3\text{-Nb}$ (NSTO) single crystal substrate by a pulsed laser deposition method. Additionally, we study the transporting properties of LSMO/NSTO heterostructure and its photovoltaic effect. The heterostructure exhibits benign rectifying and palpable photovoltaic effect. Under the 532 nm laser irradiation, the photovoltage first increases and then decreases with temperature rising. The maximal photovoltage reaches 400 mV at 150 K which is consistent with the metal-insulator transition temperature of LSMO film. It is indicated that the photovoltaic effect of the heterostructure is regulated by the inner transporting characteristics of LSMO film. The dynamical process of the heterostructure, photovoltaic response, is analyzed. Meanwhile, by analyzing the relationship between the photovoltage and time, it is found that the rising edge fits to the first order exponential function, which is related to the migration of carriers. While the falling edge of second-order exponential function indicates that the compound of carriers has two different physical processes: τ_1 corresponds to the neutralization process of the carriers aggregated on both junction sides through the external circuit, and τ_2 corresponds to the annihilation process of non-equilibrium carriers. The carrier lifetime of our p-n junction is longer, on the order of ms, than those of other manganese oxides p-n junctions. Remarkably, the time constants of both the rising edge and falling edge first increase and then decrease as temperature increases, and the maximum values occur at the metal-insulator transition temperature of LSMO film.

Keywords: photovoltaic effect, double layered perovskite, heterostructure, carriers lifetime

PACS: 73.40.-c, 73.61.-r, 75.47.Lx, 72.40.+w

DOI: 10.7498/aps.65.107301

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 51402240, 51471134, 51202195, 51172183, 61471301, 51572222), the Natural Science Foundation of Shaanxi Province, China (Grant No. 2014JQ6218), the Fundamental Research Fund for the Central Universities, China (Grant No. 3102014KYJD026), and the "Ao Xiang Xin Xing" Foundation in Northwestern Polytechnical University, China.

[†] Corresponding author. E-mail: wangjy@nwpu.edu.cn