

嵌入 Ag 纳米颗粒层的 DNA 忆阻器

王媛 董瑞新 闫循领

Organic memristive devices based on DNA embedded in silver nanoparticles layer

Wang Yuan Dong Rui-Xin Yan Xun-Ling

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 048402 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.048402

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.048402>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I4>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于传递函数的频率选择表面集总参数研究

Study on the lumped parameters of FSS in terms of the transfer function

物理学报.2014, 63(13): 137301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.137301>

温度改变对钛氧化物忆阻器导电特性的影响

Influence of temperature change on conductive characteristics of titanium oxide memristor

物理学报.2014, 63(9): 098402 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.098402>

横截面积参数对钛氧化物忆阻器导电特性的影响

Influence of the cross section area on the conductive characteristics of titanium oxide memristor

物理学报.2014, 63(4): 048401 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.048401>

Ku/Ka 波段双通带频率选择表面雷达罩设计研究

Design and study on the dual-band radome with FSS operation at Ku-/Ka-band

物理学报.2013, 62(23): 237302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.237302>

利用等效电路模型快速分析加载集总元件的微型化频率选择表面

Quick analysis of miniaturized-element frequency selective surface that loaded with lumped elements by using an equivalent circuit model

物理学报.2013, 62(20): 207301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.207301>

嵌入Ag纳米颗粒层的DNA忆阻器*

王媛 董瑞新 闫循领†

(聊城大学物理科学与信息工程学院, 山东省光通信和科学技术重点实验室, 聊城 252059)

(2014年8月10日收到; 2014年10月13日收到修改稿)

构建了具有“Al/DNA-CTMAB/Ag NPs/DNA-CTMAB/ITO”结构的有机忆阻器件, 并对其电流-电压 ($I-V$) 曲线进行测量. 结果表明, 嵌入Ag纳米颗粒层, 不仅可以增强器件的导电性, 而且忆阻特性也显著提高. 当颗粒粒径在15—20 nm范围时, 开-关电流比 I_{ON}/I_{OFF} 能够达到 10^3 . 器件的 $I-V$ 特性受扫描电压幅值 V_A 的影响, 随着 V_A 的增大, 高阻态的电流变化较小, 而低阻态的电流明显增大, 开(或关)电压 V_{SET} (V_{RESET}) 和 I_{ON}/I_{OFF} 增加. 实验还发现, 器件高低阻状态的相互转换取决于外加电场的方向, 说明该忆阻器具有极性.

关键词: 有机忆阻器, DNA生物聚合物, Ag纳米颗粒

PACS: 84.32.-y, 73.61.-r, 73.21.Ac, 85.35.-p

DOI: 10.7498/aps.64.048402

1 引言

基于薄膜材料的阻变存储器 (resistive random access memory) 以其结构简单、集成度高、功耗低等优势受到业界的极大关注^[1-3]. 近年来, 随着人们对电子产品需求的提高, 高速、便捷、柔性存储器的开发成为研究的热点领域之一. 有机聚合物材料因其具有柔韧性高、成本低、可实现大面积成膜和三维堆叠等优点^[4,5]引起了人们对有机忆阻器的极大兴趣^[6]. 与无机忆阻器件相比, 有机忆阻器件还有很多关键性能参数方面的问题需要解决: 开关比、响应速度、稳定性、存储密度等, 其工作机理以及制备和加工过程中所涉及的新结构、新材料、新方法等也有待进行深入的研究. 目前, 国内外越来越多的研究人员对不同结构的有机忆阻器进行了研究, 阻变层包括单层有机物^[7,8]、有机物-金属纳米颗粒 (NPs) 混合物^[9,10], “有机/金属颗粒/有机” (OMO) 三明治结构等^[11,12]. 其中, “电极/OMO/电极”结构的器件因其稳定性好和可重复率高而备受关注. 文献^[12-14]利用热蒸

