

$\text{Nd}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 陶瓷中界面“陷阱态”相关电阻转变行为

陈顺生 熊良斌 杨昌平

Interfacial trap dependent resistance switching effect in $\text{Nd}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ ceramic

Chen Shun-Sheng Xiong Liang-Bin Yang Chang-Ping

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 65, 087302 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.087302

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.087302>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I8>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

[Rectifying behavior and photovoltage effect in La_{1.3}Sr_{1.7}Mn₂O₇/SrTiO₃-Nb heterostructure](#)

物理学报.2016, 65(10): 107301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.107301>

[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>

Nd_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃陶瓷中界面“陷阱态”相关电阻转变行为*

陈顺生¹⁾³⁾ 熊良斌²⁾ 杨昌平^{3)†}

1) (湖北理工学院, 量子材料研究所, 黄石 435003)

2) (湖北工程学院物理与电子信息工程学院, 孝感 432000)

3) (湖北大学物理学与电子技术学院, 武汉 430062)

(2015年12月11日收到; 2016年1月26日收到修改稿)

通过固相烧结和高能球磨后热处理两种方法分别得到不具晶(相)界和具有明显晶(相)界的两种Nd_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃陶瓷样品,并用两线法和四线法分别对这两种样品的电极-块体接触界面和晶(相)交界面的*I-V*和电脉冲诱导电阻转变效应(EPIR)进行研究. 结果发现,在两线法测试下,电极-块体界面具有回滞的非线性*I-V*特征,并能产生稳定的EPIR效应,EPIR的稳定性随温度的升高逐渐减弱并消失;而对具有明显晶(相)界的陶瓷样品,四线法测试结果表明,虽然其*I-V*行为也具有非线性和回滞性特点,但不能产生EPIR效应. 这些奇特的界面输运行为与界面中的各种缺陷充当“陷阱”并实现对载流子的捕捉和释放过程密切相关. 而大量的晶(相)界面及其复杂的连接方式导致较大的漏导则是晶(相)界不能出现EPIR效应的主要原因.

关键词: 电阻转变效应, 陷阱态, 晶(相)界, 锰氧化物

PACS: 73.40.-c, 73.20.-r

DOI: 10.7498/aps.65.087302

1 引言

锰氧化物本质上是一强关联电子体系,电子多种自由度的相互耦合、竞争所达到的平衡是一个细微的亚稳平衡,温度、磁场、电流(电场)、等静压、应力、光辐射等都能推动其电子态的移动,导致其物理性质发生显著变化^[1-7]. 特别地,外载磁场、电场能显著影响载流子的输运,导致各种奇特的输运现象,如庞磁电阻效应(colossal magnetoresistance, CMR)^[8,9],庞电致电阻效应(colossal electroresistance, CER)^[10,11]和基于CER效应的电脉冲诱导电阻转变效应(electric pulse induced resistance switching, EPIR)(或称阻变效应)^[12-15]. EPIR效应是指材料的电阻随电脉冲极性变化在高

低阻态间进行切换的行为. 材料的这种阻变效应具有高低阻态转换速度快(ns量级)、可逆、非易失性和良好的抗疲劳特性,以及结构简单、集成度高、能与半导体CMOS工艺兼容等特点,可望实现电阻式随机存储器(RRAM)的工业应用而引起广泛的关注. RRAM是一种全新的存储技术,具有简单的制备方法,较快的擦写速度(一般<100 ns),较高的存储密度和很好的半导体工艺兼容性. 与当前主流存储器(FRAM, MRAM, OUM等)相比,RRAM具有其他存储器不可比拟的应用优势,并且与现有的半导体制造工艺相结合,可以大大缩减其生产成本. 日本电子信息技术产业协会的夏普社长町田胜彦曾指出:RRAM作为工作内存,速度可与SRAM匹敌;作为存储内存,能够实现与NAND型闪存相抗衡,RRAM将会成为下一代核心内存. 惠普实验

* 湖北省科技厅项目(批准号: 2014CFC1090)、湖北省教育厅科技项目(批准号: B2014025)和中国博士后科学基金(批准号: 2015M572188)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: cpyang@hubu.edu.cn

室的 Strukov 等^[16]也曾指出材料的这种 EPIR 效应与新型存储 RRAM 有着密不可分的关系, 研究 EPIR 的物理机理是制作 RRAM 元器件的第一步, 并预言 RRAM 在存储领域有很好的应用前景.

