

成分调制的 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 复合隧道结*

于敦波¹⁾²⁾³⁾ 丰家峰²⁾ 杜永胜³⁾ 韩秀峰^{2)†} 严辉³⁾ 应启明¹⁾ 张国成¹⁾

¹⁾ 北京有色金属研究总院, 有研稀土新材料股份有限公司, 北京 100088)

²⁾ 中国科学院物理研究所磁学国家重点实验室, 北京 100080)

³⁾ 北京工业大学材料学院薄膜材料与技术研究室, 北京 100022)

(2004 年 11 月 19 日收到, 2005 年 2 月 15 日收到修改稿)

利用磁控溅射和 Sr 成分的调制以及原位热处理方法, 在 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 大小的 (001) 取向 SrTiO_3 单晶衬底上制备出三明治结构为 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (100nm)/ $\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3$ (5nm)/ $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (100nm) 的隧道结外延薄膜, 然后再次利用磁控溅射方法, 在三层单晶膜上方继续沉积 $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}$ (15nm)/ $\text{Ni}_{79}\text{Fe}_{21}$ (5nm)/P (20nm) 等金属三层膜. 最后利用深紫外曝光和 Ar 离子束刻蚀等微加工技术, 制备出长短轴分别为 12 和 $6\mu\text{m}$ 或者 8 和 $4\mu\text{m}$ 大小的椭圆形 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 成分调制的复合磁性隧道结. 在 4.2K 和外加磁场 8 T 的测试下, $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 成分调制的复合磁性隧道结其隧穿磁电阻 (TMR) 比值达到 3270%, 直接从实验上证实了铁磁性 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 金属氧化物的自旋极化率 (97%) 可接近 100%, 具有很好的半金属性质.

关键词: $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$, 半金属, 成分调制, 复合磁性隧道结, 隧穿磁电阻

PACC: 7570P, 7340G, 7340R

1. 引言

钙钛矿稀土锰氧化物 ($\text{RE}_{1-x}\text{TM}_x\text{MnO}_3$, RE 为稀土元素, TM 为二价碱土金属) 由于具有丰富多样的凝聚态物理特性 (如铁磁、反铁磁、顺磁、绝缘、金属性质等) 并呈现巨大的磁电阻效应 (colossal magneto-resistance, CMR), 因此引起了人们的广泛兴趣和研究^[1-3]. 该类化合物另外一个重要性质为半金属特性, 即只有一个自旋子能带在费米面上有传导电子, 而对于另一个子能带, 费米能级恰好落在价带和导带的能隙中. 因而费米面上所有的传导电子都具有相同的自旋方向, 自旋极化率 (P) 可达 100%, 远远超过一般金属和合金的自旋极化率 (约 10%—50%). 因此, 深入和系统研究钙钛矿稀土锰氧化物, 设计有人工结构的先进和新型功能材料, 能为开发多种磁敏传感器、光控和磁控自旋阀开关、自

旋晶体管和和其它自旋相关的新一代自旋电子学器件奠定坚实的物理基础^[4-10].

利用钙钛矿稀土锰氧化物的铁磁、反铁磁、绝缘体、特别是其半金属性质, 可以人工设计先进的复合磁性材料, 充分利用钙钛矿稀土锰氧化物的特殊性质. 根据 Julliere 模型^[11], 对一个具有铁磁性金属/绝缘体/铁磁性金属 (FM/I/FM) 三明治结构的磁性隧道结, 其隧穿磁电阻 (tunnel magnetoresistance, TMR) 可以表示为 $\text{TMR} = (R_{\text{AP}} - R_{\text{P}}) / R_{\text{P}} = 2P_1 P_2 / (1 - P_1 P_2)$, 其中 R_{AP} 和 R_{P} 分别为两铁磁层磁化强度处于反平行和平行时隧道结的电阻值, P_1 和 P_2 分别为两铁磁层的自旋极化率. 所以, 当两个铁磁电极均采用半金属、其自旋极化率 P_1 和 P_2 接近 100% 时, TMR 将趋于无穷大. 正因为如此, 制备和研究具有巨大的潜在应用价值和学术价值的锰氧化物复合隧道结, 一直是一个有吸引力的前沿课题. 1996 年, 布朗大学的 Lu 等人首先制备了 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3/\text{SrTiO}_3/$

