

吸气溅射 $\text{Mo}_{1-x}\text{Si}_x$ 薄膜的超导性能

赵忠贤 蒙如玲 周 萍 李 林

(中国科学院物理研究所)

1984年3月9日收到

提 要

对于四个 $\text{Mo}_{1-x}\text{Si}_x$ 薄膜样品进行了超导转变温度、临界温度附近的临界磁场以及在 4.2K 下的临界电流的测试,并且测量了室温(300K)及低温(8K)下的电阻率,结果显示四个样品具有非晶的特征,其中 $\text{Mo}_{7.8}\text{Si}_{22}$ 薄膜样品有较好的非晶特性.

我们已在前次快报中^[1]报道了吸气溅射薄膜样品的制备方法 & 膜的成份与结构分析结果. 在这工作基础上我们挑选了四个 $\text{Mo}_{1-x}\text{Si}_x$ 样品进行低温超导性能的测试,表 1 是四个样品的成份与结构分析结果.

表 1

样品序号	薄膜成份 at%	薄膜厚度(μm)	结 构
1#	$\text{Mo}_{86}\text{Si}_{14}$	1.14	bcc
2#	$\text{Mo}_{84}\text{Si}_{16}$	1.05	微晶+非晶
3#	$\text{Mo}_{7.8}\text{Si}_{22}$	1.03	非晶
4#	$\text{Mo}_{7.3}\text{Si}_{27}$	1.13	非晶

对于上述四个样品我们测试了室温(300K),低温(8K)下的电阻率 ρ , 超导转变温度 T_c , 临界温度附近的临界磁场 H_{c2} 以及在 4.2K 下的临界电流. 按弱耦合第 II 类超导体理论,利用 $(dH_{c2}/dT)_{T_c}$ 值计算了相干长度 $\xi(0)$, 测试结果在表 2 及图 1, 2 中给出. 其中 $H_{c2}(4.2\text{K})$ 是基于临界电流测量外推而得到的, 相当于测量电流为 0.1mA, 判据为 $7\mu\text{V}/\text{cm}$, 目的是便于归一化比较不同样品的临界电流, 因此其绝对值仅供参考. 图 2 给出的是 H_{c2} 随温度变化的曲线, 这里的临界磁场是在外场垂直于膜面方向测量在该场下的临界温度 T_c 而得到的 $H_{c2}(T)$, 临界温度 T_c 的确定是取其正常电阻的一半, 以此划出的曲线取其斜率定出 $(dH_{c2}/dT)_{T_c}$.

四个样品的电阻率随温度的变化都显示了负的温度系数, 其中 3# 样品达 1.24, 电阻率的绝对值比较偏大, 这可能是由氧化所造成, 用 XPS 分析结果表明四个样品中都含有少量的 SiO_2 造成一些复杂因素, 因此此电阻率的值不宜用于理论模型的计算. 四个样品的 $\xi(0)$ 近似为 $35\text{\AA}$, 这与相应较高的 dH_{c2}/dT 值是一致的, 从以上这些数据可以看出, 四个样品具有非晶态的特征.

从图 1 中给出的临界电流结果表明样品是不均匀的, 在 $b = H/H_{c2} = 0.5$ 时, 4.2K 下的临界电流近似 $10^3\text{A}/\text{cm}^2$, 这比铃木谦尔^[2]在块状溅射样品所得结果大一个数量级. 样品

表 2

样品 序号	T_c	ΔT_c	$\rho(\mu\Omega \cdot \text{cm})$		$r = \frac{\rho(3\omega\text{K})}{\rho(8\text{K})}$	$\left(-\frac{dH_{c2}}{dT}\right)_{T_c}$	$\xi(0)$	$H_{c2}(4.2\text{K})$
	(K)	(K)	(300K)	(8K)		(kG/K)	(Å)	(kG)
1#	6.47	0.47	547	567	1.04	38	36	66.0
2#	7.08	0.21	579	611	1.05	38	35	79.0
3#	6.74	0.16	702	870	1.24	43	34	76.8
4#	6.09	0.28	935	1061	1.13	44	35	60.3

