

# (BiPb)-Sr-Ca-Cu-O 2223 相高 $T_c$ 超导体 磁通钉扎与蠕动

金 新 张贻瞳 鹿 牧 张长贵 颜 涌  
于 杨 沈剑沧 姚希贤

南京大学物理系, 南京, 210008

1990 年 7 月 20 日收到

本文介绍了 (BiPb)-Sr-Ca-Cu-O 2223 相高  $T_c$  超导体烧结工艺. 用振动样品磁强计测量了磁化强度弛豫率随外磁场的变化, 并相应求得钉扎势  $U_0$  随外磁场的依赖关系. 发现在  $0-0.23\text{T}$  外磁场范围内  $U_0$  与外磁场  $B$  的关系为  $U_0 \sim B^{-1/2}$ , 与 Palstra 对单晶用电阻展宽实验所得结果有类似的函数形式.

PACC: 7460G

## 一、引 言

第 II 类超导体临界电流密度  $J_c$  是磁通束的钉扎效应所决定的, 因此就探讨高  $T_c$  超导体应用前景而言, 研究其钉扎与磁通蠕动物理机理是当前高  $T_c$  超导体研究的核心课题. Palstra 与其合作者利用  $\text{Bi}_{2.2}\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.8}\text{Cu}_2\text{O}_{8+\delta}$  单晶电阻率在外磁场中展宽实验<sup>[1]</sup>, 发现高  $T_c$  超导体样品正常相电阻率  $\rho$  满足 Arrhenius 定理,  $\rho = \rho_0 e^{-U_0/kT}$ . 由此求得的钉扎势  $U_0$  与外磁场依赖关系可表示为  $U_0 \sim B^{-\alpha}$ , 当外磁场平行于样品  $ab$  平面时, 在其值  $B < 1\text{T}$  范围,  $\alpha \sim 1/2$ . 而外磁场垂直  $ab$  平面时,  $\alpha \sim 1/6$  或  $1/3$ .

本文介绍用振动样品磁强计研究了名义组分为  $(\text{Bi}_{0.9}\text{Pb}_{0.1})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  2223 相 Bi 系的磁化强度弛豫率及钉扎势随外磁场的依赖关系. 实验发现样品在零磁场冷却后, 其磁化强度在某一外磁场下的弛豫率满足对数规律<sup>[2]</sup>. 在  $77\text{K}$ , 弛豫率  $dM/d\ln t$  随外磁场升高而下降, 在  $0-0.23\text{T}$  外磁场范围内, 钉扎势  $U_0$  随外磁场关系仍满足  $U_0 \sim B^{-\alpha}$  形式,  $\alpha \sim 1/2$ . 这说明 Bi 系单相多晶样品与单晶样品在低磁场下钉扎机理是一致的. 也说明用磁化强度弛豫方法测得的结果与电阻展宽实验结果相符合. 这也支持了高  $T_c$  超导体在外磁场中电阻展宽的物理机理是由于磁通蠕动的观点.

## 二、实验方法与结果

样品制备是基于文献[3]介绍的 (BiPb)-Sr-Ca-Cu-O 2223 高  $T_c$  相样品制备工艺.

将 99.99% 的  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  以及分析纯的  $\text{PbO}$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$  按名义成分  $(\text{Bi}_{0.9}\text{Pb}_{0.13})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  称料, 原始料经混合研磨均匀后在  $780^\circ\text{C}$  空气中预烧 96h. 预烧后的样品再粉碎研磨, 并压成直径为 1.5cm 厚度约为 1mm 的圆片加温到  $840^\circ\text{C}$  在空气中烧结 288 h, 然后再取出研磨并再压成如前同样大小的圆片在流动氧气氛中再次烧结 288h, 并在  $500^\circ\text{C}$  保温 24h 后随炉冷却到室温. 据 X 射线衍射测试, 样品的衍射图如图 1 所示. 用标准四引线法测得的样品电阻率随温度曲线表明该样品零电阻温度为 108K. 由此可认定该样品为 2223 高  $T_c$  相 Bi 系多晶样品.

在 77K 用振动样品磁强计在  $0-\pm 0.23\text{T}$  外磁场扫描范围测得该样品磁滞回线如图 2 所示. 该样品磁滞回线呈“翼形”, 表明具有弱钉扎行为.

