

多层 PbBi-SiO 膜的超导临界电流特性*

丁世英 余 正 史可信 颜家烈

(南京大学物理系)

1986 年 12 月 15 日收到

提 要

用真空热蒸镀法制备了超导多层 PbBi-SiO 膜。测量了这些样品的超导临界参量。观测到同一样品上的临界电流在不同磁场和温度下有不同的特征。

我们用真空热蒸镀法制备了各种多层 PbBi-SiO 样品。PbBi 合金是超导体，而 SiO 是绝缘体。合金中含 18% 重量的 Bi，先由熔化法制成成分均匀的小球作为蒸发原料，每一个小球蒸镀一层 PbBi 合金膜，以保证各层膜的成份不变。一个 N 层膜的样品由 N 层 PbBi 和 N 层 SiO 交迭镀成。由四引线法测量样品的临界温度 T_c ，上临界场 H_{c2} 和临界电

流 I_c 。样品温度可在 3 K 到 20 K 之间按需要变化。背景磁场方向和膜面法线之间的夹角 θ 可控制在 $+90^\circ$ 到 -90° 之间变化。磁场由自制的超导亥姆霍兹线圈提供。实验的细节已另文报道^[1]。经 $I_c(\theta)$ 的测量推定，膜表面的平整性较好^[2]。图 1 为样品结构示意图。经石英振荡测厚仪和光学干涉计的测量，单层 PbBi 膜的厚度 d 在 $1000\text{\AA}$ 到 $1800\text{\AA}$ 之间，而 SiO 膜的厚度在 $60\text{\AA}$ 到 $100\text{\AA}$ 之间。

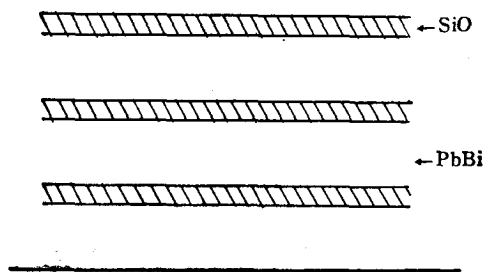


图 1

图 2 表示几种 N 值不同的样品在平行磁场中 ($\theta = 90^\circ$) 的临界电流 I_c 与温度和磁场的关系。显然在 T_c 附近 (T_c 为样品在磁场中的临界温度) 及在远离 T_c 的低温区 $I_c(T)$ 表现出了不同性质。在 T_c 附近有

$$I_{cH}(T) = A(T_0 - T)^{1.5}, \quad (1)$$

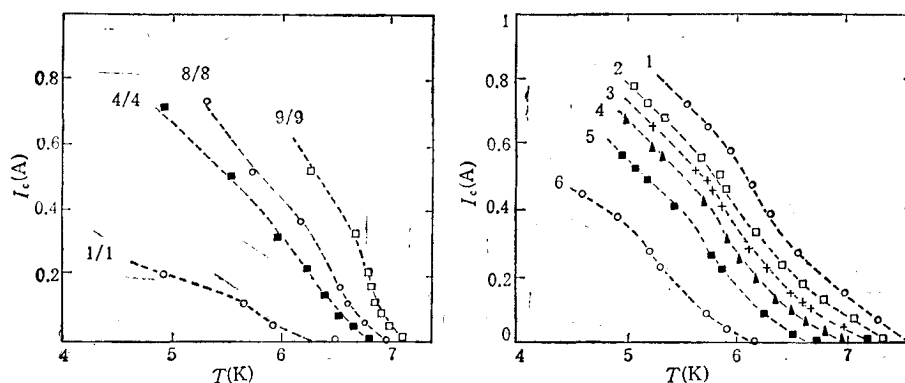
式中的 A 和 T_0 与温度无关，随样品和磁场而改变。图 3 表示出 (1) 式的指数确实为 1.5。横坐标 $(1 - t)^{3/2}$ 中的 $t = T/T_0$ 为约化温度。

在低温区， $I_{cH}(T)$ 有如下线性关系：

$$I_{cH}(T) = B - CT, \quad (2)$$

式中的 B 和 C 也是只与样品及磁场有关系，不随温度而变。在这种厚度下的 PbBi 膜样品

* 中国科学院科学基金资助的课题。



(a) $H = 2.5\text{kG}$ (b) 样品为 4/4; 1 为 $H = 0.83\text{kG}$; 2 为 $H = 0.95\text{kG}$; 3 为 $H = 1.6\text{kG}$; 4 为 $H = 2.5\text{kG}$; 5 为 $H = 3.3\text{kG}$; 6 为 $H = 4.95\text{kG}$

图 2

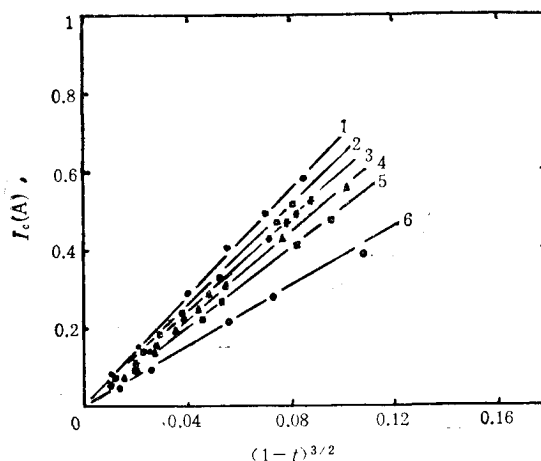


图 3 图注同图 2 (b)