发技术制备了阻变层“有机/Al NPs/有机”, 研究了其忆阻性能与中间Al NPs层的厚度以及颗粒尺寸的关系, 并且发现当颗粒层的厚度小于10 nm时器件的忆阻效应消失. 2013年, Jin等^[15]通过在聚三己基噻吩高分子与聚酰亚胺 (PI) 层之间蒸镀Au NPs, 实现了忆阻效应, 并且稳定性较好, 扫描周期达100以上. 2014年, Liu等^[16]制备的ITO (氧化铟锡)/PS (聚苯乙烯)/Ag/PI/Al器件同样表现出了很好的重复性, 并且开-关电流比 I_{ON}/I_{OFF} 达到 10^3-10^4 . 但以上器件都是通过热蒸发技术在有机薄膜上沉积金属颗粒制备的, 颗粒的大小很难控制, 而且和旋涂法相比, 成本高、制备工艺复杂. 与以上研究不同, 本文以脱氧核糖核酸 (DNA) 和Ag NPs为材料, 采用旋涂法制备了结构为Al/DNA-CTMAB/Ag NPs/DNA-CTMAB/ITO的有机忆阻器件. 一方面, DNA作为众所周知的有机生物材料之一, 具有独特的双螺旋结构、物理化学稳定性、力学刚性和自组装等优势, 但将其作为有机忆阻器的材料之一进行研究的报道却很少; 另一方面, 该方法成本低、制备工艺简单, 而且Ag NPs的尺寸能够很好地得到控制.

* 国家自然科学基金 (批准号: 11375081) 和山东省自然科学基金 (批准号: ZR2012FM026, ZR2012FL20) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: yanxunling@luc.edu.cn

这些为有机忆阻器的研究提供了一种新的材料和方法.

2 实验部分

2.1 实验试剂

实验所用小牛胸腺DNA和阳离子表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵(CTMAB)购自美国Sigma-Aldrich公司;柠檬酸三钠购自天津市福晨化学试剂厂(中国);硝酸银(AgNO_3 , AR级)购自郑州Paini化学试剂厂(中国);无水乙醇的纯度为99.5%,实验用水为二次蒸馏水.

2.2 Ag NPs的制备

首先将60 mg AgNO_3 溶解在300 mL蒸馏水中,放入微波炉中加热至沸腾.然后将8 mL浓度为1%的柠檬酸三钠溶液缓慢加入到上述溶液中,再次加热沸腾1 min,自然冷却24 h. Ag NPs的形貌和粒径通过原子力显微镜(AFM)(DCP11型, NT-MDT公司)表征.图1是扫描范围为 $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$ 的Ag NPs的三维图像.由图1可以看出,颗粒较均匀,直径约为8 nm.

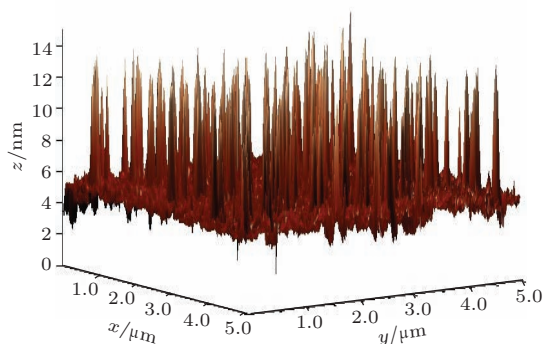


图1 Ag NPs的AFM图像(x 和 y 分别为在薄膜表面的纵向和横向扫描范围, z 为颗粒的直径)

2.3 DNA-CTMAB的制备

首先,将DNA以1 g/L的浓度溶于蒸馏水中,室温下搅拌一天后超声处理2 min;将CTMAB以1 g/L的浓度溶于蒸馏水,并超声处理30 min,得到澄清的溶液;然后,将DNA水溶液以1:1的体积比缓慢地加入到CTMAB水溶液中并放置约5 h,形成DNA-CTMAB沉淀物;再通过离心分离,用蒸馏水洗涤,收集沉淀物,在真空中 $39\ ^\circ\text{C}$ 下干燥24 h;最后,将DNA-CTMAB沉淀物以6 mg/L的浓度溶解在乙醇中,并在室温下搅拌24 h后备用.

2.4 实验方法

本实验以刻蚀好的ITO导电玻璃为基片,分别用超纯水、丙酮和乙醇对其进行超声清洗后进行DNA-CTMAB薄膜的旋涂,旋涂仪参数设置为先低速(400 r/min)旋转6 s,再高速(2000 r/min)旋转25 s;再以相同旋涂参数分别旋涂Ag NPs层和DNA-CTMAB层;最后放入真空蒸发设备中,在真空度为 10^{-5} Torr ($1\ \text{Torr} = 1.33322 \times 10^2\ \text{Pa}$)的真空环境下,进行金属电极Al的蒸发.利用石英振荡器监控沉积速率和薄膜厚度,沉积速率控制在0.1—0.2 nm/s之间,薄膜厚度约为25 nm. Al电极的图案通过掩模板实现. Al电极和ITO电极的宽度分别为3 mm和2 mm,器件结构如图2所示.

