

$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超导体低场钉扎力的性质

丁世英 施智祥 颜家烈 余 正 史可信 童红武 邱 里

南京大学物理系, 南京, 210008

1990年2月23日收到

测量了 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超导体多晶样品在不同外磁场和不同温度下的磁滞性质, 利用临界态方程求出有效钉扎力随外磁场及温度的变化, 有效钉扎力包括晶粒界面处及晶粒内的贡献. 发现有效钉扎力有峰效应, 峰位置随温度降低向较高磁场移动. 峰效应被解释为两种钉扎机制产生的, 即两种机制的贡献与外磁场的关系不同. 还讨论与这些结果有关的问题.

PACC: 7460G; 7460J

一、引 言

多晶高温超导体样品中不可避免地存在大量界面, 例如晶粒界面. 就是在单晶样品中也可能有许多界面, 如 YBaCuO 中的孪晶界等. 陶瓷质高温超导体的晶粒边界多数为超导电性的弱连接区, 晶粒内部的界面目前仍不大清楚. 从应用看, 消除弱连接及澄清晶粒内界面对临界电流的影响, 即: 是有害的(起弱连接类型作用)还是有益的(起钉扎中心作用)这一问题更重要. 作者们曾经指出, 弱连接的作用可以用较小的一个有效钉扎力来描述^[1,2], 而总的有效钉扎力包括弱连接界面的贡献及晶粒内钉扎的贡献两部分, 并研究了 YBCO 多晶超导体样品中这两类贡献的大小及随温度和外磁场变化的性质. 本文利用和文献[2]中相似的实验及唯象处理方法, 研究 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (TBCCO) 多晶样品在低外磁场中的钉扎性质. 所得结果与 YBCO 的显著不同. 对这些结果作了讨论.

二、实验与结果

样品是长柱状的多晶体, 制备方法见文献[3]. 测量方法与文献[1]相同. 零电阻温度为 118K. 样品成份主要为 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 的高温相和 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ 的低温相以及这两相的共生体 (intergrowth), 与文献[4]报道的基本相同. 也发现一些缺 Tl 和缺 Ca 区, 估计主要是烧结过程中 Tl 的挥发和 Ca 的分凝 (segregation) 造成的, 但在晶粒内用扫描电子显微镜的分辨率没有看到结晶分凝的 Ca. Tl 的挥发损失是较肯定的原因, Ca 的欠缺仍不清楚. 晶体缺陷的双测结果与文献[5]报道的相同; 晶粒内的缺陷主要有晶界、位错、相界 (2223 和 2212 两相的界面), 没有看到孪晶. 当然晶粒之间的边界是重要的缺陷, 根据目前的结果, 这一缺陷的性质如何, 是影响多晶样品的临界电流和磁滞回线的最重要的因素.

