

Er₃(Fe, Co, M)₂₉ 化合物 (M = Cr, V, Ti, Mn, Ga, Nb) 的结构与磁性*

罗鸿志¹⁾²⁾ 贾琳¹⁾³⁾ 李养贤²⁾ 孟凡斌²⁾ 申江³⁾ 陈难先³⁾ 吴光恒¹⁾ 杨伏明¹⁾

¹⁾中国科学院物理研究所北京凝聚态物理国家实验室, 北京 100080)

²⁾河北工业大学材料学院, 天津 300130)

³⁾北京科技大学应用物理研究所, 北京 100083)

(2005 年 1 月 20 日收到, 2005 年 3 月 31 日收到修改稿)

合成了 Er₃Fe_{29-x-y}Co_xM_y 化合物 (M = Cr, V, Ti, Mn, Ga, Nb) 并用 x 射线衍射和磁测量等手段研究了它们的结构和磁性. 发现 Fe 基 Er₃(Fe, M)₂₉ 化合物结晶成哑铃对 Fe-Fe 无序替代的 Th₂Ni₁₇ 型结构 (P6₃/mmc 空间群) 而不能形成 Nd₃(Fe, Ti)₂₉ 型结构. 因此其化学式也可以用 Er_{2-n}(Fe, M)_{17+2n} (n = 0.2) 表示. 当 Er₃Fe₂₉ 化合物中部分 Fe 原子被 M 原子所取代时, 其居里温度均有一定程度的提高. 所有 Er₃(Fe, M)₂₉ 化合物在室温均为易面型各向异性. 当 Er₃(Fe, M)₂₉ (M = Cr, V) 中的部分 Fe 原子被 Co 原子取代且 Co 原子数与 Fe 原子数达到一定比值时, 得到一个单斜结构的新相. 磁测量表明 Er₃Fe_{19.5}Co₆V_{3.5} 在室温可能为单轴各向异性, 在 162K 出现自旋重取向, 其各向异性由易轴型变为易面型. 在 5K 下于难磁化方向磁化时观察到一个一级磁化过程 (FOMP).

关键词: 稀土金属间化合物, 晶体结构, 磁晶各向异性

PACC: 6110, 7530G, 7550

1. 引言

Collocott 等人^[1]于 1992 年合成了 Nd₂(Fe, Ti)₉ 化合物, 通过 x 射线衍射和中子衍射研究, 人们发现其理想化学式为 Nd₃(Fe, Ti)₂₉, 属于单斜晶系, A²/m 空间群, 这种结构被称为 Nd₃(Fe, Ti)₂₉ 型结构^[2-4]. 稀土 (R) 和过渡族 (T) 金属间化合物 R₃(T, M)₂₉ (其中 M 为稳定元素) 表现出了良好的内禀磁性, 具有重要的研究价值. 到目前为止, 已经合成的 R₃(T, M)₂₉ 化合物有 R = Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Y, Ho; T = Fe, Co; M = Ti, V, Cr, Mn, Mo, Nb, W 等^{5-13]}.

Nd₃(Fe, Ti)₂₉ 型结构是由菱方的 Th₂Zn₁₇ (2:17R) 和四方的 ThMn₁₂ (1:12) 结构按照 1:1 的比例交替堆叠而成的^[4, 14], 由于 2:17 型化合物还有一种由重稀土形成的六角 Th₂Ni₁₇ (2:17H) 结构, 因此 Cadogan 等人^[14]预测可能有一个由 Th₂Ni₁₇ 和 ThMn₁₂

结构按一定比例堆叠形成的新的中间相存在. 但是到目前为止, 已合成的比 Er 轻的稀土元素, 包括 R = Tb, Dy^[8], Ho^[12] 所形成的 R₃(T, M)₂₉ 化合物都保持 Nd₃(Fe, Ti)₂₉ 型结构, 而 Er 或比 Er 更重的稀土元素的 3:29 型化合物则很少有报道, 因此研究 Er 或更重的稀土元素的 3:29 型化合物的合成、结构与磁性是很有意义的.

