

非晶态 FeZrB 合金的电阻率与温度的关系

沈保根 詹文山 赵见高

(中国科学院物理研究所)

陈庆华 陈金昌

(云南大学物理系) (北京师范大学物理系)

1986 年 12 月 15 日收到

提 要

本文研究了非晶态 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Zr}_x)_{84.5}\text{B}_{15.5}$ ($x = 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.15$) 和 $\text{Fe}_{90-x}\text{B}_x\text{Zr}_{10}$ ($x = 0, 4, 10, 16, 20$) 合金的电阻率 ρ 与温度 T 的关系。实验结果表明, 当 Zr 含量在 $0.02 \leq x \leq 0.08$ 时, $\rho-T$ 曲线出现两个线性斜率, 在略高于居里温度 T_c 处出现转折, 在 $T < T_c$ 时的电阻率温度系数 α_1 随 Zr 含量的增加而下降; 在 Zr 含量大于约 8at% 时, 所有样品的 $\rho-T$ 曲线均在接近 T_c 处呈现出电阻率极小值。本文对极小值温度 T_{\min} 和电阻温度系数 α 随成分 x 的变化作了简要讨论。

在非晶态 FeZr 合金中, 由于 Zr 的作用, 许多物理性质往往出现反常^[1-3]。成分富 Fe 的非晶态 FeZr, FeNiZr 和 FeCoZr 合金的电阻率反常已有较多的研究^[3,5-7]。为观察不同 Zr 和 B 含量对非晶态 Fe 基合金性能的影响, 我们用真空单辊急冷法在氩气中制备了厚 20—30 μm , 宽 1—2mm 的非晶态 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Zr}_x)_{84.5}\text{B}_{15.5}$ ($0 \leq x \leq 0.15$) 和 $\text{Fe}_{90-x}\text{B}_x\text{Zr}_{10}$ ($0 \leq x \leq 20$) 合金, 并对它们的磁性、电性和热稳定性作了系统的研究。我们已报道了样品的磁矩和居里温度等随成分 x 的变化^[4,8]。本文报道在氩气氛中用四端法在 300K 至 950K 温区内所得电阻率与温度的关系。样品通电流 3mA, 电势测量分辨率为 0.2 μV , 升温速率为 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$, 并讨论了可能的电阻率散射机制。

图 1 和图 2 分别表示非晶态 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Zr}_x)_{84.5}\text{B}_{15.5}$ 和 $\text{Fe}_{90-x}\text{B}_x\text{Zr}_{10}$ 合金的约化电阻率 $\rho(T)/\rho(300\text{K})$ 与温度 T 的关系, 其中 $\rho(T)$ 和 $\rho(300\text{K})$ 分别表示当温度为 T 及 300K 时的电阻率。由图 1 可见, 在非晶态 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Zr}_x)_{84.5}\text{B}_{15.5}$ 合金中, 当 $x = 0$ 时, 从室温到接近晶化温度 T_c 的整个温度范围, 电阻率随温度的变化近似为线性关系。当 Zr 含量在 $0.02 \leq x \leq 0.08$ 时, 除 $x = 0.08$ 的样品在室温附近有一不明显的极小值外, 晶化前 $\rho-T$ 曲线也基本上为线性关系, 且电阻率温度系数 $\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$ 均大于零。但在某一温度 T_R 处, $\rho-T$ 线性关系的斜率有一转折, 如图 3 所示。我们用 α_1 和 α_2 分别表示 $T < T_R$ 和 $T > T_R$ 温区电阻率的温度系数, 并将 T_R , α_1 , α_2 以及 α_1 和 α_2 线性关系的适合温区 ΔT_1 和 ΔT_2 的值分别列于表 1。表 1 中也列出了居里温度 T_c 的数值。比较不同 x 下的 T_R 和 T_c 值可知, $\rho-T$ 线性关系的转折都发生在 T_c 附近, 且 T_R 略高于 T_c 值。从表 1 可以看

