

银夹板对 Bi(2223) 厚膜载流特性的影响

王智河 韩汉民 韩谷昌 王顺喜

(中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031)

关键词 高温超导体、临界电流密度、电阻转变

对 Bi 系高温超导体, 使用银包套的方法已取得了良好的效果^[1,2], 这种银包套带材样品在 4.2K 下能在很高的外加磁场 ($>25\text{T}$) 超导地通过 $10^5\text{A}/\text{cm}^2$ 电流, 因而银将可能作为这类超导体应用的稳定基材. 但在 Bi(2223) 银包套带材的性能测量中, 电流引线和电压引线是直接焊在银包套上的, 由于银的电导率约为 Bi(2223) 相 $a-b$ 面正常态电导率的 10^{-3} , 因此银基体构成电流通路, 对测量结果有一定的影响. 然而研究银包套对样品性能的影响文章报道很少. 为了比较准确地反映银包套对样品传输电流特性测量的影响, 我们分别测量了银夹板厚膜以及由其制成的裸膜样品在零场下的 $R-T$ 曲线、 J_c-T 曲线和磁场平行和垂直于 c -轴情况下的 J_c-H 曲线.

1 样品制备和实验

实验所用的样品是名义组分为 $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 厚膜. 样品的制备是采用类似于“粉末装管法”的物理沉积法制备出银夹板厚膜, 详细制备工艺过程已另文报道^[3]. 再将银夹板厚膜剪切成 $10 \times 2.3\text{mm}^2$ 的矩形, 然后将其中任一面的银片揭去, 最后再在另一面银片中间, 垂直于电流方向上揭出一宽约为 3mm 左右的裸膜面, 制成 Bi(2223) 厚膜, 膜的典型尺寸为 $10 \times 2.3 \times 0.04\text{mm}^3$.

测量采用标准四引线法. 电流电极焊接在样品的两端, 电压引线焊接在裸膜面两侧最靠近的银片上. 测量时磁场方向始终垂直于电流方向.

2 结果和讨论

图 1 是实验所用样品表面的 X 射线衍射谱图. 从图中可以看出, 样品基本上是 Bi(2223) 相, 另含有极少量的杂相.

图 2 是实验所用样品在不同测量电流情况下的电阻随温度变化 ($R-T$) 曲线. 曲线 1 是测量电流为 200mA 的银夹板厚膜 $R-T$ 曲线; 曲线 2 和 3 是测量电流分别为 200mA 和 1mA 的颗粒膜样品 $R-T$ 曲线. 从图中曲线 1 和 2 看出, 两样品在测量电流相同情况下的零电阻温度 T_{CO} 好象相差 1K. 然而我们可以从两样品在 110K 时的电阻值看出, 银夹板厚膜电阻 (R_{AF}) 只有 $40\mu\Omega$, 而裸膜电阻 (R_{F}) 则高达 $34\text{m}\Omega$, 裸膜电阻约是银夹板厚膜电阻的 10^3 倍, 因而在测量过程中, 由于测量精度的影响, 厚膜曲线上好象到达零电阻温度的点, 但实际上不等于零电阻温度,

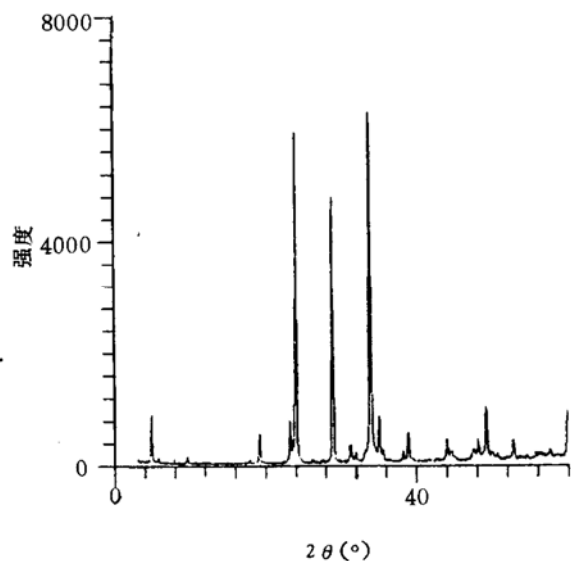
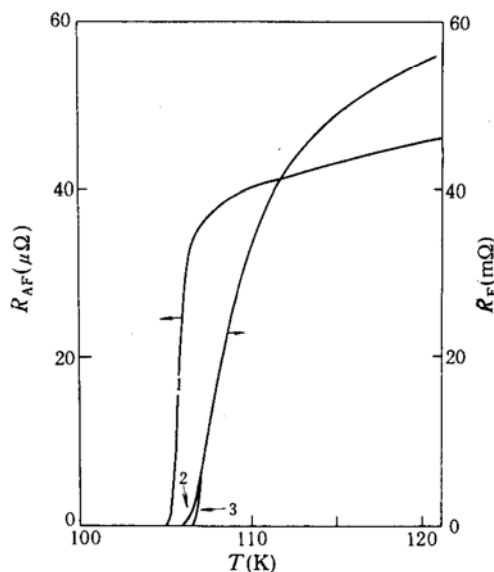