此前我们报道了 Er₃Fe₂₅Cr₄ 化合物可以形成一种哑铃对 Fe-Fe 无序替代的 Th₂Ni₁₇ 型结构^[15], 为了进一步研究 Co 和稳定元素 M 对化合物的形成、结构和磁性的影响, 我们合成了一系列 Er₃Fe_{29-x-y}Co_xM_y 化合物 (M = Cr, V, Ti, Mn, Ga, Nb) 并研究了它们的结构与磁性.

2. 实验方法

首先按名义成分 Er₃Fe_{29-x-y}Co_xM_y (x = 0—6, y = 0—5) 配料, 所用元素的纯度均高于 99.9%, 利用

* 国家自然科学基金 (批准号: TG2000067106) 资助的课题.

电弧炉在高纯氩气保护下将原料熔炼成合金锭子。为保证成分均匀,所有锭子均反复熔炼四次以上,然后将熔炼好的锭子在高纯氩气保护下分别于 1123—1423K 下退火 72h,最后迅速水淬。

利用 x 射线衍射 ($\text{Cu } K\alpha$) 和热磁分析检验样品的单相性,并从粉末 x 射线衍射谱计算晶格常数。室温至居里温度以上的热磁曲线用振动样品磁强计 (VSM) 测量,磁场强度为 0.05T。居里温度通过作 M^2-T 曲线并将 M^2 外推到零得到。用超导量子干涉磁强计 (SQUID Magnetometer) 测量 5—300K 的热磁曲线和 5K, 300K 温度下的易向和难向磁化曲线,饱和磁化强度 (M_s) 是基于易向磁化曲线通过作 $M-1/H$ 曲线并把 $1/H$ 外推到零得到的。

3. 结果与讨论

x 射线粉末衍射和热磁曲线测量表明,所有 Fe 基 $\text{Er}_3(\text{Fe}, \text{M})_{29}$ 化合物在 1123—1423K 温度范围内退火均可形成单相化合物且具有相同的晶体结构。图 1(a)–(d) 分别给出了 $\text{Er}_3(\text{Fe}, \text{M})_{29}$ ($M = \text{Cr}, \text{V},$

Mn, Ti) 化合物的随机取向样品的 x 射线衍射谱。指标化表明它们均属于哑铃对 Fe-Fe 替代的 $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ 型结构,因此其化学式也可以用 $\text{Er}_{2-n}(\text{Fe}, \text{M})_{7+2n}$ ($n = 0.2$) 表示。这与 Gjoka 等人报道的 $\text{Er}_3\text{Fe}_{28.5}\text{V}_{0.5}$ 的结构 ($P6_3/mmc$ 空间群) 相同^[16, 17]。各化合物的晶格常数列于表 1。

在重稀土 $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ 结构中,哑铃对 Fe-Fe 随机占据了部分原属于稀土原子的 $2b(\text{Th})$ 晶位,使其周围出现了一个新的 $4e$ 位,从而在保持 2:17 基本结构不变的同时产生了一定程度的无序^[18],同时也使实际晶胞的原子比偏离 2:17 的理想比例而变得富 Fe。这一现象在多种重稀土如 Ho, Lu 及 Y 的 2:17 化合物中均有发现^[18–20]。Psycharis 等人对 $\text{Er}_3\text{Fe}_{28}\text{V}_1$ 的精修结果表明:76% 的 $2b$ 晶位被 Er 原子随机占据,而其周围 49% 的 $4e$ 晶位由 Fe 原子对随机占据^[17]。这说明在具有 $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ 结构的重稀土化合物中,稀土原子数与其他原子总数之比有可能小于 1:8.5,因而有利于 $\text{Er}_3(\text{Fe}, \text{M})_{29}$ 化合物形成哑铃对 Fe-Fe 无序替代的 $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ 型结构。