* 北京市自然科学基金 (批准号: 2021003), 科技部重大基础研究前期研究专项 (批准号: 2002CCC01300), 国家 973 基础研究专项 (批准号: 2001CB610601), 国家杰出青年基金 (批准号: 50325104), 国家自然科学基金中国爱尔兰重大国际合作项目 (批准号: 50271081) 和国家自然科学基金 (批准号: 10274103) 资助的课题.

† 联系作者, E-mail: xfhan@aphy.iphy.ac.cn

$\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 三明治结构,并在 4.2 K 低温下观测到了 83% 的隧穿磁电阻^[12].随后,国内外的研究人员相继进行了锰氧化物隧道结的探索^[13-27];图 1 给

出近几年以 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 为主的相关钙钛矿稀土锰氧化物隧道结的系列低温隧穿磁电阻的观测结果.

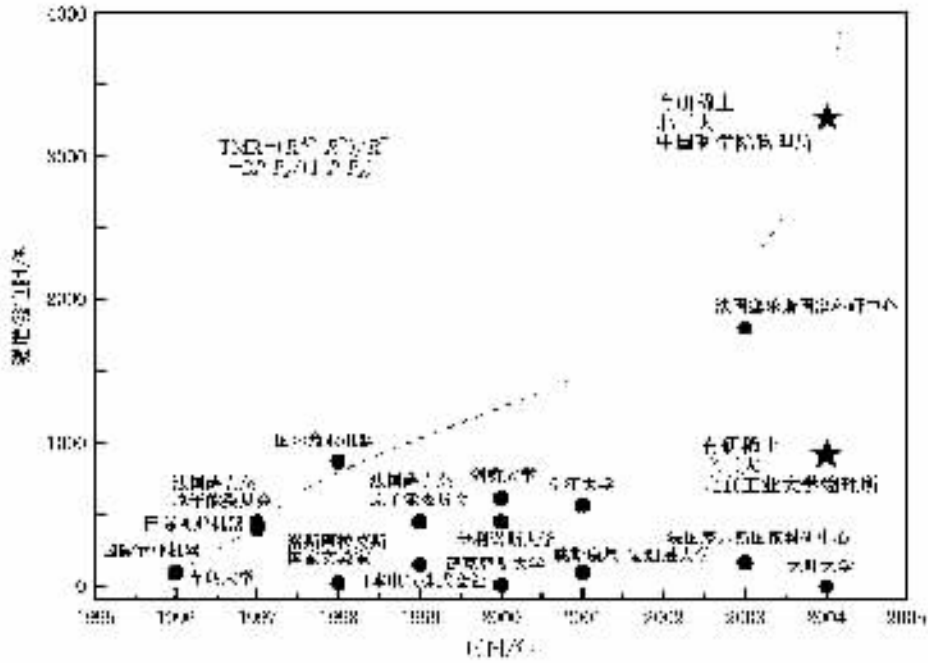


图 1 近几年锰氧化物隧道结 TMR 值的进展(实心圆点)和我们的最新结果(实五星),图中虚线展示 TMR 发展动态示意图,仅供参考方便

但这些结果与人们的期望值还相差甚远,如果按半金属的性质来推算其低温隧穿磁电阻比值仍然较小,人们开始怀疑锰氧化物隧道结的研究价值.2003年初,法国的 Bowen 所在的研究小组制备了 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3(35\text{nm})/\text{SrTiO}_3(2.8\text{nm})/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3(10\text{nm})/\text{Co-O}(15\text{nm})$ 复合隧道结,在 4.2 K 观测到高达 1850% 的隧穿磁电阻,这一结果无疑是一个重要进展^[25],但仍然未能完全达到对钙钛矿稀土锰氧化物复合隧道结的理论期望值.