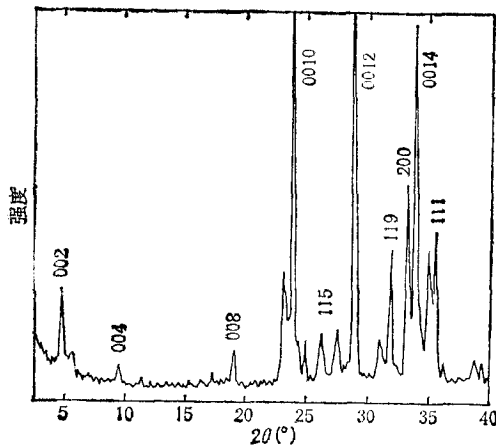


图 1  $(\text{Bi}_{0.9}\text{Pb}_{0.13})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  样品的 X 射线衍射图

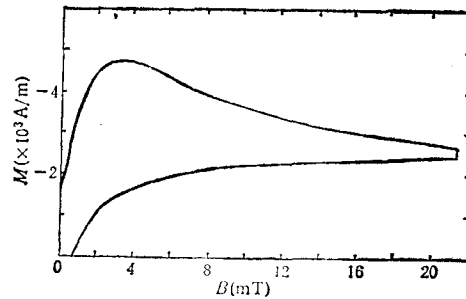


图 2  $(\text{Bi}_{0.9}\text{Pb}_{0.13})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  样品在 77K 时的磁滞回线

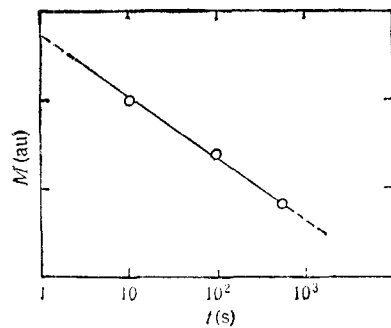


图 3  $(\text{Bi}_{0.9}\text{Pb}_{0.13})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  样品在 77K 时磁化强度的弛豫曲线

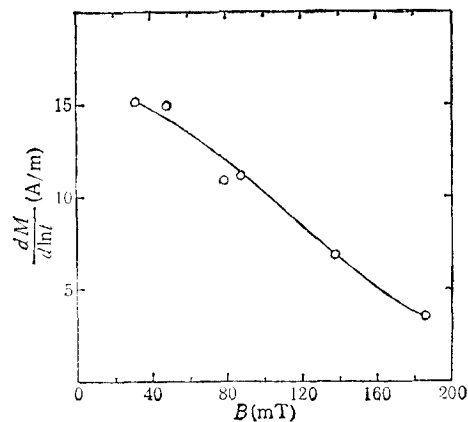


图 4  $(\text{Bi}_{0.9}\text{Pb}_{0.13})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  样品在 77K 磁化强度弛豫率  $dM/d\ln t$  随外磁场  $B$  的依赖关系

样品磁化强度弛豫曲线是样品在零磁场冷却到 77K 后, 将外磁场  $B$  从零以每秒 10 mT 速率增加到某一固定值, 其方向与该薄片样品平面平行在稳定外磁场下, 用 X-Y 记

录仪测量样品磁化强度随时间的弛豫曲线。图 3 为  $B = 45\text{mT}$  时磁化强度弛豫的典型规律。此图表明该样品在  $10\text{--}500\text{s}$  范围内,样品磁化强度  $M$  随时间衰减严格满足对数衰减规律。用如上方法,我们分别测得了该样品磁化强度弛豫率  $dM/d\ln t$  随外磁场  $B$  的依赖关系(如图 4 所示)。

### 三、讨 论

对于厚度为  $d$ , 无穷大平面的处于混合态第 II 类超导体, 用 SI 单位制, 结合 Bean 模型求解磁通蠕动方程, 不难求得样品磁化强度弛豫率与钉扎势的关系式为

$$\frac{dM}{d\ln t} = \frac{dJ_c}{U_0} kT. \quad (1)$$

式中  $M$  为磁化强度,  $J_c$  为临界电流密度,  $d$  为样品厚度,  $U_0$  为钉扎势,  $T$  为温度,  $k = 1.3806 \times 10^{-23}\text{J/K}$ , 为 Boltzmann 常数。

