

Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO 多层膜中 磁场调控的电阻开关效应

张兴文 何朝滔 李秀林 邱晓燕 张耘 陈鹏[†]

(西南大学物理科学与技术学院, 重庆 400715)

(2022 年 4 月 2 日收到; 2022 年 5 月 18 日收到修改稿)

阻变存储器由于具有读取速度快、存储密度大、存储时间长、低功耗和结构简单等主要特点, 已被看为下一代非易失性随机存储器的重要候选者. 本文研究了 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 多层纳米薄膜器件的电阻开关特性, 发现器件具有明显的双极性电阻开关效应, 而且样品的电阻开关特性随外加磁场的干涉会有明显变化, 包括开关比、耐受性和电导率. 磁场对 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 薄膜器件的显著调控作用应该起源于磁场使得 Ni/ZnO 界面处的肖特基势垒改变. 这项工作可以为磁控电阻开关效应提供一种可能的新机制, 在未来的存储器器件中具有重要的潜在应用价值.

关键词: 多层纳米薄膜结构, 电阻开关效应, 磁调控, 氧空位**PACS:** 73.50.-h, 75.50.-y, 85.25.Hv, 85.30.Hi**DOI:** 10.7498/aps.71.20220609

1 引言

21 世纪是信息化的时代, 随着大数据、人工智能等创新应用的发展, 人们接触到的信息越来越多, 需要储存的信息也随之增多. 数据信息的爆炸性增长增加了人们对下一代电子设备的需求^[1-3]. 阻变式存储器 (RRAM) 是利用薄膜材料中的电阻高低状态随外加偏压变化来实现信息的存储, 如器件的高阻态 (HRS) 可以对应计算机二进制信息中“0”状态, 而低阻态 (LRS) 与计算机二进制信息中“1”状态相对应^[4-6]. 其存储状态是稳定且可重复的, 研究者们在许多过渡金属氧化物、有机物和钙钛矿氧化物等材料中均发现了电阻开关特性^[7-10]. 由于 RRAM 器件具有存储密度高、读写速度快、使用寿命长、制备成本低、环保和可 3D 集成、无污染和可持续发展、良好的可扩展性和与 CMOS 技术良好的兼容性等优点, 科研人员对阻变存储器抱

有很大的期望, 认为它最可能成为下一代通用储存器件^[11,12]. 另外 RRAM 器件在数字和逻辑应用、模拟电路和神经形态应用方向都有很大应用前景^[13].

氧化锌 (ZnO) 是一种重要的 n 型半导体材料, 其能带隙和激子束缚能较大, 透明度高, 具有优异的光学和电学性能^[14-16], 在半导体领域的液晶显示器、薄膜晶体管、发光二极管等产品中均有应用^[17,18]. 此外, 因为锌在自然界中含量丰富使得氧化锌成本低廉易获取, 又是直接带隙半导体, 所以氧化锌是第三代半导体材料中的杰出代表^[19,20]. 铁酸铋 (BiFeO₃) 是一种多铁材料, 在室温下具有反铁磁性和铁电性, 在信息存储、传感器、自旋电子器件和电容电感等方面得到了广泛的研究^[21]. 特别是 BiFeO₃ 具有磁电耦合效应, 在多态存储应用中是有用的, 可以制成快速读写存储材料, 使其有着其他材料无法比拟的优越特性. 另外 BiFeO₃ 材料还具有光伏效应, 具有良好的光学性能^[22-24].

[†] 通信作者. E-mail: pchen@swu.edu.cn

可将两种半导体 ZnO 和 BiFeO₃ 结合起来组成异质结作为电阻开关的中间层, ZnO 和 BiFeO₃ 都是重要的光电材料, Liang 等^[20]研究了光照对 Ag/ZnO/BiFeO₃/ZnO/Ag 电阻开关特性的影响. 本文探究以 Ni 作为电极时磁调控对 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO (ITO 是氧化铟锡) 产生的影响. 在此之前, 电阻开关的磁场控制已经在掺杂磁性元件的器件上得到了证明. Sun 等^[22]的研究表明, Ag/[BiFeO₃/γ-Fe₂O₃]/FTO (掺杂氟的 SnO₂ 导电玻璃) 器件的设定电压和复位电压随着磁场的增加而系统地增加, 这是由 BiFeO₃ 的磁性和铁电性耦合作用引起的. 而在另一项研究中, Jena 等^[24]在 Ag/BiFeO₃/FTO 器件中报道了转换电压会随着磁场增大而升高, 具体原因是载流子受到洛伦兹力从而以摆线运动, 进而增大了转换阈值. 同样, Dwipak 和 Narayana^[25]研究了外加磁场对 Ag/TiO₂/FTO 器件的调控, 同样提出载流子受到洛伦兹力以摆线运动从而会增大器件电阻值.