表 1 $\text{Er}_3(\text{Fe}, \text{M})_{29}$ 和 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物的晶格常数和居里温度

成分	$\text{Er}_3\text{Fe}_{29}$	$\text{Er}_3\text{Fe}_{27}\text{Cr}_2$	$\text{Er}_3\text{Fe}_{28}\text{V}_1$	$\text{Er}_3\text{Fe}_{26.5}\text{Mn}_{2.5}$	$\text{Er}_3\text{Fe}_{28.5}\text{Ti}_{0.5}$	$\text{Er}_3\text{Fe}_{26}\text{Ga}_3$	$\text{Er}_3\text{Fe}_{28}\text{Nb}_1$	$\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$
a/nm	0.8425	0.8416	0.8417	0.8429	0.8430	0.8528	0.8439	1.1061
b/nm	0.8425	0.8416	0.8417	0.8429	0.8430	0.8528	0.8439	1.2659
c/nm	0.8317	0.8325	0.8326	0.8314	0.8323	0.8342	0.8354	0.4193
V/nm^3	0.5112	0.5106	0.5109	0.5115	0.5123	0.5254	0.5148	0.5800
T_c/K	316	401	405	331	348	481	372	684

随着 $\text{Er}_3\text{Fe}_{29}$ 化合物中的部分 Fe 原子为其他 M 原子所替代,原来在室温附近的居里温度都有了一定程度的提高(见表 1)。一般认为 $R_2\text{Fe}_{17}$ 化合物居里温度较低的原因是由于 $4f-4f$ 晶位的 Fe 原子之间距离很小,从而产生强的负交换作用所致^[21]。因此由 M 原子替代 Fe 原子导致的居里温度提高可能有两种原因:一是由于 M 原子(如 $M = \text{Ga}, \text{Ti}, \text{Nb}$ 等)的引入引起晶格膨胀,增大了 Fe 原子对之间的间距,从而使负交换作用被减弱^[22];另一原因是由于 M 原子(如 $M = \text{Cr}, \text{V}$) 的择优占位,非磁性原子优先占据 $4f$ 晶位,从而减弱了 Fe-Fe 之间的负交换作用,使居里温度得以提高^[23]。 $\text{Er}_3(\text{Fe}, \text{M})_{29}$ 化合物磁场取向样品的 x 射线衍射谱表明,所有的样品在室温均为易面型各向异性。作为例子,图 1(e) 给出了 $\text{Er}_3\text{Fe}_{27}\text{Cr}_2$ 化合物磁场取向样品的 x 射线衍射谱,从

中可以看出,只有(300)(220)和(600)衍射峰得到加强,其余的衍射峰均消失,表明其为易面型磁晶各向异性。

图 2(a) 给出了 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物的随机取向样品的 x 射线衍射谱,图 3 给出了 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 样品的热磁曲线,可以看出该化合物在磁性上为单相。将图 2(a) 与 $\text{Nd}_3(\text{Fe}, \text{Ti})_{29}$ 型结构的衍射谱和图 1 所示的哑铃对 Fe-Fe 无序替代的 $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ 型结构衍射谱相比较发现,它们都保持着 CaCu_5 结构的基本衍射峰,这表明其与 3:29 和 2:17 等一样都是由 CaCu_5 结构衍生而来,但是 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物的 x 射线衍射谱和 $\text{Nd}_3(\text{Fe}, \text{Ti})_{29}$ 结构和 $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ 结构有着明显差异。以上这些结果表明, $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 在 1373K 退火后可能形成一个由 CaCu_5 结构衍生而来

