

# 单相钇钡铜氧高温超导体的超导 转变与内耗原位研究

杜家驹 姜建义 王翔 尹华清

(中国科学院固体物理研究所)

1987 年 11 月 23 日收到

在 80 至 300K 温度范围内对  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  高温超导体的电阻、内耗和弹性模量随温度的变化进行了原位测量。在  $T_c$  附近观察到两个明显的内耗峰。从峰的特征推断,这两个内耗峰可能与电子在  $\text{Cu}^{2+}$  与  $\text{Cu}^{3+}$  之间的弛豫过程有关。而在 160K 到 280K 温度范围内所观察到的内耗峰及杨氏模量反常效应,可能与试样中氧空位的调整有关。

## 一、引 言

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  氧化物超导体的超导电性与其氧缺位状态密切相关<sup>[1]</sup>。内耗测量是一种非破坏性的、用于研究材料的缺陷的微观状态与微观过程的灵敏工具。在文献[2]中,我们报道了在超导转变温度附近观察到一个明显的内耗峰,以及位于  $T_c$  温度以上的另外两个内耗峰和模量反常效应。为了更精确地研究内耗峰与超导转变之间的关系,探求内耗峰的可能机制,我们采用同一试样原位同时测量其电阻、内耗和弹性模量随温度的变化,以及在同一试样上在同一温度下改变频率进行内耗测量,从而完全消除了用不同试样以及用不同测试设备所可能带来的实验结果的偏差,保证实验结果的可靠性。本文报道这一研究的初步结果。

## 二、实验过程

试样制备采用通常的陶瓷烧结工艺,由高纯  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$  和  $\text{CuO}$  粉末经混合、压制和烧结而成。其尺寸为  $80 \times 5 \times 4\text{mm}$ 。

用 PW-1700 自动粉末 X 射线衍射仪,对试样的晶体结构进行标定。

用标准的四引线直流电阻测定方法,与测量内耗和弹性模量的同时,对样品的电阻进行原位测量,为了不影响内耗测量的精度,四引线被压接在内耗试样的节点上(如图 1 所示)。

内耗与弹性模量测量采用声频共振棒自由衰减方法,内耗 ( $Q^{-1}$ ) 由试样弯曲振动的振幅衰减到起始振幅的一半时所经历的振动次数 ( $n$ ),按下式进行计算:

$$Q^{-1} = \frac{1}{\pi} \frac{\ln 2}{n}. \quad (1)$$

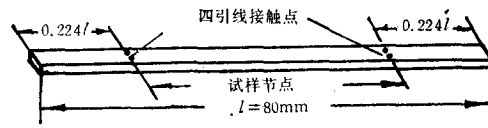


图1 试样的四引线接触点位置

试样的杨氏模量( $E$ )由试样的共振频率( $f$ )按下式进行计算:

$$E = \frac{4\pi^2 S \rho l^4}{m^4 I} f^2,$$

式中  $S$  为试样截面积;  $\rho$  为密度;  $l$  为长度;  $I$  为转动惯量;  $m$  = 常数(对于基波  $m = 4.730$ , 对于一次谐波  $m = 7.853$ ).

由于在测量线路中增添了选频倍频单元,使测量  $n$  的精度大为提高,使得  $Q^{-1}$  的测量相对误差小于 0.2%. 内耗曲线为升温曲线,升温速度为 1K/min.

### 三、实验结果

试样的 X 衍射分析如图 2 所示. 结果表明,样品具有单相正交结构

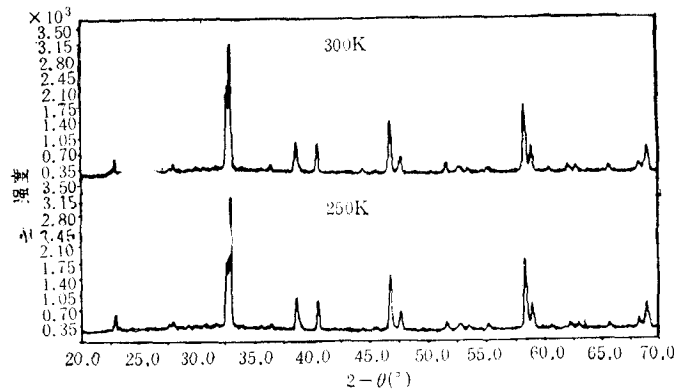


图2 试样的 X 射线衍射分析结果

图 3 为试样的电阻、内耗和杨氏模量 ( $E \propto f^2$ ) 随温度的变化原位测量结果. 在  $T_c$  (94K) 附近, 存在两个明显的内耗峰. 升温或降温测量时, 这两个峰的峰温和峰高基本上不变. 在 160K 至 280K 温度范围内, 出现另一个明显的内耗峰及模量反常效应, 升温 and 降温测量时, 该峰出现的温度和峰高存在着显著的差别.

分别用基波和谐波频率激发进行变频测量时,  $T_c$  温度附近的两个内耗峰的峰温随测量频率而变, 频率增高时峰向高温迁移(如图 4 所示), 且无振幅效应, 具有弛豫型内耗峰的特征. 按照峰温随测量频率而变化的 Arrhenius 关系, 求得这两个峰的激活能分别约为 0.16 和 0.18eV.

160K 至 280K 温度范围内的内耗峰的峰温不随测量频率而变.