在本文中,我们采用磁控溅射方法和深紫外曝光及离子刻蚀微加工制备技术,制备出成分调制的 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 复合磁性隧道结,其结构为 $\text{SrTiO}_3(001)\text{-Sub}/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3(001)[100\text{nm}]/\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3(001)[5\text{nm}]/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3(001)[100\text{nm}]/\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}[15\text{nm}]/\text{Ni}_{79}\text{Fe}_{21}[5\text{nm}]/\text{Pt}[20\text{nm}]$,并在 4.2K 和外加磁场 8 T 的测试下,观测到 3270% 巨大隧穿磁电阻,直接从实验上证实了铁磁性 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 金属氧化物的自旋极化率(97%)可接近 100%,具有

很好的半金属性质.

2. 实验方法

通过 Sr 成分调制技术,我们选择居里温度高的 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 作为铁磁层, $\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3$ 作为绝缘层,首先利用磁控溅射方法,在 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 大小的 (001) 取向 SrTiO_3 单晶衬底上制备出三明治结构为 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3(100\text{nm})/\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3(5\text{nm})/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3(100\text{nm})$ 的隧道结外延薄膜,靶材分别为 $\Phi 50 \times 4\text{mm}$ 的 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 和 $\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3$ 陶瓷靶,溅射功率为 100W,氩气和氧气混合溅射气体气压为 1Pa,比率为 $\text{Ar}:\text{O}_2 = 4:1$,基片温度 $700^\circ\text{C} - 750^\circ\text{C}$.溅射完毕后,保持基片温度不变,在氧气氛下原位热处理半小时. x 射线衍射的测试结果表明底部三层 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 为晶体取向沿(001)方向生长的外延膜(见图 2);然后再利用日本真空(ULVAC)公司制造的 MPS-4000-HC7 型超高真空、多功能磁控溅射仪,在三层单晶膜上方继续依次沉积钉扎层 $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}(15\text{nm})$ 缓冲层 $\text{Ni}_{79}\text{Fe}_{21}(5\text{nm})$ 和金属导电层

Pt (20nm) 等三层金属膜, 溅射前背景气压小于 1.0×10^{-7} Pa, 溅射时氩气 (Ar) 压为 0.07 Pa; 最后利用深紫外曝光和 Ar 离子束刻蚀等微加工技术, 制备出长短轴分别为 12 和 6, 8 和 $4\mu\text{m}$ 大小的椭圆形 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 复合磁性隧道结. 每片 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 大小的 SrTiO_3 单晶衬底上, 一次最多可制备两种尺寸共 24 个椭圆形隧道结. 样品的制备和微加工过程参见文献 [28, 29].

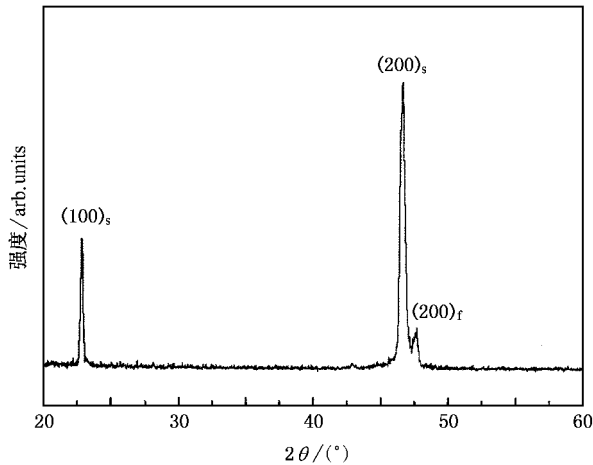


图 2 样品底部三层 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 的 x 射线衍射图, r 代表薄膜, s 代表衬底

