

非晶合金 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ ($x=0.4\sim 0.6$) 磁性的 EET 理论研究

谷月^{1,2}, 张艳辉², 尹丽娟², 晁月盛²

(1. 辽宁科技大学, 辽宁 鞍山 114000)

(2. 东北大学, 辽宁 沈阳 110004)

摘要: 采用熔体单辊急冷法制备了非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ ($x=0.4\sim 0.6$)合金, 使用穆斯堡尔谱仪、透射电镜 (TEM) 和振动样品磁强计 (VSM) 对其进行了表征, 穆斯堡尔谱和 TEM 结果表明所制样品均为非晶态。然后借助于固体与分子经验电子理论 (EET 理论), 计算了非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ 合金的价电子结构和磁矩, 磁矩的理论计算值与实验测定值的误差小于 10%, 满足一级近似要求, 实现了从价电子层次上计算非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ 合金的磁矩, 这对于优化非晶合金 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ 的软磁性能将具有理论指导意义。

关键词: $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$; 价电子结构; EET; 磁矩

中图分类号: TG132.2+7

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2015)07-1702-04

铁钴基非晶态合金具有很高的磁导率、很低的矫顽力和损耗、良好的高频性能, 用于制作电子变压器、磁记录头、磁放大器等电子元件, 适应了现代电子仪器和电子设备小型化、轻量化的发展。1960 年 Duwez 等^[1]人提出了熔体急冷法制备非晶合金。1970 以后, 在采用熔体旋辊急冷法制备了非晶薄带后, 非晶软磁材料得到飞速发展。世界上每年都有大量文献报道通过研制新成分来提高 FeCo 基软磁材料的性能或探索性能改进的微观机理等方面的科研成果^[2-7]。为了改善非晶合金的性能, 发展高性能的功能材料, 从理论上计算非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ 合金的性能具有重要的意义。本研究利用固体与分子经验电子理论 (EET 理论) 中的 BLD 方法对非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ ($x=0.4\sim 0.6$)合金的磁矩进行了计算, 初步实现了从电子层次上研究非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ 合金软磁性能。

1 实验

在中科院金属研究所, 使用德国 Hechigen 公司制造的 Edmund Bühler 真空单辊熔体急冷设备, 制备了 3 种非晶合金 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ ($x=0.4\sim 0.6$)薄带, 真空度 2×10^{-4} Pa。薄带厚度在 30~40 μm , 宽度在 2 mm 左右。使用穆斯堡尔谱仪和透射电镜对制备的合金薄带进行表征。

图 1 为淬态 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ ($x=0.4$)合金条带的穆斯堡尔谱, 谱形呈现为不对称展宽六线谱, 第 2、

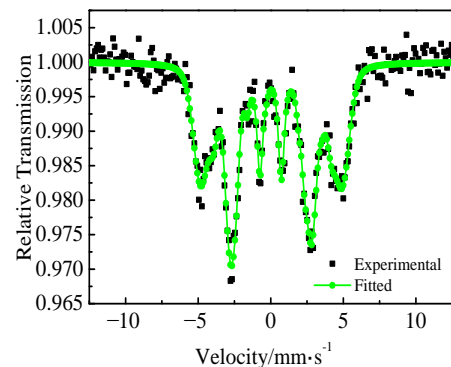


图 1 非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ ($x=0.4$)合金条带的穆斯堡尔谱
Fig.1 Mössbauer spectra of amorphous $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{86}\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ ($x=0.4$) alloy

5 峰强度明显高于第 1、6 峰。这是磁性非晶合金的典型谱线, 因为非晶由于熔体急冷制备而导致其原子无规则混乱分布, 表现为非晶合金的超精细磁场连续分布 ($\bar{H}_{\text{hf}} = \frac{\int_{-\alpha}^{+\alpha} Hp(H)dH}{\int_{-\alpha}^{+\alpha} P(H)dH}$), 而由于非晶薄带以单辊急冷法制备使原子趋向平行带表面分布, 导致磁性六线

收稿日期: 2014-07-18

基金项目: 国家自然科学基金 (50771025); 辽宁科技大学青年教师基金 (2012QN18)