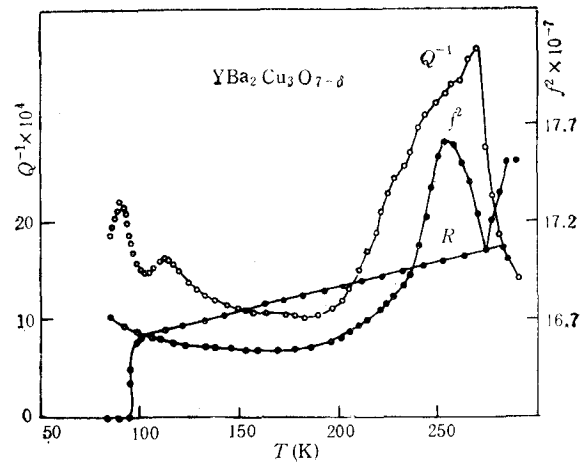


图3 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> 的内耗、杨氏模量和电阻随温度的变化原位测量结果

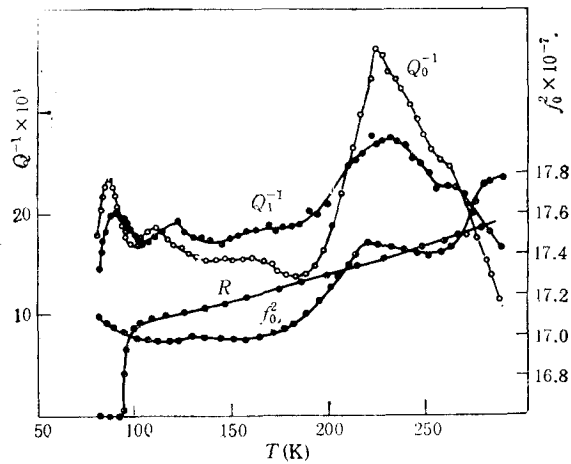


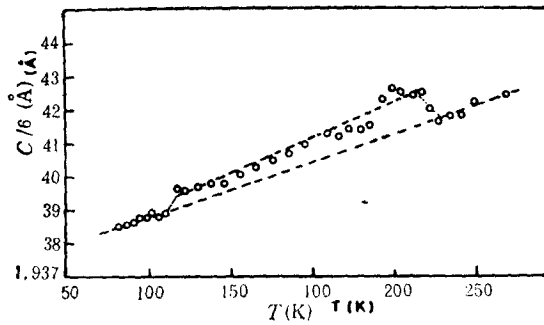
图4 内耗随测量频率的变化  $Q_0^{-1}$  为基波测量的;  $Q_1^{-1}$  为一次谐波测量的

#### 四、讨 论

从上述实验结果可以看出,160K 至 280K 温度范围内的内耗峰具有如下特征:

- (1) 升、降温测量时不重合,有滞后性;
- (2) 峰温附近对应着一弹性模量极小值及模量软化效应;
- (3) 峰温与测量频率无关。

根据上述特征,可以认为,该峰的出现与试样内部发生的某种微观结构变化有关。而同一样品的X射线衍射分析结果<sup>[3]</sup>表明,与内耗峰的温度范围相对应,试样的点阵常数有突变发生(如图5所示),然而其晶体结构类型并未发生变化(图2)。因此,这种微观结构变化不是通常含义的结构相变,而是点阵畸变,这种畸变可能与氧空位的调整有关。氧空

图5 点阵常数 $C$ 随温度的变化

位的调整导致了点阵的不稳定性, 并产生显著的模量软化效应. 这种软化效应可能与材料的高温超导电性有关, 其机制尚待进一步研究.

$T_c$  温度附近的两个内耗峰的峰温随频率而变; 峰的对称性; 无振幅效应; 以及升、降温测量时的重合性, 这些结果表明, 这两个峰为弛豫型内耗峰, 分别与一热激活弛豫过程有关. 鉴于其峰温很低, 其激活能很小(小于  $0.20\text{eV}$ ), 因此, 弛豫过程不可能是由于原子的跳动所引起, 而可能是电子的转移所致. 这种转移可能发生在  $\text{Cu}^{3+}$  和  $\text{Cu}^{2+}$  之间. 其机制将另文详细讨论.

王迎枫参加了部分实验工作.

[1] T. Siegrist *et al.*, APS, 1987, Mar. Meeting in New York.

[2] Du Jia-ju *et al.*, Progress in High Temperature Superconductivity 2 (1987), 333.

[3] Yin Hua-qing, Gao Yi-mei, Du jia-ju *et al.*, Appl. Phys. Lett., (1988), to be published.

## IN-SITU STUDY OF THE SUPERCONDUCTING TRANSITION AND INTERNAL FRICTION OF HIGH $T_c$ SUPERCONDUCTOR $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

DU JIA-JU    JIANG JIAN-YI    WANG XIANG    YIN HUA-QING

(Institute of Solid State Physics, Academia Sinica, Hefei)

### ABSTRACT

The resistance, internal friction and Young's modulus of a high  $T_c$  superconductor- $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-s}$  were measured in-situ at 80 K to 300 K. Two obvious peaks of internal friction were observed near  $T_c$ . On account of character of the peaks, we suggest that these two peaks are associated with the electronic relaxation between  $\text{Cu}^{3+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$ . The peak and anomalies of Young's modulus observed in the range of 160 K to 280 K may be related to the position adjustment of oxygen vacancies.