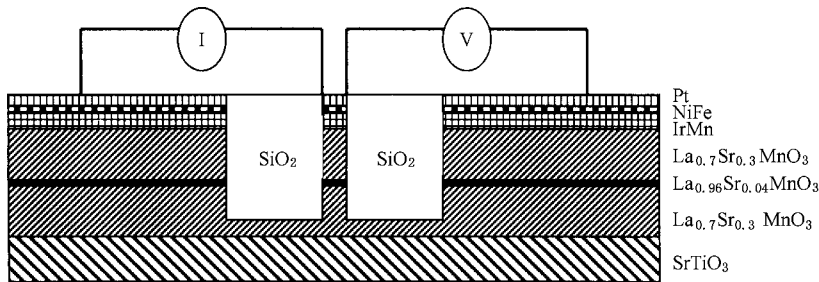


图 3 样品电极及隧道结的示意图

$\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 的半金属特性.

图 5 给出 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 隧道结的伏安特性 ($I-V$) 曲线, 该曲线呈现了典型的隧道结隧穿电流与偏置电压的非线性特征关系, 表明势垒层有很好的绝缘特性.

早在 1996 年, 理论计算结果表明 CMR 锰氧化物中普遍存在着上下自旋能带彼此错开的现象, 即 $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ 的自旋极化率为 100% [30, 31]. 1998 年, Park 等人用自旋分辨光电子谱测得在低温下 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 的自旋极化率为 100% , 为 CMR 锰氧化物的高自旋极化率提供了直接的实验证据 [32]. 然

3. 结果与讨论

我们采用标准四探针法和物理性质测试系统 (PPMS) 对隧道结样品的磁电输运特性进行了测量. 图 3 给出该半金属复合隧道结及其引出电极的分布截面示意图.

图 4 为在 4.2K、外加直流偏压为 10mV 时利用 PPMS 测得的电阻 (R) 和磁电阻 (TMR) 随外磁场变化的曲线. 外加磁场与电流垂直, 当磁场从 -8T 到 0 场再到 $+8\text{T}$ 逐渐增加时, 两铁磁层的磁化强度由平行状态转到反平行状态再到平行状态, 电阻从平行状态下的 $24.5\text{k}\Omega$ 增加到反平行状态时 $825.5\text{k}\Omega$. 相应的磁电阻变化率达到 3270% . 由于我们利用了相同成分和相同厚度及完全相同的实验条件来生长 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (100nm) 铁磁电极层, 所以可以认为上下两个磁电极具有相同的自旋极化率 $P_1 = P_2 = P^{[8]}$. 根据上述公式可以推算出 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 的自旋极化率达到 97% . 据文献检索所知, 该结果为已见报道的最好水平. 直接从实验上测出了铁磁性 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 金属氧化物的自旋极化率达到 97% , 故从简单器件 (隧道结) 的应用层面上, 证实了

而通过直接的电学和磁性测量方法, 尚未直接观测到钙钛矿稀土锰氧化物的自旋极化率可达 100% . 我们通过隧道结器件获得的实验结果首次从器件水平上直接印证了 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 的半金属特性, 与上述能带计算结果和自旋分辨光电子谱测试的结果相符合.

在 2003 年之前 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 复合磁性隧道结的隧穿磁电阻比值一直提高不上去, 一般认为其主要原因是铁磁层和绝缘层之间界面应力导致“死层”的存在, 从而降低了铁磁层在界面处的自旋极化率. Coey 和 Sun 等人 [33, 34] 根据不同厚度薄膜的电导, 证