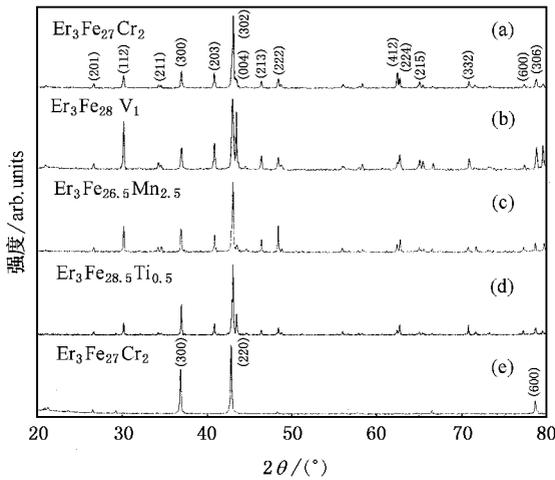


图 1 $\text{Er}_3(\text{Fe}, M)_{29}$ ($M = \text{Cr}, \text{V}, \text{Mn}, \text{Ti}$) 化合物的随机取向样品 (a—d) 和 $\text{Er}_3\text{Fe}_{27}\text{Cr}_2$ 磁场取向样品 (e) 的 x 射线衍射谱

的新相。 $\text{Er}_3\text{Fe}_{18}\text{Co}_6\text{Cr}_5$ 化合物的粉末衍射谱示于图 2(c), 其 x 射线谱与 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 的相同, 表明两者有相同的晶体结构。

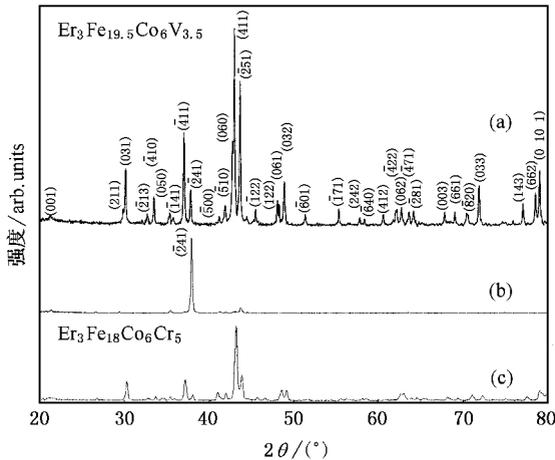


图 2 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物的随机取向样品 (a) 和磁场取向样品 (b) 以及 $\text{Er}_3\text{Fe}_{18}\text{Co}_6\text{Cr}_5$ 化合物的随机取向样品 (c) 的 x 射线衍射谱

利用 DIVCOL91 程序^[24]对 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 的步进粉末衍射谱进行指标化, 初步确定这个新相属于单斜晶系, 其晶格常数为 $a = 1.1061 (\pm 0.0003) \text{ nm}$, $b = 1.2659 (\pm 0.0004) \text{ nm}$, $c = 0.4193 (\pm 0.0001) \text{ nm}$, $\beta = 99.2^\circ$. 有关这个化合物空间群和原子占位的详细信息正在进一步研究之中。

图 2(b) 给出了 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物磁场取向样品的 x 射线衍射谱, 与图 2(a) 所示的随机取向粉