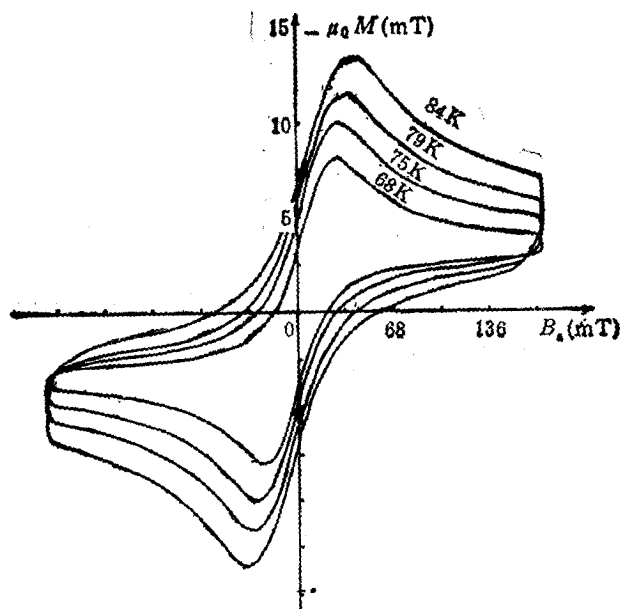
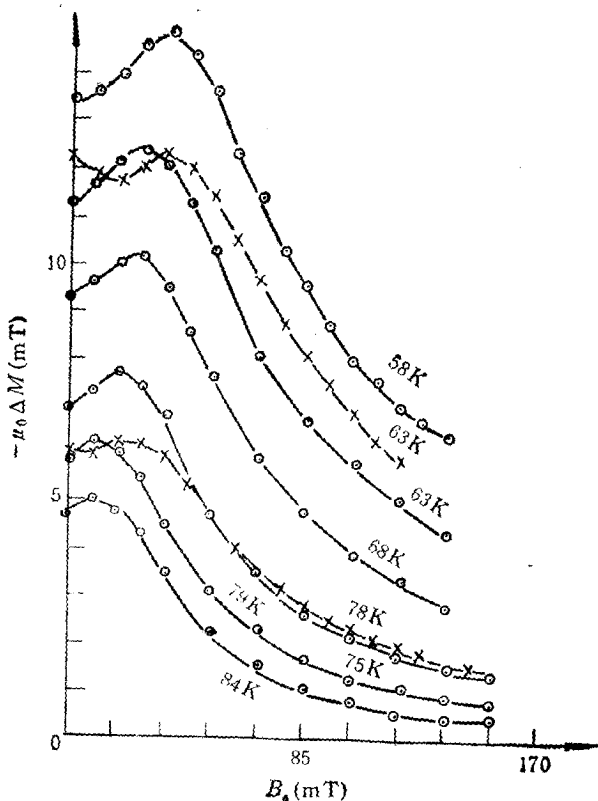


图1 TBCCO 906# 样品在不同温度下的磁滞回线

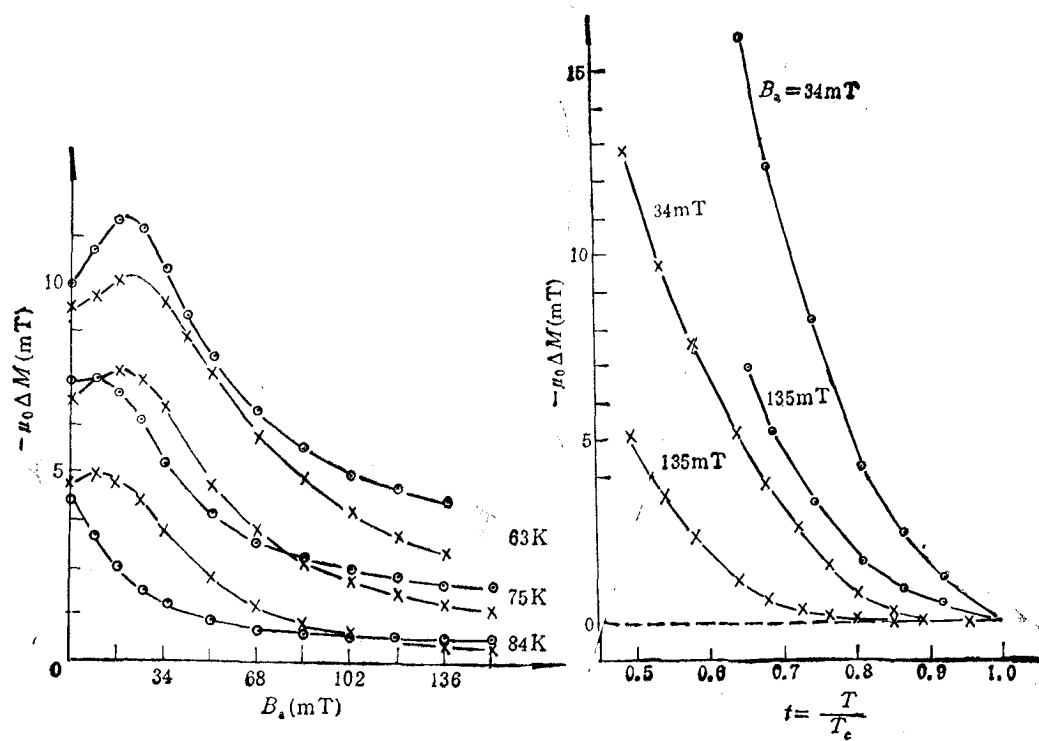
图2 不同温度下 TBCCO 磁滞量随外磁场的变化曲线
○为 906# 样品; ×为 1101# 样品