作者简介: 谷月, 女, 1980年生, 博士生, 辽宁科技大学理学院, 辽宁 鞍山 114000, 电话: 0412-5929503, E-mail: neu_gy@126.com

谱中的第 2、5 峰强度明显高于第 1、6 峰。其它样品的谱型均与该样品相似, 这表明所有样品都具有非晶态的特征。

图 2 为非晶合金 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1(x=0.4)$ 的透射电镜照片, 及对应的选区电子衍射花样。由图可见, 合金基体形貌均匀无任何结构特征, 衍射环为宽化的漫散环, 说明本研究所制备的 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1(x=0.4)$ 合金薄带具有非晶态结构。

最后使用振动样品磁强计测定了非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1(x=0.4\sim 0.6)$ 合金的磁矩值分别为 167.32、150.27 和 137.48 ($\text{A m}^2/\text{kg}$)。

2 磁矩的计算

2.1 价电子结构的计算

EET 的核心内容是 4 个基本假设和 BLD 方法^[8], 认为固体和分子中原子状态由原子的价态特征和尺寸特征 2 个因素表征。本研究基于非晶合金近程有序结构模型^[9], 近似认为非晶合金在微小区域内为晶态, 但微观上原子的电子结构不同于晶态, 计算了非晶相的价电子结构。首先根据文献[10]报道, 合金的磁矩只与磁性原子数有关, 而形成的 6 种晶胞中只有铁原子和钴原子为磁性原子, 所以推断在非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$ 合金中主要有 $\alpha\text{-Fe}$ 、面心立方 Co 、 $\alpha\text{-Fe-B}$ 、 $\alpha\text{-Fe-Co}$ 、 Co-Hf 和 Fe-Cu 6 种晶胞存在, 其它可能存在的晶胞含量较少或对总磁矩没有贡献可忽略不计。用理论键长与实验键长之差 $|\Delta D| < 0.005 \text{ nm}$ 和物理性能的相对误差小于 10% 同时作为合理量子态的判据, 计算了以上 6 种晶胞的价电子结构如表 1~表 6 所示。在表 1~表 6 中, I_α 为等同键数, $\bar{D}_{n\alpha}$ 为理论键距, $D_{n\alpha}$ 为实验键距, n_α 为共价电子对数, 键距差 $\Delta D_{n\alpha}$ 。

2.2 磁矩的理论计算

根据磁矩计算公式:

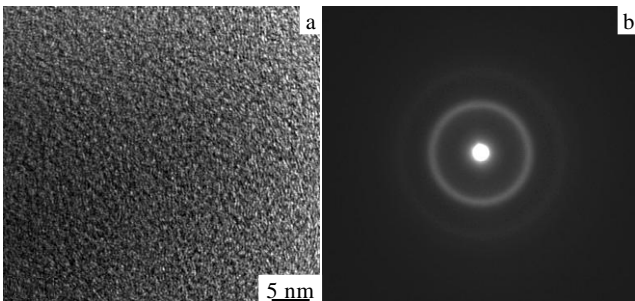


图 2 非晶 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1(x=0.4)$ 合金的 TEM 形貌及选区电子衍射花样

Fig.2 TEM image (a) and SAED (b) of amorphous $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1(x=0.4)$ alloy

表 1 $\alpha\text{-Fe}$ 的价电子结构

Table 1 Valence electron structures of $\alpha\text{-Fe}$					
Fe: A9		$R(1): 0.11059 \text{ nm}$		$n_c: 3.7743$	
Bond name	I_α	$\bar{D}_{n\alpha}/\text{nm}$	$D_{n\alpha}/\text{nm}$	n_α	$\Delta D_{n\alpha}/\text{nm}$
$D_{nA}^{\text{Fe}_1\text{-Fe}_2}$	8	0.24489	0.24824	0.4026	3.35×10^{-3}
$D_{nB}^{\text{Fe}_2\text{-Fe}_2}$	6	0.28329	0.28664	0.0922	3.35×10^{-3}
$\sum I_\alpha r_\alpha: 9.3745$		$\sum n_c: 3.7743$		$\beta: 0.06$	