2 实验部分

本文制作的 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件结构如图 1(a) 右上角插图所示, 在镀有 ITO 的玻璃上 (ITO 充当底电极) 依次沉积镀膜 ZnO, BiFeO₃, ZnO. 顶电极用 Ni. 氧化物层膜厚度均为 100 nm, 电极厚度为 80 nm. 实验所用靶材纯度均大于 99.99%, 实验样品均是在 3.0×10^{-4} Pa 的背景高真空下采取磁控溅射方法制作完成的. 各层薄膜在压强 1.0 Pa 的高纯度氩气中沉积, 高纯度氩气的流速设

定为 30.0 sccm (1 sccm = 1 cm³/min). 顶电极制备时采用掩模版遮盖已经镀好的氧化物层, 掩模板上有直径约 1 mm 的孔隙, 从而形成如图 1(a) 所示点状顶电极.

ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件的 X 射线衍射 (XRD) 谱图见图 1(a), 所沉积的薄膜物质在 XRD 谱图上都有其对应的衍射峰, 没有其他杂质的衍射峰. 而 ZnO/BiFeO₃/ZnO 样品的扫描电子显微镜 (SEM) 表征结果如图 1(b) 所示. 很明显该样品具有 3 层膜结构, 每层膜厚度均在 100 nm 左右.

3 实验结果与分析

图 2(a) 显示了 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件的电流-电压 (*I-V*) 曲线. 电压扫描循环方向为: 0 V → 3 V → 0 V → -3 V → 0 V, 扫描步长为 0.15 V. 图 2(b) 是电流对数曲线, 可以看出该器件具有明显的电阻开关特性.

Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件初始状态为低电阻状态, 当器件上的电压从 3 V 扫描到 -3 V 的过程中, 器件处于高阻态, 而器件上电压从 -3 V 扫描到 0 V 过程中, 器件处于低阻态. 在电压扫描过程中, 电流的变化是连续的, 没有出现电流的突然增大或减小, 意味着器件电阻开关传导机制应该不是导电细丝模型. 当器件扫描偏压经过这样一次循环往返后, 可以实现高低阻态的切换, 意味着可以实现信息的读写擦除过程. 且器件的高低电阻比在 0.6 V 时为 16, 达到电阻开关存储信息的要求.

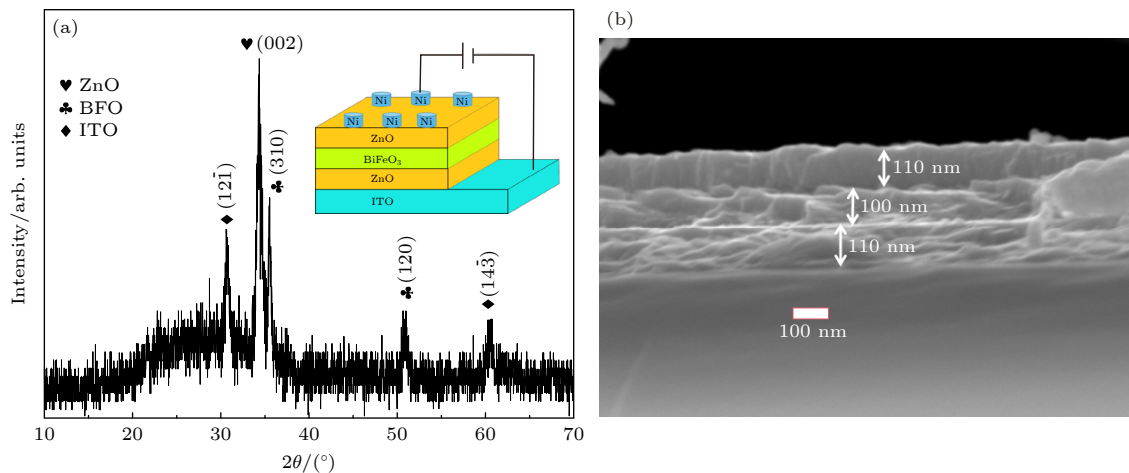


图 1 (a) ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件的 XRD 谱图, 插图为其结构示意图; (b) ZnO/BiFeO₃/ZnO 结构的 SEM 图像

Fig. 1. (a) XRD pattern of ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO device (the inset shows the structure of the sample); (b) SEM image of ZnO/BiFeO₃/ZnO.

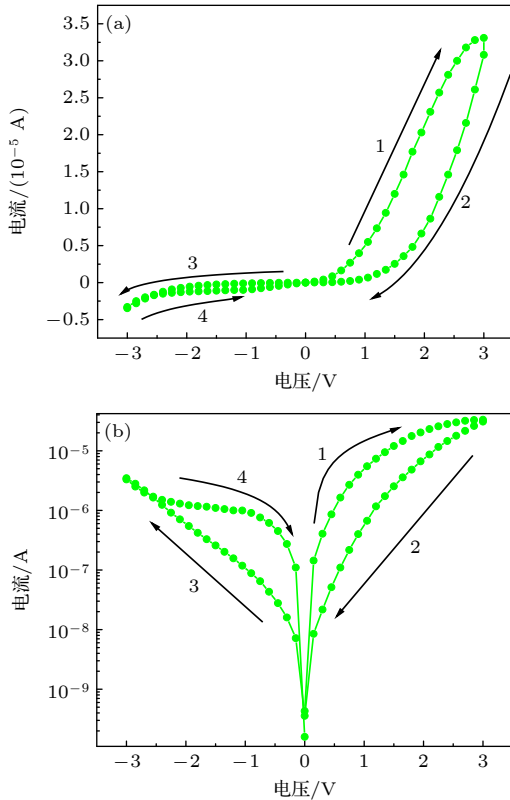


图2 (a) Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件的 I - V 曲线; (b) 相应的对数图

Fig. 2. (a) I - V curve of the Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO device; (b) the corresponding logarithmic graph.