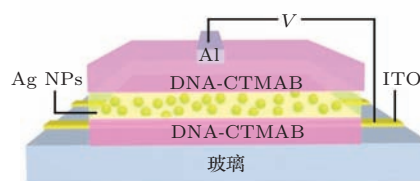


图2 Al/DNA-CTMAB/Ag NPs/DNA-CTMAB/ITO器件的结构示意图

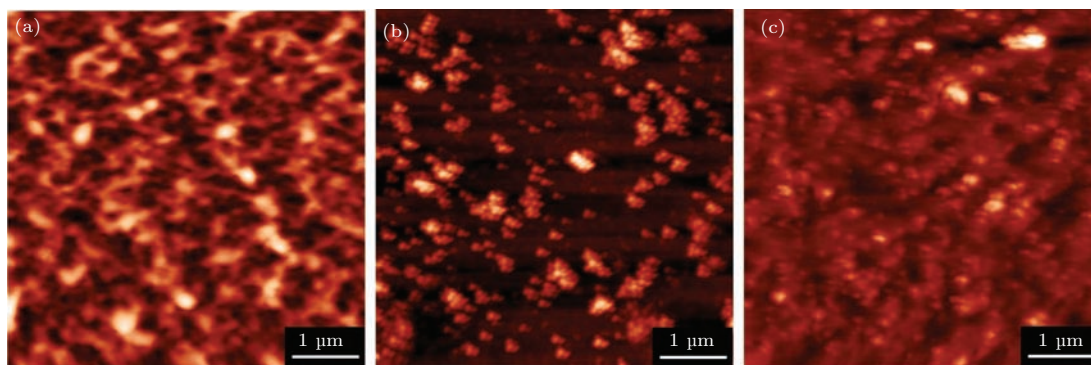


图3 阻变层各层的AFM表面形貌图 (a)底层;(b)中间层;(c)顶层

薄膜的厚度采用轮廓膜厚分析仪D-100进行测量: ITO的厚度约为140 nm, DNA-CTMAB约80 nm厚, 阻变层的总厚度约为200 nm. 图3为阻变层各层的AFM表面形貌图. 图3(a)为底层DNA-CTMAB的表面形貌, 表面较均匀且无明显孔洞; 图3(b)为中间Ag NPs层的表面形貌, 颗粒虽有少量的团簇现象, 但其分布仍然比较均匀; 图3(c)为顶层DNA-CTMAB的表面形貌, 与底层相比, 其表面更加致密平整, 粗糙度约为13 nm. 器件的电流-电压(I - V)特性曲线采用吉时利2400-SCS半导体参数分析仪测量, 扫描电压设置为 $0 \rightarrow V_{MAX} \rightarrow 0 \rightarrow -V_{MAX} \rightarrow 0$, 并且若无特殊说明, Al电极接地, 在ITO电极上施加偏压. 所有测试都是在室温条件下大气环境中进行.

3 结果与分析

3.1 Al/DNA-CTMAB/AgNPs/DNA-CTMAB/ITO 器件的忆阻特性

在不同的扫描电压幅值下对器件Al/DNA-CTMAB/Ag NPs/DNA-CTMAB/ITO进行测量, 其 I - V 曲线如图4所示. 由图4可以看出, 在不同 V_A 下, 器件均表现出明显的忆阻特性: 在电压由 $0 \rightarrow V_{MAX}$ 扫描的过程中, 器件先保持在高阻态, 当电压超过置位(set)电压 V_{SET} 之后, 随着电压的增大, 电流迅速增大, 器件转换为低阻态, 此过程为“写”; 反过来, 当电压由 $V_{MAX} \rightarrow 0$ 扫描时, 器件仍维持在低阻态, 此过程为“读”; 接着, 在电压由 $0 \rightarrow -V_{MAX}$ 扫描的过程中, 在复位(reset)电压 V_{RESET} 处, 器件又由低阻态转换到高阻态, 此过程为“擦”; 电压再由 $-V_{MAX} \rightarrow 0$ 扫描时, 器件维持在高阻态, 此过程为“读”. 也就是说, 该器件可以用来实现“写-读-擦-读”操作.