本文测量钉扎力的主要方法是测量磁滞性质。图1为部分典型的磁化曲线。

图2是从图1所示的多种磁滞回线取得的磁滞量 $\Delta M (=M^+ - M^-)$ 与温度 T 及施加外磁场 B_a 的关系。

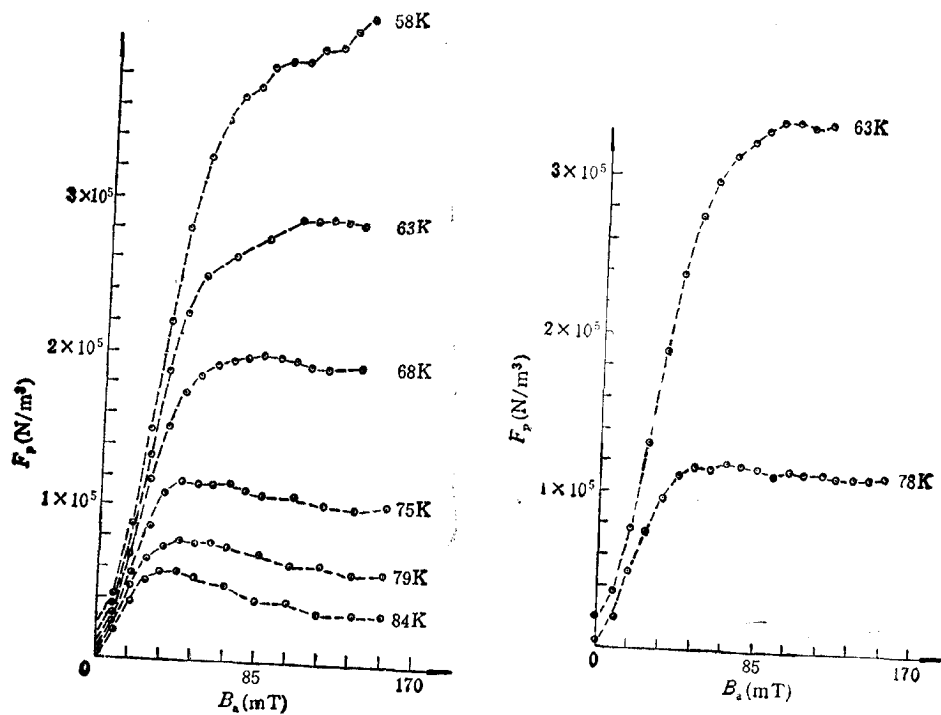
图3为 TBCCO 与 YBCO 的磁滞量的比较,它表明在 70 到 80K 之间,两种材料的磁滞量基本相同,在 80K 以上的高温区, YBCO 磁滞量小于 TBCCO,而在 70K 以下的温区, YBCO 磁滞量则明显大于 TBCCO,这是 TBCCO 的 T_c 高于 YBCO 的结果。同时可以看出,在同样的约化温度 $t = T/T_c$, 在高温区,例如本文测量的范围, YBCO 磁滞量比 TBCCO 的大。

用文献[1,2]所述的方法,得到图4所示的有效钉扎力 F_p 与施加外磁场 B_a 及温度的关系。明显看到,图4 TBCCO 的 F_p 在 $B_a \geq 34$



