

# YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>/SrNb<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.99</sub>O<sub>3</sub> p-n 结的制备及其特性\*

何 萌 吕惠宾 周岳亮 程波林 陈正豪 金奎娟 杨国桢

(中国科学院物理研究所,北京凝聚态物理国家实验室,北京 100080)

(2004 年 7 月 6 日收到,2004 年 8 月 9 日收到修改稿)

采用脉冲激光沉积技术,在 n 型 SrNb<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.99</sub>O<sub>3</sub>(SNTO)单晶基片上生长 p 型 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>(YBCO)薄膜,制备出 YBCO/SNTO p-n 结. YBCO 薄膜是高度 c 轴织构的超导薄膜,且具有良好的超导电性. YBCO/SNTO p-n 结具有较好的整流特性和很好的温度与磁场稳定性.

关键词: YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>, SrNb<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.99</sub>O<sub>3</sub>, p-n 结

PACC: 7340L, 7360, 7470

## 1. 引 言

钙钛矿氧化物具有介电、铁电、压电、光电、超导、巨磁电阻以及光学非线性等很多吸引人的特性与效应. 尽管钙钛矿型氧化物的性质各异,但大部分在结构上具有很好的相容性. 自从高温超导出现以来,在世界范围内掀起了钙钛矿氧化物材料的研究热潮. 随着制膜技术的进步和对薄膜特性研究的深入,对于钙钛矿氧化物器件的探索也越来越多,如肖特基结<sup>[1,2]</sup>、p-n 结<sup>[3-5]</sup>、场效应管<sup>[6]</sup>等. 尽管经过了很多努力,但作为电子学基础元件的 SIS 结仍未研制成功. 我们成功制备出 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>/SrNb<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.99</sub>O<sub>3</sub>(YBCO/SNTO)p-n 结,并观测到较好的 I-V 特性和很好的温度稳定性.

## 2. 实验方法

我们已制备出具有多种特性的钙钛矿氧化物 p-n 结<sup>[7]</sup>. 本文主要采用脉冲激光沉积(PLD)技术,在 n 型 SrNb<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.99</sub>O<sub>3</sub>(SNTO)单晶基片上生长 p 型 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>(YBCO)薄膜,制备出 YBCO/SNTO p-n 结. 本实验使用的靶材为 YBCO 高温烧结靶. 将基片放入沉积室前先用丙酮、乙醇超声清洗,放入沉积室后,首先将沉积室本底真空抽至  $1 \times 10^{-3}$  Pa,然后通入氧气,使气压动态保持 70 Pa,将基片温度升至

870℃,然后开始沉积 YBCO 薄膜材料. 一束能量为 300 mJ,能量密度约为 2 J/cm<sup>2</sup> 的 XeCl(波长为 308 nm)准分子激光束入射到旋转的靶材上,靶与基片的距离为 4 cm,激光的脉冲频率为 6 Hz. 在生长过程中采用二维复合激光扫描装置,用以改善 YBCO 薄膜厚度和化学比的均匀性<sup>[7]</sup>. 沉积结束后,将基片温度降至 480℃,沉积室的氧气充至 101.3 kPa,退火 20 min 后,将基片温度均匀降至室温. 制备的 YBCO 薄膜厚度约为 350 nm.

## 3. 结果与讨论

图 1 为 YBCO/SNTO p-n 结样品的 x 射线  $\theta-2\theta$  扫描曲线. 从图 1 可以看出,除了 SNTO 基片的 (100)(200)和 (300)峰以外,其他均为 YBCO 的 (00l)峰,表明薄膜生长方向是沿垂直于基片表面的 c 轴方向生长的,是高度 c 轴织构的 YBCO 超导薄膜. 图 1 内插图为 YBCO(005)峰的摇摆曲线,半高宽(FWHM)为 0.4°.

用标准四探针法测得 YBCO 薄膜零电阻温度  $T_{c0} = 92$  K,转变宽度  $\Delta T_c$  为 0.4 K,如图 2 所示. 并将 YBCO 薄膜光刻出 30  $\mu$ m 宽的桥形图案,测量并计算出薄膜的临界电流密度  $J_c = 1.5 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup>,表明 YBCO 超导薄膜具有良好的超导电性.

