

用 $\text{Re}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 隧道结的电子隧道 测定重掺杂 Re 膜的超导能隙*

王瑞兰 李宏成 管惟炎

(中国科学院物理研究所)

1986年12月15日收到

提 要

用 $\text{Re}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 隧道结的电子隧道测定了重掺杂 Re 膜的超导能隙, $\Delta_0 = (1.04 \pm 0.02)$ meV, $2\Delta_0/kT_c = 3.31 \pm 0.04$. Δ_0 值是用电导极大值法确定的. 结果表明, 杂质使 Re 膜的 T_c 与能隙 Δ_0 增加了许多倍, 但是 Re 仍然属于弱耦合超导体.

大块纯 Re 的 $T_c = 1.70\text{K}$. 超声法测量纯 Re 单晶的能隙^[1]得到: $2\Delta_0/kT_c = 3.50 \pm 10$ (沿 c 轴, 横波), 与 2.90 ± 10 (沿 c 轴, 纵波), 隧道测量结果为: $2\Delta_0/kT_c = 3.35 - 3.91$, 与晶体取向有关^[2]. 这些结果表明, Re 的 $2\Delta_0/kT_c$ 接近于 3.53, 属于弱耦合超导体. Re 薄膜的 T_c 与大块材料不同, 只有在超高真空, 高温底板上制备的 Re 膜的 T_c 才接近于大块的数值^[3]. 在液氮温度底板上冷凝的 Re 膜^[4], 用离子注入法注入 N, P 的 Re 膜^[5]以及重掺杂 Re 膜的 T_c 均可远远超过大块材料的数值, 而达到 7K. 本文报道用隧道方法测量了重掺杂 Re 膜的能隙的结果.

重掺杂 Re 膜的制备方法现简述如下. 在无油超高真空系统中用 E 型电子枪蒸发 Re, 底板处于室温, 真空度控制在 1.8×10^{-5} Torr 以内. 这样制备的 Re 膜含有较多的气体杂质, 剩余电阻比为 1.18, $T_c = 7.29\text{K}$, 转变宽度 $\Delta T_c = 0.26\text{K}$. 蒸完 Re 膜后, 原地蒸上 20 Å 厚的 Al 膜, 然后通纯 O_2 , 720 Torr, 氧化 30 min. 抽空后, 蒸镀 Al 做为对电极, 形成 $\text{Re}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 隧道结.

隧道结特性用恒流源隧道谱仪^[6]进行测量. 图 1 为 $T = 1.50\text{K}$ 时的 $I-V$ 曲线. 图 2 为能隙附近 $dV/dI-V$ 曲线的形状. 为了准确测量电导极大值 V_m 的位置, 电压轴的灵敏度较高, 为 0.1 mV/cm. 由此图求出 $V_m = (1.21 \pm 0.01)\text{mV}$. 再按电导极大值法^[7]确定能隙. 根据 V_m, T 值计算出 $eV_m/kT = 9.361$, 再查 $eV_m/kT - eV_m/\Delta$ 曲线(或表)^[7], 得出 $eV_m/\Delta = 1.1647$, 由此得出 $\Delta(1.50\text{K}) = (1.04 \pm 0.02)\text{meV}$.

由这些数据可以看出, V_m 与 Δ 是不相等的, 而且差别相当大. 对于这个情况, V_m 比 Δ 高出 16.5%. 可见通常用 $I-V$ 曲线斜率最大处确定能隙的方法是很不准确的. 用以上 Δ 值算出, $2\Delta_0/kT_c = (3.31 \pm 0.04)$. 重掺杂 Re 膜的 $2\Delta_0/kT_c$ 值接近于 BCS 理论值 3.53, 仍属于弱耦合超导体. 由这个测量结果使我们推论出, 经过掺杂后, Re 膜 T_c 的提

* 中国科学院科学基金资助的课题.

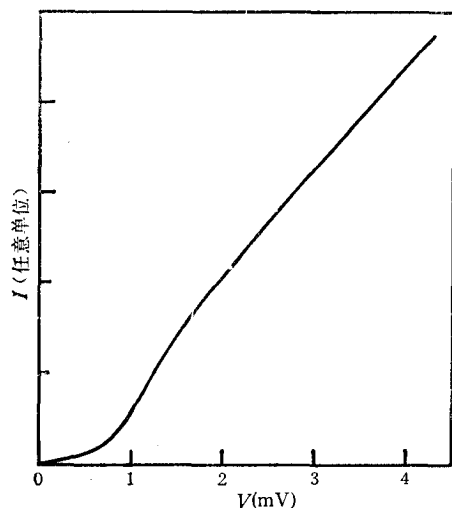


图1 $T = 1.50\text{K}$ 时, $\text{Re}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 的 I - V 曲线

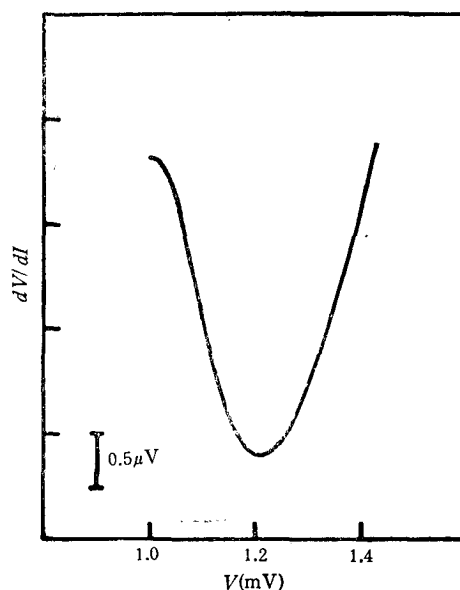


图2 $T = 1.50\text{K}$ 时, $\text{Re}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 的 $\frac{dV}{dI}$ - V 曲线

高不是由于声子软化造成的。

参 考 文 献

- [1] D. A. Robinson, M. Levy, *J. Low Temp. Phys.* 9(1972), 415.
- [2] S. I. Ochiai, M. L. A. Macvicar, R. M. Rose, *Phys. Rev.*, B4(1971), 2988.
- [3] A. ul. Haq, O. Meyer, *Thin Solid Films*, 94(1982), 119.
- [4] M. M. Collver, R. H. Hammond, *Phys. Rev. Lett.*, 30(1973), 92.
- [5] A. ul. Haq, O. Meyer, *J. Low. Temp. Phys.*, 50(1983), 123.
- [6] 李宏成、高捷、王平书、郑国光, 低温物理, 2(1980), 183.
- [7] 李宏成、王瑞兰、王平书、管惟炎, 物理学报, 35(1986), 256.

DETERMINATION OF SUPERCONDUCTING ENERGY GAP OF HEAVILY DOPED Re THIN FILMS BY ELECTRON TUNNELING

WANG RUI-LAN LI HONG-CHENG GUAN WEI-YAN
(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The superconducting energy gap of heavily doped Re thin films has been measured by electron tunneling of $\text{Re}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ junctions. We get $\Delta_0 = (1.04 \pm 0.02) \text{ meV}$, $2\Delta_0/KT_c = 3.31 \pm 0.04$. The Δ_0 value is determined by the maximum conductance method. It is shown that the energy gap and the T_c of Re films increases many times by impurity, but Re remains a weakly coupled superconductor.