可见, 弄清 EPIR 效应的物理机理, 寻求较大 EPIR 效应的材料以及探究如何增强材料的 EPIR 效应对推进 RRAM 走向实际应用具有重要意义. 当前, 国内外对 EPIR 效应的研究多集中在以下三个方面: 1) EPIR 的物理本质及起源; 2) 寻找室温高 EPIR 值和抗疲劳性优良的材料; 3) 探讨影响 EPIR 稳定性的因素和寻找增强 EPIR 效应的途径. 其中对 EPIR 效应物理机理及其本质归属问题的研究是解决问题、突破瓶颈的关键. 然而, 学术界对 EPIR 效应本质起源还存在分歧, 主要表现在该效应是材料的本征属性还是其外在的界面行为, 研究方法通常是采用两线法、三线法或四线法等对样品的电极-块体接触界面进行输运测量. 如 Sawa 等^[17]采用两线法对 Ti/PCMO 进行 EPIR 测试, 并将其在实验中发现的阻变行为归因于电极-PCMO 界面间的肖特基势垒. Tsui 等^[18]利用三线法对几种钙钛矿结构氧化物与电极接触界面进行研究, 认为 EPIR 效应是电极-块体界面层的一种常见现象. 国内 Yang 等^[19]通过两线方法对 Ti/PCMO 接触界面进行测试, 并认为由于 Ti 电极氧化, 在电极和 PCMO 之间形成一层 TiO_x 薄层, 薄层中的氧空位与载流子的氧化还原反应和迁移是产生 EPIR 的关键. 南京大学 Yan 等^[20]用两线法对 Pt/YMn_{1-x}O₃/Pt 三明治结构研究后发现, 焦耳热是诱发 YMn_{1-x}O₃ 发生氧化还原反应并导致 EPIR 效应的主要原因. Shang 等^[21]利用两线法对 Ag/LCMO/Pt 三明治结构进行研究, 解释了 Ag/LCMO 界面 $V-I$ 的非线性、回滞和不对称性, 并从理论角度探讨了 EPIR 的疲劳特性, 指出 EPIR 效应应归因于类块体限制输运诱导的界面行为. 此外, 中国科学院物理研究所孙继荣小组、湖北大学杨昌平小组、清华大学曲炳郡小组以及河南大学张伟风小组也都对钙钛矿结构锰氧化物的 EPIR 效应进行了详细研究.

纵观国内外对 EPIR 效应的研究不难发现, 多数工作集中在电极-块体间的接触界面和块体自身的 EPIR 特性上, 为实现可能的工业化应用, 样品的形态也多为薄膜材料, 而对于多晶陶瓷样品晶

(相)界 EPIR 效应的研究很少. 在前期的研究中我们发现, 固相烧结样品在四线法测量模式下, 不发生 EPIR 效应, $I-V$ 行为也无非线性和回滞特性, 说明固相烧结样品的晶(相)界面效应很弱. 为制备较强晶(相)界效应的样品, 我们先通过高能球磨法得到 $\text{Nd}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 粉末, 然后高温烧结得到陶瓷样品, 并结合两线、四线测量方法对比研究电极-块体接触界面和晶(相)界面 EPIR 效应的特点, 发现晶(相)界虽然也可以产生类似于电极-块体界面回滞的非线性 $I-V$, 但不能产生 EPIR 行为, 通过实验模拟分析, 解释了晶(相)界面不能产生 EPIR 效应的原因.

2 实验方法

对稀土锰氧化物的大规模研究也促使其制备方法多样化, 如固相烧结法、水热法、溶胶-凝胶法、脉冲沉积法、高能球磨法等, 通常根据实验需要选择适当的制备方法. 高能球磨法是利用球磨机的转动和振动使硬球对原料颗粒进行强烈的撞击、研磨和搅拌, 把氧化物粉末粉碎为纳米级微粒的方法. 粉末颗粒经过剧烈的压合、研磨、又压合、再研磨的反复过程, 极易引入或制造各种缺陷, 包括氧空位、悬挂键、位错、间隙原子等并最终在晶(相)界处富集, 形成较强的界面效应. 其详细制备过程见前期工作^[22]. 制得的样品用铜导线做引线, 在样品同一面做两个或四个电极, 电极的制备方法根据实验需要采用银胶法和烧银法, 前者是直接涂在样品表面, 后者是在样品表面涂银浆并在 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 烘烤 25 min, 然后再做电极. 实验结果表明, 这两种制备方法形成的接触电阻不同, 前者形成较大的接触电阻, 而后者则可以形成良好的欧姆接触^[23]. 用 Keithley 2400 万用表和实验室低温测试平台测量样品不同温度下的电输运性质, 用 X 射线衍射仪 (XRD, DRON-3 型, Cr-K (α)) 辐射检测样品的晶体结构和相纯度. 用扫描电子显微镜 (SEM) 观察样品-电极接触界面的显微结构, 用透射电镜 (TEM) 观察陶瓷样品晶(相)界的微观结构. 为叙述的方便, 将固相烧结法制备的陶瓷样品命名为 A, 经过高能球磨后热处理的具有明显晶(相)界的陶瓷样品命名为 B.

3 结果与讨论

图1是经两种不同制备方法得到的Nd_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃陶瓷样品的X射线衍射谱. 比较图1(a)和(b)可以看出: 化学计量比的MnO₂, SrCO₃, Nd₂O₃混合配料经高能球磨过程后最终合成物发生了很大变化. 明显地, 除了绝大多数衍射峰与固相烧结样品A的衍射峰相同外, 高能球磨的样品B还存在三个明显的杂质峰, 如图1(b)所示. 通过比对PFD卡, 这些新生相可能为MnO₂, SrO₂和Nd₂O₃, 其原因可能与复杂的高能球磨过程有关. 前期工作表明, 通过高能球磨法得到的Nd_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃是不稳定的亚稳相, 若继续延长球磨时间, Nd_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃还会转变为非晶无序相^[24], 所以, 亚稳的Nd_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃在高温下发生分解, 形成上述杂质相. 图2是两种方法得到的陶瓷样品SEM, 其结果与XRD一致, 直接证明了第二相的存在. 如图2所示, 固相烧结的A样品颗粒间界面很清晰明了, 颗粒表面很平整, 挤压严实, 粒间缝隙很小; 而高能球磨后的B样品虽然颗粒大小与A样品近似, 但颗粒间挤出一些棒状的第二相, 宽度在1—2 μm, 长短不一, 有的横卧, 有的朝不同方向突出原来的平面生长. 这些杂质相的存在将会大大增强晶(相)界的界面效应并将对载流子的输运产生很大影响.