随着 V_A 的增大, 高阻态的电流变化较小, 而

低阻态的电流明显增大, 并且 V_{SET} , $-V_{RESET}$ 以及 V_{RESET} 处的电流($-I_{RESET}$)都有所增大, 其数值见表1. 同时, 随着 V_A 的增大, I_{ON}/I_{OFF} ($V = 1$ V)也增大, 器件的忆阻特性呈现出增强的趋势, 与Quyang^[17]的报道类似. 此外, 通过对器件进行连续扫描发现其稳定性较好, 重复扫描50个周期以上, 器件仍保持较好的忆阻特性. 但是, 如果 V_A 过高 (> 20 V), 扫描几个周期之后器件就会损坏; 如果太小 (< 6 V), 则几乎没有忆阻行为. 这表明器件的 I - V 特性受 V_A 的影响, 通过调节 V_A 可以小幅度地调节器件的忆阻性能.

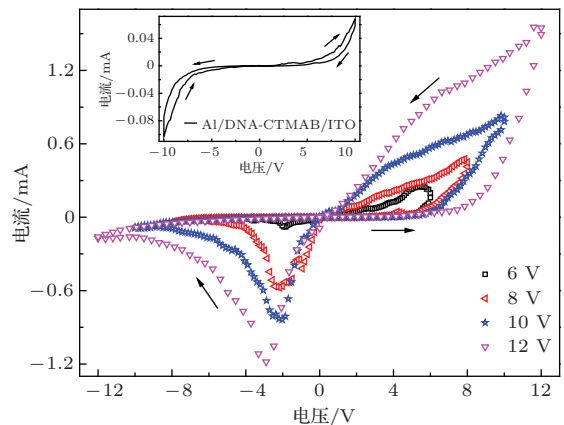


图4 (网刊彩色) 器件Al/DNA-CTMAB/Ag NPs/DNA-CTMAB/ITO及器件Al/DNA-CTMAB/ITO(内插图)的 I - V 特性曲线, 扫描方向如箭头所示

为了排除蒸镀Al电极时产生的 Al_2O_3 对忆阻性能的影响, 我们以同样的条件制备了不含Ag NPs层的Al/DNA-CTMAB/ITO器件, 其 I - V 曲线如图4的内插图所示. 可以看出, 该器件的忆阻特性不明显, 电流仅为含Ag NPs层器件电流的1/40, 并且低阻态电流与高阻态电流之间的差异非常小. 由此可知, Al_2O_3 对Al/DNA-CTMAB/Ag NPs/DNA-CTMAB/ITO器件忆阻特性的贡献非常小.

表1 不同 V_A 下的 V_{SET} , V_{RESET} , I_{RESET} 以及 I_{ON}/I_{OFF}

	V_A/V			
	6	8	10	12
V_{SET}/V	4.58	5.15	5.25	7.03
V_{RESET}/V	-1.95	-2.24	-2.52	-2.9
I_{RESET}/A	-6.4×10^{-5}	-5.9×10^{-4}	-8.2×10^{-4}	-1.43×10^{-3}
I_{ON}/I_{OFF} ($V = 1$ V)	~ 326	~ 487	~ 514	~ 537

3.2 颗粒大小对器件 I - V 特性的影响

为了研究 Ag NPs 的大小对器件忆阻性能的影响, 我们通过控制不同的沸腾时间, 制备了不同粒径的 Ag NPs, 其 AFM 图像如图 5(a)—(c) 所示, 可以看出其粒径分别为 12 nm, 15—20 nm 和 35—40 nm, 对应器件的 I - V 曲线如图 5(d) 所示. 从图 5(d) 可以看出, 器件的 I - V 曲线随颗粒尺寸变化明显, 其电流及 I_{ON}/I_{OFF} 值如表 2 所列. 随着颗粒尺寸的增大, 高、低阻态的电流都呈增大的趋势. 粒径为 8 nm 时, 器件在 3 V 的低阻态电流为 8.74×10^{-5} A; 粒径为 12—20 nm 时, 低阻态电流为 1.12×10^{-3} — 5.65×10^{-3} A; 而当粒径为 35—40 nm 时, 低阻态电流达到了 5.592×10^{-2} A. 也就是说,

随着 Ag NPs 尺寸的增大, 器件的导电性明显增强, I_{ON}/I_{OFF} 也逐渐升高, 器件的忆阻特性逐渐增强, 在粒径为 15—20 nm 时达到了 10^3 (在 3 V 时, 约为 1172). 再继续增大颗粒的尺寸, I_{ON}/I_{OFF} 反而减小, 器件的忆阻特性逐渐减弱, 与 Reddy 等^[13] 的报道类似. 可见, 选择适当尺寸的颗粒, 可以提高器件的导电能力及开关电流比.

