

研究简报

金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金的低温电阻率

曹忠胜¹⁾ 徐 明 赵忠贤

(中国科学院物理研究所)

1987 年 4 月 21 日收到

本文研究了金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金的低温电阻率特性。在较宽的温区 (2—273K) 测试了电阻率, 测量结果符合 Mooij 判据。样品电阻率随温度的变化行为与双能级隧道模型符合较好。

一、引 言

由于金属玻璃合金的结构无长程序, 因而其电阻率随温度的变化行为与晶态合金不同。根据 Mooij 判据^[1], 当样品的电阻率 $\rho \geq 150 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 时, 其温度系数 $\alpha (= \rho^{-1} d\rho/dT) < 0$, 电阻率值随温度下降而增大。为了解释这种现象, 人们提出了各种理论和模型^[2], 但目前尚未获得一致的认识。

随着对非晶态合金各种特性的深入研究, Zr 基金属玻璃已成为重要的一类过渡金属型非晶态合金。人们已经系统地研究了二元金属玻璃 $\text{Cu}_{1-x}\text{Zr}_x$ 和 $\text{Ni}_{1-x}\text{Zr}_x$ 合金的某些性质, 它们在组份范围内 ($0.30 < x < 0.75$ 和 $0.30 < x < 0.8$) 容易形成金属玻璃^[3]。我们选择了人们尚未研究过的金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金系统, 在较宽的温区 (2—273K) 测试了样品的电阻率, 并利用二能级隧道模型处理了实验数据。样品的室温电阻率均大于 $150 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 。在超导转变前, 样品电阻率随温度下降而增大, 符合 Mooij 判据。在 50—273K 温区范围内, 样品电阻率随温度的变化行为与二能级隧道模型给出的理论曲线符合较好。

二、实 验 方 法

金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金的样品是采用高速液相淬火技术制备的。原料 Cu, Ni 和 Zr 的纯度均为 99.99%。电弧炉曾用高纯度氩气多次清洗。为使合金均匀, 原料曾在氩气保护下多次熔炼。液相淬火也是在氩气环境中进行的。制备的样品带宽为 2—4mm, 厚为 20—30 μm , 来回对折 180° 不断, 表明其韧性良好。化学分析表明样品组分偏离甚微, 电子能谱分析表明组分均匀。X 射线衍射图形具有非晶态特征。根据 DSC (差分扫描量热仪) 的研究结果, 在 $10 \text{ deg} \cdot \text{min}^{-1}$ 的加热速率下, 样品晶化温度 T_g 均为 380°C。样品的超导转变宽度 $\Delta T_c < 0.05 \text{ K}$ 。以上结果表明所制备的样品是典型的非晶

1) 现在通讯地址: 中国科学技术大学研究生院。

态^[4].

样品电阻测量采用标准的四引线技术. 为了避免接触电势对测量所造成的误差, 均采用正反向取平均值的方法. 测试温区为 2—273K, 低温区 (2—20K) 采用 Lake, Shoenberger 电阻温度计, 高温区 (20—200K) 采用 Pt 电阻温度计, 实验精度为 0.27%. 样品几何尺寸的测量误差造成电阻率测试的绝对误差为 $\pm 10\%$. 约化电阻率的测试误差约为 0.01%, 这是由于消除了几何尺寸的影响.

三、实验结果

金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金样品的室温电阻率值 $\rho_{290\text{K}}$ 列入表 1. 随着 Ni 元素含量的增加, 样品 $\rho_{290\text{K}}$ 值增大.

在低温区 ($T < 10\text{K}$), 各种组份的样品均发生了超导转变. 超导转变前, 样品电阻率达到最大值. 表 1 中列出各种组份样品的最大电阻率值 ρ_{max} 及其达到该值时的温度 T_{max} .

样品约化电阻率 $\rho/\rho_{273\text{K}}$ 随温度 T 变化的关系如图 1 所示, 其中 ρ 和 $\rho_{273\text{K}}$

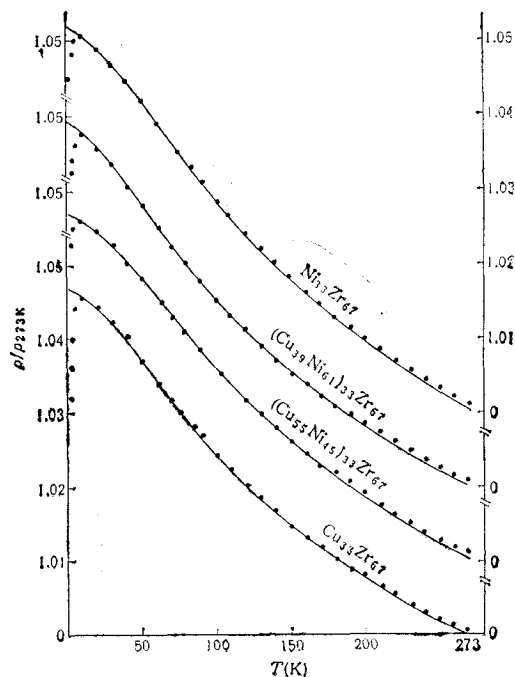


图 1 金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金各组份样品随温度 T 的变化行为
.....为实验数据; ——为理论曲线;
 $\rho/\rho_{273\text{K}} = r_0 - c \ln(T^2 + \Delta^2)$

