

YBaCuO 双晶结的 Josephson 效应*

王世光 戴远东 曾祥辉 郑培辉

熊光成 连贵君 王守证 甘子钊

(北京大学物理学系, 北京 100871)

关键词 双晶结、约瑟夫森效应、微波感应台阶

优质的约瑟夫森结的制备不仅对研究高 T_c 超导体及其弱连接的物理特性, 而且对于超导电子学的应用方面都有着重要的意义, 然而由于这些氧化物超导材料的相干长度很短, 且各向异性, 这给弱连接的制备造成了很大的障碍。近来许多种类的高 T_c 结的研究都有了较大的进展^[1]。本文报告了在双晶衬底上外延生长的 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 薄膜所成的晶界结的约瑟夫森效应研究。

双晶结的制备包括三个过程: (1) 衬底的烧结; (2) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 薄膜的淀积; (3) 图形的制备。双晶使用两块(001)轴平行, (100)轴具有一定夹角的钇稳定氧化锆 (YSZ) 加压烧结而成^[2]。烧结前两晶体相对的面经过光学抛光处理, 烧结在空气中进行, 温度为 1500°C , 压力约为 $85\text{kg}/\text{cm}^2$, 保温时间为 2h, 然后缓慢冷却至室温。钇钡铜氧薄膜采用脉冲激光淀积^[3]。我们使用的 KrF 准分子激光产生脉宽为 20ns 的光束轰击 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 靶, 在淀积过程中衬底的加热温度为 760°C , 淀积速率为 $0.1\text{nm}/\text{脉冲}$, 在薄膜淀积之后, 我们采用普通光刻制版和湿法刻蚀制备图形。厚度为 300nm 的 AZ1350 光刻胶被用作掩膜, 在 60°C 下烘烤 20min。经过曝光、显影后, 用 2% 的磷酸刻蚀去没有光刻胶保护的薄膜, 所用的双晶角错为 24° 。结的

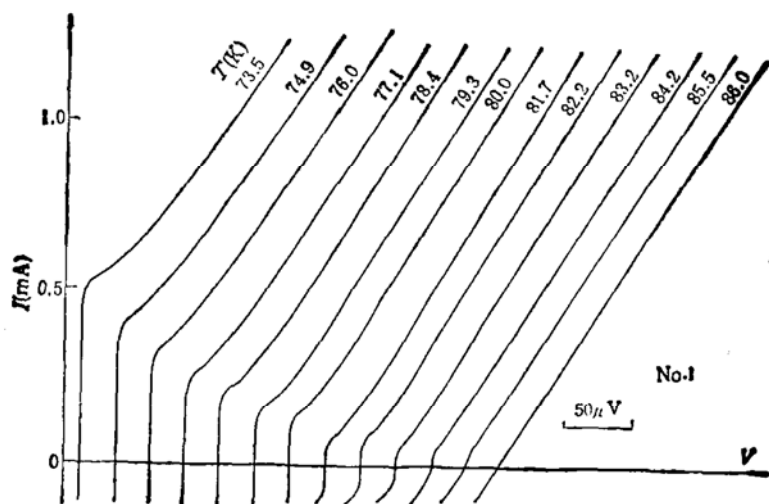


图1 钇钡铜氧双晶结在不同温度下的伏安特性曲线
曲线显示器件的 $T_{c0} = 85.5\text{K}$

1992-11-23 收稿, 1993-03-18 收修改稿。

* 国家超导研究及开发中心和国家教委优秀年轻教师基金资助项目。

宽度为 $40\mu\text{m}$, 在这样的宽度下, 实验结果表明湿法刻蚀致使 T_c 降低可以忽略。结的长度由晶界所决定, 一般为相干长度的量级。此后通过热蒸发在样品上淀积四个银电极, 以进行四端引线测量。最后, 样品在 400°C 的氧气气氛中热处理 10min , 以改善电极的欧姆接触和恢复在图形制备过程可能产生的超导电性退化。

图 1 为不同温度下晶界结的伏安特性曲线, 曲线在 85.5K 时出现非线性, 表明结进入零电阻状态。从这组曲线可以看出: (1) 曲线在出现电压之后, 曲率都经历了由负到正的变化; (2) 在电压较大时曲线的斜率趋于常数 R_N ; (3) $R_N = 0.15\Omega$, 不随温度变化。过阻尼的约瑟夫森结可以通过电阻并联结模型描述。计算给出的过阻尼结的伏安特性曲线为双曲线, 其渐近值为并联电阻 R_N ; 在临界电流附近, 由于热激活相位滑移的影响, 曲线发生圆拱化而偏离双曲线, 因此曲率经历了由负到正的变化^[3] R_N 由固定的散射中心所致, 因此不随温度变化。这说明, 晶界结的直流特性曲线定性地符合传统的约瑟夫森结弱连接理论。在这个样品上我们还制备了相同尺寸但没有跨晶界的微桥, 其零电阻温度为 89K , 在 77.8K 时临界电流超过 75mA (所用的电流源的最大输出), 这说明弱连接由晶界所决定。我们还测