外加 1000 和 3000 Oe ($1 \text{ Oe} = 10^3/(4\pi)$) 磁场来研究磁场对 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件的电阻开关效应的影响. 器件在外加磁场下的 I - V 曲线如图 3 所示. 图 3 显示器件在外磁场中依然呈现双极型电阻开关特性. 器件在开始的 0—3 V 电压下为低阻态, 在 3 V 至 -3 V 下器件为高阻态, 器件在 -3—0 V 时重回低阻态. 同时也可以看出外加磁场对于 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件的电阻开关有明显影响. 外磁场使器件电阻值大大升高, 并且器件总体电阻值随外加磁场的增大而增大. 相对不加磁场, 加磁场后器件高低电阻比有所下降, 比如在 0.6 V 电压下, 磁场为 0, 1000 和 3000 Oe 时器件高低电阻比分别为 16, 6.7 和 4; 而在 -1.5 V 电压下, 磁场为 0, 1000 和 3000 Oe 时器件高低电阻比分别为 8.2, 2.1 和 1.1.

器件的耐久性衡量元件综合性质的一个重要特性, 为探究 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 结构薄膜的稳定性, 对 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件在加磁场和不加磁场下进行了 I - V 曲线随循环圈数变化的测量, 循环圈数为 30, 测量结果如图 4(a)

所示, 由此可知样品电阻开关效应无论加磁场与否都存在很好的稳定性, 样品的阻值几乎不随循环圈数发生改变. 为进一步探究样品电阻开关效应的实用性, 分别读取了不同条件下的 I - V 曲线在 0.6 V 读取电压时的高低电阻随循环圈数变化示意图, 如图 4(b)—(d) 所示. 可知样品有着相对稳定的电阻态, 并且样品在不加磁场和外加磁场为 1000 和 3000 Oe 下的高阻态阻值分别约为 5.8×10^6 , 2.2×10^8 , $1.6 \times 10^8 \Omega$; 低阻态阻值分别约为 3.6×10^5 , 3.3×10^7 , $4.0 \times 10^7 \Omega$. 在不加磁场和外加磁场下样品的开关比 (R_H/R_L , R_H 为 HRS 阻值, R_L 为 LRS 阻值) 分别为 16, 6.7, 4. 根据 I - V 曲线结果表明器件具有耐久性特征, 并具有一致的电阻切换特性. 因此 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 结构在非易失性存储器件中具有潜在的应用价值.

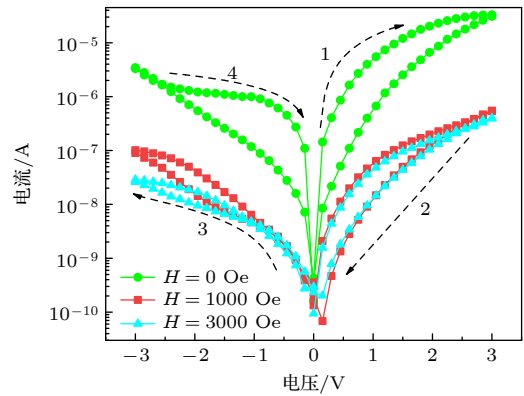


图3 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件在有磁场和无磁场下的 I - V 曲线 (A/m)

Fig. 3. I - V curves of the Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO device with and without magnetic field.

为了分析器件在磁场作用下 I - V 曲线发生变化的原因, 本文另外制作了 Ti/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件. 该器件具体制备方法及各层膜的厚度均与 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件一致, 只是电极部分由铁磁性金属 Ni 换成了非铁磁性金属 Ti. Ti/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 的两种 I - V 曲线对比如图 5 所示, Ti/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件也是表现出双极电阻开关特性, 但是在有外加磁场作用下, 器件的 I - V 曲线与不加磁场时的 I - V 曲线差别很小. 因此外加磁场并不能对 Ti/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件产生调控作用. 这表明 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 中磁场对电阻开关的调控不是来自 ZnO/BiFeO₃/ZnO, 而是来自与 Ni 层或者 Ni/ZnO 的界面.