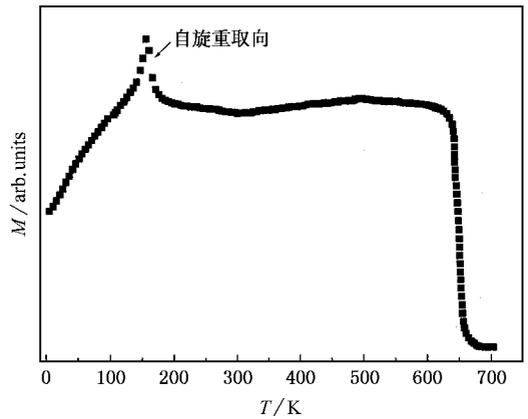


图 3 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物在 0.05 T 磁场中测量的热磁曲线

末样品衍射谱相比, 可见磁场取向样品的 $(\bar{2}41)$ 衍射峰明显增强, 而其他衍射峰或大大降低或已消失, 这表明 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物在室温下可能具有较强的单轴各向异性。从图 3 所示的 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 从 5 K 到居里温度以上的热磁曲线可以看出, 在 162 K 附近曲线上出现异常。为了进一步研究这一异常出现前后各向异性的变化, 我们分别测量了室温和 77 K 下的磁化强度 M 和外场与磁场取向样品的取向方向之间夹角 θ 的关系。一般认为, 如果化合物的各向异性是易轴或易面的, 在 $0^\circ - 180^\circ$ 之间 $M - \theta$ 曲线上会出现一个极大值, 若为易锥型各向异性则会出现两个极大值, 如果易磁化方向在被测温度范围内发生变化, 那么在 $M - \theta$ 曲线上极大值的位置也会发生变化。图 4 为 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物在室温和 77 K 所测的 $M - \theta$ 曲线, 可以看出该化合物在出现异常的温度发生了从单轴各向异性向易面各向异性转变的自旋重取向。

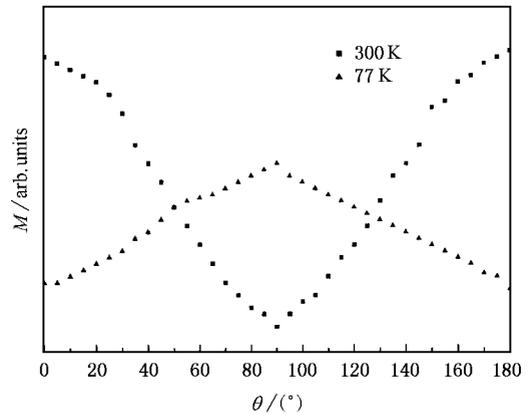


图 4 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物在室温和 77 K 时磁化强度 M 和外场与取向方向之间夹角 θ 的关系曲线

图 5 给出了 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物在 5K 下磁场取向样品的易向和难向磁化曲线。可以看出随着温度降低 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 的各向异性发生明显改变, 室温时的易磁化方向在低温下变为难磁化方向, 这进一步说明在热磁曲线上观察到的异常是一个自旋重取向过程。 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物的饱和磁化强度是基于易磁化曲线作出 $M-1/H$ 曲线并把 $1/H$ 外推到零得到, 5K 时其值为 $57\text{Am}^2/\text{kg}$ 。在 5K 的难磁化曲线上可以看到磁化强度有一个跳跃或增加, 这是一个一级磁化过程 (FOMP), 它是在外加磁场作用下

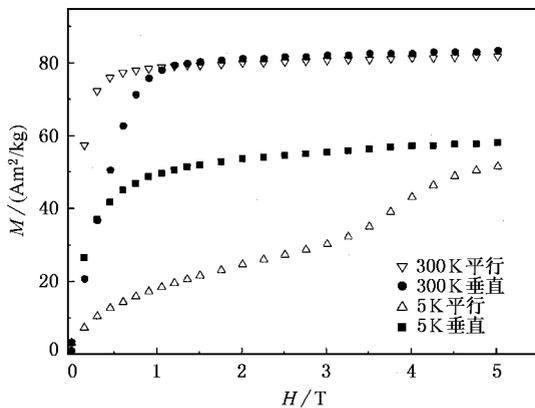


图 5 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 化合物在 300K 和 5K 的难磁化方向和易磁化方向磁化曲线

发生的从一个自旋相向另一个自旋相转变的磁相变。发生一级磁化过程的临界场 B_{cr} 可以从 $dM/dH-H$ 曲线的峰值得到, $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 的临界场 B_{cr} 为 3.8T。

