

# FeCrB 非晶合金带铁磁共振研究

何正明 梁任义<sup>1)</sup> 侯碧辉 徐云华<sup>2)</sup> 卢国荣 罗有泉

中国科学技术大学物理系, 合肥, 230026

1990年3月23日收到

本文报道用电子自旋共振谱仪所测得的 FeCrB 非晶合金带的铁磁共振谱, 给出了谱形随温度变化的实验结果. 用“独立晶粒近似”理论解释了样品中的磁相变化, 并讨论了线宽  $\Delta H$  随温度  $T$  的变化. 为研究非晶合金带材料的性能提供了新的实验结果.

PACC: 7550K; 7650

## 一、引 言

1956 年铁磁共振 (FMR) 多峰谱的出现为 FMR 的研究开辟了新的领域. 这种多峰的产生是样品中各部分分子磁矩在静磁场中以不一致进动方式被激发的结果, 称之为 White-Solt<sup>[1]</sup> 效应. 它为铁磁性材料的磁性研究, 特别是铁氧体磁性研究提供了新的实验途径. 由于非晶合金带的电阻率比同类晶态合金带的高一至两个数量级<sup>[2]</sup>, 它已成为 FMR 方法的又一个研究领域.

本文测量了  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_{84}\text{B}_{16}$  系<sup>3)</sup>非晶合金带的 FMR 谱及其随温度的变化. 讨论了室温下的多峰谱及其随温度变化而引起的磁相变化. 并讨论了 FMR 谱线线宽  $\Delta H$  随温度  $T$  的变化. 从实验看出 FMR 对非晶合金带研究是一种既方便又灵敏的好方法.

## 二、实验方法

1980 年中国科学院物理研究所用单辊急冷法制备 FeCrB 系非晶合金带. 1990 年用 X 射线鉴定仍为非晶结构, 经过 X 射线荧光谱分析 Fe 与 Cr 重量百分比与 1980 年的基本一致. 用联邦德国 ER-200D-SRC 型电子自旋共振 (ESR) 谱仪测定了样品的 FMR 谱及谱线随温度  $T$  的变化. 温度范围为 106—430K. 微波频率为室温谱  $f = 9.79\text{GHz}$ , 变温谱  $f = 9.50\text{GHz}$ . 信号增益: 图 1 和图 2 为  $1.25 \times 10^5$ , 图 3 为  $2.5 \times 10^4$ , 图 4 为  $2 \times 10^3$ .

1)、2) 中国科学技术大学结构分析中心, 合肥, 230026.

3) 中国科学院物理研究所于 1980 年制备.

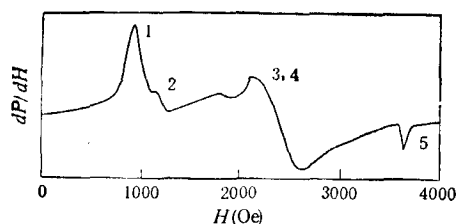


图 1 室温下  $(\text{Fe}_{0.58}\text{Cr}_{0.42})_{84}\text{B}_{16}$  FMR 谱五峰谱 1,2,3,4,5 为峰位; 频率  $f = 9.79\text{GHz}$

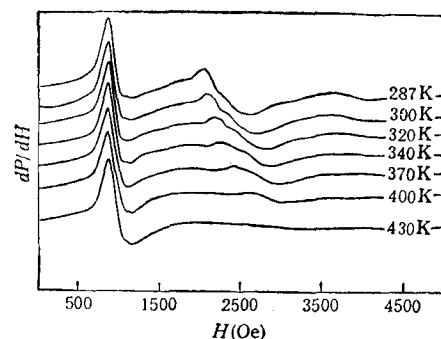


图 2  $(\text{Fe}_{0.58}\text{Cr}_{0.42})_{84}\text{B}_{16}$  FMR 变温谱温度范围为 287—430K; 频率  $f = 9.50\text{GHz}$

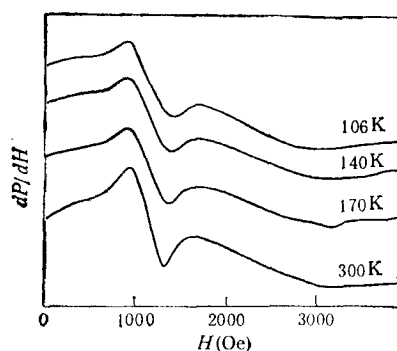


图 3  $(\text{Fe}_{0.54}\text{Cr}_{0.46})_{84}\text{B}_{16}$  FMR 变温谱温度范围为 106—300K; 频率  $f = 9.50\text{GHz}$

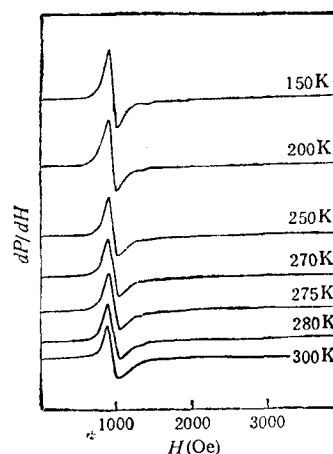


图 4  $(\text{Fe}_{0.70}\text{Cr}_{0.30})_{84}\text{B}_{16}$  FMR 变温谱温度范围为 150—300K; 频率  $f = 9.50\text{GHz}$