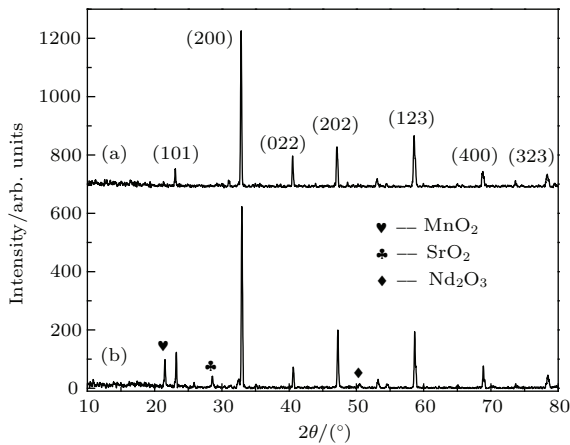


图1 (a), (b) 分别为样品A和B的XRD

Fig. 1. (a), (b) The X-ray diffraction patterns of samples A and B, respectively.

图3(a)和(b)是固相烧结的A样品在两线模式下的*I-V*和EPIR曲线, 图3(a)内插图是两线测试示意图. 利用两线测量得到的电阻包含导线电阻, 样品块体电阻及电极-块体间的接触电阻, 由

于固相烧结样品的体电阻和导线电阻相对接触电阻来说可以忽略不计, 所以两线情况下测量的结果主要反映电极-块体接触界面的输运特性^[15]. 从图3(a), (b)可以看到*I-V*行为出现明显的非线性和回滞特性, 在脉冲宽150 μs, 脉冲幅3 V的脉冲作用下, 出现稳定的EPIR现象, 且高、低电阻分别约为20 Ω和8 Ω. 图3(c)和(d)是高能球磨后烧结的B样品在四线测量模式下的*I-V*和EPIR曲线, 图3(c)内插图是四线测试示意图. 根据四线法测量的特点, 此时电极-块体间的接触电阻可以不计, 其测量的结果反映的是块体内晶(相)界间的输运特性(因晶粒本身电阻很小). 与电极-块体间的输运相比较, 晶(相)界处可以产生非线性*I-V*行为, 却不能产生EPIR现象, 如图3(c), (d)所示, 在相同的脉冲作用下, 晶(相)界电阻值从59.8 Ω逐渐下滑, 并逐渐稳定在58.4 Ω, 没有出现高低组态随外加脉冲极性变化而跳变的行为.

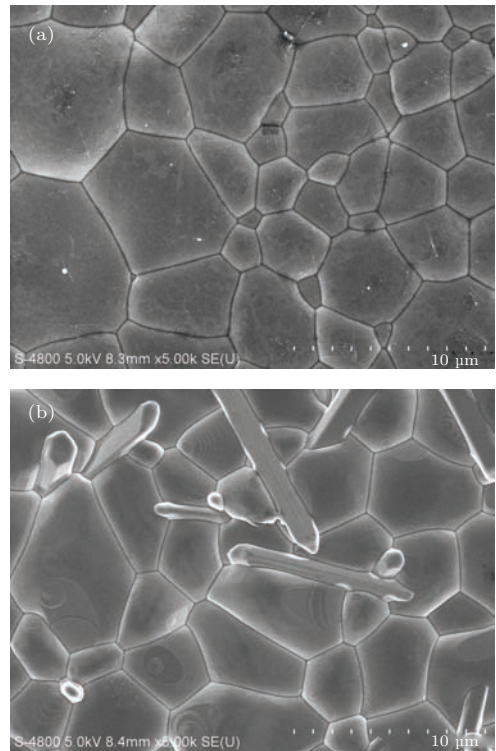


图2 (a), (b) 分别为样品A和B的SEM图片

Fig. 2. (a), (b) The SEM of the samples A and B, respectively.

电极-块体接触界面间的EPIR行为是界面处的各种缺陷充当不同深浅能级的“陷阱”在外场和环境的作用下对非平衡载流子的捕捉和释放行为^[17,21,25-27]. 通常直流输运是与材料中非平衡载流子相关的, 而非平衡载流子是以“陷阱”能级作为