从表 2 可以看出, 该器件的低阻态电流为 mA 量级, 这是由于器件的有效面积为 $2 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$. 而导电通道的数目与薄膜的有效面积成正比, 因此将顶电极改为微米宽度时, 电流将减小为 μA 量级; 同理, 顶和底电极的宽度均为微米尺度时, 电流将减小到 nA 量级.

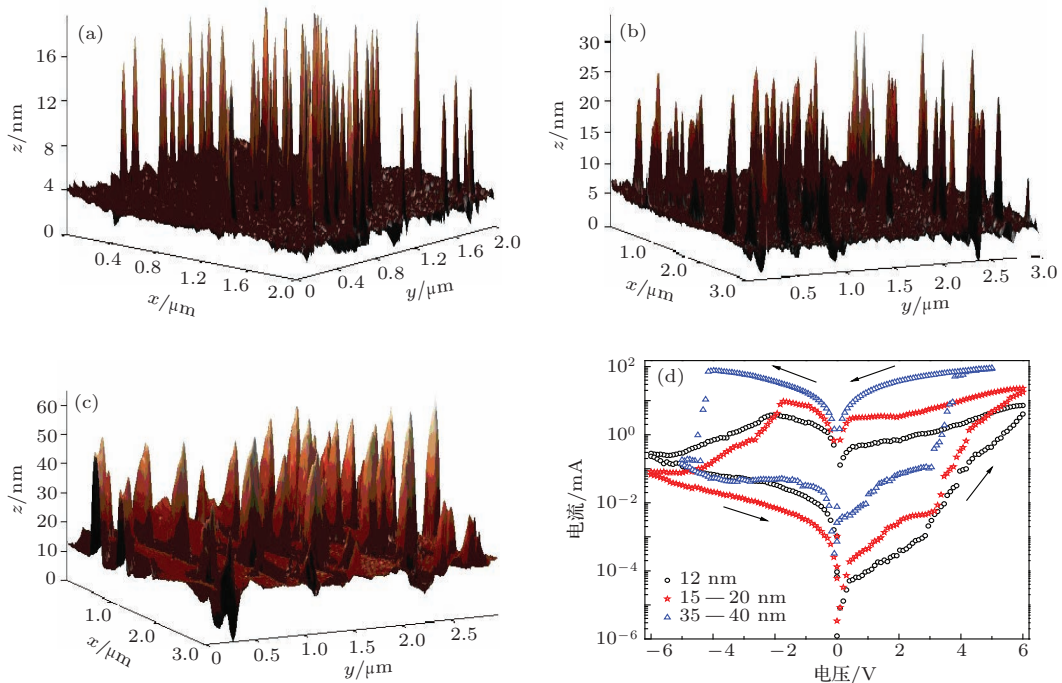


图 5 (网刊彩色) 不同粒径的 Ag NPs 的 AFM 图像及其对应器件的 I - V 曲线 (a) 12 nm; (b) 15—20 nm; (c) 35—40 nm; (d) I - V 曲线

表 2 Ag NPs 的粒径不同时器件 Al/DNA-CTMAB/Ag NPs/DNA-CTMAB/ITO 的 I - V 特性

	Ag NPs 的粒径/nm			
	8	12	15—20	35—40
I_{MAX}/A	2.52×10^{-4}	7.17×10^{-3}	2.296×10^{-2}	9.126×10^{-2}
I_{ON}/A ($V = 3 \text{ V}$)	8.74×10^{-5}	1.12×10^{-3}	5.65×10^{-3}	5.592×10^{-2}
I_{OFF}/A ($V = 3 \text{ V}$)	2.52×10^{-7}	2.53×10^{-6}	4.78×10^{-6}	1.06×10^{-4}
I_{ON}/I_{OFF} ($V = 3 \text{ V}$)	~ 347	~ 442	~ 1172	~ 528