的不均匀性来自制备方法的本身(即沿基片横截面成份的变化),同时也来源于其它缺陷,从X射线衍射,电子显微镜观察及XPS的分析结果表明,1#样品有Mo的脱溶,2#样品有亚稳中间相的微晶,3#,4#样品在非晶态基体中尚有微晶出现(图3),这很可能是 SiO_2 的微晶.在此必须说明,所有样品都有非晶存在并同时有少量的 SiO_2 ,这种颗粒状的杂质必然会增加磁通钉扎中心,从而提高了在零场下的临界电流.我们的结果可与Johnson^[3]热处理金属玻璃 $(\text{Mo}_6\text{Ru}_4)_{80}\text{P}_{10}\text{B}_{10}$ 得到沉积颗粒的样品的 J_c 与 H 曲线相比,但我们的零场临界电流密度要低两个数量级并且与外加磁场的变化更加平缓,如4#样品在零场时的临界电流与 $b=0.5$ 时的临界电流相似,这一结果表示我们可以利用适当的热处理工艺,制

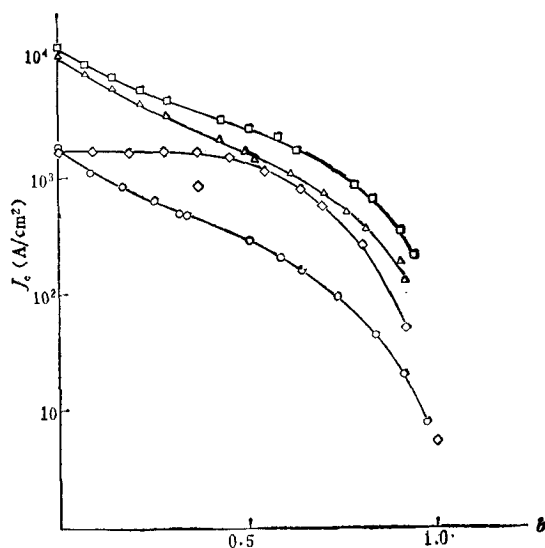


图1 临界电流密度 J_c 与外加磁场的关系 ○为1#样品; △为2#样品; □为3#样品; ◇为4#样品; $b = H/H_{c2}$

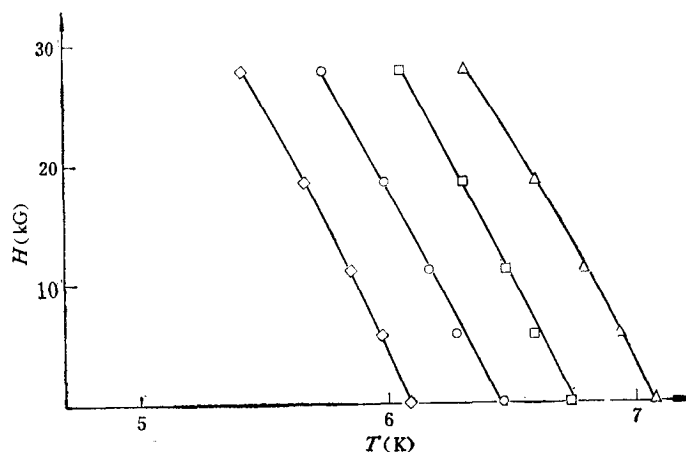


图2 磁场 H 与温度 T 的关系

○为1#样品; △为2#样品; □为3#样品; ◇为4#样品

备一种有非晶态为基体随机沉积较小颗粒的样品,使其临界电流在较大的磁场范围内与磁场无关.

临界温度 T_c 与铃木谦尔的结果相近,略为偏低,如果四个样品的 T_c 主要由样品中的

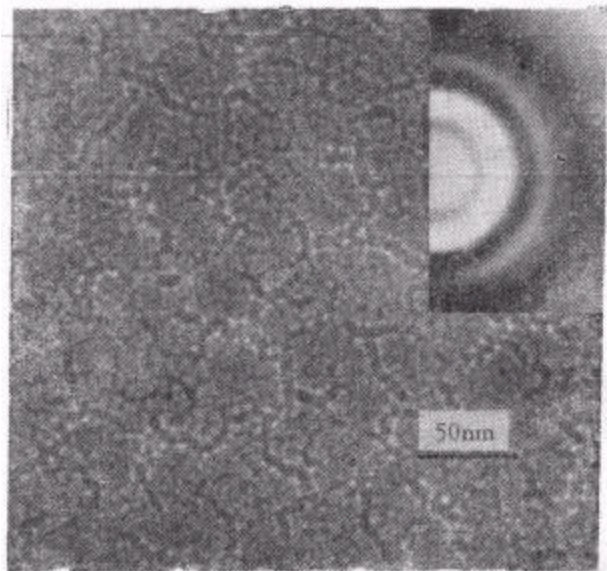


图3 $\text{Mo}_{73}\text{Si}_{27}$ 的电子显微相及电子衍射图

非晶部分决定(我们用直流四引线法测量电阻),那么按 Collver-Hammond^[4] 曲线所给出的规律, T_c 应随 Mo 含量的增加而增加;但 1# 样品不太符合,尽管从其它参数上看 1# 也有些非晶的特征,但应该说结晶相对于其 T_c 是主要决定者,这与铃木谦尔的结论也是相似的,但铃木并未提到有 Mo 的脱溶,这是否是我们制备工艺的特征还有待进一步工作.