4. 结 论

合成了一系列 $\text{Er}_3\text{Fe}_{29-x-y}\text{Co}_x\text{M}_y$ 化合物 ($M = \text{Cr}, \text{V}, \text{Ti}, \text{Mn}, \text{Ga}, \text{Nb}$) 并用 x 射线衍射和磁测量等手段研究了它们的结构和磁性。发现纯 Fe 基 $\text{Er}_3(\text{Fe}, \text{M})_{29}$ 化合物结晶成哑铃对 Fe-Fe 无序替代的 $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ 型结构 ($P6_3/mmc$ 空间群) 而不能形成 $\text{Nd}_3(\text{Fe}, \text{Ti})_{29}$ 型结构, 其化学式也可以用 $\text{Er}_{2-n}(\text{Fe}, \text{M})_{7+2n}$ ($n = 0.2$) 表示。随着 $\text{Er}_3\text{Fe}_{29}$ 化合物中的部分 Fe 原子为其他原子所取代, 其居里温度都有一定程度的提高。当 $\text{Er}_3(\text{Fe}, \text{M})_{29}$ ($M = \text{Cr}, \text{V}$) 中的部分 Fe 原子被 Co 原子取代且 Co 原子数与 Fe 原子数达到一定比例后, 可以得到一个单斜结构的新相。 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 在室温为单轴各向异性, 随温度降低化合物在 162K 发生由单轴型变为易面型各向异性的自旋重取向。 $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ 在 5K 下于难磁化方向磁化时观察到一个一级磁化过程 (FOMP), 其临界场强度为 3.8T。

- [1] Collocott S J, Day R K, Dunlop J B and Davis R L 1992 *Proc. 7th Int. Symp. On Magnetic Anisotropy and Coercivity in Rare Earth Transition Metal Alloys*, Canberra, 1992 p437
- [2] Hu Z and Yelon W B 1994 *J. Appl. Phys.* **76** 6147
- [3] Li H S, Suharyana, Cadogan J M, Bowden G J, Xu J M, Dou S X and Liu H K 1994 *J. Appl. Phys.* **75** 7120
- [4] Kalogirou O, Psychcharis V, Saettas L and Niarchos D 1995 *J. Magn. Magn. Mater.* **146** 335
- [5] Yang F M, Nasunjilegal B, Pan H G, Wang J L, Zhao R W, Hu B P, Wang Y Z, Li H S and Cadogan J M 1994 *J. Magn. Magn. Mater.* **135** 298
- [6] Fuerst C D, Pinkerton F E and Herbst J F 1994 *J. Appl. Phys.* **76** 6144
- [7] Cadogan J M, Li Hong-Shuo, Margarian A, Dunlop J B, Ryan D H, Collocott S J and Davis R L 1994 *J. Appl. Phys.* **76** 6138
- [8] Han X F, Yang F M, Pan H G, Wang Y G, Wang J L, Liu H L, Tang N, Zhao R W and Li H S 1997 *J. Appl. Phys.* **81** 7450
- [9] Huang F, Liang J K, Liu Q L, Chen X L, and Huo G Y 1998 *J. Phys. Condens. Matter* **10** 9183
- [10] Liu Q L, Rao G H, Liang J K and Shen B G 2000 *J. Appl. Phys.* **87** 4241
- [11] Yang D, Wang J L, Tang N, Shen Y P and Yang F M 1999 *Acta Phys. Sin.* **48** S80 (in Chinese) [阳 东、王建立、唐 宁、沈宇平、杨伏明 1999 物理学报 **48** S80]
- [12] Liu B D, Li W X, Wang J L, Wu G H, Yang F M and Li Y X 2003 *J. Appl. Phys.* **93** 6927
- [13] Wang W Q, Wang J L, Tang N, Bao F Q, Wu G H and Yang F M 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 1534 (in Chinese) [王文全、王建立、唐宁、包富泉、吴光恒、杨伏明 2001 物理学报 **50** 1534]
- [14] Li H S, Cadogan J M, Davis R L, Margarian A and Dunlop J B 1994 *Solid State Commun.* **90** 487
- [15] Luo H Z, Jia L, Li Y X, Meng F B, Shen J, Chen N X, Wu G H and Yang F M 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2176 (in Chinese) [罗鸿志、贾琳、李养贤、孟凡斌、申江、陈难先、吴光恒、杨伏明 2005 物理学报 **54** 2176]
- [16] Gjoka M, Dilo T, Niarchos D, Leccabue F 2003 *J. Alloys Comp.* **369** 178
- [17] Psycharis V, Gjoka. M, Christides C, Niarchos D 2001 *J. Alloys Comp.* **317-318** 455