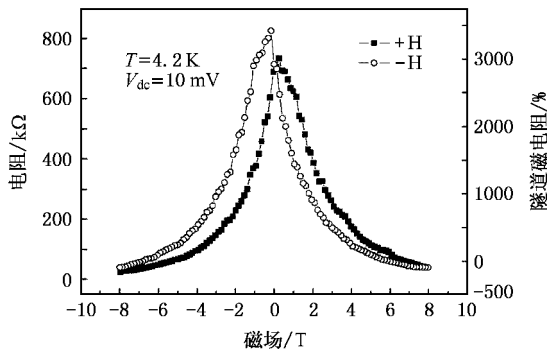


图4 温度4.2K和10mV直流偏压下,成分调制的LSMO复合隧道结其结电阻 R 和磁电阻TMR与外加磁场的关系曲线

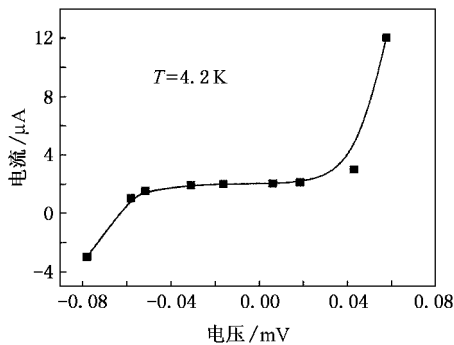


图5 低温4.2K下成分调制的 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 隧道结的伏安特性曲线

明界面处死层厚度大约3—5nm.而随后的Bowen等人发现在 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (35nm)/ SrTiO_3 (2.8nm)/ $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (10nm)/ Co-O (150nm)复合隧道结中,虽然LSMO和STO晶格错配率达到1.6%,但仍仅观察到1800%的隧穿磁电阻^[25].而我们的实验结果进一步表明,界面应力不是TMR值低的主要原因,而高质量的势垒层及其界面的制备是在钙钛矿锰氧化物复合隧道结中获得巨大隧穿磁电阻比值的关键.

相对于脉冲激光沉积(PLD)方法^[35],磁控溅射制备LSMO薄膜需要沉积后在氧气氛中进一步原位热处理,这样在界面处有轻微扩散产生将不可避免.本文实验中,我们巧妙的利用了LSMO相图的丰富性质,如图6所示(引自文献[36]),即随着Sr含量的增加,LSMO可以从反铁磁绝缘体(antiferromagnetic insulator, AFI)经历铁磁绝缘体(ferromagnetic insulator, FI)再到铁磁体(ferromagnetic metal, FM)状态的转变.虽然原子扩散会导致铁磁层

和绝缘层偏离原来成分,但从相图来看,在一个相当宽的成分范围内, $\text{La}_{0.7+\delta}\text{Sr}_{0.3+\delta}\text{MnO}_3$ 将保持铁磁态,而 $\text{La}_{0.96+\delta}\text{Sr}_{0.04+\delta}\text{MnO}_3$ 保持绝缘态,因而成分扩散不会从根本上改变隧道结的结构,相反会减少界面应力、优化界面.另外即使界面处有扩散发生,也只会使中间绝缘层减薄,有利于磁电阻的提高.所以,实验中我们选择了三层单晶外延薄膜 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (100nm)/ $\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3$ (5nm)/ $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (100nm)作为隧道结的核心结构.另外,我们在同期的对比实验当中,也采用了以 SrTiO_3 为中间势垒层,其隧道结的隧穿磁电阻比值要比用本研究中 $\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3$ 做势垒层的隧道结小得多.

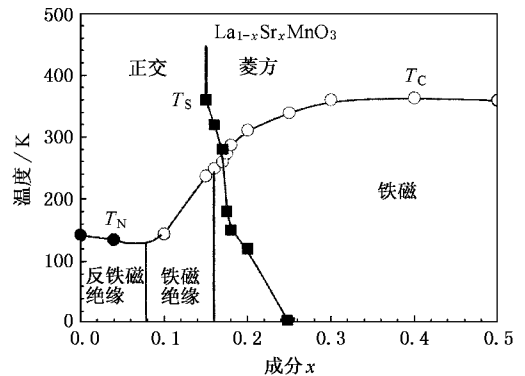


图6 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 的相图结构^[36],其中AFI代表反铁磁绝缘体,FI代表铁磁绝缘体,FM代表铁磁体

4. 结 论

我们利用磁控溅射和原位热处理方法,在(001)取向的 SrTiO_3 单晶衬底上制备出了结构为 SrTiO_3 (001)-Sub/ $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (001)[100nm]/ $\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3$ (001)[5nm]/ $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (001)[100nm]/ $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}$ [15nm]/ $\text{Ni}_{79}\text{Fe}_{21}$ [5nm]/P[20nm]的复合 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 隧道结.在4.2K和外加磁场8T的测试条件下,复合磁性隧道结的隧穿磁电阻(TMR)比值达到3270%,直接从实验上证实了铁磁性 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 金属氧化物的自旋极化率为97%,具有很好的半金属性质,为研制半金属性质的磁敏、电敏和光敏等新型自旋电子学器件指出了一种有希望的发展途径.