3.3 器件的开关极性

我们发现, 如果交换上下电极的极性, 即将 ITO 电极接地、在 Al 电极上施加偏压, 那么所

测得的 I - V 曲线会发生有趣的变化. 图 6 给出了 Ag NPs 的粒径为 15—20 nm 时器件 Al/DNA-CTMAB/Ag NPs/DNA-CTMAB/ITO 的初始两个扫描周期的 I - V 特性曲线. 在第一个扫描周期

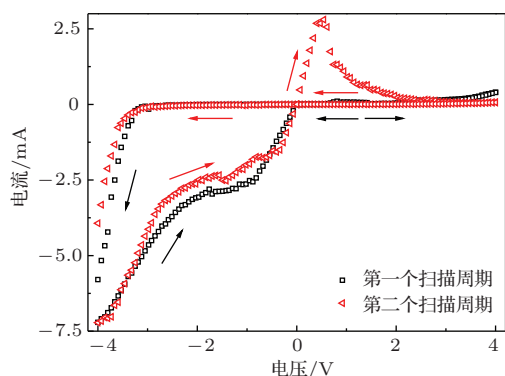


图6 (网刊彩色) ITO 电极接地的 I - V 特性曲线

(如黑色点线所示): 在电压由 $0 \rightarrow 4 \text{ V} \rightarrow 0$ 扫描时, 器件始终保持在高阻态; 由 $0 \rightarrow -4 \text{ V}$ 扫描, 当电压低于 -3.26 V 时, 反向电流快速增大, 器件由高阻态转换为低阻态; 再由 -4 V 扫描到 0 时, 器件仍维持在低阻态. 继续进行第二个循环扫描, 结果与第一次有所不同, 如图 6 红色点线所示: 在 $0-0.55 \text{ V}$, 器件仍保持在低阻态, 而随着电压的继续增大, 电流逐渐减小, 出现了负微分电阻现象, 器件转变到高阻状态; 电压在 $4 \text{ V} \rightarrow 0 \rightarrow -4 \text{ V} \rightarrow 0$ 范围扫描时, 得到的 I - V 曲线与第一个扫描周期中得到的结果基本相同. 再继续对器件进行重复循环扫描, 得到的结果都与第二个扫描周期相同. 非常有趣的是, 第二个扫描周期的图像旋转 180° 后与图 4 基本一致. 也就是说, 只有外电场的方向为 $\text{ITO} \rightarrow \text{Al}$ 时, 器件才可能会打开, 实现由高阻状态向低阻状态的转变; 电场的方向为 $\text{Al} \rightarrow \text{ITO}$ 时, 器件只能转变为 (或保持在) 高阻状态, 这表明器件的开关

具有极性, 即忆阻器的开和关可以分别通过在 ITO 和 Al 电极上施加正偏压来实现.

3.4 Ag NPs 层对 DNA 忆阻器性能的影响机理

在未嵌入 Ag NPs 层的 Al/DNA-CTMAB/ITO 器件中, 电流的产生主要靠电子的直接隧穿, 即电子由 Al 电极穿过活性介质到 ITO 电极, 如图 7 (a) 所示. 由于 DNA 生物聚合物近似是绝缘体, 大多数注入电子不能到达 ITO 电极, 因此电流较小, 并且器件的忆阻特性不明显. 嵌入 Ag NPs 层后, 电极与 Ag NPs 层之间的厚度较小, 电子在一定电压下能够较容易地由 Al 电极隧穿到 Ag NPs 层并被 Ag NPs 中的陷阱俘获^[16], 如图 7 (b) 所示. 虽然器件在电压增加的初始阶段处于高阻状态, 但是在 Ag 颗粒上已经积聚了一定的电荷. 当电压增大到一定值, 陷阱被填满, 继续增大电压, 尖锐的 Ag NPs 会产生尖端放电, 电子在电场作用下到达阴极, 形成导电通道, 如图 7 (c) 所示. 另一方面, 在极化电场的诱导下 Ag NPs 会发生氧化还原反应并沿电场方向发生迁移, 逐渐形成 Ag^+ 导电通道^[18], 使电流迅速增大, 器件转换到低阻状态. 当施加较大的负偏压时, 一方面陷阱中的电荷会脱陷, 如图 7 (d) 所示; 另一方面 Ag NPs 会发生反向氧化还原反应, Ag NPs 也进行反向迁移, Ag^+ 通道发生断裂, 电阻增大, 器件又由低阻态转变到初始的高阻态.