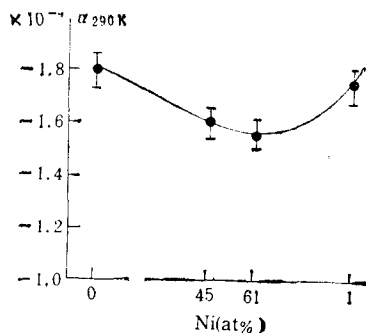


图 2 金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金的电阻率温度系数 $\alpha_{290\text{K}}$ 随 Ni 含量的变化关系

表 1

Ni (at%)	$\rho_{290\text{K}}$ ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	T_{max} (K)	ρ_{max} ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	$\alpha_{290\text{K}}$ (K^{-1}) $\times 10^{-4}$	$\theta_{\text{D}}^{[4]}$ (K)	C_{R} ($\times 10^{-2}$)	R_0 (Ω)	$R_{273\text{K}}$ (Ω)	Δ (K)	r_0	c ($\times 10^{-2}$)
0	165	7.05	173.4	-1.80	202	4.542	3.916	3.404	46.4	1.153	1.357
45	166	7.98	174.0	-1.71	198	7.075	5.945	5.148	50.6	1.154	1.374
61	167	8.52	174.3	-1.55	196	8.611	6.832	5.863	57.6	1.165	1.469
100	168	9.03	176.0	-1.76	194	13.480	9.815	8.297	58.0	1.183	1.625

是样品在温度 T 和 $T = 273\text{K}$ 时的电阻率值。随着温度上升, 样品电阻率值减小。在高温区 ($T > 100\text{K}$), 样品电阻率的变化趋于平缓。

样品电阻率温度系数近似为

$$\alpha_{290\text{K}} \simeq \frac{1}{\rho_{290\text{K}}} \frac{\rho_{290\text{K}} - \rho_{\text{max}}}{290\text{K} - T_{\text{max}}}.$$

表 1 中给出各种组份样品的 $\alpha_{290\text{K}}$ 值。样品的 $\alpha_{290\text{K}}$ 值与 Ni 含量的关系如图 2 所示。

四、讨 论

根据双能级隧道模型^[5], 金属玻璃中的传导电子将受到原子隧道状态的散射, 从而在低于 Debye 温度 θ_D 时导致其电阻率与温度的对数关系

$$\rho(T) = A + B\rho_N(T) - c \ln(T^2 + \Delta^2), \quad (1)$$

式中 A 和 B 均为常数, ρ_N 为严格的电-声子相互作用项, 2Δ 为两个原子隧道组态的能级差, c 为有效原子隧道组态的数目。

在低温下 ($T < 50\text{K}$), 电-声子相互作用对电阻率变化的影响很小, 即 $B = 0$, 这样, 约化电阻率与温度的关系为

$$r(T) = \frac{\rho(T)}{\rho_{273\text{K}}} = r_0 - c \ln(T^2 + \Delta^2). \quad (2)$$

样品电阻值与温度的关系为

$$R(T) = R_0 - C_R \ln(T^2 + \Delta^2). \quad (3)$$

根据模型本身很难计算出各种样品的参数 R_0 , C_R 和 Δ , 但利用 (3) 式可以拟合出理论曲线。所拟合出的各种组份样品的 R - T 曲线如图 3 所示。表 2 给出本文拟合曲线时所用的实验数据。所求出的参数 R_0 , C_R 和 Δ 的值列入表 1。约化电阻率 $r(T)$ 随温度 T 的变化关系如图 1 所示, 相应的参数 r_0 和 c 的值也列入表 1。

表 2

$R(\Omega) \backslash T(\text{K})$	10.0	30.0	109.0
Ni(at%)			
0	3.566	3.552	3.482
45	5.384	5.365	5.264
61	6.131	6.113	6.030
100	8.717	8.689	8.518

图 1 和图 3 表明, 温度较低时 ($T < \theta_D$), 理论曲线与实验数据符合得很好。温度高于 θ_D ($\simeq 200\text{K}$) 时, 实验数据略高于相应的理论曲线值, 表明电-声子相互作用对金属玻璃合金的电阻率的变化已作出贡献。