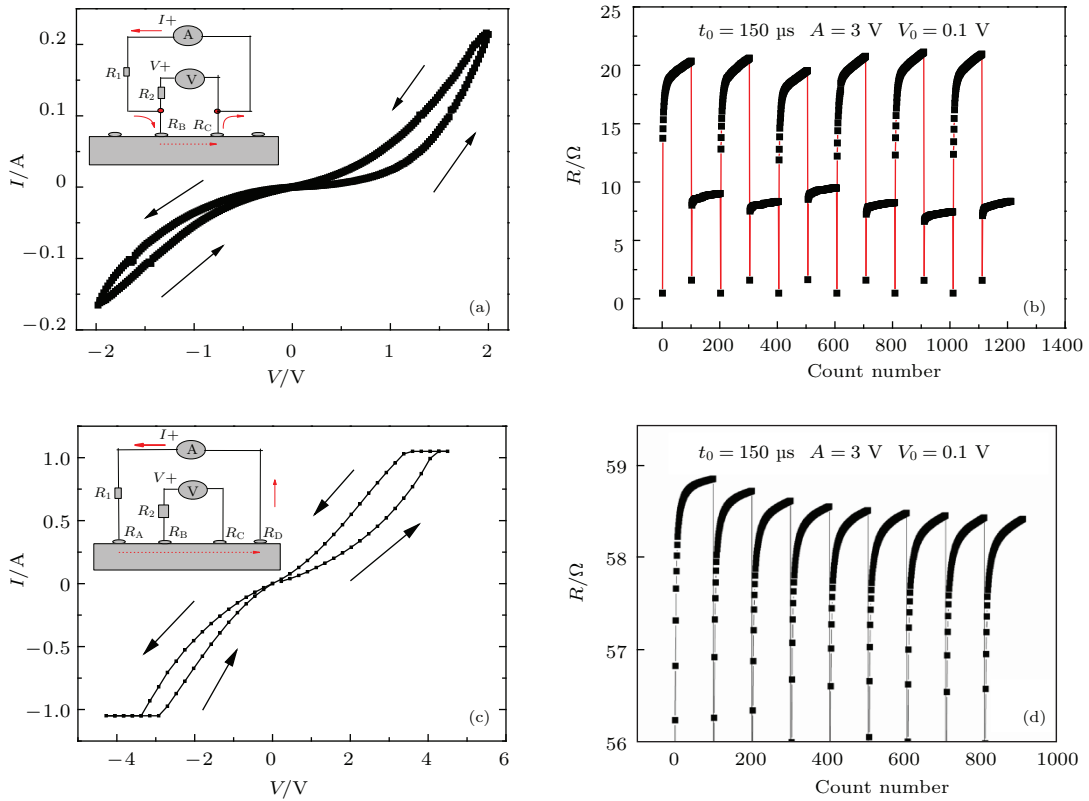


图3 (网刊彩色) (a), (b) 分别是样品 A 在两线法测量下的 $I-V$ 和 EPIR 曲线; (c), (d) 分别是高能球磨后烧结的样品 B 在四线法测量下的 $I-V$ 和 EPIR 曲线, 测量温度均为室温

Fig. 3. (color online) (a), (b) The $I-V$ and EPIR curves of sample A under two-wire measurement, respectively; (c), (d) the $I-V$ and EPIR curves of sample B under four-wire measurement, respectively. The measured temperature is 293 K.

传递纽带参与传导的。“陷阱”能级是指对非平衡载流子具有存储或释放能力的一些能量状态, 如优先偏析在界面里的杂质离子、间隙原子、表面态、氧缺陷、微结构缺陷(如微岛、孔隙及几何平整度)等, 这些“陷阱”处于不同的能级位置, 对非平衡载流子吸收或释放作用, 这就是“陷阱”效应, 其强弱程度与“陷阱”能级的深度 E_t 和外界的温度 T 有关, 主要体现在“陷阱”能级释放载流子的速率在很大程度上依赖于因子 $\exp[-E_t/(kT)]$. 对于能级位于费米能级 E_f 上方的陷阱能级, 热平衡时是空的, 在非平衡条件下, 便被载流子部分或全部占据. 这些能级愈深(即愈接近 E_f)对俘获载流子愈有利, 当 $E_f = E_t$ 时成为最有利的“陷阱”能级. 对于 E_f 下方的“陷阱”能级, 由于热平衡时已经全满, 其“陷阱”作用很弱, 可以不考虑. 为了验证上述环境温度对“陷阱”效应和 EPIR 稳定性的影响, 我们在不同温度进行了 EPIR 测试, 结果如图 4 所示. 当环境温度高于室温时, 电极-块体接触界面电阻逐渐减小, EPIR 逐渐趋于不稳定, 随着温度的进

一步升高, 界面电阻急剧下降, 高、低阻态也越来越不明显, 当温度达到 396 K 时, 高、低阻态趋于一致, EPIR 效应消失(如图 4(a)), 其电阻值从最初的 27 Ω 降为约 2.4 Ω , 说明在高温下, 界面中的“陷阱”受热微扰作用释放载流子的活动更为剧烈, 导致载流子浓度增大, 电阻减小. 相反, 当降低环境的温度, 如在低温液氮环境下(如图 4(b)), 施加相同的脉冲所得到的 EPIR 效应则更为稳定、清晰, 并且在室温时出现的高、低阻态“尾巴”现象(如图 4(a)中红圈)也消失了. 这说明当环境温度降低时, “陷阱”能级受到外界的热微扰作用减小, 释放载流子的活动也相应减弱, 被“陷阱”俘获的电子或空穴在“陷阱”位置可以待更长时间, 所以在低温 EPIR 出现更为稳定的特点, EPIR 稳定性随温度变化的特点在以前的工作中也有所反映[28].