从测试结果来看,3# 样品有较好的非晶性质,如 ΔT_c 小,零场临界电流密度高,负温度系数大等. 可以设想若用 3# 样品成份相似的合金靶溅射 Mo-Si 薄膜,在改进吸气

溅射装置以消除 SiO_2 的情况下,应该有更为理想的非晶特征样品以供分析及研究.

我们衷心感谢宁太山、杨大字、谢侃及王昌衡等同志的协助.

参 考 文 献

- [1] 蒙如玲等,物理学报, **33**(1984),第五期, 714.
- [2] 铃木谦尔,超导材料和非晶态绝缘材料的辐照效应研究会(昭和 57 年 1 月 19 日东北大金研).
- [3] W. L. Johnson, Glassy Metals I, Berlin, Heidelberg, New York, (1981), p. 218.
- [4] M. M. Collver, R. H. Hammond, *Phys. Rev. Lett.*, **30** (1973), 92.

SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF GETTER SPUTTERED $\text{Mo}_{1-x}\text{Si}_x$ FILMS

ZHAO ZHONG-XIAN MENG RU-LING ZHOU PING LI LIN

(The Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The superconductivity properties of four $\text{Mo}_{1-x}\text{Si}_x$ thin films were measured. The results of superconducting transition temperatures, the critical magnetic fields near T_c , the critical current densities at 4.2 K and room temperature (300 K) and low temperature (8 K) resistivity measurements indicated that the four samples showed characteristic features of amorphous films, the $\text{Mo}_{73}\text{Si}_{27}$ film showed better 'amorphousness' among them.