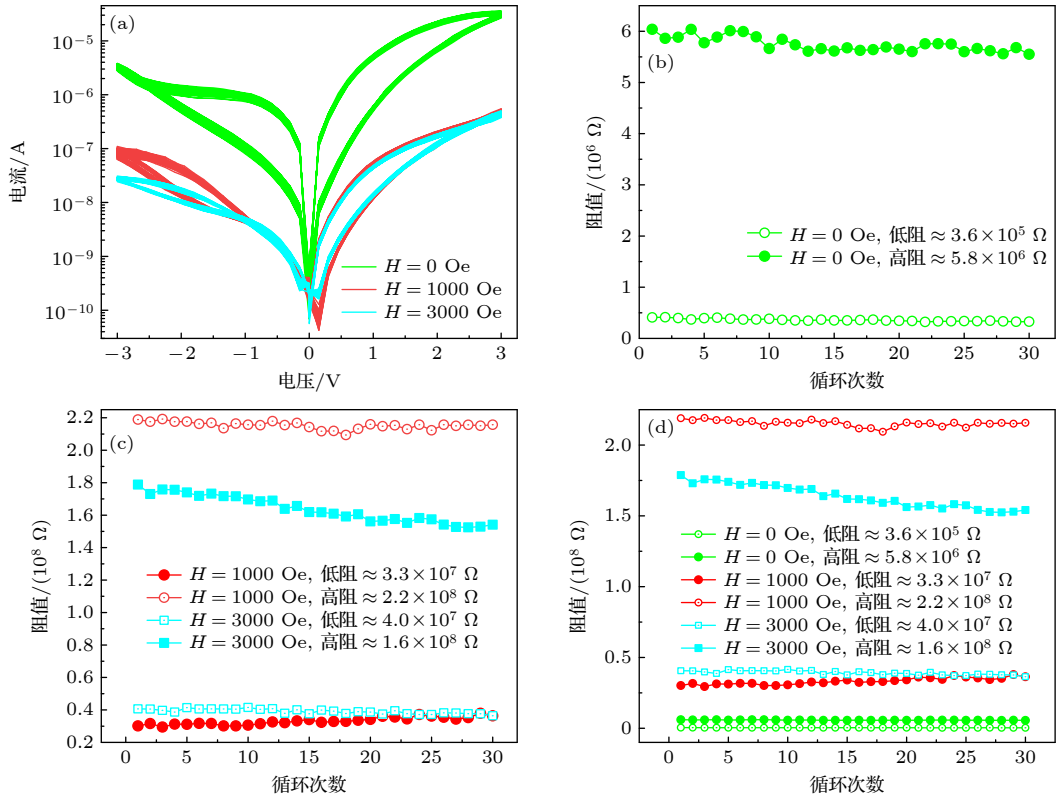


图 4 (a) Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件循环 30 圈的 I - V 曲线; (b) 器件在 0.6 V 下的高低电阻分布图; (c) 器件在外加磁场时 0.6 V 下的高低电阻分布示意图; (d) 为 (b) 和 (c) 分布图的组合图

Fig. 4. (a) I - V curves of the Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO device with 30 cycles; (b) high and low resistance distribution diagram of the device at 0.6 V; (c) high and low resistance distribution diagram of the device at 0.6 V with external magnetic field; (d) combination diagram of panels (b) and (c).

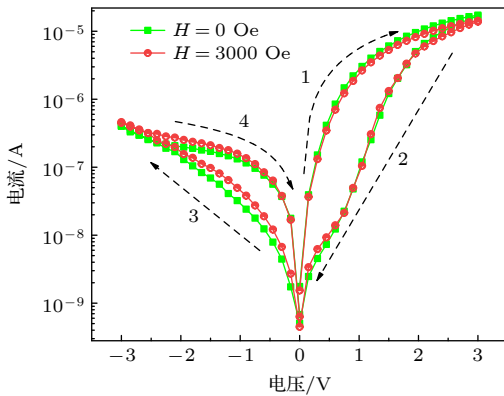


图 5 Ti/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件加磁与不加磁 I - V 曲线结合图

Fig. 5. Combination diagram of I - V curves of the Ti/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO device with magnetized and unmagnetized.

4 机理解释

利用 X 射线光电子能谱 (XPS) 进一步分析了 ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件表面的化学状态和组成. 图 6(a) 显示了完整的 XPS, 并确认了 Zn,

O, Bi, Fe, In 和 Sn 的存在. 图 6(b) 所示的 ZnO 层的 XPS 图显示 Zn 2p_{3/2} 和 2p_{1/2} 峰分别在 1022.31 eV 和 1045.35 eV 处出现, 其对应 ZnO 的 Zn²⁺ 态^[26]. 另外, O 1s 的 XPS 光谱如图 6(c) 所示. O 1s 光谱在 531.18 eV 和 532.9 eV 处分为两个峰, 在 531.18 eV 处的峰可以归因于 ZnO 晶格中的氧, 而在 532.9 eV 处的另一个峰是由非晶格氧引起的^[27]. 本文认为非晶格氧是由氧空位形成的.