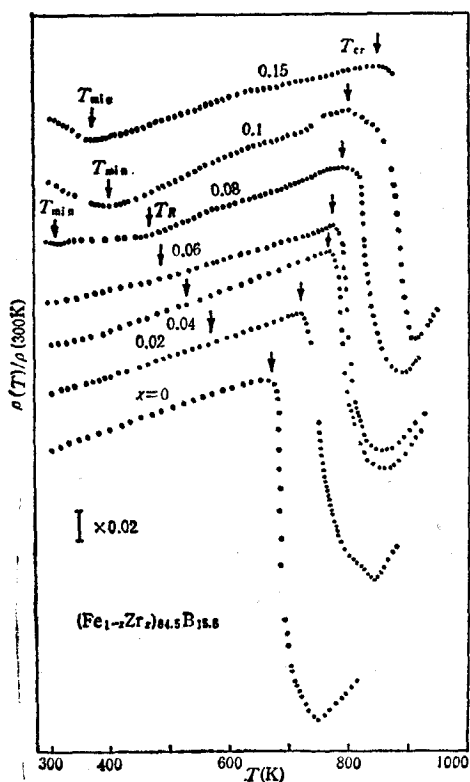


图 1

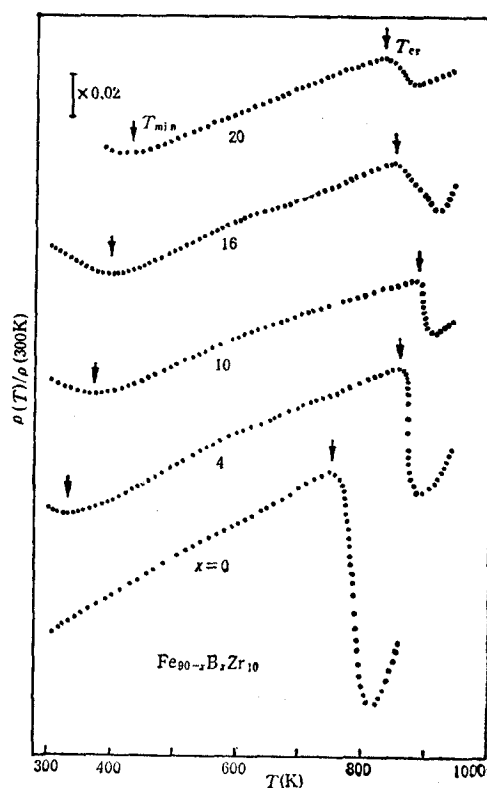


图 2

表 1 非晶态 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Zr}_x)_{64.5}\text{B}_{15.5}$ 合金的与电阻有关的一些参数

x	T_C^* (K)	T_R (K)	T_{\min} (K)	α_1 (K^{-1})	ΔT_1 (K)	α_2 (K^{-1})	ΔT_2 (K)
0	584		15**			1.38×10^{-4}	300—600
0.02	552	572		1.14×10^{-4}	$350 - T_R$	1.39×10^{-4}	$T_R - 700$
0.04	508.5	530		1.08×10^{-4}	$350 - T_R$	1.59×10^{-4}	$T_R - 720$
0.06	477.5	486		9.0×10^{-5}	$350 - T_R$	1.16×10^{-4}	$T_R - 750$
0.08	443	468	~310	4.8×10^{-5}	$405 - T_R$	1.52×10^{-4}	$T_R - 625$
0.1	397		400			1.77×10^{-4}	450—625
0.15			370			1.42×10^{-4}	420—625

* 参阅文献[8]. ** 参阅文献[9].

出, 电阻率温度系数 α_1 随 Zr 含量的增加而下降. 当 Zr 含量增加到 $x \geq 0.1$ 时, $\rho-T$ 曲线呈现电阻率极小值. 图 4 给出了电阻率极小值的温度 T_{\min} 和居里温度 T_C 与成分 x 的关系. 当 $x \geq 0.1$ 时, T_C 和 T_{\min} 值接近. 以上实验说明磁性机制对电子的散射起着显著贡献, 但是磁性机制目前还是属于研究探索课题. 非晶态合金 $\text{Fe}_{90-x}\text{Co}_x\text{Zr}_{10}$ ($x \leq 20$) 出现电阻率极小, Shirakawa 等人^[3]认为是相干交换散射的贡献. 我们的研究表明^[9,10], Fe 左边元素加入 Fe 基非晶态合金中, 电阻率贡献既来自电子-声子相互作用, 又来自局域自旋涨落 (LSF), 两者的温度关系在 $T < \theta_D/2$ 都呈 T^2 律, 当 $T > \theta_D/2$ 均呈