在平行膜面的磁场中的 $I_{cH}(T)$ 由(1)式的曲线变为(2)式的直线应当反映了控制膜的超导临界电流的机制的变化。

为了研究 I_c 的机制, 我们又测量了磁场垂直膜面 ($\theta = 0^\circ$) 的临界电流的温度关系 $I_{c\perp}(T)$ 。图 4 中列出了在 T_c 附近, 薄样品分别在垂直和平行磁场中的典型 I_c 值, 说明 $I_{c\perp}(T)$ 即是 $T \rightarrow T_c$, (2) 式所示的线性关系仍旧成立。所以(1)式是薄 PbBi-SiO 膜的 I_c 在 T_c 附近当磁场平行膜面时的特性。

根据超导电性理论, 在严格的垂直磁场中, 即是薄膜样品也应具有大块超导体的性质。所以(2)式代表的 $I_c(T)$ 特征是块样品的性质。确实, 在块超导体样品中, 例如文献 [3] 和 [4] 所报道, 已观测到了一定磁场下 I_c 与 T 的线性关系。

图 2 的实验结果表明, 我们样品的 $I_{cH}(T)$ 大约在条件

$$0.8 \lesssim t \lesssim 0.9 \quad (3)$$

发生由(1)式到(2)式的转变。为了进一步了解条件(3)式的物理含义, 我们还通过测量样品的上临界场 $H_{c2}(T)$ 来测量膜的 GL 相干长度 $\xi(T)$ 。它们是通过下式相联系的:

$$\xi(T) = [\phi_0 / 2\pi\mu_0 H_{c2}(T)]^{1/2}, \quad (4)$$

式中 ϕ_0 为磁通量子, μ_0 为真空磁导率. 图 5 为上临界场与温度关系的测量结果. 图 5 中的 $H_{c2\parallel}$ 实际是表面效应. 从图 5 的 $H_{c2\perp}(T)$ 的数据, 条件(3)式相当于

$$360\text{\AA} \lesssim \xi(t) \lesssim 510\text{\AA}. \quad (5)$$

按照我们样品的厚度, $I_{c\parallel}(T)$ 性质上的转变可用物理意义更明显的条件

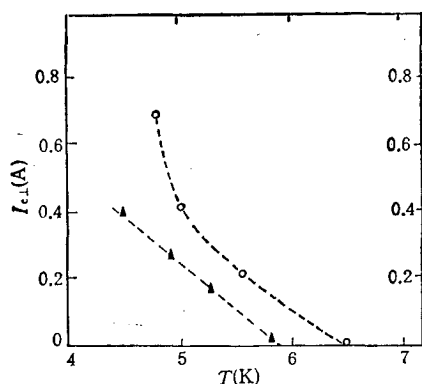


图 4 $H = 3.3\text{ kG}$; $\bullet$ 为 $H_{\parallel}$; $\blacktriangle$ 为 $H_{\perp}$

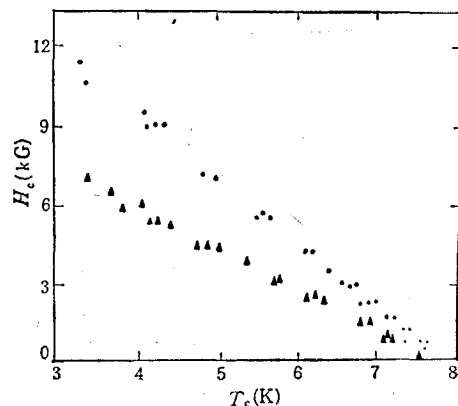


图 5 $\bullet$ 为 $H_{\parallel}$; $\blacktriangle$ 为 $H_{\perp}$

$$d \gtrsim 3\xi(T) \quad (6)$$

来表示.

实验上已证实在更薄的膜中的平行上临界场随温度变化时发生二维与三维的转变(即 $H_{c2\parallel}$ 的 cross over 现象), 但我们的样品尚不够薄, 不足以在 $H_{c2\parallel}(T)$ 上观测到明显的 cross over 现象. 然而这样厚的膜何以能测到 $I_{c\parallel}(T)$ 性质的变化, 其机制尚须进一步探讨.

参 考 文 献

- [1] 余正等, 真空科学与技术, 待发表.
- [2] 丁世英、余正、颜家烈、史可信, Proc. Joint Japan-China Semina II, (1986), p. 25.
- [3] 程本培等, 低温物理, 2(1980), 164.
- [4] C. R. Spencer *et al.*, IEEE Trans., MAG15 (1979), 76.

THE CRITICAL CURRENT OF MULTILAYER PbBi/SiO FILMS

DING SHI-YING YU ZHENG SHI KE-XIN YAN JIA-LIE

(Department of Physics, Nanjing University)

ABSTRACT

Multilayer PbBi/SiO film samples are prepared with alternative vacuum-evaporating method. Their critical currents are measured at various temperatures and in parallel and perpendicular applied magnetic fields. A variety of characteristics of critical current are found.