表 2 Co 晶胞的价电子结构

Table 2 Valence electron structures of Co					
$\text{Co}_1: \text{A5}$		$R(1) = 0.11977 \text{ nm}$		$n_c = 4.1268$	
$\text{Co}_2: \text{A11}$		$R(1) = 0.11331 \text{ nm}$		$n_c = 5.2880$	
Bond name	I_α	$D_{n\alpha}/\text{nm}$	$\bar{D}_{n\alpha}/\text{nm}$	n_α	$\Delta D_{n\alpha}/\times 10^{-3} \text{ nm}$
$D_{nB}^{\text{Co}_1\text{-Co}_2}$	24	0.25772	0.25295	0.4665	4.77
$D_{nB}^{\text{Co}_2\text{-Co}_2}$	24	0.25772	0.25295	0.3640	4.77
$D_{nB}^{\text{Co}_1\text{-Co}_1}$	6	0.36452	0.35970	0.0099	4.82
$\sum I_\alpha r_\alpha: 47.8272$		$\sum n_c: 19.9908$		$\beta = 0.06$	

表 3 $\alpha\text{-Fe-B}$ 的价电子结构

Table 3 Valence electron structures of $\alpha\text{-Fe-B}$					
$\text{Fe}_1: \text{A13}$		$R(1) = 0.10408 \text{ nm}$		$n_c = 4.06905$	
$\text{Fe}_2: \text{A12}$		$R(1) = 0.10589 \text{ nm}$		$n_c = 4.04367$	
$\text{Fe}_3: \text{A10}$		$R(1) = 0.10919 \text{ nm}$		$n_c = 3.9723$	
$\text{B}: \text{A5}$		$R(1) = 0.07980 \text{ nm}$		$n_c = 2.8970$	
Bond name	I_α	$\bar{D}_{n\alpha}/\text{nm}$	$D_{n\alpha}/\text{nm}$	n_α	$\Delta D_{n\alpha}/\times 10^{-3} \text{ nm}$
$D_{nA}^{\text{Fe}_1\text{-B}}$	4	0.18259	0.1814	1.0842	1.19
$D_{nB}^{\text{Fe}_2\text{-B}}$	8	0.19092	0.1897	0.8775	1.22
$D_{nC}^{\text{Fe}_2\text{-Fe}_3}$	16	0.26417	0.2630	0.2116	1.17
$D_{nD}^{\text{Fe}_1\text{-Fe}_3}$	8	0.269998	0.2688	0.1793	1.20
$D_{nE}^{\text{Fe}_1\text{-Fe}_2}$	16	0.26417	0.2630	0.1652	1.17
$D_{nF}^{\text{Fe}_2\text{-Fe}_2}$	8	0.269998	0.2688	0.1574	1.20
$D_{nG}^{\text{Fe}_3\text{-B}}$	16	0.32594	0.3249	0.0123	1.22
$D_{nH}^{\text{Fe}_1\text{-Fe}_3}$	2	0.36517	0.3640	0.0089	1.17
$D_{nI}^{\text{Fe}_2\text{-Fe}_2}$	4	0.36517	0.3640	0.0072	1.17
$\sum I_\alpha r_\alpha: 18.8492$		$\sum n_c: 20.4332$		$\beta = 0.071$	

表 4 $\alpha\text{-Fe-Co}$ 的价电子结构

Table 4 Valence electron structures of $\alpha\text{-Fe-Co}$					
$\text{Co}: \text{A16}$		$R(1) = 0.10621 \text{ nm}$		$n_c = 6.5667$	
$\text{Fe}: \text{A15}$		$R(1) = 0.09691 \text{ nm}$		$n_c = 5.6993$	
Bond name	I_α	$D_{n\alpha}/\text{nm}$	$\bar{D}_{n\alpha}/\text{nm}$	n_α	$\Delta D_{n\alpha}/\times 10^{-3} \text{ nm}$
$D_{nA}^{\text{Fe-Co}}$	16	0.21385	0.21189	0.7140	1.96
$D_{nB}^{\text{Co-Co}}$	6	0.24694	0.24496	0.1404	1.98
$\sum I_\alpha r_\alpha: 17.1796$		$\sum n_c: 12.2660$		$\beta = 0.06$	