### 三、实验结果与讨论

#### 1. FeCrB 非晶合金带磁相分析

测量了  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_{84}\text{B}_{16}$  系非晶合金带室温下的 FMR 谱。谱线与一般 Fe-Ni 基非晶样品的 FMR 谱不同<sup>[3,4]</sup>, 出现了多峰结构。除了存在一个 1000Oe 左右的通常非晶样品都有的共振峰以外, 还存在另外四个共振吸收峰, 如图 1 中的 2,3,4,5 峰。图 3 和图 4 中因测量时信号增益较小而不明显。这种多峰的产生是因为样品成分组态不同而引起的磁相不同所造成。从图中可见峰 3 的共振场为 1800Oe, 峰 5 的共振场为 3800Oe 左右。我们认为这两个峰是因非晶合金带长期老化而在表面产生 Cr 氧化物的反铁磁性峰。从图 2 可以看到随着温度的升高(从 287K 至 430K), 低场峰 3 开始向高场方向移动。

当  $T = 340\text{K}$  时低场峰 3 消失,而高场峰 5 的峰位不变,但强度也在减弱,直到  $340\text{K}$  消失. 这温度已达表面氧化物的磁相转变点. 这与 Anufriev 等人<sup>[9]</sup>报道的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的共振谱基本一致. 所不同的是  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的奈耳点  $T_N$  为  $38^\circ\text{C}$ , 而从谱线得出的磁相转变温度约为  $70^\circ\text{C}$ , 比  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的奈耳点略高. 我们认为这可能是因为 B 原子的渗入或者是 Cr 的其它氧化物所引起. 另外峰 2 和峰 4 为 Cr 原子团所产生, 因为 Cr 为反铁磁元素, 其奈耳点为  $475\text{K}$ <sup>[6]</sup>, 因此温度升高到  $475\text{K}$  (我们的实验温度只能升到  $430\text{K}$ , 峰 4 还略可见). 谱线只剩下峰 1, 而峰 2 和峰 4 的消失温度正好与 Cr 的奈耳点符合. (图 2 样品量比图 1 少.)

上面的实验结果可以用 Schlömann<sup>[7]</sup> 所提出的“独立晶粒近似”来解释: 由分子场理论得到居里温度为

$$T_c = 2s(s+1)/3k_B \cdot \sum_{i,j} J_{i,j}.$$

其中  $s$  为原子(或离子)的自旋量子数,  $J_{i,j}$  为第  $i$  个原子(离子)和  $j$  原子(离子)之间的交换积分常数,  $k_B$  为玻耳兹曼常数.  $T_c$  的高低反映了交换作用的大小和原子近邻的配位情况.  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_{84}\text{B}_{16}$  系非晶合金的居里点和磁矩已有报道<sup>[8-10]</sup>. 随 Cr 含量  $x$  的增大, 居里点和磁矩都单调下降. 当  $x = 20\text{at}\%\text{Cr}$ ,  $T_c = 300\text{K}$ , 当  $x > 20\text{at}\%\text{Cr}$ ,  $T_c < 273\text{K}$ . 也就是说 Cr 含量高的材料在室温下呈顺磁性, 这是由于反铁磁性元素 Cr 的加入替代 Fe 原子的缘故. Cr 含量的增加一方面减弱了 Fe-Fe 原子间的交换作用. 另一方面 Cr 的局域磁矩与 Fe 磁矩的反平行耦合, 使长程关联作用减弱, 产生了弱耦合自旋团. Cr 的含量越大, 弱耦合自旋团越多. 所以可以假设系统中有许多局域自旋团在静磁场中独立运动, 产生非一致共振, 而形成多峰结构. Schlömann 的“独立晶粒近似”成立条件为  $4\pi M_s \ll H^A$ , 在我们的系统中是完全满足的,  $H^A$  为 FeCrB 非晶合金带的感生各向异性场.