选用尺寸约为 1.5 mm  $\times$  1.5 mm 的 YBCO/SNTO p-n 结样品,在 YBCO 和 SNTO 两面用铟(In)焊接电

\* 国家自然科学基金(批准号:10334070)资助的课题.

极(如图 3 内插图所示),用超导量子干涉仪(SQUID, Quantum Design MPMS 5.5T)在不同温度和磁场条件下,测量了其  $I$ - $V$  特性.在室温条件下,此 p-n 结可承受  $10^2$  mA 的电流.为了减小在低温条件下的电流热效应,我们不仅采用脉冲宽度 1 s,脉冲间隔 2 s 的脉冲恒流源测量,而且将测量电流限制在  $\pm 1.5$  mA 以内.图 3 为 YBCO/SNTO p-n 结在 300 K, 100 K, 70 K 和 30 K 条件下测得的  $I$ - $V$  曲线.从图 3 的  $I$ - $V$  曲线可看出, YBCO/SNTO p-n 结不仅具有较好的整流特性,而且在 30—300 K 之间, p-n 结的正反向阈值变化很少,具有很好的温度稳定性.在 100 K, 70 K 和 30 K 条件下,分别外加 1 和 5 T 的磁场,测量了 YBCO/SNTO p-n 结的  $I$ - $V$  特性,结果没有观测到  $I$ - $V$  曲线受外加磁场的改变,说明 YBCO/SNTO p-n 结没有磁效应,其  $I$ - $V$  特性不受外加磁场的干扰与影响.

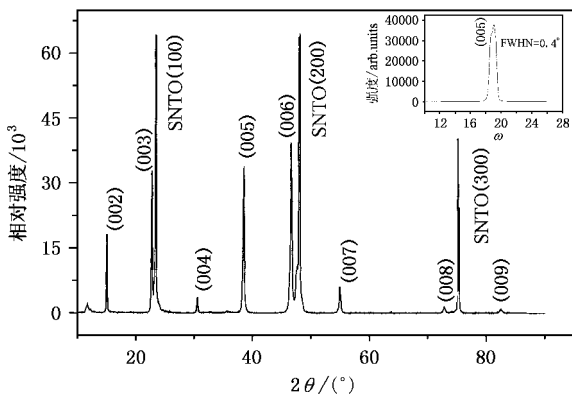


图 1 YBCO 薄膜的 x 射线  $\theta$ - $2\theta$  扫描曲线

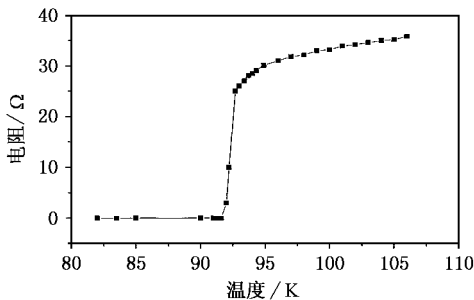


图 2 YBCO 薄膜的超导转变曲线

为了理解 YBCO/SNTO p-n 结的电学特性和机理,还测量了 SNTO 基底在 300—4.2 K 的  $R$ - $T$  曲线.

如图 4 所示, SNTO 基底在 300—4.2 K 的温度范围内,显示了类金属特性.在室温条件下,用霍尔效应测得 SNTO 的电阻率为  $1.84 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ .由样品的几何参数和电阻率,可算得 YBCO 薄膜和 SNTO 基底的串联电阻比 YBCO/SNTO 的结电阻小三个数量级,这说明图 3 的  $I$ - $V$  特性是由 YBCO 和 SNTO 的 p-n 界面所决定的.