一般地, 非线性 $I-V$ 行为是由于界面处存在势垒引起的, 对锰氧化物陶瓷样品而言, 引起势垒的因素很多, 最常见的是接触界面处因空间电荷的存在或界面两边能量/状态差异或界面处结构无序、

磁无序等因素而形成空间电荷区, 各种缺陷和非均匀性因素优先聚集在这些区域, 影响着界面的输运^[29]. 为了更清楚地了解晶(相)界面和电极-块体接触界面这两种界面的微观结构特点, 我们对这两种界面的微观结构进行了分析, 如图5所示. 从图5(a)可以看出, 银胶电极因银和有机黏合剂的混合不均匀而显得较为松散, 并且银胶与样品表

面的接触也不是很紧密, 随着样品表面的不平整, 两者接触界面出现或大或小的缝隙, 这种“接触不良”将会导致空间电荷和势垒的存在, 并最终导致非线性和回滞特性的 $I-V$ 行为. 为研究的需要, 我们也将烧银电极与样品A接触界面的SEM进行了对比, 如图5(b)所示, 结果发现制作烧银电极的材料——银浆本身很均匀、致密, 很少出现空隙或缝

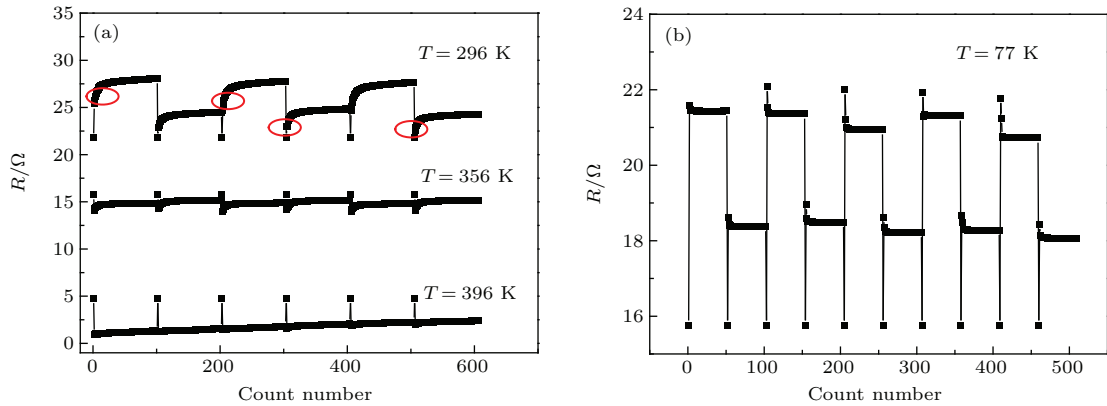


图4 (网刊彩色) 两线测量模式下, A 样品 EPIR 稳定性随温度的变化 (a) $T \geq 296$ K; (b) $T = 77$ K. 脉冲参数: 脉冲幅 3 V, 脉冲宽 150 μ s, 偏压 0.1 V

Fig. 4. (color online) The stability of EPIR dependence of the temperature under two-wire measurement: (a) $T \geq 296$ K; (b) $T = 77$ K. The pulse parameters: pulse magnitude 3 V, pulse width 150 μ s, bias 0.1 V.

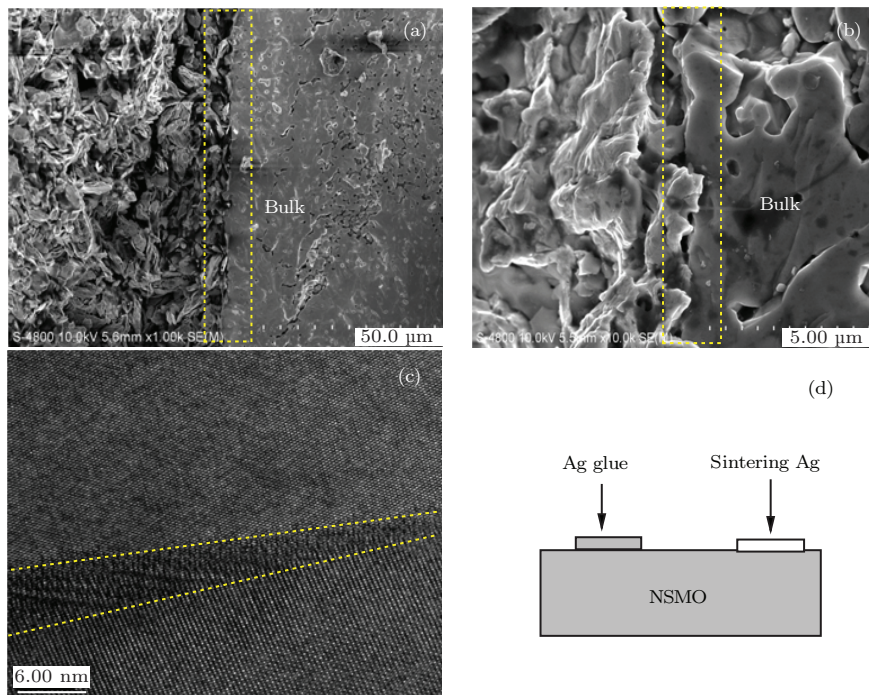


图5 (a), (b) 分别是银胶电极和烧银电极与陶瓷样品接触处横截面 SEM 图; (c) 样品 B 晶(相)界面的高分辨 TEM; (d) 在样品 A 上制作一烧银电极和一银胶电极示意图

Fig. 5. (a), (b) The cross-section SEM of silver glue electrode-bulk interfaces and silvering electrode-bulk interface, respectively; (c) the high resolution TEM of boundary (phase) interface for sample B; (d) the sketch map of silvering electrode and silver glue electrode fabricated on the same sample A.