(a) 一定温度下磁滞量随外磁场的变化曲线 (b) 同一外磁场下磁滞量随约化温度的变化曲线

图3 ○为YBCO 1004# 样品; ×为 TBCCO 906# 样品



(a) TBCCO 906# 样品

(b) TBCCO 1101# 样品

图4 在不同温度下有效钉扎力随外磁场的变化曲线

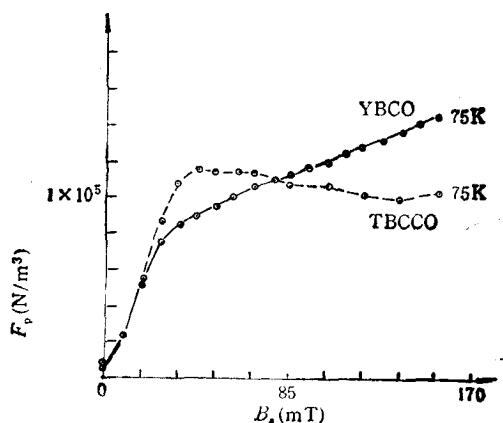


图5 同一温度下钉扎力随外磁场的变化曲线
实线为 YBCO 1004# 样品;虚线为 TBCCO 906# 样品

mT 的磁场出现峰值,即 TBCCO 的 F_p 在低外磁场中有“峰效应”。图5为同一温度时 T1 和 Y 两系样品的 F_p 与外磁场的关系比较,可以清楚地看出他们的磁场关系不同。

三、讨 论

1. 钉扎机制

文献[1]提出用有效钉扎力 F_p 来描述陶瓷质的氧化物高温超导体的磁滞行为。并指出,有效钉扎力由两类机制贡献:晶粒间的弱连接 F_1 和晶粒内的钉扎中心 F_2 , 即

$$F_p = F_1 + F_2.$$

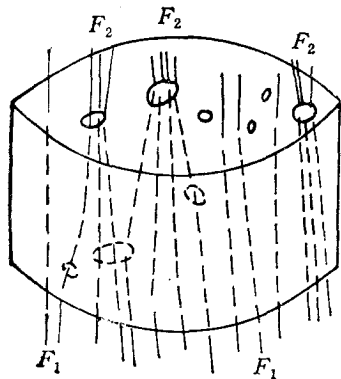


图6 磁通钉扎机制示意图

用这两类钉扎能较好地说明 YBCO 样品的剩余磁化强度与磁化场最大值的关系^[1]。图6示意地表示出这两类钉扎:非常弱的外磁场下,磁通线不能进入晶粒,只受弱连接的有效力 F_1 的作用,进入晶粒内的磁通线受 F_2 作用, F_2 决定于晶粒内钉扎强度和被磁通线穿透的晶粒数,详细讨论见文献[1]。在较大磁场中 F_2 起主要作用, F_1 可以忽略,因为 F_1 只代表弱连接的贡献,其值很小。在图4和图5中和 B_a 呈线性关系的为 F_2 , 而较小的外磁场中 F_p 的迅速增加主要是由于起作用的晶粒数增加的结果。由图5可见,在 $B_a \geq 0$ 附近,两条曲线重合,说明这段范围内钉扎力随外磁场的变化反映了颗粒超导体的共性:即颗粒之间的弱连接性。这段范围内 F_p 随外磁场 B_a 的变化只与温度、样品制备工艺有关,与样品成份几乎无关。

2. 临界电流

有效钉扎力是用以描述样品的传输电流的。对有弱连接存在的情况,临界电流密度

J_c 和相应的 F_p 都应较小, 这正是本实验得到的 F_p 很小的原因。 F_p 与 B_a 成正比表示 J_c 为常量, 这与许多实验观测到的结果一致。 由于在较强的磁场中, 例如 $B_a > 10 \text{ mT}$, F_p 主要来自晶粒内钉扎力的贡献, 所以晶内钉扎力和临界电流也应分别与 B_a 成比例及常量。 Küpfer 等人用交流磁化率方法测得的晶粒内临界电流确实证明, 在很大的磁场范围内这是正确的^[7]。 Dinger 等人对单晶 YBCO 的测量也得到 J_c 在数 Tesla 内基本为常量^[8]。 从钉扎理论角度看, 假定钉扎中心的密度远大于磁通量子线的密度, 则用直接求和近似, 钉扎力密度 F_p (单位体积的钉扎力) 应和单位体积中磁通线的总长度 B/ϕ_0 成正比 (ϕ_0 为磁通量子)。 由于 0.1 T 数量级的 B 相当于磁通量子线间的平均距离约为 $0.15 \mu\text{m}$, 假定晶粒内钉扎中心的距离远小于 $0.15 \mu\text{m}$ 是非常合理的。 因此晶粒内钉扎力正比于 B ($\approx B_a$) 也是很合理的。