表 5 Co-Hf 的价电子结构

Table 5 Valence electron structures of Co-Hf					
$\text{Co}_1: \text{A6}$		$R(1) = 0.11806 \text{ nm}$		$n_c = 4.4346$	
$\text{Co}_2: \text{A7}$		$R(1) = 0.11797 \text{ nm}$		$n_c = 4.4504$	
$\text{Hf}: \text{A13}$		$R(1) = 0.13578 \text{ nm}$		$n_c = 2.9893$	
Bond name	I_α	$\bar{D}_{n\alpha}/\text{nm}$	$D_{n\alpha}/\text{nm}$	n_α	$\Delta D_{n\alpha}/\times 10^{-3} \text{ nm}$
$D_{nA}^{\text{Hf-Co}_2}$	12	0.24025	0.24010	1.6786	0.15
$D_{nB}^{\text{Co}_2\text{-Co}_2}$	8	0.33966	0.33950	0.01868	0.16
$D_{nC}^{\text{Co}_1\text{-Co}_2}$	24	0.33965	0.33950	0.01875	0.15
$D_{nD}^{\text{Co}_1\text{-Hf}}$	16	0.41604	0.41585	0.00198	0.19
$D_{nE}^{\text{Co}_1\text{-Co}_1}$	6	0.48005	0.48020	0.000086	0.15
$\sum I_\alpha r_\alpha: 12.37631$		$\sum n_c: 20.7751$		$\beta = 0.06$	

表 6 Fe-Cu 的价电子结构
Table 6 Valence electron structures of Fe-Cu

Fe ₁ : A10	R(1) = 0.10919 nm	n _c = 3.9723			
Fe ₂ : A14	R(1) = 0.10202 nm	n _c = 4.9807			
Cu: A13	R(1) = 0.11410 nm	n _c = 5.5774			
Bond name	I _a	\bar{D}_{na}/nm	D_{na}/nm	n _a	$\Delta D_{na}/\times 10^{-3} nm$
D _{nA} ^{Fe-Cu₂}	12	0.20017	0.19910	1.8443	1.07
D _{nB} ^{Cu₁-Cu₂}	24	0.28260	0.28153	0.1027	1.07
D _{nC} ^{Cu₂-Cu₂}	8	0.28262	0.28153	0.1239	1.09
D _{nD} ^{Fe-Cu₁}	16	0.34577	0.34484	0.00572	0.93
D _{nE} ^{Cu₁-Cu₁}	6	0.39891	0.39820	0.00098	0.71
$\sum I_{\alpha} r_{\alpha}$	13.9267			$\sum n_c$: 25.6852	$\beta = 0.06$

$$m_{\sigma}^T = \frac{g}{2} \sum m_{\sigma}^{3d}$$

即一个结构单元的总磁矩应为该结构单元内各原子磁矩之和，式中：g 为朗德 (Lande) 因子。分别计算了 α-Fe、面心立方 Co、α-Fe-B、α-Fe-Co、Co-Hf 和 Fe-Cu 6 种晶胞的总磁矩列于表 7。