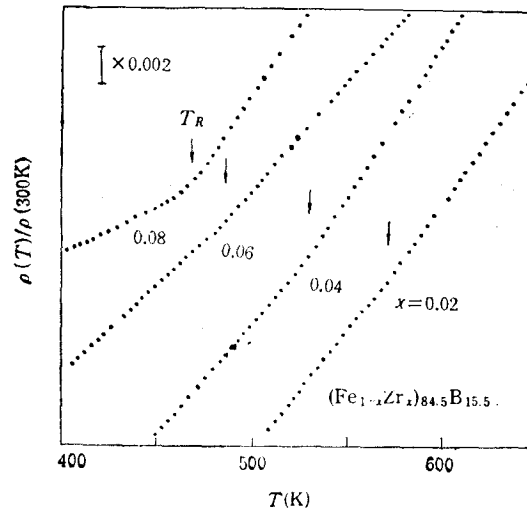


图 3

T 的线性关系^[11-13],但系数的符号相反. 对 FeZrB 非晶态合金, 当 $T < T_c$ 时, 电子-声子相互作用及磁性机制二者共存, 因此表 1 中 α_1 是两种呈反号机制-即电子-声子相互作用及 LSF 共同作用结果. 当 $T > T_c$ 时, LSF 作用消失, α_2 主要是电子-声子相互作用结果, 而 T_R 仅是反映这些消失的转折温度. 至于 T_R 出现在 FeWB 也有类似现象^[10], 完全可由实验精度分辨. 在 T_c 附近出现偏离 $\rho-T$ 关系情况更为复杂, 这与预晶化及声子振动振幅

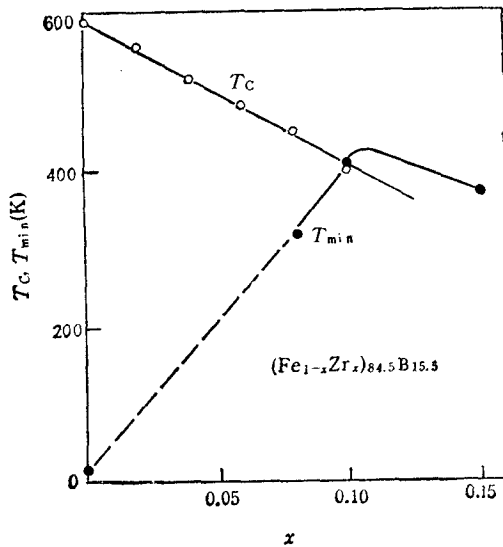


图 4

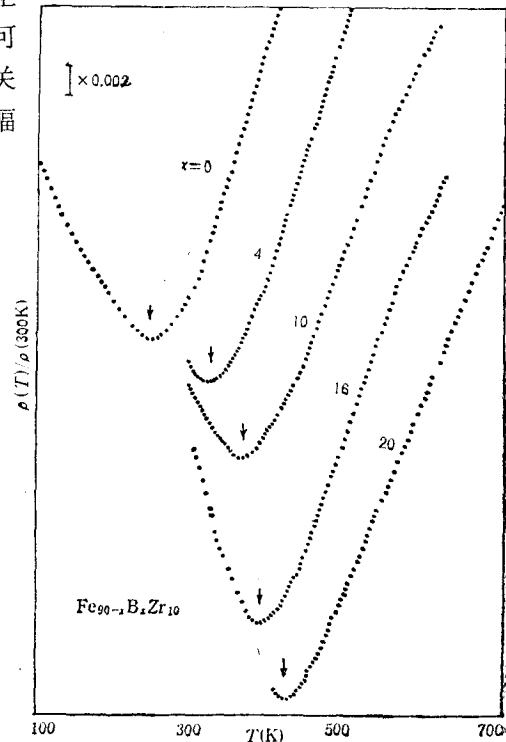


图 5 $x = 0$ 的曲线引自文献 [4]

大于散射电子自由程等有关。

由图 2 可见,非晶态 $\text{Fe}_{90-x}\text{B}_x\text{Zr}_{10}$ 合金,除 $x = 0$ 的样品外,在室温以上的 $\rho-T$ 关系都出现电阻率极小值. 在极小温度 T_{\min} 处的 $\rho-T$ 曲线示于图 5. 由图 5 得出的 T_{\min} 及 T_c 与 B 含量 x 的关系示于图 6 及表 2. 由图 6 可见, T_{\min} 与 T_c 随 x 的变化规律一致,且两者的数值接近. 当 $T > T_{\min}$ 时,在较宽的温区,非晶态 $\text{Fe}_{90-x}\text{B}_x\text{Zr}_{10}$ 合金的电阻率与温度近似为线性关系,如图 5 所示. 用 α_2 表示其电阻率的温度系数, α_2 的数值及适合的温度范围 ΔT_2 也在表 2 列出,随 B 含量 x 的增加, α_2 由 $x = 0$ 时的 $1.84 \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$ 下降到 $x = 20$ 时的 $1.20 \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$.