在讨论电阻开关的机制之前, 需要首先判断电流传导的方式. 将图 2(a) 中未加磁场的 I - V 曲线用双对数刻度绘制. 器件在低电阻状态下的线性拟合图如图 7(a) 所示, 其斜率约为 2, 这意味着空间限制电荷模型^[28]. 而高电阻状态下的传导行为是复杂的. 以 $\ln I$ 与 \sqrt{V} 拟合, 拟合结果如图 7(b) 所示, 是呈线性关系, 满足线性关系说明在高阻态下传导机制是肖特基发射来支配^[29,30]. 并且在加磁和不加磁下器件的 I - V 曲线表现出正偏压和负偏压的不对称特征, 这表明在 Ni/ZnO 界面处产生肖特基势垒. 图 2(a) 和图 3 显示器件在电压扫描过

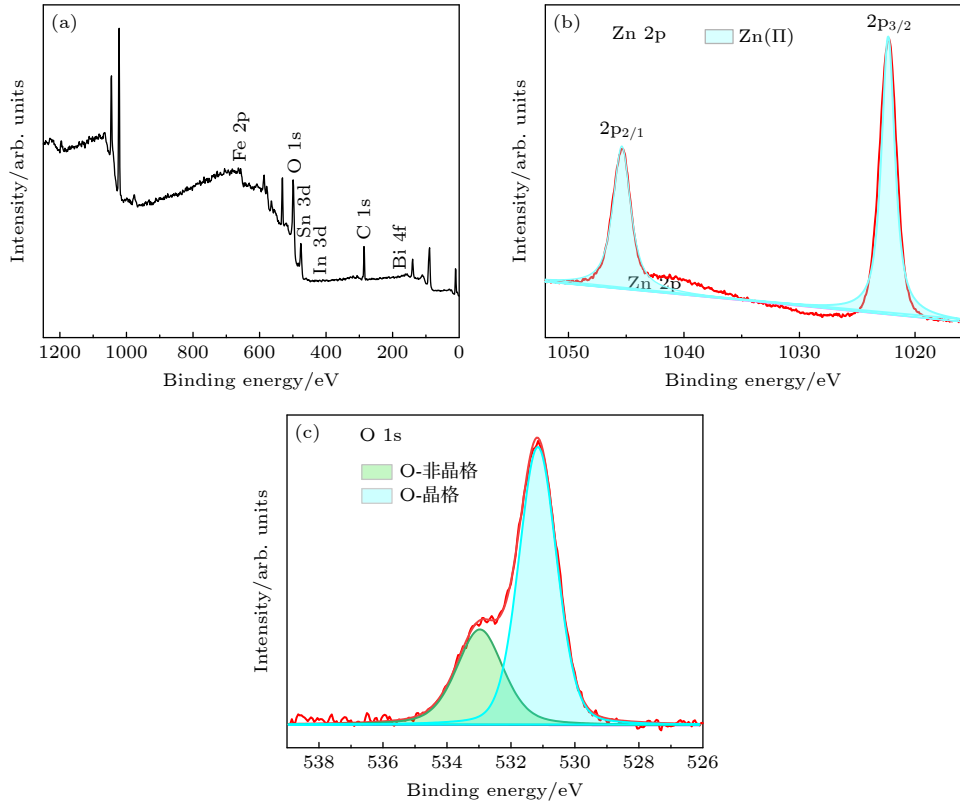

 图 6 (a) ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件的 XPS 图; (b) Zn 2p 的 XPS 图; (c) O 1s 的 XPS 图

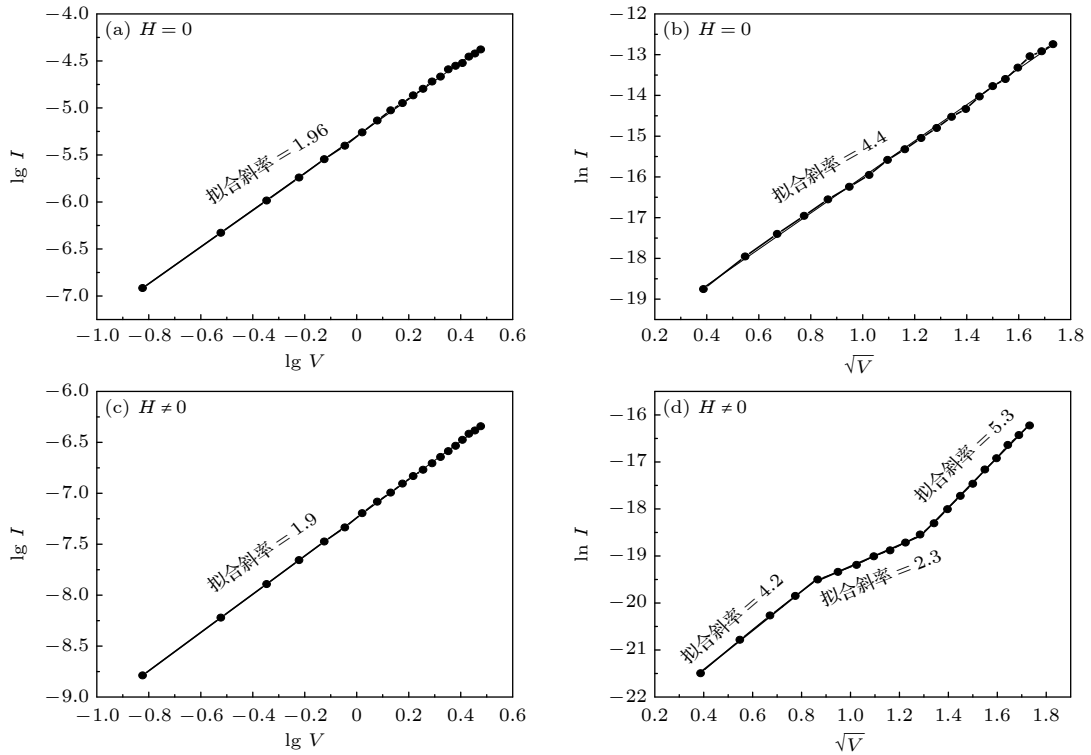
 Fig. 6. (a) XPS survey spectrum of ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO device; (b) XPS spectra of Zn 2p patterns; (c) XPS spectra of O 1s patterns.

