

自旋玻璃 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{5-y}$ 的磁性研究

戴守愚 沈保根 王忠铨

(中国科学院物理研究所)

1985 年 2 月 7 日收到

提 要

本文报道了金属间化合物 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{5-y}$ ($0.5 \leq y \leq 1.1$) 的自旋玻璃特性. 测定了样品的自旋玻璃冻结温度 T_f . $y \leq 0.9$ 时, 在一定温度下, 样品中发生顺磁-自旋玻璃转变, T_f 近似为 y 的线性函数, $y \geq 1.0$ 时, 材料将发生顺磁-铁磁-自旋玻璃转变.

一、引 言

许多 AB_5 型稀土-过渡族金属间化合物是优良的磁性材料与贮氢材料, 人们已对它们进行了大量的研究^[1,2]. 我们已知, LaNi_5 是一种顺磁材料, 以 Fe 替代其中一部分 Ni 原子, 相当于在顺磁材料基体内加入一部分铁磁性金属原子, 其中约 90% 的 Fe 原子占有 $3g$ 位, 约 10% 的 Fe 原子占有 $2c$ 位. 实验证明, $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{5-y}$ 是一种新的自旋玻璃体材料, 本文报道对它们所做的实验研究.

二、实 验

我们用 99% La, 99.9% Ni, 99.99% Fe 按 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{5-y}$ 的化学配比配制 (La 略多 1%), 在充氩的真空电弧炉中熔炼, 经过 5, 6 次反复熔化淬冷, 制成组分均匀的合金. 化学分析证明, 无成分偏离, X 射线分析表明, 它们是单相材料, 结构为 CaCu_5 型, 晶格参数为 y 值的函数; 在温度 65—300K 间无结构相变, 晶格参数是温度的函数.

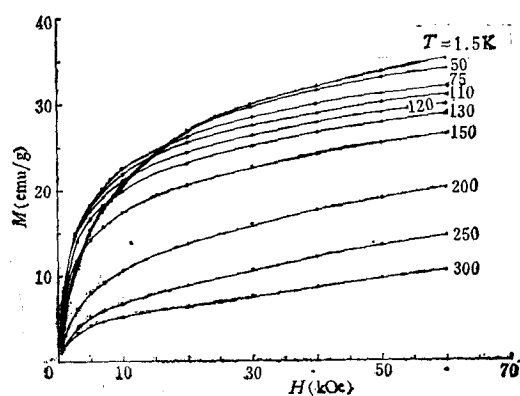
用提拉样品磁强计测量了样品的磁化曲线 ($M-H$), 热磁曲线 ($M-T$) 和磁化率与温度的关系 ($\chi-T$), 温度为 1.5—300K, 磁场强度为 38—60000Oe.