隙,而且随着样品表面的起伏不平,银浆材料与块体表面的接触很服帖、紧密,这可能与烧银电极制备过程的热处理有关,这也是烧银电极与样品能形成欧姆接触的主要原因^[23].图5(c)是高能球磨后烧结的陶瓷样品B晶(相)界的高分辨透射电子显微镜照片,从图中可以看出,白色虚线两侧原子具有不同的点阵结构,表明两侧为不同的晶体,而在两种不同晶体接触界面处可以看到混乱、模糊的原子排列,暗示了各种短程无序结构的存在,模糊界

面的尺度范围在2—8 nm.

晶(相)界面与电极-块体接触界面相比,有很多相似的特点,例如它们都是各种缺陷、无序和非均匀性因素聚集之地,都会形成空间电荷区阻碍载流子的运动,并导致非线性和回滞特性的*I-V*行为,基于此,我们用电极-块体接触界面类比晶(相)界面进行实验模拟,探究晶(相)界面不能产生稳定的EPIR效应的原因.具体如下:在样品A上分别制作一个烧银电极和一个银胶电极,由于烧银

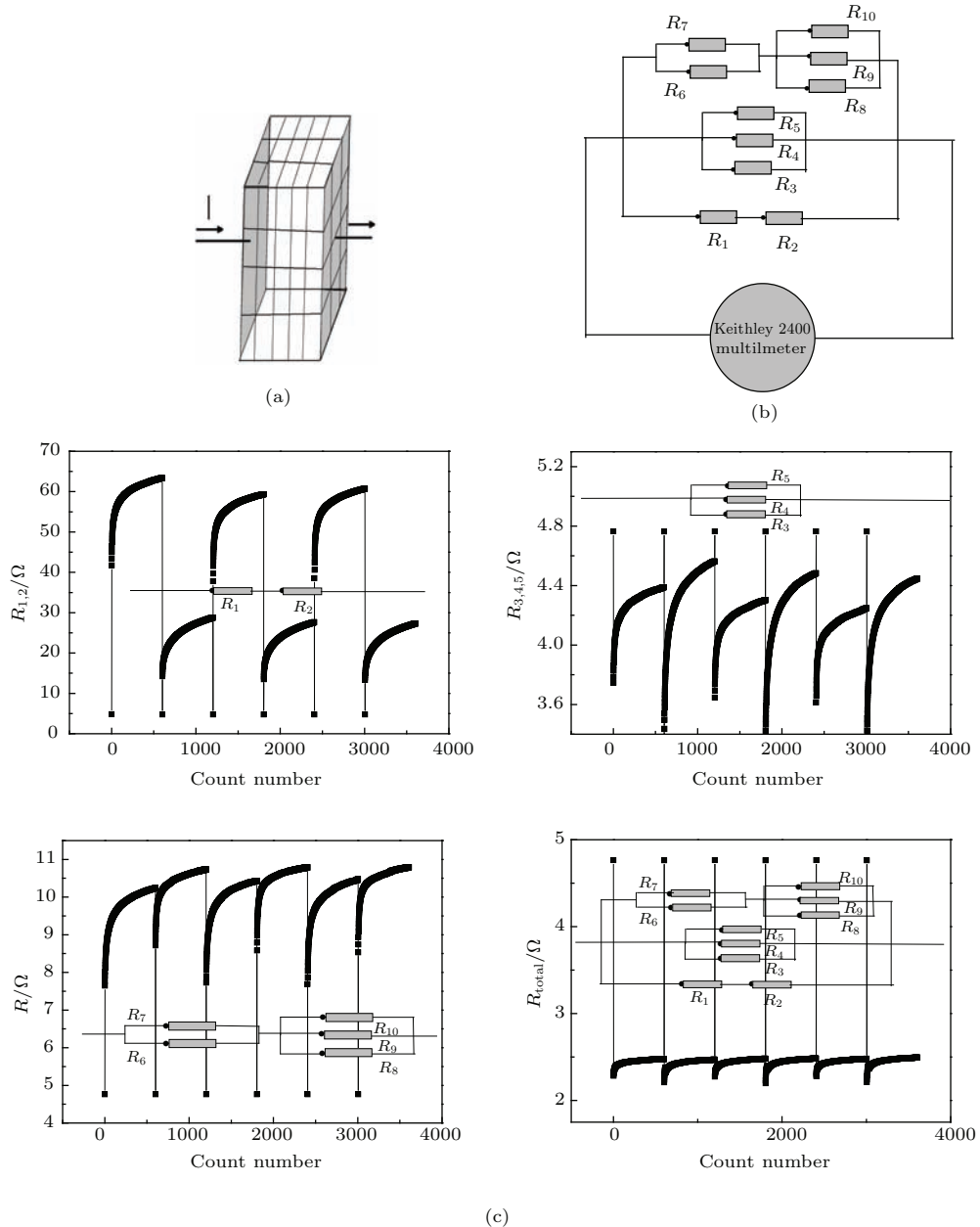


图6 (a) 多晶样品测量示意图; (b) 有限个电阻模拟测量示意图; (c) 在不同连接模式下EPIR测试结果. 脉冲幅3 V, 脉冲宽150 μ s, 偏压0.1 V

Fig. 6. (a) The schematic diagram of two-wire measurement for polycrystalline sample; (b) the schematic diagram of simulation for the finite number samples; (c) the measurement results of EPIR under different connection mode, pulse magnitude 3 V, pulse width 150 μ s, bias 0.1 V.

