

多铁性 BiFeO₃ 外延薄膜受极化调制的导电特性研究取得新进展

BiFeO₃ (BFO) 作为室温单相多铁性材料，不但具有优越的铁电特性，同时由于电、磁、应变之间的耦合作用，可以实现用电场控制磁化，是研究新型多态磁电存储器的首选材料。最近，在 BFO 单晶中又观察到了与铁电极化相关的可反转的二极管整流特性。这种受铁电极化调控的导电行为，不但增加了多铁性 BFO 材料的多功能特性，也更加丰富了 BFO 的物理内涵，除了铁电、铁磁和铁弹三个序参量之间的耦合，电输运特性与三个参量之间也存在相互作用。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室(筹)光物理实验室金奎娟研究员领导的 L03 组，在氧化物薄膜的激光法制备和物理研究方面取得了丰硕的成果。最近，王灿副研究员、金奎娟研究员、吕惠宾研究员及杨国桢院士等人，利用激光分子束外延设备成功地制备了具有优越铁电性的 BFO 外延薄膜，并首次在 BFO 外延薄膜中观察到了可反转二极管特性和相应的电致电阻效应。研究表明，BFO 外延薄膜的可反转二极管特性与铁电极化相关，二极管的正向导通方向受铁电极化的方向控制，因此二极管的极性随着铁电极化的反转而发生反转。他们分析了 BFO 外延薄膜与氧空位相关的半导体特性，提出了受铁电极化调制的肖特基势垒模型，阐述了相关物理现象的产生和机制。该研究发表在 [Appl. Phys. Lett. 98, 192901 \(2011\)](#)。

同时，他们与复旦大学等单位合作，系统地研究了 BFO 外延薄膜的阻变特性与铁电极化的关系，获得了电阻转变受铁电极化控制的实验证据，为设计和开发新型高密度铁电电阻存储器提供了材料和物理基础。由铁电极化控制的电阻转变现象被称为铁电电致电阻，与普通电致电阻的产生机制不同。普通电致电阻行为多数被认为是由于与缺陷相关的导电通道的形成和断开引起，是缺陷控制的非稳态行为；而铁电电致电阻是受铁电极化的两个稳态控制的，具有更好的稳定性，所以铁电电阻存储可以克服普通电阻存储面临的稳定性问题。此外，传统的铁电存储器是利用铁电极化的两个方向表示二进制数据的，极化反转的速度很快，但是读取极化电荷的电压必须要高于矫顽电压，是破坏性读出，需要相应的恢复电路；而利用铁电电阻效应，可以通过电阻大小实现极化方向的读出，是小电压非破坏性读出，不需要恢复电路，可以降低能耗并获得更高的存储密度。相关工作发表在 [Adv. Mater. 23, 1277 \(2011\)](#)。

新型铁电电阻存储不但可以克服电阻存储器的稳定性问题，并且保留了电阻存储的高密度特性、以及铁电存储的高速读写特性。相关研究为高速大容量铁电存储器的设计开辟了新的途径，这意味着在数字信息存储领域，有望诞生读写速度更快、体积更小、能耗更低、可靠性更强的新型非挥发存储器，可以替代市场上的多种存储器，具有极大的应用潜力和商业前景。

相关工作得到了国家自然科学基金，科技部 973 等项目的支持。

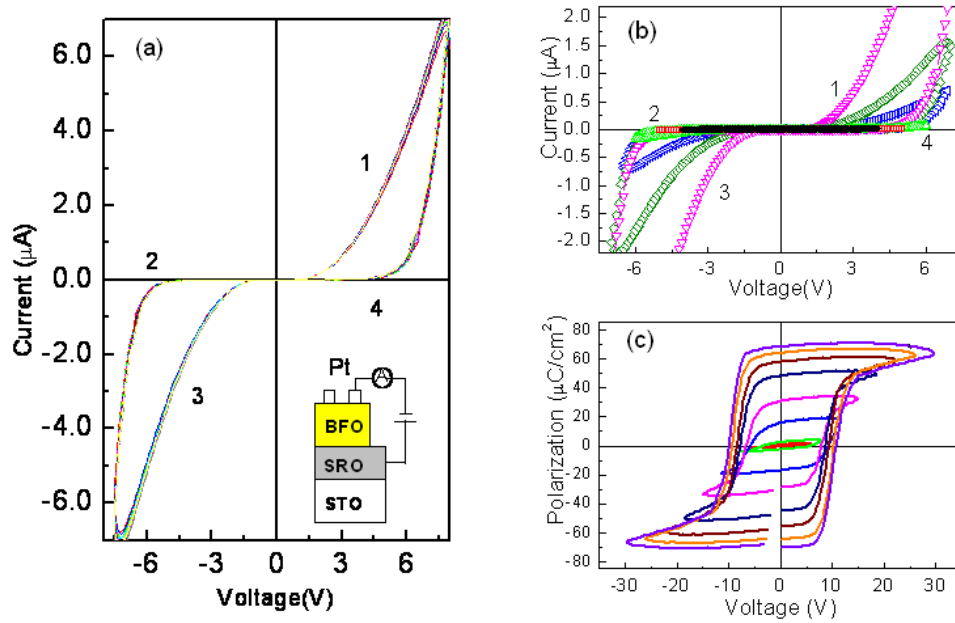


图 1. 电流电压(IV)关系曲线与铁电电滞回线。(a) BFO 外延薄膜的 IV 曲线，显著的回线特征表示 BFO 薄膜具有电致电阻特性，图中数字表示 IV 测量顺序。(b) IV 回线随测量电压增加逐渐增大。(c) BFO 外延薄膜的铁电极化回线。