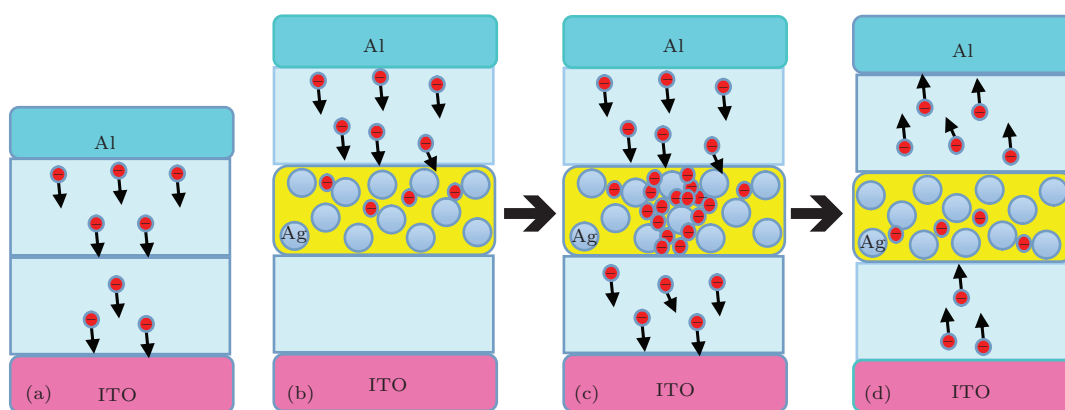


图7 Ag NPs 层对 DNA 忆阻器性能的影响原理示意图 (a) 未嵌入 Ag NPs; (b)—(d) 嵌入 Ag NPs

随着 Ag NPs 尺寸的增大, 接触面积增加, 颗粒之间的缝隙减小, 由此产生的势垒减小, 因此, 导电性增强, 高、低阻态的电流都增大, 颗粒俘获和释

放电荷的量增加, $I_{\text{ON}}/I_{\text{OFF}}$ 也呈增大的趋势. 随着 Ag NPs 尺寸的继续增大, 颗粒尖端放电的能力减小, 纳米效应减弱, 陷阱作用减弱, 因此 $I_{\text{ON}}/I_{\text{OFF}}$

反而减小, 阻变性能减弱.

另外, 由于ITO电极的功函数(4.9 eV)较高, 电子的注入能力相对较弱^[6], 当ITO电极接地、Al电极上施加偏压时, 电子在低电压下不能从ITO隧穿到Ag NPs层, 而被限制在DNA-CTMAB层中. 在库仑阻塞效应的作用下, 限制在DNA-CTMAB层中的电子会阻碍其他电子从ITO隧穿到Ag NPs层中. 因此, 在第一个扫描周期, 在正偏压范围内器件始终处于高阻态. Al电极的功函数(4.1 eV)较低, 电子的注入能力较强, 施加负偏压时, 电子能够从Al电极穿过DNA-CTMAB层隧穿到Ag NPs层并被陷阱俘获. 当电压达到某一特定值时, Ag NPs层中的陷阱全部被填满. 继续增大电压, 电子能够较容易地由Al电极隧穿到Ag NPs层, 再隧穿到ITO电极, 即电流会迅速增大, 器件转换到低阻态. 当正偏压达到一定值时, Ag NPs层中被俘获的电荷会脱陷, 形成库仑阻塞, 电阻增大, 使电流减小, 因此, 器件又转换到高阻态, 并如此继续循环.

4 结 论

我们利用DNA生物聚合物和Ag NPs制备了一种基于“有机/金属NPs/有机”结构的有机忆阻器件, 该器件能够很好地实现“写-读-擦-读”功能. Ag NPs层的嵌入, 不仅使器件的导电性明显增强, 而且忆阻特性显著提高. 在颗粒的粒径为15—20 nm时, 器件的忆阻性能最佳, 开关电流比最大(达到 10^3). 器件的开关具有方向性, 不同的电极连接方式, 可以实现对器件的开-关转变顺序的调控. 这些结论为忆阻器件的制备和实际应用提供了一定的参考.