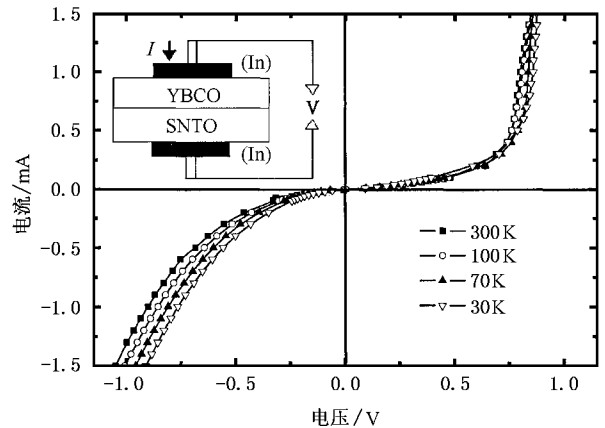


图 3 YBCO/SNTO p-n 结的  $I$ - $V$  曲线

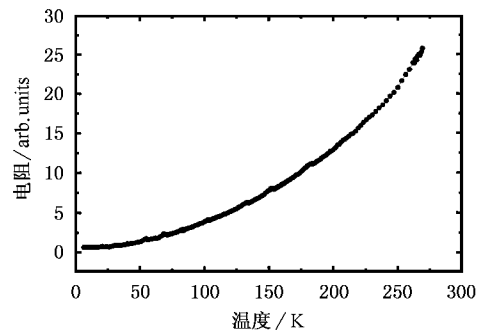


图 4 SNTO 基底的  $R$ - $T$  曲线

## 4. 结 论

采用脉冲激光沉积技术,成功制备出  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}/\text{SrNb}_{0.01}\text{Ti}_{0.99}\text{O}_3$  p-n 结.测量结果表明: YBCO/SNTO p-n 结具有较好的整流特性和很好的温度与磁场稳定性.尽管目前对 YBCO/SNTO p-n 结的机理还难以解释清楚,但不管怎样, YBCO/SNTO p-n 结的成功研制,无论是对于 YBCO 薄膜的应用,还是机理研究,都具有一定的意义.

- [ 1 ] Shimizu T and Okushi H 1999 *J. Appl. Phys.* **85** 7244
- [ 2 ] Suzuki S , Yamamoto T , Suzuki H , Kawaguchi K , Takahashi K and Yoshisato Y 1997 *J. Appl. Phys.* **81** 6830
- [ 3 ] Lü H B , Dai S Y , Chen Z H , Liu L F , Guo H Z , Xiang W F , Fei Y Y , He M , Zhou Y L and Yang G Z 2003 *Chin. Phys. Lett.* **20** 137
- [ 4 ] Watanabe Y 1999 *Phys. Rev. B* **59** 11257
- [ 5 ] Tanaka H , Zhang J and Kawai T 2002 *Phys. Rev. Lett.* **88** 27204
- [ 6 ] News D M , Misewich J A , Tsuei C C , Gupta A , Scott B A and Schrott A 1998 *Appl. Phys. Lett.* **73** 780
- [ 7 ] Lü H B , Xu S F , Tian Y J , Zhou Y L , Cui D F , Chen Z H , Liu J Z , He M , Li L , Yang G Z , Lu J , Ren X Y , Zhang Q Z , Liu A S and Sun L H 1996 *Acta Phys. Sin. (Overseas Edition)* **5** 365

## Fabrication and characterization of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>/SrNb<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.99</sub>O<sub>3</sub> p-n junctions<sup>\*</sup>

He Meng Lü Hui-Bin Zhou Yue-Liang Cheng Bo-Lin

Chen Zheng-Hao Jin Kui-Juan Yang Guo-Zhen

( Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics , Institute of Physics , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100080 ,China )

( Received 6 July 2004 ; revised manuscript received 9 August 2004 )

### Abstract

A p-n junction is fabricated by using the pulsed laser deposition ( PLD ) technique for a p-type YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> ( YBCO ) film on the n-type SrNb<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.99</sub>O<sub>3</sub> ( SNTO ) single crystal substrate. The measured results reveal that the YBCO thin film is highly *c*-orientated structure and shows very good superconducting properties. The YBCO/SNTO p-n junction has good rectification property and stability under variation of temperature and magnetic-field.

**Keywords :** YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> / SrNb<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.99</sub>O<sub>3</sub> p-n junction

**PACC :** 7340L , 7360 , 7470

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation of China ( Grant No. 10334070 ).