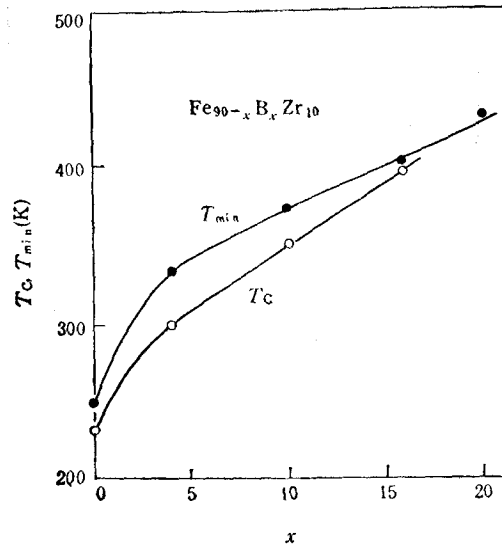


图 6

表 2 非晶态 $\text{Fe}_{90-x}\text{B}_x\text{Zr}_{10}$ 合金的与电阻率有关的一些参数

x	T_c^* (K)	T_{\min} (K)	α_2 (K^{-1})	ΔT_2 (K)
0	232	248.5**	1.84×10^{-4}	320—550
4	300	332	1.66×10^{-4}	400—580
10	349	372	1.45×10^{-4}	440—580
16	397	398	1.42×10^{-4}	460—590
20		430	1.20×10^{-4}	470—750

* 参阅文献[4]. ** 参阅文献[5].

从图 1 和图 2 均可看出, 温度 T_c 时电阻率的突然下降, T_c 随 Zr 含量的增加而显著上升, 说明 Zr 的加入使非晶态 FeB 合金热稳定性的提高. 在非晶态 $\text{Fe}_{90-x}\text{B}_x\text{Zr}_{10}$ 合金中, T_c 随 B 含量的变化在 $x \approx 6$ 时出现极大, 与 DSC 测量结果一致^[4].

参 考 文 献

[1] K. M. Unruh and C. L. Chien, *Phys. Rev.*, **B30** (1984), 4968.

- [2] K. Shirakawa *et al.*, *IEEE Trans. on Magnetics*, **MAG-16** (1980), 910.
- [3] K. Shirakawa *et al.*, *J. Phys. F*, **14** (1984), 1491.
- [4] 沈保根、詹文山、赵见高、陈金昌, *物理学报*, **35**(1986), 841.
- [5] 沈保根、詹文山、赵见高、郑晓年, *科学通报*, **31**(1986), 416.
- [6] C. L. Chien *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **53** (1982), 2307.
- [7] K. Fukamichi *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **53** (1982), 2310.
- [8] 詹文山、沈保根、赵见高, *物理学报*, **34**(1985), 1613.
- [9] 詹文山、沈保根、赵见高、陈金昌, *物理学报*, **35**(1986), 583.
- [10] 陈金昌、沈保根、詹文山、赵见高, *物理学报*, **35**(1986), 979.
- [11] S. R. Nage., *Phys. Rev.*, **B16** (1977), 1694.
- [12] A. B. Kaiser *et al.*, *Int. J. Magn.*, **1** (1970), 11.
- [13] R. Hasegawa, *Phys. Lett.*, **38A** (1972), 5.

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE ELECTRICAL RESISTIVITY FOR AMORPHOUS FeZrB ALLOYS

SHEN BAO-GEN ZHAN WEN-SHAN ZHAO JIAN-GAO

(*Institute of Physics, Academia Sinica*)

CHEN QING-HUA

(*Department of Physics, Yunnan University, Kunming*)

CHEN JIN-CHANG

(*Department of Physics, Beijing Teacher's College*)

ABSTRACT

The electrical resistivity of amorphous $(\text{Fe}_{1-x}\text{Zr}_x)_{84.5}\text{B}_{15.5}$ ($X=0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1$ and 0.15) and $\text{Fe}_{90-x}\text{B}_x\text{Zr}_{10}$ ($X=0, 4, 10, 16$ and 20) alloys has been studied as a function of temperature in the range of 300 to ≈ 950 K. We find that, for the samples with $X=0.02$ to $X=0.08$, the curves of $\rho(T)/\rho(300\text{ K})$ vs T have two linear slopes and the turning point appears above curie temperature T_c . The temperature coefficients α_1 of the electrical resistivity at $T < T_c$ decrease with the increase of Zr content. Above 8 at% Zr, $\rho(T)/\rho(300\text{ K})$ - T curves of the all samples show negative temperature coefficients and a minimum near T_c . Finally, the composition dependence of the minimum temperature T_{min} and the temperature coefficients α of resistivity are discussed in brief.