 图 7 (a) 低阻态下的双对数拟合图; (b) 高阻态下的 $\ln I$ 与 \sqrt{V} 拟合图; (c) 外加磁场时低阻态下的双对数拟合图; (d) 外加磁场时高阻态下的 $\ln I$ 与 \sqrt{V} 拟合图

 Fig. 7. (a) The log-log fitting diagram at LRS state; (b) $\ln I$ - \sqrt{V} fitting diagram at HRS state; (c) log-log fitting diagram at LRS state with external magnetic field; (d) $\ln I$ - \sqrt{V} fitting diagram at HRS state with external magnetic field.

程中, 电流的变化是连续的, 没有出现电流的突然增大或减小, 意味着器件电阻开关传导机制应该不是导电细丝模型. 由上面 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件的 I - V 曲线拟合结果, 以及结合 XPS 中显示氧空位的出现可知, Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件中的电阻开关特性可以通过 Ni/ZnO 界面存在的氧空位俘获电荷和去俘获电荷来解释^[31,32].

再将加磁场后 I - V 曲线用双对数刻度绘制, 器件在低电阻状态下的线性拟合图如图 7(c) 所示, 其斜率仍约为 2, 这意味着外加磁场后低阻态传导机制也是由空间限制电荷模型来支配的^[33]. 而图 7(d) 是加磁场下的高阻态拟合图, 相对图 7(b) 中没有磁场时的线性关系发生了明显的改变, 可认为这种明显的改变是肖特基势垒发生改变导致的, 也就是说磁场使得 Ni/ZnO 界面处的肖特基势垒发生了改变. 众所周知磁场对 Ni 层的电阻率的影响很小, 远远小于这里观察到的磁场对 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件电阻率的显著改变, 所以磁场对 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件电阻开关特性的影响应该来自磁场对 Ni/ZnO 界面处的肖特基势垒的影响. 磁场会改变 Ni/ZnO 界面的肖特基势垒, 使得电子及氧空位跨过肖特基势垒受阻, 因此外加磁场的 I - V 曲线相对不加磁场发生了很大变化. 但磁场具体如何影响 Ni/ZnO 界面的肖特基势垒以及载流子之后的变化相关机理我们尚不清楚, 也未找到相关研究报道. 值得注意的是, 本文实验显示磁场不会对 Ti/ZnO 界面的肖特基势垒产生影响. 这里 Ni/ZnO 界面和 Ti/ZnO 界面的最大区别应该是前者是磁性界面, 而后者是非磁性界面. 也就是说磁场会显著影响磁性界面 Ni/ZnO 界面的肖特基势垒, 但是磁场对非磁性界面 Ti/ZnO 界面的肖特基势垒没有任何影响. 这样一种现象还未见报道. 同时, 氧化锌作为一种应用广泛的半导体材料, 采用磁场控制的新手段来研究其肖特基势垒结构的输运性质, 并有望控制其势垒结构满足市场上对相关器件电学性能的要求^[34]. 这是一个全新的并且具有很重要的科研价值和市场价值的研究方向.

5 总 结

本文使用商业购买 ITO 基片用磁控溅射方法制备了 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 薄膜器件, 并报道了样品的电阻开关特性以及磁场对样品电阻

开关效应的调控作用. 研究发现样品的 I - V 曲线表现出明显的非对称双极性电阻开关特性, 非对称特性表明在薄膜接触面有肖特基势垒的存在. 而且样品的电阻开关特性随外加磁场的干涉会有明显变化, 包括开关比、耐受性和电导率. 经过一定循环圈数后, 加磁和不加磁的样品 I - V 曲线都有很好的重复性和稳定性. 零磁场下器件的高低电阻比率约为 16, 而在加磁场下的中的高低电阻比率约为 7. 加磁场能够引起样品电阻增大. 基于双对数电流-电压拟合曲线分析表明器件低阻伏安特性满足空间限制电荷模型, 高阻态由肖特基发射主导, 由此可认为 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 器件中的电阻开关特性可以通过 Ni/ZnO 界面存在的氧空位俘获电荷和去俘获电荷来解释. 为了探究磁场的影响, 在相同条件下制备了 Ti/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 薄膜器件, 在外加磁场后其 I - V 曲线几乎没有变化, 说明磁场对其并没有调控作用. 对比磁场对这两种薄膜器件的影响以及拟合曲线, 可认为磁场对 Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO 薄膜器件的显著调控作用应该起源于磁场使得 Ni/ZnO 界面处的肖特基势垒发生了改变. 这项工作可以为磁控电阻开关系统提供一种可能的新机制, 在未来的存储器器件中具有重要的潜在应用价值.