电极不会产生接触电阻, 这样在样品 A 上便形成一个能产生回滞的非线性 $I-V$ 的接触界面, 然后将多个这种样品按照不同的方式连接, 并进行 EPIR 测试, 结果如图 6 所示. 从图可看出, 仅当两个样品串联时, 能产生 EPIR 现象, 高、低阻值分别为 $60\ \Omega$ 和 $28\ \Omega$; 将三个样品并联时, 则看到很不明显的高、低阻态跳变现象, 并且高、低阻值急剧减小, 分别为 $4.6\ \Omega$ 和 $4.3\ \Omega$. 若是把两个并联部分再串联起来, 虽然高、低阻值有所增加, 但高低电阻差值减小, EPIR 现象更不明显. 继续增加样品的个数和连接方式, 则高、低电阻值都下降到 $1.5\ \Omega$ 附近, 此时 EPIR 现象完全消失 (如图 6(c)). 以上仅为有限个样品以极简单的连接方式测试的结果, 然而在我们的实际样品中, 一个样品的几何尺寸大约为 $V = 8\ \text{mm} \times 2\ \text{mm} \times 1.5\ \text{mm} = 24\ \text{mm}^3$, 由 SEM 的结果可知颗粒的大小近似为 $V_0 = 4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m} = 80\ \mu\text{m}^3$, 因此可以估算样品中颗粒的个数大约 $n = V/V_0 = 3 \times 10^8$ 个. 所以一个样品中晶(相)界的个数也至少在 10^8 数量级. 在样品内部, 这么多的晶(相)界以极其复杂的方式进行连接, 漏导则会更大, 所以在相同的测量电压下, 随着高、低电阻值的下降, EPIR 效应更加不明显. 另外, 外加脉冲施加在具有这么多晶(相)界的样品上, 每一个晶(相)界所承受的脉冲作用微乎其微, 也就是说, 外加脉冲作用不足以激励晶(相)界中的“陷阱”实现对载流子的捕捉和释放作用, 因此也就不会出现高、低阻态变化的 EPIR 现象. 当然, 除了脉冲激励作用之外, 陷阱能级的深浅对 EPIR 也有影响, 通常电极-块体界面包含的“陷阱”种类更多, 陷阱能级更浅, 具有比晶(相)界更“脏”、更“杂”的特点, 因此在电极-块体发生的 EPIR 效应不易在晶(相)界面处发生.

4 结 论

总之, 锰氧化物样品中的两类界面——电极-块体界面和晶(相)界, 具有很多相似的特点, 都是各种缺陷如杂质原子、间隙原子、氧缺陷、微结构缺陷(如微岛、孔隙及几何平整度)等优先偏析的场所, 也都能在界面处形成空间电荷区并产生回滞的非线性 $I-V$ 行为, 但由于样品中晶(相)界数量巨大, 晶(相)界面连接方式复杂最终导致晶(相)界面虽能产生类似于电极-块体界面的 $I-V$ 行为, 却

不能产生稳定的 EPIR 效应.

参考文献

- [1] Gao J, Shen S Q, Li T K, Sun J R 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 4732
- [2] Zhao Y G, Wang Y H, Zhang G M, Zhang B, Zhang X P, Yang C X, Lang P L, Zhu M H, Guan P C 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 122502
- [3] Chattopadhyay S, Giri S, Majumdar S 2012 *J. Appl. Phys.* **112** 083915
- [4] He L M, Ji Y, Wu H Y, Xu B, Sun Y B, Zhang X F, Lu Y, Zhao J J 2014 *Chin. Phys. B* **23** 077601
- [5] Medvedeva I V, Dyachkova T V, Tyutyunnik A P, Zaynulin Y G, Marchenkov V V, Marchenkova E B, Fomina K A, Yang C P, Chen S S, Baerner K 2012 *Physica B* **407** 153
- [6] Chen S S, Wang R L, Yang F J 2010 *J. Alloys Compd.* **491** 1
- [7] Chen S S, Shi D W, Wang H X, Yang C P, Xiao H B, Bärner K, Medvedeva V 2013 *Adv. Mater. Res.* **873** 744
- [8] Coey M 2005 *Nature Mater.* **4** 9
- [9] Wang S P, Zhang J C, Cao G X, Yu J, Jing C, Cao S X 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 367 (in Chinese) [王仕鹏, 张金仓, 曹桂新, 俞坚, 敬超, 曹世勋 2006 物理学报 **55** 367]
- [10] Chen S S, Yang C P, Deng H, Sun Z G 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 3798 (in Chinese) [陈顺生, 杨昌平, 邓恒, 孙志刚 2008 物理学报 **57** 3798]
- [11] Chen S S, Yang C P, Wang H, Medvedeva I V, Bärner K 2010 *Mat. Sci. Eng. B* **172** 167
- [12] Liu S Q, Wu N J, Ignatiev A 2000 *Appl. Phys. Lett.* **76** 2749
- [13] Tsui S, Baikalov A, Cmaidalka J, Sun Y Y, Wang Y Q, Xue Y Y, Chu C W, Chen L, Jacobson A J 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 317
- [14] Chen S S, Yang C P, Ren C L, Wang R L, Wang H, Medvedeva I V, Baerner K 2011 *Bull. Mater. Sci.* **34** 1
- [15] Chen S S, Yang C P, Xu L F, Yang F J, Wang H B, Wang H, Xiong L B, Yu Y, Medvedeva I V, Baerner K 2010 *Solid State Commun.* **150** 240
- [16] Strukov D B, Snider G S, Stewart D R, Williams R S 2008 *Nature* **453** 80
- [17] Sawa A, Fujii T, Kawasaki M, Tokura Y 2004 *Appl. Phys. Lett.* **18** 4073
- [18] Tsui S, Baikalov A, Cmaidalka J, Sun Y Y, *et al.* 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 317
- [19] Yang R, Li M X, Yu W D, Gao X D, Shang D S, Liu X J, Cao X, Wang Q, Chen L D 2009 *Appl. Phys. Lett.* **95** 072105
- [20] Yan Z B, Li S Z, Wang K F, Liu J M 2010 *Appl. Phys. Lett.* **96** 012103
- [21] Shang D S, Wang Q, Chen L D, Dong R, Li X M, Zhang W Q 2006 *Phys. Rev. B* **73** 245427
- [22] Chen S S, Yang C P, Luo X J, Medvedeva I V 2012 *Chin. Phys. Lett.* **29** 077303