- [1] Von Helmolt R , Wecker J , Holzapfel B , Schultz L and Samwer K 1993 *Phys. Rev. Lett.* **71** 2331
- [2] Jin S , Tiefel T H , McCormack M , Fastnacht R A , Ramesh R and Chen L H 1994 *Science* **264** 413
- [3] Rao G H , Sun J R , Liang J K and Zhou W Y 1997 *Phys. Rev. B.* **55** 3742
- [4] Prinz G A 1998 *Science* **282** 1660
- [5] Wolf S A , Awschalom D D , Buhrman R A , Daughton J M and von Molnar S 2001 *Science* **294** 1488
- [6] Daughton J M 1997 *J. Appl. Phys.* **81** 3758
- [7] Freitas P P , Cardoso S , Sousa R , Ku W J , Ferreira R , Chu V and Conde J P 2000 *IEEE Trans. Magn.* **36** 2796
- [8] Han X F and Miyazaki T *et al* 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 263
- [9] Han X F and Miyazaki T *et al* 2001 *Phys. Rev. B.* **63** 224404
- [10] Machida K , Hayashi N , Miyamoto Y , Tamaki T and Okuda H 2001 *J. Magn. Magn. Mater.* **235** 201
- [11] Julliere M 1975 *Phys. Lett.* **54A** 225
- [12] Lu Yu , Li X W , Gong G Q and Xiao Gang 1996 *Phys. Rev. B.* **54** R8357
- [13] Sun J Z , Gallagher W J , Duncombe P R , Krusin-Elbaum L , Altman R A , Gupta A , Lu Yu , Gong G Q and Xiao Gang 1996 *Appl. Phys Lett.* **69** 3266
- [14] Sun J Z , Krusin-Elbaum L , Duncombe P R , Gupta A and Laibowitz R B 1997 *Appl. Phys Lett.* **70** 1769
- [15] Viret M , Drouet M , Nassar J , Contour J P , Fermon C and Fert A 1997 *Europhys. Lett.* **39** 545
- [16] Kwon C , Jia Q X , Fan Y , Hundley M F , Reagor D W , Coulter J Y and Peterson D E 1998 *Appl. Phys Lett.* **72** 486
- [17] Sun J Z , Abraham D W , Roche K and Parkin S S P 1998 *Appl. Phys Lett.* **73** 1008
- [18] Obata Takeshi , Manako Takashi , Shimakawa Yuichi and Kubo Yoshimi 1999 *Appl. Phys Lett.* **74** 290
- [19] Viret M , Nassar J , Drouet M , Contour J P , Fermon C and Fert A 1999 *J. Magn. Magn. Mater.* **198** 1
- [20] O 'Donnell J , Andrus A E , Oh S , Colla E V and Eckstein J N 2000 *Appl. Phys. Lett.* **76** 1914
- [21] Yin H Q , Zhou J S and Goodenough J B 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 714
- [22] Jo Moon-Ho , Mathur N D , Todd N K and Blamire M G 2000 *Phys. Rev. B.* **61** R14905
- [23] Noh J S , Nath T K , Eom C B , Sun J Z , Tian W and Pan X Q 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 233
- [24] Ozkaya D , Petford-Long A K , Jo Moon-Ho and Blamire M G 2001 *J. Appl. Phys.* **89** 6757
- [25] Bowen M , Bibes M , Barthe'le'my A , Contour J , Anane A and Fert A 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 233
- [26] Bibes M , Bowen M , Barthelemy A , Anane A , Bouzehouane K , Carretero C , Jacquet E , Contour J P and Durand 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 3269
- [27] Alldredge L M B and Suzuki Y 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 437
- [28] Wang Tianxing , Wei Hongxiang , Li Feifei , Zhang Aiguo , Zeng Zhongming , Zhan Wenshan and Han Xiufeng 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 3895 (in Chinese)[王天兴、魏红祥、李飞飞、张爱国、曾中明、詹文山、韩秀峰 2004 物理学报 **53** 3895]
- [29] Wei H X , Lu Q F , Zhao S F , Zhang X Q , Feng J F and Han X F 2004 *Chinese Physics* **13** 1553
- [30] Satpathy S , Popovic Z S *et al* 1996 *Phys. Rev. Lett.* **76** 960
- [31] Pickett W E and Singh K J 1996 *Phys. Rev. B* **53** 1146
- [32] Park J H *et al* 1998 *Nature* **392** 794
- [33] Borges R P , Guichard W , Lunney J G and Coey J M D 2001 *J. Appl. Phys.* **89** 3868
- [34] Sun J Z , Abraham D W , Rao R A and Eom C B 1999 *Appl. Phys. Lett.* **74** 3017
- [35] Liu Wei , Chen Jin-Ping , Guang Wei , Xiong Guang-Cheng and Yan Shou-Sheng 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 601 (in Chinese)[刘伟、陈晋平、管炜、熊光成、阎守胜 2004 物理学报 **53** 601]
- [36] Urushibara A *et al* 1995 *Phys. Rev. B* **51** 14103