用 Bean 模型, 厚度为  $d$  的薄片, 据磁滞回线, 可求得某一外磁场的样品临界电流密度在 SI 制为

$$J_c = \frac{2(M^+ - M^-)}{d}. \quad (2)$$

式中  $M^+$  和  $M^-$  分别为在某固定外磁场下, 在磁滞回线上增加磁场和减小磁场时的磁化强度。将(2)式代入(1)式, 得

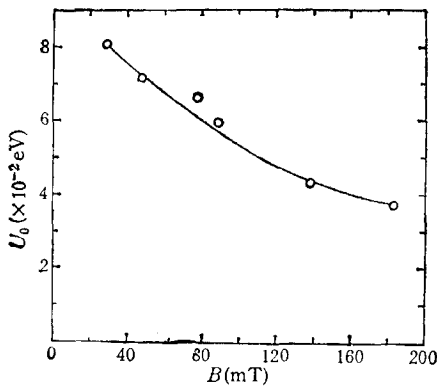


图 5 样品钉扎势  $U_0$  随外磁场  $B$  的变化

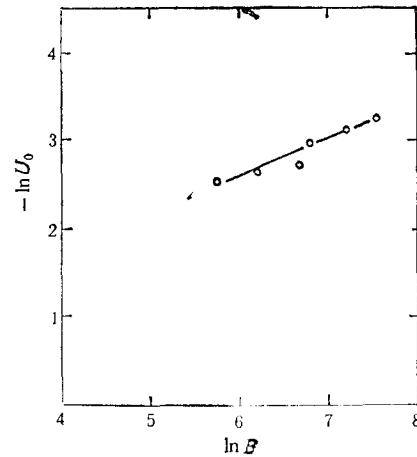


图 6  $(\text{Bi}_{0.9}\text{Pb}_{0.13})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10+\delta}$  2223 相样品钉扎势  $\ln U_0$  与外磁场磁感应强度  $\ln B$  的线性关系  
 $U_0$  的单位是 eV;  $B$  的单位是 ( $\times 0.1\text{mT}$ )

$$\frac{dM}{d\ln t} = \frac{M^+ - M^-}{2U_0} kT. \quad (3)$$

用(3)式代替(1)式从磁化强度弛豫求  $U_0$ , 对于具有“翼形”磁滞回线的颗粒超导体要方便得多, 因为它消除了为求  $J_c$  寻找颗粒平均尺寸的麻烦。本文依据图 2 和图 4 的实验数

据,利用(3)式求得该单相样品  $U_0$  依赖于外磁场的关系(见图5)。图5中因为考虑国际上钉扎势单位的习惯,我们采用 eV 为单位。

Bi 系 2223 相样品钉扎势  $U_0$  对于外磁场  $B$  的函数关系,在我们的测量范围内,在温度不变时仍可表示为如文献1所指出的那样满足  $U_0-B^{-\alpha}$  关系。 $\ln U_0-\ln B$  的直线关系示于图6。用最小二乘法拟合图6中数据。得  $\alpha = 0.53 - 1/2$ 。这与 Palstra 在此范围内外磁场平行  $ab$  平面的结果相符合。估计 Bi 系单晶与多晶在该外磁场范围内钉扎机理是一致的。

从上列讨论可以得到如下结论:以名义成分  $(\text{Bi}_{0.9}\text{Pb}_{0.13})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  用  $840^\circ\text{C}$  较低温度长时间烧结可得到 Bi 系高  $T_c$  单相 2223 样品。Bi 系 2223 相样品在外磁场不大时,磁化强度弛豫率随外磁场增加而下降。其钉扎势与外磁场满足  $U_0-B^{-\alpha}$  关系。与 Palstra 用电阻展宽法对单晶的测量结果一致。

实验中得到郝文蕙工程师的协助,在此表示感谢。

- [1] T. T. M. Palstra, B. Batlogg, L. F. Schneemeycr and J. V. Waszeak, *Phys. Rev. Lett.*, **61** (1988), 1662.  
 [2] Y. Yeshurun and A. P. Malozemoff, *Phys. Rev. Lett.*, **60**(1988), 2202.  
 [3] V. Plechacek, H. Hejdova and Z. Trejbalova, *Cryogenics*, **30**(1990), 11.

## MAGNETIC FLUX PINNING AND CREEP IN (BiPb)-Sr-Ca-Cu-O 2223 PHASE HIGH- $T_c$ SUPERCONDUCTOR

JIN XIN    ZHANG YI-TONG    LU MU    ZHANG CHANG-GUI    YAN YONG    YU YANG  
 SHEN JIAN-CANG    YAO XI-XIAN

*Department of Physics, Nanjing University, Nanjing, 210008*

(Received 20 July 1990)

### ABSTRACT

The preparing method of (BiPb)-Sr-Ca-Cu-O 2223 phase high- $T_c$  superconductor is introduced. The magnetic relaxation rate dependence on applied magnetic field was measured by using a vibrating sample magnetometer. From the above results, the relationship of activation energy  $U_0$  vs. applied magnetic field  $B$  is discussed. We found that the functional form is  $U_0-B^{-\alpha}$  in the magnetic field range of 0—0.23 T. The results is similar with that of Palstra based on resistance broadening experiment for single crystals.

**PACC:** 7460G