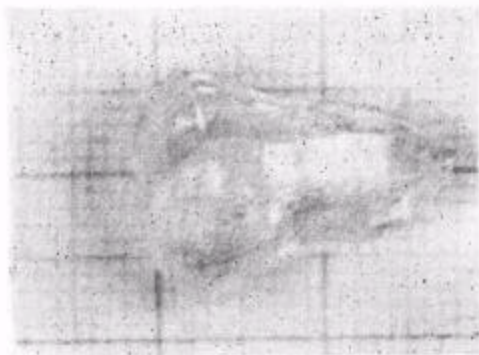


图3 提拉法生长 $\text{K}_5\text{Bi}_{10}\text{Er}_{0.1}(\text{MoO}_4)_4$ 单晶



图5 锥光图

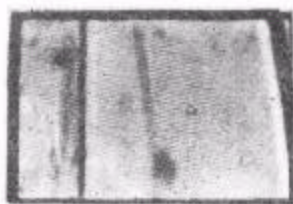


图6 生长条纹透光 $\times 13.5$



图7 双晶正交偏光 $\times 50$

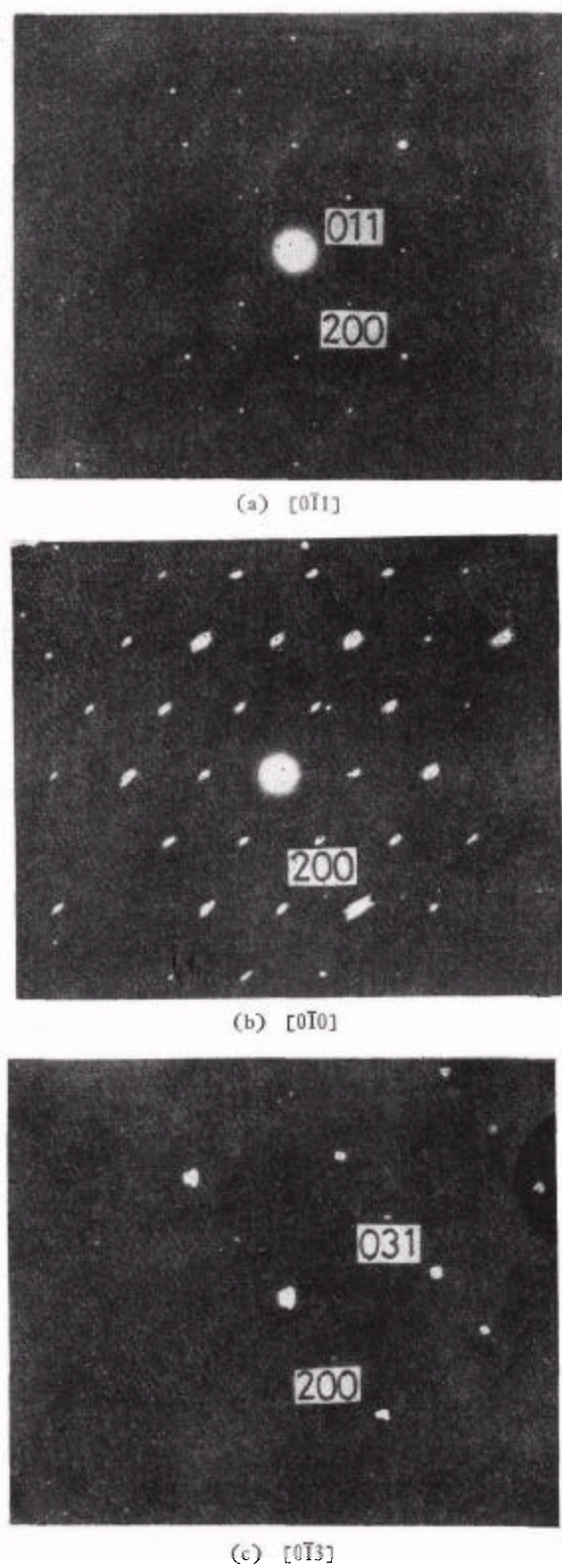


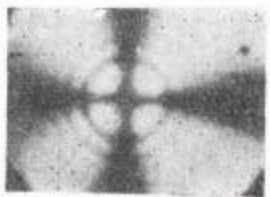
图 2 以 $[100]^*$ 为轴旋转 Ni_{12}P 晶体获得的不同取向电子衍射图



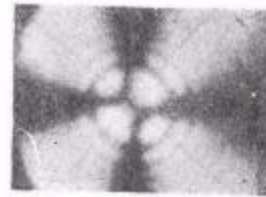
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

(a) 室温

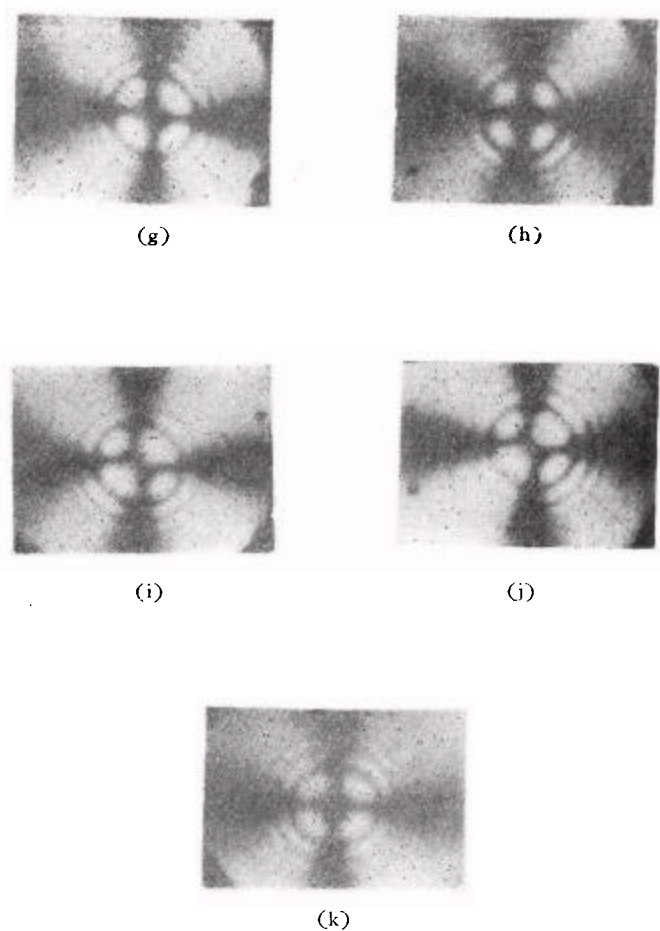
(b) 45°C

(c) 59°C

(d) 75°C

(e) 75°C , 晶台旋转 45°

(f) $77-100^\circ\text{C}$



(g) 65℃ (h) 60℃ (i) 40℃
 (j) 室温下, x 方向加电场($3 \times 10^3 \text{V/m}$) (k) 晶台旋转 45° , 室温下 x 方向加电场($3 \times 10^3 \text{V/m}$)
 图1 纯 LN 晶体在不同温度的锥光干涉图 ($\times 35$)
 (a)–(f) 升温; (g)–(i) 降温