Composition-modulated hybrid tunnel junctions of $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ *

Yu Dun-Bo¹⁾²⁾³⁾ Feng Jia-Feng²⁾ Du Yong-Sheng³⁾ Han Xiu-Feng^{2)†} Yan Hui³⁾ Ying Qi-Ming¹⁾ Zhang Guo-Cheng¹⁾

¹⁾ *Griem Advanced Materials Co. Ltd., General Research Institute for Non-ferrous Metals, Beijing 100088, China*

²⁾ *State Key Laboratory for Magnetism, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*

³⁾ *Laboratory of Thin Film Materials and Technology, Faculty of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China*

(Received 19 November 2004 ; revised manuscript received 15 February 2005)

Abstract

Tunnel magnetoresistance junctions with the structure of SrTiO_3 -sub/ $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (100nm)/ $\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3$ (5nm)/ $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (100nm)/ $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}$ (15nm)/ $\text{Ni}_{79}\text{Fe}_{21}$ (5nm)/Pt (20nm) were micro-fabricated with lithography and Ar ion etching. The first three epitaxial layers of $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (100nm)/ $\text{La}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\text{MnO}_3$ (5nm)/ $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (100nm) were deposited on single crystal (001) SrTiO_3 -substrate by magnetron sputtering and heat treatment, then the spinning and top conducting layers of $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}$ (15nm)/ $\text{Ni}_{79}\text{Fe}_{21}$ (5nm)/Pt (20nm) were continuously fabricated on top the three epitaxial layers by normal magnetron sputtering. The colossal TMR ratio of 3270% was observed at 4.2K under the external magnetic field of 8 T. The polarization value of 97% for the $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ is well consistent with the theoretical value of 100%. The present results directly indicate the half-metallic ferromagnetism in $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$. The high TMR value can possibly be attributed to the good interface due to the perfect barrier.

Keywords: $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$, half-metallic ferromagnet, compositionally modulated, hybrid tunnel junctions, tunneling magnetoresistance

PACC: 7570P, 7340G, 7340R

* Project supported by the Natural Science Foundation of Beijing, China (Grant No. 2021003), Key Basic Research Project of Ministry of Science and Technology, China (Grant No. 2002CCC01300), State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2001CB610601), the Funds for Outstanding Young Researchers from the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 50325104), and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10274103 and 50271081).

† Corresponding author, E-mail: xfhan@aphy.iphy.ac.cn