参考文献

- [1] Zhou G D, Sun B, Hu X, Sun L, Zou Z, Xiao B, Qiu W, Wu B, Li J, Han J, Liao L, Xu C, Xiao G, Xiao L, Cheng J, Zheng S, Wang L, Song Q, Duan S 2021 *Adv. Sci.* **7** 2003765
- [2] Ren S Q, Qin H W, Bu J P, Zhu G C, Xie J H, Hu J F 2015 *Appl. Phys. Lett.* **107** 062404
- [3] Pang H, Deng N 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 147301 (in Chinese) [庞华, 邓宁 2014 物理学报 **63** 147301]
- [4] Wang J S, Liang D D, Wu L C, Li X P, Chen P 2018 *Solid State Commun.* **275** 8
- [5] Sun B, Zhou G D, Guo T, Zhou Y N, Wu Y A 2020 *Nano Energy* **75** 104938
- [6] Li H W, Wu S X, Hu P, Li D, Wang G L, Li S W 2017 *Phys. Lett. A* **381** 2127
- [7] He C T, Lu Y, Li X L, Chen P 2022 *Acta Phys. Sin.* **71** 086102 (in Chinese) [何朝滔, 卢羽, 李秀林, 陈鹏 2022 物理学报 **71** 086102]
- [8] Wang Q W, Zhu Y D, Liu X L, Zhao M, Wei M C, Zhang F, Zhang Y, Sun B L, Li M Y 2015 *Appl. Phys. Lett.* **107** 063502
- [9] Chen G, Song C, Chen C, Gao S, Zeng F, Pan F 2012 *Adv. Mater.* **24** 3515
- [10] Selim F, Weber M, Solodovnikov D, Lynn K 2007 *Phys. Rev. Lett.* **99** 085502
- [11] Xiong C Y, Lu Z Y, Yin S Q, Mou H M, Zhang X Z 2019 *AIP Adv.* **9** 105030
- [12] Wang J M, Zhang X Z, Piao H G, Luo Z C, Xiong C Y,

- Wang X F, Yang F H 2014 *Appl. Phys. Lett.* **104** 243511
- [13] Zhou G D, Wang Z R, Sun B, Zhou F C, Sun L F, Zhao H B, Hu X F, Peng X Y, Yan J, Wang H M, Wang W H, Li J, Yan B T, Kuang D L, Wang Y C, Wang L D, Duan S K 2022 *Adv. Electron. Mater.* **8** 2101127
- [14] Tang Y Y, Zhang X W, Lu Y, Li X L, Chen P 2021 *Funct. Mater. Lett.* **14** 2150025
- [15] Chang W Y, Lai Y C, Wu T B, Wang S F, Chen F, Tsai M J 2008 *Appl. Phys. Lett.* **92** 022110
- [16] Hsieh W K, Lam K T, Chang S J 2015 *Mater. Sci. Semicond. Process.* **35** 30
- [17] Ren S X, Sun G W, Zhao J, Dong J Y, Wei Y, Ma Z C, Zhao X, Chen W 2014 *Appl. Phys. Lett.* **104** 232406
- [18] Ren S X, Dong W C, Tang H, Tang L Z, Li Z H, Sun Q, Yang H F, Yang Z G, Zhao J J 2019 *Appl. Surf. Sci.* **488** 92
- [19] Zheng P P, Sun B, Chen Y Z, Elshekh H, Yu T, Mao S S, Zhu S H, Wang H Y, Zhao Y, Yu Z 2019 *Appl. Mater. Today* **14** 21
- [20] Liang D D, Li X P, Wang J S, Wu L C, Chen P 2018 *Solid State Electron.* **145** 46
- [21] Wang T, Cheng L L, Wang C X, Cheng W M, Wang H W, Sun H J, Chen J C, Miao X S 2020 *IEEE Trans. Magn.* **56** 7505004
- [22] Sun B, Liu Y H, Zhao W X, Chen P 2015 *RSC Adv.* **5** 13513
- [23] Zheng W C, Wang Y C, Jin C, Yin R H, Li D, Wang P, Liu S S, Wang X Y, Zheng D X, Bai H L 2020 *Phys. Chem. Chem. Phys.* **22** 13277
- [24] Jena A K, Ajit K S, Mohanty J. 2020 *Appl. Phys. Lett.* **116** 092901
- [25] Dwipak P S, Narayana J S 2017 *Sci. Rep.* **7** 17224
- [26] Karuppasamy K, Rabani I, Vikraman D, Bathula C, Theerthagiri J, Bose R, Yim C J, Kathalingam A, Seo Y S, Kim H S 2021 *Environ. Pollut.* **272** 116018
- [27] Xu J, Chang Y G, Zhang Y Y, Ma S Y, Qu Y, Xu C T 2008 *Appl. Surf. Sci.* **255** 1996
- [28] Zhong T T, Qin Y F, Lv F Z, Qin H J, Tian X D 2021 *Nanoscale Res. Lett.* **16** 178
- [29] Li X L, Li X P, Chen P 2021 *J. Electron. Mater.* **50** 3972
- [30] Kim B, Mahata C, Ryu H, Ismail M, Yang B, Kim S 2021 *Coatings* **11** 451
- [31] Hu C, Wang Q, Bai S, Xu M, He D Y, Lu D Y, Qi J 2017 *Appl. Phys. Lett.* **110** 073501
- [32] Gu T K 2014 *J. Appl. Phys.* **115** 203707
- [33] Junga K, Kimb K, Songc S, Park K 2019 *Microelectron. Eng.* **216** 111015
- [34] Chen Y 2015 *M. S. Thesis* (Kaifeng: Henan University) (in Chinese) [陈勇 2015 硕士学位论文 (开封: 河南大学)]