参考文献

- [1] Chen R, Zhou L W, Wang J Y, Chen C J, Shao X L, Jiang H, Zhang K L, Lü L R, Zhao J S 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 067202 (in Chinese) [陈然, 周立伟, 王建云, 陈长军, 邵兴隆, 蒋浩, 张楷亮, 吕联荣, 赵金石 2014 物理学报 **63** 067202]
- [2] Wei X Y, Hu M, Zhang K L, Wang F, Liu K 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 047201 (in Chinese) [韦晓莹, 胡明, 张楷亮, 王芳, 刘凯 2013 物理学报 **62** 047201]
- [3] Zhang T, Yin J, Zhao G F, Zhang W F, Xia Y D, Liu Z G 2014 *Chin. Phys. B* **23** 087304
- [4] Chen J C, Liu C L, Sun Y S, Tung S H, Chen W C 2012 *Soft Matter* **8** 526
- [5] Ouyang J, Chu C W, Tseng R J H, Prakash A, Yang Y 2005 *Proc. IEEE* **93** 1287
- [6] Rong J L, Chen Y H, Zhou J, Zhang X, Wang L, Cao J 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 228502 (in Chinese) [容佳玲, 陈赞汉, 周洁, 张雪, 王立, 曹进 2013 物理学报 **62** 228502]
- [7] Chen J, Ma D 2005 *Appl. Phys. Lett.* **87** 023505
- [8] Lauters M, McCarthy B, Sarid D, Jabbour G E 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 013507
- [9] Ouyang J, Chu C W, Szmanda C R, Ma L, Yang Y 2004 *Nat. Mater.* **3** 918
- [10] Prakash A, Ouyang J, Lin J L, Yang Y 2006 *J. Appl. Phys.* **100** 054309
- [11] Tondelier D, Lmimouni K, Vuillaume D, Fery C, Haas G 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 5763
- [12] Ma L P, Liu J, Yang Y 2002 *Appl. Phys. Lett.* **80** 2997
- [13] Reddy V S, Karak S, Dhar A 2009 *Appl. Phys. Lett.* **94** 173304
- [14] Bozano L D, Kean B W, Beinhoff M, Carter K R, Rice P M, Scott J C 2005 *Adv. Funct. Mater.* **15** 1933
- [15] Jin Z W, Liu G, Wang J Z 2013 *AIP Adv.* **3** 052113
- [16] Liu G, Jin Z W, Zhang Z G, Wang J Z 2014 *Appl. Phys. Lett.* **104** 023303
- [17] Ouyang J 2013 *Org. Electron.* **14** 665
- [18] Tian X Z, Yang S Z, Zeng M, Wang L F, Wei J K, Xu Z, Wang W L, Bai X D 2014 *Adv. Mater.* **26** 3649

Organic memristive devices based on DNA embedded in silver nanoparticles layer*

Wang Yuan Dong Rui-Xin Yan Xun-Ling[†]

(Key Laboratory of Optical Communication Science and Technology of Shandong Province, School of Physical Science and Information Engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

(Received 10 August 2014; revised manuscript received 13 October 2014)

Abstract

Two-terminal electrical bistable device is fabricated with structure “Al/deoxyribonucleic acid-cetyltrimethylammonium bromide/silver nanoparticles/deoxyribonucleic acid-cetyltrimethylammonium bromide/indium tin oxide”, and I - V curves are measured. The results show that the conductivity and the memristive characteristics are significantly improved by the embedding Ag nanoparticles layer. The optimal particle diameters are in a range of 15–20 nm, and the maximum on/off current ratio can reach 10^3 . It is also found that I - V characteristic of the device depends on the sweeping voltage amplitude V_A . As V_A increases, switching voltages (V_{SET} , V_{RESET}) and the on/off current ratio I_{ON}/I_{OFF} increase. Furthermore, the transition between high-and low-resistance-state depends on the direction of the applied electric field, which shows that the device possesses polarity.

Keywords: organic memristive device, DNA biopolymer, Ag nanoparticles

PACS: 84.32.-y, 73.61.-r, 73.21.Ac, 85.35.-p

DOI: [10.7498/aps.64.048402](https://doi.org/10.7498/aps.64.048402)

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11375081) and the Natural Science Foundation of Shandong Province, China (Grant Nos. ZR2012FM026, ZR2012FL20).

[†] Corresponding author. E-mail: yanxunling@lcu.edu.cn