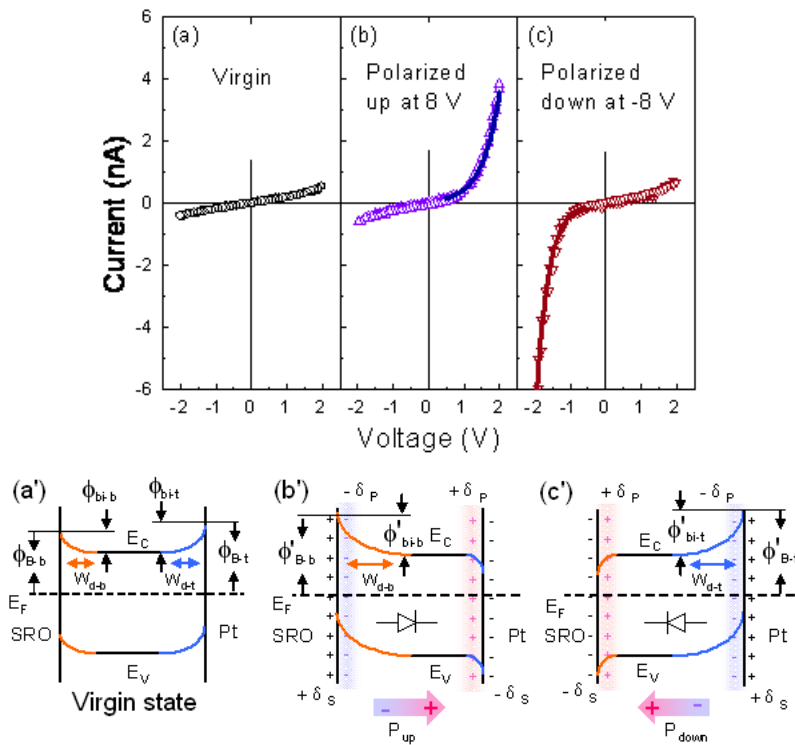


图 2. 可反转二极管特性与机制分析。(a)(b)(c)分别表示 BFO 外延薄膜初始态、向上极化、向下极化三个状态的导电特性。外加脉冲电压极化后，薄膜的 IV 特性呈现二极管整流效应，二极管导电极性方向可随脉冲电压极性即铁电极化方向变化而发生改变。(a')(b')(c') 分别对应 BFO 薄膜不同极化状态下的能带示意图，表示受铁电极化调制的 Schottky 势是导致可反转二极管特性的主要机制。

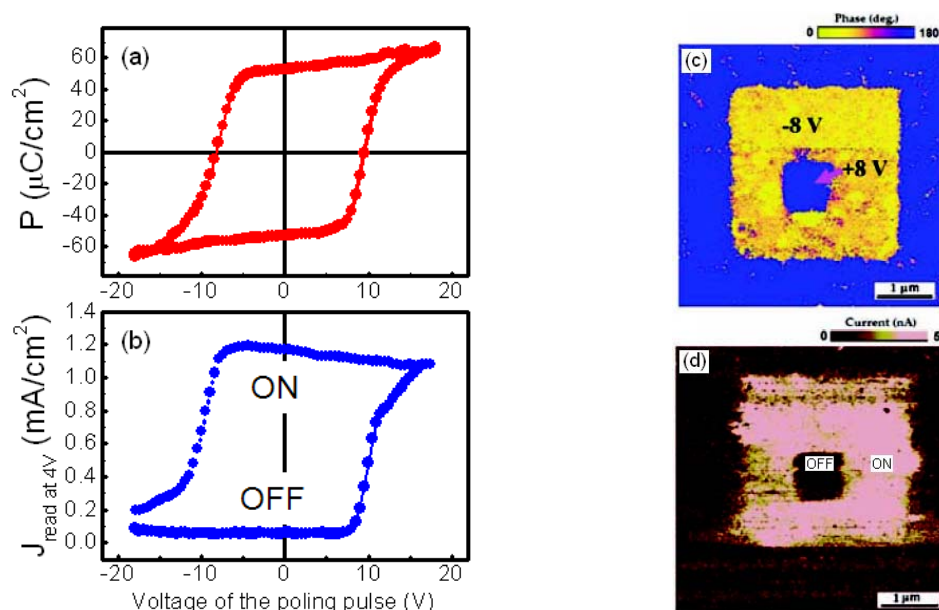


图 3. BFO 外延薄膜的电阻依赖铁电极化变化的证据。(a) 不同脉冲电压下测量的剩余极化强度(脉冲电压幅度从-20V 到 20V, 再到-20V); (b) 施加不同幅度脉冲电压后, 在 4V 测量的电流密度, 表示 BFO 的电阻改变对应着铁电极化强度的变化。(c)BFO 外延薄膜的压电力显微图(PFM), 实现局部微区的不同极化状态;(d)导电原子力显微图片(Conductive AFM),表示 BFO 薄膜微区的电阻随极化状态的不同而改变。

文章连接:

1. [*Switchable diode effect and ferroelectric resistive switching in epitaxial BiFeO₃ thin films*](#)
2. [*A Resistive Memory in Semiconducting BiFeO₃ Thin Film Capacitors*](#)