根据 6 种晶胞在 (Fe_{1-x}Co_x)₈₆Hf₇B₆Cu₁ (x=0.4~0.6) 非晶合金中所占有的比例，采用加权平均，分别算出 3 种合金总磁矩。以 x=0.4 的 Fe₅₂Co₃₄Hf₇B₆Cu₁ 非晶合金为例，设非晶 Fe₅₂Co₃₄Hf₇B₆Cu₁ 合金里面含有 100 个原子，其中含有 Fe 原子 52 个、Co 原子 34 个、Hf 原子 7 个、B 原子 6 个、Cu 原子 1 个，由这 6 种原子形成的 6 种晶胞中只有铁原子和钴原子为磁性原子，且每种晶胞中只有 Fe 原子和 Co 原子对晶胞的磁矩有贡献。下面来推算各个晶胞的个数：仅有晶胞 Cu-Fe 中含有 Cu 原子，由于每个晶胞中含有 3 个 Cu 原子，故应该有 1/3 个 Cu-Fe 晶胞，其中共含 2/3 个 Fe 原子；所有晶胞中仅有 α-Fe-B 中含有 B 原子，1 个 α-Fe-B 晶胞含有 1 个 B 原子，故应该有 6 个 α-Fe-B 晶胞，其中共含 Fe 原子 24 个；1 个 Co-Hf 晶胞有 1 个 Hf 原子，且所有晶胞中仅有 Co-Hf 晶胞中含有 Hf 原子，故应该有 7 个 Co-Hf 晶胞，其中共含 28 个 Co 原子；1 个 α-Fe-Co 晶胞中分别含有 1 个 Fe 原子和 1 个 Co 原子，而根据表 7 可知，α-Fe-Co 晶胞的磁矩较小，所以若 α-Fe-Co 晶胞的含量较大将导致非晶的饱和磁化强度降低，所以综合考虑非晶的实际磁矩，取 FeCo 晶胞的原子个数为 2，其中含有 2 个 Fe 原子和 2 个

表 7 晶胞磁矩的计算结果
Table 7 Computed results of the magnetic moment of the unit cells

Unit cell	Magnetic moment/ $\times 10^{-23} A m^2$	Unit cell	Magnetic moment/ $\times 10^{-23} A m^2$
α-Fe	4.47	α-Fe-Co	1.21
Co	8.24	Co-Hf	10.51
α-Fe-B	6.58	Fe-Cu	3.06

Co 原子；剩余的原子被 α-Fe 晶胞和面心立方 Co 晶胞所包含，并根据 1 个 α-Fe 含 2 个 Fe 原子，1 个面心立方 Co 晶胞中含有 4 个 Co 原子，可计算出 α-Fe 晶胞个数为 38/3 个，Co 晶胞个数为 1 个。因此 1 个 Fe₅₂Co₃₄Hf₇B₆Cu₁ 所包含的总磁矩 \overline{m}^{3d} 为：

$$\begin{aligned} \overline{m}^{3d} &= 6.58 \times 10^{-23} \times 6 + 3.06 \times 10^{-23} \times \frac{1}{3} + 1.21 \times 10^{-23} \times 2 + 10.51 \times 10^{-23} \times 7 \\ &+ 4.47 \times 10^{-23} \times \frac{38}{3} + 8.24 \times 10^{-23} \times 1 \\ &= 181.35 \times 10^{-23} A \cdot m^2 \end{aligned}$$

1 kg 非晶合金含有 Fe₅₂Co₃₄Hf₇B₆Cu₁ 的个数：

$$\begin{aligned} n &= \frac{0.001}{52 \times 55.85 + 34 \times 58.93 + 178.5 \times 7 + 10.81 \times 6 + 63.55 \times 1} \times 6.022 \times 10^{23} \\ &= 0.958 \times 10^{23} \end{aligned}$$

所以，1 kg 淬态非晶合金 Fe₅₂Co₃₄Hf₇B₆Cu₁ 的总磁矩为：

$$\overline{m}^{3d}(\text{cal.}) = 181.35 \times 10^{-23} \times 0.958 \times 10^{23} = 173.733 (A \cdot m^2) / \text{kg}$$

同样的计算方法，分别算得 x=0.5 和 x=0.6 的非晶 (Fe_{1-x}Co_x)₈₆Hf₇B₆Cu₁ 合金的总磁矩见表 8。

从表 8 可以看出，非晶合金 (Fe_{1-x}Co_x)₈₆Hf₇B₆Cu₁ 的磁矩随着 x 的增加而减小，这个趋势与实验值的变化趋势相同。分析其原因是形成非晶合金时，随着 x 的增加，Co 元素增加，大部分 Co 主要以 α-Fe-Co 的形式存在，α-Fe-Co 晶胞的磁矩小于面心立方 Co 和 α-Fe 晶胞的磁矩，这样就导致非晶的磁矩随着 x 的增加而减小。同时也可以看出，磁矩的理论计算值与实验测定值的误差小于 10%，说明在一级近似下，从价电子层次上计算非晶的磁矩是可以实现的，这对于优化非晶 (Fe_{1-x}Co_x)₈₆Hf₇B₆Cu₁ 合金的软磁性能将具有理论指导意义。