3. 峰效应

在低温超导体钉扎机制的研究中, 关于钉扎力的峰效应 (peak effect) 提出了 4 种解释^[9,10]。 然而本文所观测到 TBCCO 的峰效应不能用这 4 种中的任何一种来解释。 我们认为由于 TBCCO 在液氮温区的晶粒内钉扎力 F_2 较 YBCO 的小, 也比弱连接的略小或相当 (在两种机制同时起作用的磁场区), 结果这两种钉扎力的相加导致 F_p 的极大。 YBCO 的 F_2 较大, 随外磁场增加的速率较快, 见图 4, 图 5, 而弱连接的等效钉扎力 F_1 则与 TLBCCO 的 F_1 差别不大, 所以 YBCO 不存在这样的峰效应。 总之, TBCCO 的 F_p 的峰可以用两种钉扎力与外磁场的关系不同, 并且大小差别不大来解释。

国家超导技术联合研究开发中心基金资助的课题。

- [1] 丁世英、颜家烈、余正、童红武、史可信、邱里, 物理学报, 39(1990), 999.
- [2] 颜家烈、施智祥、丁世英、余正、童红武、史可信, 低温物理学报, 排印中.
- [3] 余正、史可信、丁世英、邱里、颜家烈、齐福阳, 中日双边物理冶金学术讨论会文集, 上海, (1988).
- [4] 余正、丁世英、邱里、史可信、胡梅生、刘治默、陈晖、陈峻、郑建国, 低温物理学报, 11(1989), 384.
- [5] Ding Shiying (丁世英), Yu Zheng (余正), Chen Jun (陈俊), Hu Meisheng (胡梅生), *Chinese Phy. Lett.*, 6(1989), 24.
- [6] 王世光、戴远东, 氧化物超导材料物性专题报告文集, 甘子钊等主编, 北京大学出版社, (1988), 201 页.
- [7] H. Küpfer, I. Apfelstedt, R. Flükiger, C. Keller, R. Meier-Hirmer, B. Runtsch, A. Turowski, U. Wiech and T. Wolf, *Cryogenics*, 28(1988), 650.
- [8] T. R. Dinger, T. K. Worthington, W. J. Gallaher and R. L. Sandstrom, *Phys. Rev. Lett.*, 58(1987), 2687.
- [9] H. Ullmaier, *Irreversible Properties of Type II Superconductor*, Springer Tracts in Modern Physics, 76 (1975), p. 71—73.
- [10] A. I. Larking and Y. N. Ovchinnikov, *J. Low Temp. Phys.*, 34(1979), 409.

CHARACTERISTICS OF PINNING FORCE IN LOW FIELD FOR $\text{Ti}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ SUPERCONDUCTOR

DING SHI-YING SHI ZHI-XIANG YAN JIA-LIE YU ZHENG

SHI KE-XIN TONG HONG-WU QIU LI

Department of Physics, Nanjing University, Nanjing, 210008

(Received 23 February 1990)

ABSTRACT

By measuring magnetization curves of polycrystalline $\text{Ti}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductor, magnetitudes of the hysteresis against temperature T and applied field B_a have been obtained. Using the critical state equation, we have got an effective pinning force which varies with temperature and field and results from both contributions of winklinks and intragrain pinning. Peak effect of the effective pinning force has been found, and the peak moves to higher fields with temperature dropping. The peak effect is considered to be the results of two pinning mechanisms, which have different field relations. Finally, some discussions about the results are made.

PACC: 7460G; 7460J