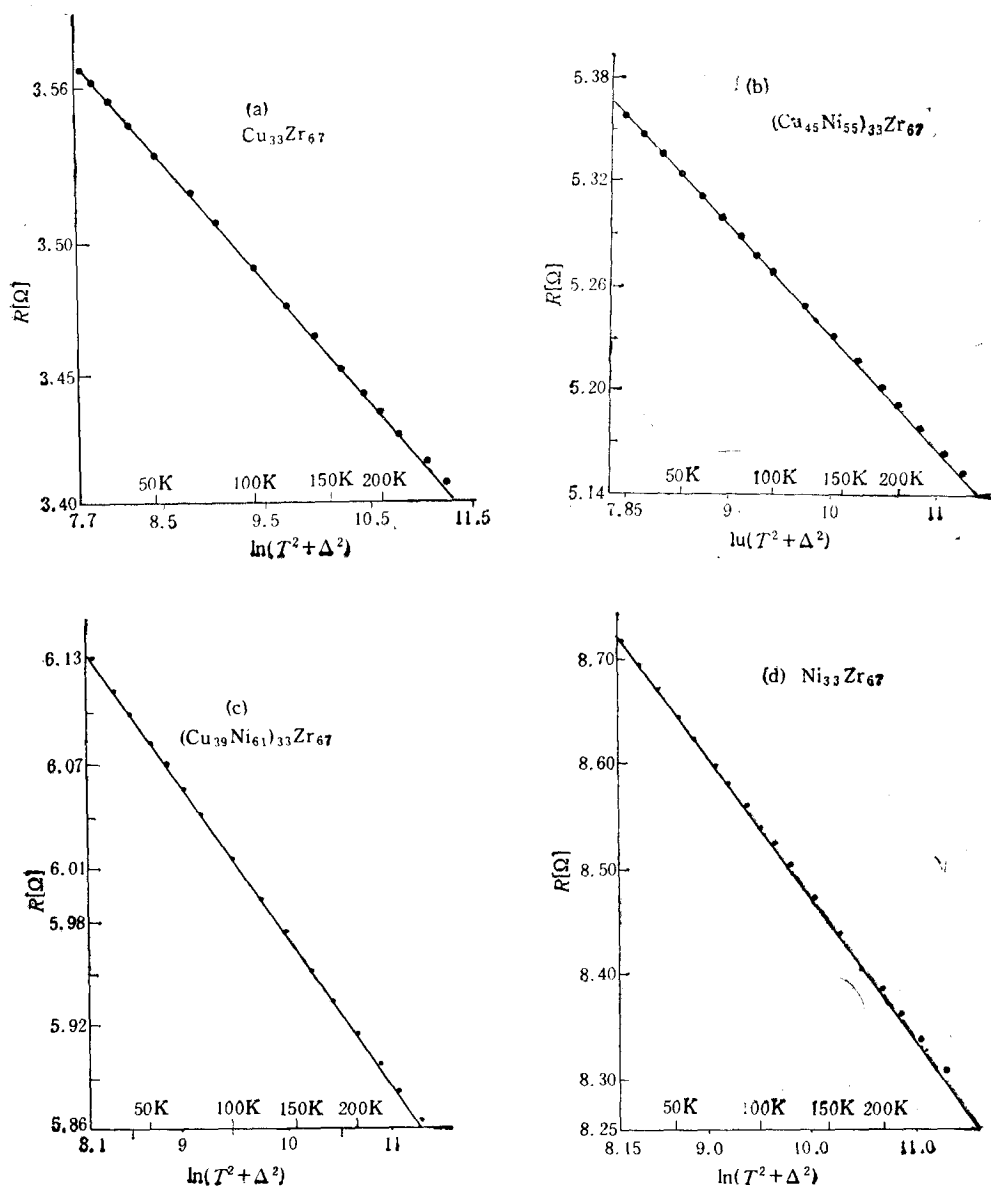


图3 金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金的 R - T 曲线

五、总 结

1. 金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金的电阻输运行为符合 Mooij 判据。各组份样品的电阻率值均大于 $150 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, 电阻率温度系数 α 均为负的。

2. 利用双能级隧道模型可以很好地描述金属玻璃 $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ 合金的低温度电阻输运行为。

3. 表 1 和图 2 中各参量与样品中 Ni 含量的关系有待进一步探讨.

- [1] J. H. Mooij, *Phys. Status Solid*, **A17** (1973), 521.
- [2] S. R. Hagel, *Excitation in Disordered System*, (1982).
- [3] Z. Altounian and J. O. Strom-Olsen, *J. Appl. Phys.*, **53**(1982), 4755; *ibid.*, **54**(1983), 3111.
- [4] 徐明、赵忠贤、管惟炎, 低温物理, **7**(1985), 93.
- [5] C. C. Tsuei, *Solid State Commun.*, **27**(1978), 691.

LOW TEMPERATURE RESISTIVITY OF METALLIC GLASSES $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$

CAO ZHONG-SHENG XU MING ZHAO ZHONG-XIAN

(*Institute of Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Low temperature electrical transport properties of metallic glasses $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_{33}\text{Zr}_{67}$ series has been investigated in the present work. In the wide temperature range of 2—273 K, the resistivity is in accordance with Mooij correlation. The theoretical results in the two level tunnelling model agree with the experimental data ($T < Q_D$) satisfactorily.