三、结果与讨论

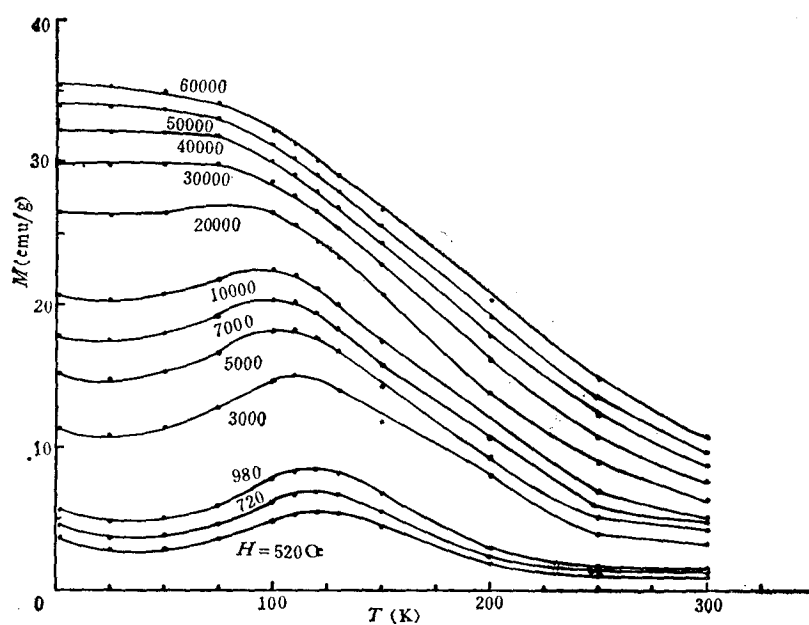
1. $M-H$ 曲线

为了观察金属间化合物 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{5-y}$ 的磁化过程, 测量了它们的磁化曲线, $y = 0.9$ 的样品的 $M-H$, $M-T$ 曲线见图 1.

从 $M-H$ 曲线分布看, 温度 100K 以下曲线明显密集. 以外, 低磁场下, 在温度约 110



(a)



(b)

图 1

K 下, $M-H$ 曲线有一峰值, 呈自旋玻璃特性. Mössbauer 谱实验证明: 在室温下,

$$0.5 \leq y \leq 1.1$$

的材料吸收谱为双线谱, 为顺磁性; 在温度 77K, $y = 0.7$ 的谱仍为双线谱, 但 $y = 0.9$ 材料的 Mössbauer 谱为六线谱, 它的超精细场分布与某些无定形材料相似, 是一个连续分布. 由此我们认为, 在温度约 100K 处, 材料内的电子自旋状态发生了某种转变.

2. $\chi-T$ 曲线

为了探讨在温度约 100K 处材料内所发生的相变过程, 我们测量了 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{1-y}$ 的 DC 磁化率 χ 与温度 T 的关系, 当 $y = 0.9$ 时, 样品的 $\chi-T$ 曲线见图 2.

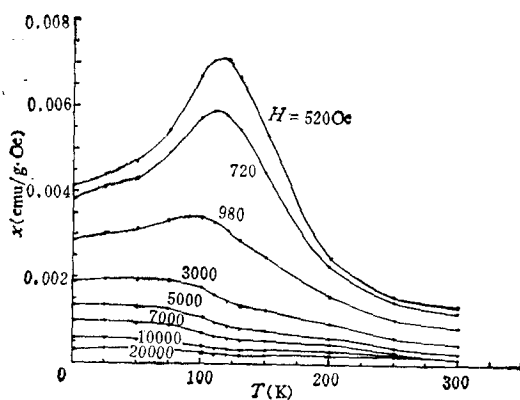


图 2

在外加磁场 60kOe 作用下, 在温度 1.5—300K 时, χ - T 曲线可以近似地看成一直线, 随着外加磁场强度的下降, χ - T 曲线上逐渐出现一个峰, 峰宽随场强下降而变窄, 峰高随场强下降而增大, 呈自旋玻璃体的特征, 由此我们认为 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{1-y}$ 是一种自旋玻璃材料。

3. M - T 曲线

众所周知, 自旋玻璃体在磁场中有磁滞回现象, 为了避免磁场的急剧变化对测量所造成的干扰, 我们在恒定低磁场下研究它们的 M - T 曲线。实验观察证明: M - T 曲线与 χ - T 曲线相似, 因此我们可以由 M - T 曲线的峰值温度来定 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{1-y}$ 的自旋冻结温度 T_f 。由零场冷却后再升温的 M - T 曲线(见图 3), 我们看到,

$$y = 0.5 - 0.9$$

的材料, 自旋冻结温度 T_f 是 Fe 原子浓度 y 值的线性函数。当 y 值增大到 1.1 时, 测定 $\text{LaFe}_{1.1}\text{Ni}_{0.9}$ 的自旋冻结温度为 117 ± 2 (K)。我们用切线外推法求得 $\text{LaFe}_{1.1}\text{Ni}_{0.9}$ 的居里温度 T_c (升温曲线的) 为 270 ± 3 (K)。