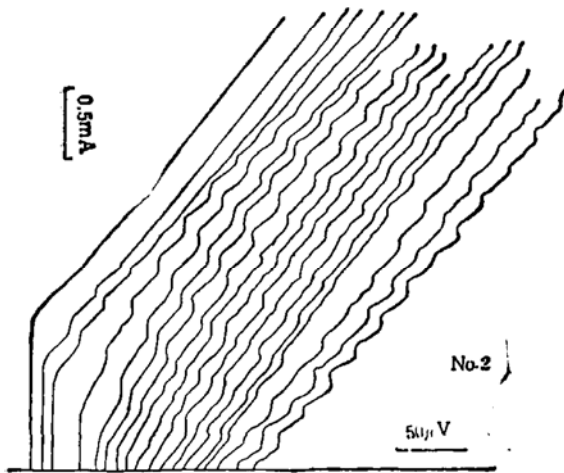


图 2 在微波辐照下的双晶结的伏安特性曲线
 $T = 70.7\text{K}$, $f = 8.9\text{GHz}$

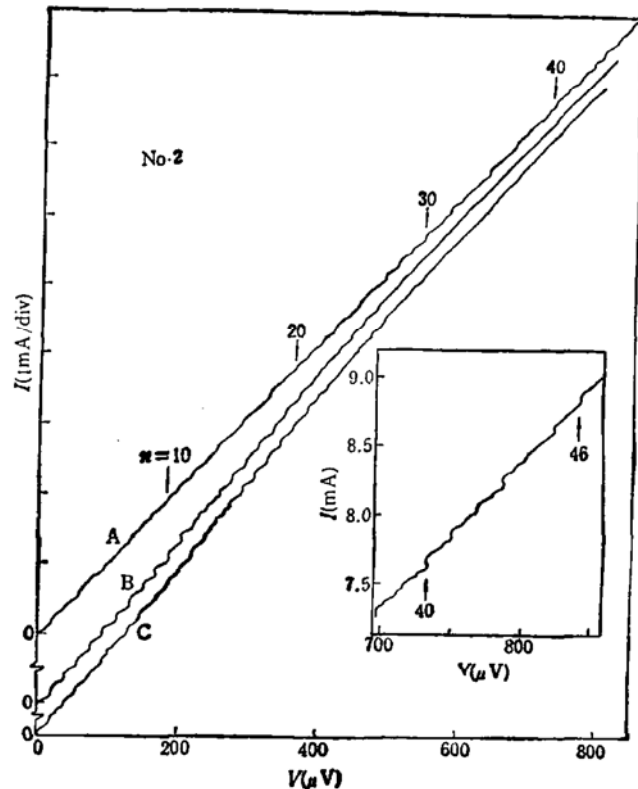


图 3 在较强的微波场中的双晶结的伏安特性曲线
插图显示曲线 A 的高标号台阶部分曲线, 第 46 号台阶
对应的电压为 $845\mu\text{V}$

量了晶界结的电阻-温度曲线, 在 $10\mu\text{A}$ 的偏置电流下, 98% 的电阻下降发生在 89K 以上, 剩余的电阻在 86K 下降到零。这是热激活相位滑移的影响^[5], 我们曾根据上述模型对晶界结的 $R-T$ 曲线进行了理论拟合, 获得了很好的一致性^[2]。

图 2 是晶界结在不同功率的微波辐照下的伏安特性曲线, 曲线上可以看出明显的微波感应台阶, 台阶间的电压差 $\Delta V = 18.4\mu\text{V}$, 相应的微波频率为 8.9GHz , 这在实验精度内符合约瑟夫森关系 $\Delta V = hf/2e$ 。而且各级台阶的高度随着微波功率的增加出现振荡, 图 3 给出了在较强的微波辐照下的伏安特性曲线, 我们可以看到 $n = 46$ 的台阶, 据我们所知, 在高 T_c 约瑟夫森结中, 这样高标号的微波感应台阶还是第一次被观察到, 我们研究了台阶高度随微波功率的变化, 发现它们还不完全符合 RSJ 模型的计算结果^[6], 这可能是由于结区的不均匀微结

构及热涨落影响的结果。

我们制备了双晶衬底外延 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 晶界结,器件在 85.5K 时显示零电阻状态,其直流伏安特性符合传统的约瑟夫森结理论,在微波的辐照下,伏安特性曲线出现感应台阶,在较大的微波功率时,第 46 号台阶可以清晰地观察到。

参 考 文 献

- [1] Wang Shi-guang, *Chin. Phys. Lett.*, 1991, 8(10 Suppl.): 194—198.
- [2] 王世光等,低温物理学报,1993,(在出版中).
- [3] 熊光成等,低温物理学报,1992,14(3): 167—173.
- [4] Likharev, K. K., *Rev. Mod. Phys.*, 1979, 57:101—159.
- [5] Gross, R. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, 1990, 64(2): 228—231.
- [6] Lindelof, P. E., *Rep. Prog. Phys.*, 1981, 44(9): 949—1026.