- [23] Chen S S, Huang C, Wang R L, Yang C P, Medvedeva I V, Sun Z G 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 0521 (in Chinese)
[陈顺生, 黄昌, 王瑞龙, 杨昌平, Medvedeva I V, 孙志刚 2011 物理学报 **60** 0521]
- [24] Chen S S, Yang C P, Zhou Z H, Guo D H, Wang H, Rao G H 2007 *J. Alloys Compd.* **463** 271
- [25] Chen S S, Luo X J, Shi D W, Li H, Yang C P 2013 *J. Mater. Sci. Technol.* **29** 737
- [26] Odagawa A, Sato H, Inoue I H, Akoh H, Kawasaki M, Tokura Y, Kanno T, Adachi H 2004 *Phys. Rev. B* **70** 224403
- [27] Boer R W I, Morpurgo A F 2005 *Phys. Rev. B* **72** 073207
- [28] Shi D W, Yang C P, Wu M L, Xu L S, Ding Y M, Yang F J, Xiao H B, Wang R L, Bärner K, Marchenkov V V 2015 *Ceram. Int.* **41** 7276
- [29] Chen S S, Yang C P, Luo X J, Barner K, Medvedeva I V 2012 *Chin. Phys. Lett.* **29** 027302

Interfacial trap dependent resistance switching effect in $\text{Nd}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ ceramic*

Chen Shun-Sheng¹⁾³⁾ Xiong Liang-Bin²⁾ Yang Chang-Ping^{3)†}

1) (*Institute for Quantum Materials, School of Mathematics and Physics, Hubei Polytechnic University, Huangshi 435003, China*)

2) (*School of Physics and Electronic-Information Engineering, Hubei Engineering University, Xiaogan 432000, China*)

3) (*Faculty of Physics and Electronic Technology, Hubei University, Wuhan 430062, China*)

(Received 11 December 2015; revised manuscript received 26 January 2016)

Abstract

Switching behavior in $\text{Nd}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ ceramic is investigated widely due to its close association with the new storage Resistive random access memory. In this work, we discuss the transport characteristic of the electrode-bulk interface and boundary/phase interface, and explain the differences between the two interfaces. Firstly, the $\text{Nd}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ ceramic samples are prepared by solid-phase reaction and high-energy milling methods, respectively. And the transport properties of the two interfaces are investigated respectively by the two-line and four-line measurements. The results show that the Ag electrode-bulk interfaces exhibit nonlinear and hysteretic I - V characteristics and a stable resistance switching effect, and the stability of resistance switching behavior is reduced gradually with the increase of temperature. For the boundaries/phase interfaces, however, it does not exhibit resistance switching effect, although a nonlinear and hysteretic I - V behavior can also be observed under the four-line measurement mode. Various defects in the two interfaces act as traps and regulate the interfacial transports and result in the nonlinear and hysteretic I - V behaviors in the two interfaces. Additionally, the simulation experiments reveal that a large number of boundaries/phase interfaces and larger leakage conductance resulting from the complex connections of boundaries/phase interfaces are the main responsibilities for the fact that the boundaries/(phase) interfaces do not exhibit EPIR behavior as the electrode-bulk interface.

Keywords: resistance switching effect, traps state, boundary/phase interface, manganites

PACS: 73.40.-c, 73.20.-r

DOI: 10.7498/aps.65.087302

* Project supported by the Scientific Research Foundation of the Technology Department of Hubei Province, China (Grant No. 2014CFC1090), the Scientific Research Foundation of the Education Department of Hubei Province, China (Grant No. B2014025), and the China Postdoctoral Science Foundation (Grant No. 2015M572188).

† Corresponding author. E-mail: cpyang@hubu.edu.cn