图 1 样品表面的 X 光衍射谱

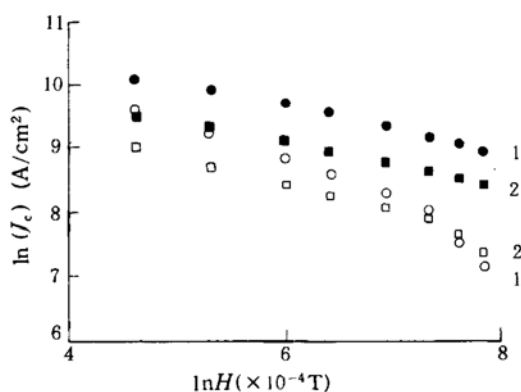
图 2 银夹板厚膜测量电流为 200mA 和裸膜测量电流分别为 200mA 和 1mA 的 $R(T)$ 转变曲线

故引起二者的差别。另外从电阻转变过程也可看出,厚膜的电阻在 120K 左右就开始随温度的降低而偏离线性,曲线并逐渐变陡,但在接近零电阻时曲线明显变缓;而银夹板厚膜的电阻随温度近似线性地降到 110K,然后随温度的降低而降低,在 107K 以下电阻随温度而迅速地降到零。明显地显示出两种测量结果的差别。这种差别我们可作下述解释,曲线 1 所显示的电阻 (R_{AF}) 是银包套电阻 (R_{Ag}) 和厚膜电阻 (R_F) 并联后的总电阻;由于在 110K 以上厚膜电阻远大于银夹板的电阻,因而银夹板厚膜电阻可看成银包套电阻,即

$$R_{AF} = (R_{Ag} \times R_F) / (R_{Ag} + R_F) \approx R_{Ag}. \quad (1)$$

在 110K 附近, R_F 虽随温度的降低而下降较快,但由 (1) 式可得电阻 R_{AF} 随温度的变化较小,如曲线 1 上电阻开始偏离线性而缓慢下降部分所示;只有当 R_F 降到可与 R_{Ag} 相比时,即 R_F 约为几十微欧姆时, R_{AF} 才开始随温度的降低而快速下降。与此同时传输电流逐渐由银包套转移到厚膜上,直到 R_F 等于零时,传输电流全部转移到厚膜上。从图 2 中曲线 2 和 3 我们可以看出,厚膜的零电阻温度 T_{co} 随测量传输电流的增大而降低。

为了研究银夹板对传输电流特性的影响,我们分别测量了银夹板厚膜和裸膜在外磁场平行和垂直于 c -轴情况下临界电流密度 J_c 和磁场 H 的关系,实验结果如图 3 所示,1 和 1' 是银夹板厚膜的 $\ln(J_c)\text{-}\ln(H)$ 曲线,2 和 2' 是裸膜的 $\ln(J_c)\text{-}\ln(H)$ 曲线。由图可知各种情况下的 J_c 和 H 分别满足以下关系:

图 3 样品在液氮温度下的 $\ln(J_c)\text{-}\ln(H)$ 曲线

1. 银夹板厚膜: ● $H \perp c$ -轴, ○ $H // c$ -轴;
2. 裸膜: ■ $H \perp c$ -轴, □ $H // c$ -轴

1. 银夹板厚膜

$$H \perp c\text{-轴时}, J_c \propto H^{-0.374} \quad (100 \times 10^{-4} \text{T} < H < 2500 \times 10^{-4} \text{T}), \quad (2)$$

$$H // c\text{-轴时}, J_c \propto H^{-0.533} \quad (100 \times 10^{-4} \text{T} < H < 1500 \times 10^{-4} \text{T}), \quad (2')$$

2. 裸膜

$$H \perp c\text{-轴时}, J_c \propto H^{-0.296} \quad (100 \times 10^{-4} \text{T} < H < 2500 \times 10^{-4} \text{T}), \quad (3)$$

$$H // c\text{-轴时}, J_c \propto H^{-0.419} \quad (100 \times 10^{-4} \text{T} < H < 1500 \times 10^{-4} \text{T}). \quad (3')$$

实验所用的银夹板厚膜样品在 77K, 零场下的临界电流密度 J_{c0} 为 $2.54 \times 10^4 \text{A/cm}^2$. 而将上述样品揭成裸膜后测得 77K, 零场下的临界电流密度 J'_{c0} 为 $1.53 \times 10^4 \text{A/cm}^2$. 从式 (2), (2'); (3) 和 (3') 看出, 两样品临界电流密度随磁场的变化规律基本相同, 但裸膜样品的载流特性比银夹板厚膜要好得多. 另外由图可知, 裸膜的临界电流密度 J'_{c0} 明显低于银夹板厚膜的临界电流密度 J_{c0} . 然而从 SEM 照片 (如图 4 所示, (a) 为表面 a - b 面的形貌, (b) 为沿 c -轴方向横截面的形貌). 可以看到, 样品表面存在大量的板状晶粒, 如图 4(a) 所示; 样品内的晶粒具有择优取向排列, 表现出层状结构, 其 c -轴垂直于厚膜的表面, 如图 4(b) 所示. 由于膜厚较薄, 因