表 8 非晶 (Fe_{1-x}Co_x)₈₆Hf₇B₆Cu₁ 合金的磁矩及误差
Table 8 Magnetic moment and error of amorphous (Fe_{1-x}Co_x)₈₆Hf₇B₆Cu₁ alloys

x	$\overline{m}^{3d}(\text{cal.}) / (A m^2) \text{ kg}^{-1}$	$\overline{m}^{3d}(\text{test}) / (A m^2) \text{ kg}^{-1}$	Error/%
0.4	173.73	167.32	3.83
0.5	156.79	150.27	4.33
0.6	148.71	137.48	8.17

3 结 论

1) 本实验利用熔体急冷单辊法制备的 (Fe_{1-x}Co_x)₈₆Hf₇B₆Cu₁ (x=0.4~0.6) 合金为非晶态。

2) 借助于固体与分子经验电子理论中的 BLD 方法, 在价电子层次上实现了非晶合金 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1(x=0.4\sim 0.6)$ 磁矩的理论计算。计算结果与实验测量值基本相符, 误差 $\leq 10\%$ 。

参考文献 References

- [1] Duwez P, Willens R H, Klement W. *Journal of Applied Physics* [J], 1960, 31: 1136
- [2] Li Leiming(李雷鸣), Xu Jinfeng(徐锦锋). *Foundry Technology*(铸造技术)[J], 2007, 28(10): 1332
- [3] Kolano-Burian A, Ferenc J, Kulik T. *Materials Science and Engineering*[J], 2004, 375-377: 1078
- [4] Inoue A, Shen B L, Chang C T. *Acta Materialia*[J], 2004, 52: 4093
- [5] Shen B L, Inoue A, Chang C T. *Applied Physics Letters*[J], 2004, 85(21): 4911
- [6] Zhang Yanhui(张艳辉), Chao Yuesheng(晁月盛). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2007, 36(8): 1469
- [7] Yu W Q, Sun Y M, Hua Z. *Applied Surface Science*[J], 2011, 257(23): 9733
- [8] Zhang Ruilin(张瑞林). *Empirical Electron Theory of Solids and Molecules*(固体与分子经验电子理论)[M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1993: 313
- [9] Guo Yicheng(郭贻诚), Wang Zhenxi(王震西). *The Physics of Noncrystal State*(非晶态物理学)[M]. Beijing: Science Press, 1984: 175
- [10] Wu Wenxia(吴文霞), Xue Zhiyong(薛志勇), Hong Xing(洪兴) *et al. Science China*(中国科学)[J], 2009, 39(3): 372

Magnetism of Amorphous $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1(x=0.4\sim 0.6)$ Alloy by EET Theory

Gu Yue^{1,2}, Zhang Yanhui², Yin Lijuan², Chao Yuesheng²

(1. University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114000, China)

(2. Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Amorphous ribbons $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1(x=0.4\sim 0.6)$ were prepared using the single-roller melt-spinning technique. Mössbauer Spectroscopy, transmission electron microscope (TEM) and vibrating sample magnetometer (VSM) were used to characterize microstructures and soft magnetic properties. The result confirms the fully amorphous state of the as-quenched alloy. The valence electron structures and the magnetic moment of the amorphous alloys were calculated using the method of Bond Length Difference (BLD) of the Empirical Electron Theory of solids and molecules (EET). The error of the computed value in theory and experimental value of the magnetic moment is less than 10%, which satisfies the demand of first approximation, indicating that magnetic moment calculation of amorphous alloy could be realized on the valence electron level.

Key words: $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_86\text{Hf}_7\text{B}_6\text{Cu}_1$; valence electron structure; EET; magnetic moment

Corresponding author: Chao Yuesheng, Professor, Institute of Materials Physics and Chemistry, College of Sciences, Northeastern University, Shenyang 110004, P. R. China, E-mail: yschao@mail.neu.edu.cn