- [18] Moze , Caciuffo R , Gillon B , Calestani G , Kayzel F E and Franse J J M 1994 *Phys. Rev. B* **50** 9293
- [19] Christencen A N and Hazell R G 1980 *Acta Chem. Scand.* **A34** 455
- [20] Givord D , Lemaire R , Moreau J M , Roudaut E , 1972 *J. Less-common Met* **29** 361
- [21] Givord D , Lemaire R 1974 *IEEE Trans. Magn.* **MAG-10** 109
- [22] Shen B G , Wang F W , Kong L S and Cao L 1993 *J. Phys. Condens. Matter* **5** L685
- [23] Hao Y M , Zhang P L , Zhang J X , Sun X D , Yan Q W , Ridwan , Mujamilah , Gunawan and Marsongkohadi 1996 *J. Phys. : Condens. Matter* **8** 1321
- [24] Boulitif A , Louër D 1991 *J. Appl. Cryst.* **24** 987

Structure and magnetic properties of $\text{Er}_3(\text{Fe}, \text{Co}, M)_{29}$ compounds ($M = \text{Cr}, \text{V}, \text{Ti}, \text{Mn}, \text{Ga}, \text{Nb}$)^{*}

Luo Hong-Zhi^{1,2)} Jia Lin^{1,3)} Li Yang-Xian²⁾ Meng Fan-Bin²⁾ Shen Jiang³⁾
Chen Nan-Xian³⁾ Wu Guang-Heng¹⁾ Yang Fu-Ming¹⁾

¹⁾*Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*

²⁾*School of Material Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China*

³⁾*Institute of Physics, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China*

(Received 20 January 2005 ; revised manuscript received 31 March 2005)

Abstract

A series of $\text{Er}_3(\text{Fe}, \text{Co}, M)_{29}$ ($M = \text{Cr}, \text{V}, \text{Ti}, \text{Mn}, \text{Ga}, \text{Nb}$) compounds has been synthesized and their structure and magnetic properties have been investigated by means of x-ray diffraction and magnetic measurements. It is found that the Fe-based $\text{Er}_3(\text{Fe}, M)_{29}$ compounds crystallize in the $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ -type structure with disordered substitution of the dumbbell Fe-Fe, instead of $\text{Nd}_3(\text{Fe}, \text{Ti})_{29}$ -type structure, so its chemical formula can also be expressed as $\text{Er}_{2-n}(\text{Fe}, M)_{17+2n}$ ($n = 0.2$). Substitution of M for Fe in the $\text{Er}_3\text{Fe}_{29}$ compound leads to an increase in the Curie temperature. With the substitution of Co for Fe in the $\text{Er}_3(\text{Fe}, M)_{29}$ ($M = \text{Cr}, \text{V}$) compounds, a new phase was found which crystallizes in monoclinic symmetry. The anisotropy of the $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ compound at room temperature is of easy-axis type and a spin reorientation transition from the easy-axis type to the easy-plane type anisotropy occurs when temperature decreases to 162K. A first order magnetization process (FOMP) was observed in the HMD magnetization curve of $\text{Er}_3\text{Fe}_{19.5}\text{Co}_6\text{V}_{3.5}$ at 5K, the critical field of the FOMP was derived to be 3.8T.

Keywords : rare earth transition metal intermetallic compounds , crystal structure , magnetocrystalline anisotropy

PACC : 6110 , 7530G , 7550

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China. (Grant No. TG2000067106).