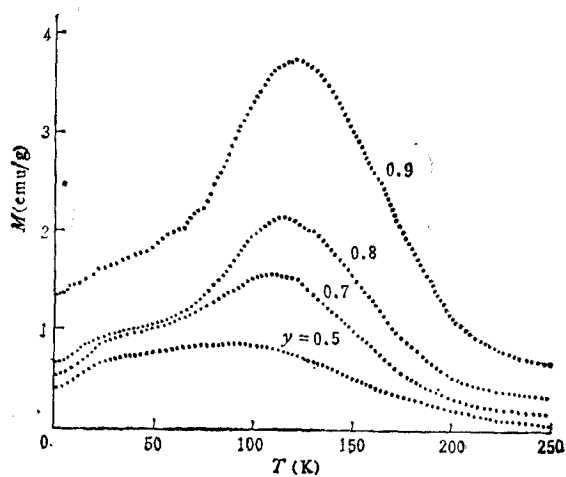


图 3 外加磁场为 200Oe, 升温速率约为 5K/min

图 4 为 $\text{LaFe}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$ 在不同外磁场下的 M - T 曲线, 由 M 的最大值得它们的自旋冻

表 1 $\text{LaFe}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$ 的自旋冻结温度(升温曲线)

外加磁场 (Oe)	38	200	500
T_f (K) (升温速率约 5K/min)	112 ± 2	111 ± 2	109 ± 2

结温度 T_f 。其数值见表 1。

由表 1 可看到,外加磁场强度的变化对自旋冻结温度的数值无显著影响,但是当降温速率约为 10K/min 时, $\text{LaFe}_{0.7}\text{Ni}_{4.3}$ 的自旋冻结温度位移到 $128 \pm 3(\text{K})$, 呈超前现象,它不同于热滞后现象,我们称为负温度滞后弛豫现象。

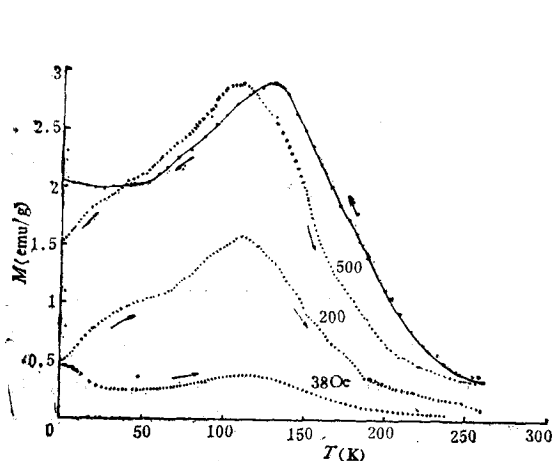


图 4 $\text{LaFe}_{0.7}\text{Ni}_{4.3}$ 在外加磁场强度分别为 38Oe , 200Oe , 500Oe 时的升温降温 $M-T$ 曲线升温速率约为 5K/min ; 降温速率约为 10K/min ; 38Oe 的曲线为外场冷却下的升温 $M-T$ 曲线, 其它两者为零场冷却后再升温的 $M-T$ 曲线

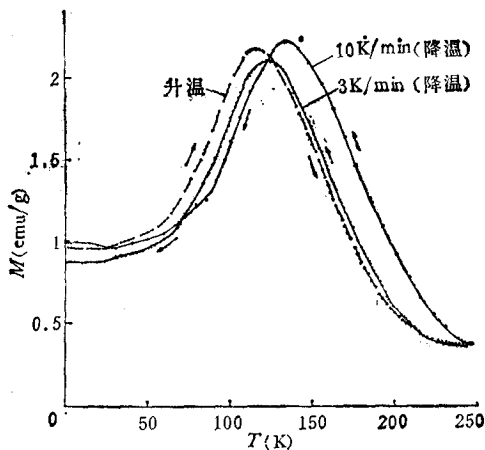


图 5 外加磁场为 200Oe ; 升温速率约为 5K/min ; 降温速率约为 10K/min , 3K/min

4. 弛豫现象

图 5 为 $\text{LaFe}_{0.8}\text{Ni}_{4.2}$ 外场冷却后的升温 and 降温曲线。升温时, 它的自旋冻结温度为

表 2 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{4-y}$ 的自旋冻结温度 T_f 与居里温度 T_c