## 2. 共振谱线宽 $\Delta H$ 随温度 $T$ 的变化

图 3 和图 4 分别表示  $(\text{Fe}_{0.54}\text{Cr}_{0.46})_{84}\text{B}_{16}$  和  $(\text{Fe}_{0.70}\text{Cr}_{0.30})_{84}\text{B}_{16}$  两种非晶合金带在低温下的共振谱随温度的变化. 图 5 表示由图 3 谱数据中  $\Delta H-T$  的关系曲线,  $\Delta H$  随  $T$  的升高 ( $106-300\text{K}$ ) 而线性下降. 我们认为这是电阻率随  $T$  增高而增大的正常电阻温度效应而引起的涡流损耗减小. 詹文山等人<sup>[10]</sup>测定了  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_{84}\text{B}_{16}$  系非晶合金带的电阻温度效应, 观察到这个系列样品在低温下的电阻反常现象, 即出现低温电阻极小. 他们得到电阻极小时对应的温度  $T_{\min}$  随 Cr 含量  $x$  的增加迅速下降. 当 Cr 含量  $x > 0.35$  时, 不出现低温电阻极小, 而且有电阻率  $\rho(T) \propto T$  (正常电阻温度效应), 即  $\rho(T)$  随  $T$  线性增加, 涡流损耗减小使线宽变窄. 图 5 中  $\Delta H$  随  $T$  线性下降与之相符. 而图 6 所示的结果正好与之相反, 随着温度  $T$  升高  $\Delta H$  稍有增大. 这可能是此样品在升温过程中样品有序化程度减弱所引起<sup>[11]</sup>.

从实验中还观察到同一系列里的两个样品的 FMR 谱线宽差别很大. 图 5 表示  $\Delta H \approx 450\text{Oe}$ , 而图 6 表示  $\Delta H \approx 130\text{Oe}$ . 这可能是样品制备过程中的不均匀性和表面的凹凸程度不同所引起.

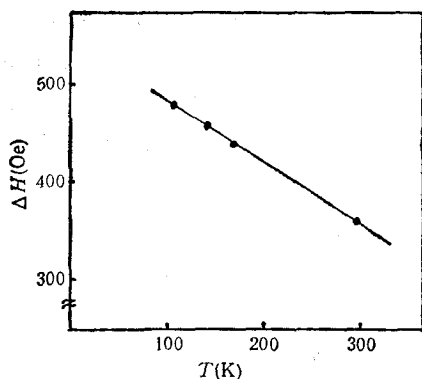


图5  $(\text{Fe}_{0.54}\text{Cr}_{0.46})_{84}\text{B}_{16}$  FMR 谱的  $\Delta H$ - $T$  曲线

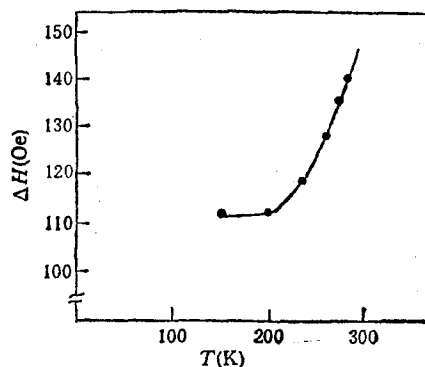


图6  $(\text{Fe}_{0.70}\text{Cr}_{0.30})_{84}\text{B}_{16}$  FMR 谱的  $\Delta H$ - $T$  曲线

#### 四、结 论

本文所测的 FeCrB 系非晶合金带的 FMR 多峰谱是对 Schlömann 所提出的“独立晶粒近似”成功地应用于非晶带的实验验证,实验发现的同一系列样品中  $\Delta H$ - $T$  的不同依赖关系是金属中涡流损耗随  $T$  增加而减小及样品中无序度随温度升高而增加的共同结果。FMR 是研究非晶合金带磁性能的好方法。

对赵见高、沈保根、詹文山等同志提供样品及对我们工作的热忱帮助表示衷心的感谢。

- [1] 李荫远、李国栋,铁氧体物理学,科学出版社,(1978),189 页.
- [2] 郭貽诚,王震西,非晶态物理学,科学出版社,(1984),372 页.
- [3] R.S. de Biasi, R.W.D. Rodrigues, *J. Mater. Sci.*, **20** (1985), 845.
- [4] I.C.Bianu, K.A. Kubinson and J. Patterson, *J. Phys. Chem. Solids*, **40** (1979), 941.
- [5] V.G.Anutrive, *Phys. Lett.*, **64A** (1977), 139.
- [6] 郭貽诚,铁磁学,人民教育出版社,(1982),113 页.
- [7] E.J. Schlömann, *Phys. Chem. Solids*, **6** (1958), 257.
- [8] 詹文山、沈保根、赵见高、郭慧群,低温物理,7(1985),41.
- [9] H.J. Vind Nielsen, *J. Magn. Magn. mat.*, **12** (1979), 187.
- [10] 詹文山、沈保根、郭慧群,低温物理,5(1983),91.
- [11] 同文献[6],425 页.

## FERROMAGNETIC RESONANCE STUDY IN FeCrB AMORPHOUS ALLOYS

HE ZHENG-MING LIANG REN-YOU HOU BI-HUI

XU YUN-HUA LU GUO-RONG LUO YOU-QUAN

*Department of Physics, University of Science and Technology of China Hefei, 230026*

(Received 23 March 1990)

### ABSTRACT

Ferromagnetic Resonance spectra of  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_{84}\text{B}_{16}$  amorphous alloys and the change of spectra with temperature have been observed in the temperature range 106 K to 430 K. The FMR spectra are multipeak. The variation of line width  $\Delta H$  with  $T$  has been discussed. This is an experimental verification of "independent grain approximation".

**PACC:** 7550K; 7650