Resistance switching effect regulated by magnetic field in Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO multilayers

Zhang Xing-Wen He Chao-Tao Li Xiu-Lin Qiu Xiao-Yan
Zhang Yun Chen Peng[†]

(School of Physics Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

(Received 2 April 2022; revised manuscript received 18 May 2022)

Abstract

The 21st century is an era of information. In recent years, people's demand for better data storage performance and stronger data processing capacity of memorizer has been increasing, which has prompted continuous improvement and innovation of semiconductor integrated processes and technologies and accelerated the research progress of the next generation of memory devices to break through the limits of Moore's law. Resistive memory has been regarded as an important candidate for the next generation of non-volatile random access memory due to its main characteristics such as fast reading speed, high storage density, long storage time, low power consumption, and simple structure. Resistive switching effects have been observed in various transition metal oxides and complex perovskite oxides, but the appropriate description of the resistive switching drive mechanism is still an important issue in the development of resistive random access memories. Therefore, further research is very important to clearly explain the phenomenon of resistance switching. With the demand for data storage and sensor applications increasing, materials with excellent ferroelectric and ferromagnetic properties have attracted great attention. The ZnO is an important semiconductor material with excellent optical and electrical properties. Bismuth ferrate (BiFeO₃) has received much attention due to its excellent properties in epitaxial and polycrystalline thin films, with hundreds of publications devoted to it in the past few years. The ZnO and BiFeO₃ are both important electronic materials and have important application value. Therefore, ZnO/BiFeO₃/ZnO structure is adopted in this work to study the resistance switch characteristics. The resistance conversion effect in ZnO/BiFeO₃/ZnO structure is measured. In this work, the Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO multilayer nano-film storage device is prepared by magnetron sputtering coating technology. The device is characterized by X-ray diffractometer, scanning electron microscope and other equipment, and its resistance performance is further tested by Keithley 2400. The device exhibits obvious bipolar resistance switching effect, and the resistance switching characteristics of the sample, including switching ratio, tolerance and conductivity, vary significantly with the interference of the applied magnetic field. The bipolar resistance switching effect can be explained by the capture and release of oxygen vacancies trapped inside the material. The effect of magnetic field on Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO/ITO thin film device should be attributed to the change of schottky barrier at Ni/ZnO interface, caused by magnetic field.

Keywords: multilayer nanofilm structure, resistance switching effect, magnetic control, oxygen vacancies

PACS: 73.50.-h, 75.50.-y, 85.25.Hv, 85.30.Hi

DOI: 10.7498/aps.71.20220609

[†] Corresponding author. E-mail: pchen@swu.edu.cn



Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO多层膜中磁场调控的电阻开关效应

张兴文 何朝滔 李秀林 邱晓燕 张耘 陈鹏

Resistance switching effect regulated by magnetic field in Ni/ZnO/BiFeO₃/ZnO multilayers

Zhang Xing-Wen He Chao-Tao Li Xiu-Lin Qiu Xiao-Yan Zhang Yun Chen Peng

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 71, 187303 (2022) DOI: 10.7498/aps.71.20220609

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.71.20220609>

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

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于Au/TiO₂/FTO结构忆阻器的开关特性与机理研究

Resistive switching characteristics and resistive switching mechanism of Au/TiO₂/FTO memristor

物理学报. 2018, 67(15): 157302 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20180425>

多铁性钙钛矿薄膜的氧空位调控研究进展

Oxygen vacancies induced tuning effect on physical properties of multiferroic perovskite oxide thin films

物理学报. 2018, 67(15): 156101 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20181028>

富锂锰基三元材料Li_{1.167}Ni_{0.167}Co_{0.167}Mn_{0.5}O₂中的氧空位形成

Formation of oxygen vacancies in Li-rich Mn-based cathode material Li_{1.167}Ni_{0.167}Co_{0.167}Mn_{0.5}O₂

物理学报. 2022, 71(17): 178202 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20220274>

La施主掺杂SrTiO₃单晶的阻变性能研究

Resistance switching of La doped SrTiO₃ single crystals

物理学报. 2018, 67(18): 187303 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20180904>

Pt/BiFeO₃/Nb:SrTiO₃异质结的光伏效应和光调控整流特性

Photovoltaic effect and photo-assisted diode behavior in Pt/BiFeO₃/Nb-doped SrTiO₃ heterojunction

物理学报. 2020, 69(12): 127301 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200280>

铟掺杂钨位增强钨酸铋氧空位光催化效率

Enhancing oxygen vacancy photocatalytic efficiency of bismuth tungstate using In-doped W site

物理学报. 2019, 68(21): 217102 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20191010>