y	$T_f(\text{K})$ (升温速率约为 5K/min)	$T_f(\text{K})$ (降温速率约为 10K/min)	$T_f(\text{K})$ (降温速率约为 3K/min)	$T_c(\text{K})$
0.5	90 ± 2	115 ± 2		
0.6	104 ± 2		111 ± 2	
0.7	111 ± 2	128 ± 2		
0.8	115 ± 2	133 ± 2	121 ± 2	
0.9	122 ± 2	144 ± 2		260 ± 3
1.0	136 ± 2	151 ± 2		
1.1	117 ± 2		119 ± 2	273 ± 3

$115 \pm 2(\text{K})$, 在降温过程中, 降温速率约为 $10\text{K}/\text{min}$ 时, 它的自旋冻结温度为 $133 \pm 2(\text{K})$; 若降温速率约为 $3\text{K}/\text{min}$, 它的自旋冻结温度为 $121 \pm 2(\text{K})$; 随着降温速率的减少, 它的数值逐步逼近升温时所测定的自旋冻结温度, 若降温速率趋近于零, 两者可能完全重合. 以上表明自旋冻结温度是温度变化速率的函数, 这种时间弛豫现象, 它可能起源于非平衡自旋系统在外磁场作用下出现的磁弛豫. 对于 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{5-y}$ 多列而言, 这种现象是它们所共有的, 其参数见表 2.

综上所述, 我们可以绘出稀土-过渡族金属间化合物 $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{5-y}$ 的磁相图 (图 6). 相图表明: $y \leq 0.9$ 时, 在一定温度下, 它们会发生顺磁-自旋玻璃的相变, 相变温度近似是 y 值的线性函数. $y \geq 1.0$ 时, 它们将发生顺磁-铁磁-自旋玻璃的相转变.

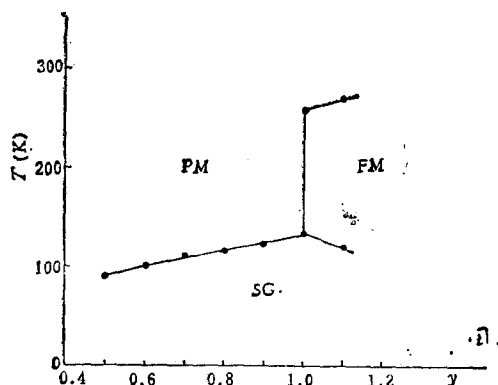


图 6

PM 为顺磁相; FM 为铁磁相; SG 为自旋玻璃相

参 考 文 献

- [1] 北田正弘, 鸭下源一, 金属材料, **15**(1975), 12, 77.
- [2] "Hydrogen in Metals II, Application-Oriented Properties", Topics in Applied Physics, Vol. 29, ed. G. Alefeld and J. Völkl, Springer-Verlag, New York, 1978, Chap. 5.

MAGNETIC PROPERTIES OF THE SPIN GLASS

$\text{LaFe}_y\text{Ni}_{5-y}$

DAI SHOU-YU SHEN BAO-GEN WANG ZHONG-QUAN

(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The magnetic properties of the spin glass $\text{LaFe}_y\text{Ni}_{5-y}$ ($0.5 \leq y \leq 1.1$) are reported. The spin freezing temperatures, T_f , in these alloys have been measured. It is observed that at lower temperatures there is a transition from the paramagnetic (PM) to the ferromagnetic (FM) phase for $y \leq 0.9$ and the Fe-content dependence of the freezing temperature is approximately linear. There is a transition from the PM to the FM and from the FM to spin glass phase for $y \geq 1.0$.