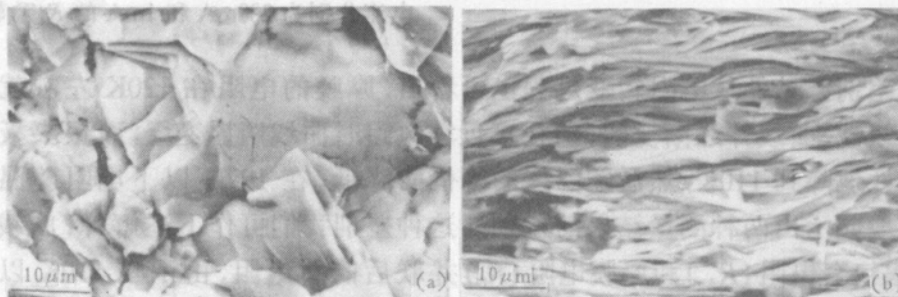


图 4 样品表面的扫描电镜照片 ($\times 1400$)

(a) a - b 面, (b) 垂直于电流方向的横截面

而膜中晶粒的取向排列基本一致. 我们从 SEM 照片上还观察到, 样品中的晶粒间存在空隙和晶界, 而这些空隙和晶界我们认为是在烧结和冷压过程中形成的. 揭银只破坏了厚膜表面附近的结构, 即由于揭去银片而使样品表面形成不同深度的“凹坑”破坏了厚膜表面晶粒的载

流能力, 并没有破坏样品的内部结构. 由此从式 (2)、(2')、(3) 和 (3') 可看出, 银夹板在样品传输电流过程中具有重要的作用, 银夹板使样品表面晶粒之间的连接性增强, 宏观上表现为临界电流密度的提高.

为了进一步研究银夹板对传输载流特性的影响, 我们还测量了两样品在临界温度 T_c 附近的 J_c - T 关系, 实验结果表明两样品的临界电流密度 J_c 都随温度 T 的降低而增大. 为了比较两者的差别, 对实验结果取对数并对 $\ln(J_c)$ 与 $\ln(T_{c0}-T)$ 关系作出曲线, 如图 5 所示. 从图 5 可得到两样品的 J_c - T 分别满足如下关系:

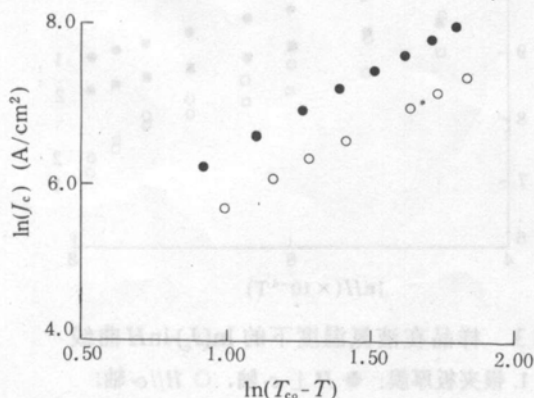


图 5 临界温度附近 J_c - T 关系的对数曲线

● 银夹板厚膜, ○ 裸膜

$$\text{银夹板厚膜} \quad J_c \propto (1 - T/T_{co})^{2.02}, \quad (4)$$

$$\text{裸膜} \quad J_c \propto (1 - T/T_{co})^{1.98}, \quad (5)$$

式中 T_{co} 是零电阻温度, 且 $T_{co} = 107\text{K}$. 从式 (4) 和 (5) 可以知道, 两样品的 J_c - T 关系基本相同, 相差甚小, 导致这一差别可能是在取 $1\mu\text{V}/\text{cm}$ 为判据时银夹板的分流引起的. 上述结果与 de Gennes^[4] 理论, 在样品晶粒边界形成 SNS 邻近效应的结果相一致, 说明样品内还存在着弱连接.

3 结 论

总之, 以上结果分析说明, 银夹板对样品的载流能力有很大影响, 银夹板加强了靠近银夹板附近厚膜表面晶粒间的连接. 但在样品 I - V 以及 R - T 性能的测试中, 由于银夹板在 110K 以下电阻很小, 银的分流作用不可忽略, 使得在取 $1\mu\text{V}/\text{cm}$ 为判据时, 临界电流略高于厚膜上的临界电流 I_c , 尤其是银夹板厚膜的 I - V 曲线与裸膜的 I - V 曲线的变化规律差别较大.

参 考 文 献

- [1] Ueyama, M., Hikata, T., Kato, T. *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1991, 30: L1384.
- [2] Li, Q. *et al.* (NKT), *High- T_c Update*, 1993, 7(19): 2.
- [3] Wang Yugui *et al.*, *Mod. Phys. Lett.*, B, 1993, 7(9): 601.
- [4] de Gennes, P. G., *Rev. Mod. Phys.*, 1964, 36: 225.