

# $RCo_{12-x}Ti_x$ ( $R = Y, Sm$ ) 化合物的结构与磁性研究

王文全<sup>1,2)</sup> 闫羽<sup>1)</sup> 王学风<sup>1)</sup> 苏峰<sup>1)</sup> 王向群<sup>1)</sup> 金汉民<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 吉林大学物理学院, 长春 130023)

<sup>2)</sup> 吉林大学超硬材料国家重点实验室, 长春 130023)

(2002 年 5 月 16 日收到, 2002 年 6 月 15 日收到修改稿)

通过 x 射线衍射分析和磁性测量研究了  $RCo_{12-x}Ti_x$  ( $R = Y, Sm$ ) 化合物的结构与磁性, 所有化合物全部具有  $ThMn_{12}$  型结构. 常规取向样品的 x 射线衍射谱表明,  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物具有室温面磁晶各向异性, 而  $YCo_{12-x}Ti_x$  化合物具有室温单轴磁晶各向异性. 随着 Ti 含量的增加,  $SmCo_{12-x}Ti_x$  和  $YCo_{12-x}Ti_x$  化合物的居里温度  $T_C$  及饱和磁化强度  $M_s$  均单调降低.  $YCo_{12-x}Ti_x$  化合物的磁晶各向异性场  $\mu_0 H_a$  随 Ti 含量的增加而降低, 而  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物的磁晶各向异性场  $\mu_0 H_a$  在  $x = 1.74$  时出现一极大值, 这可以用双次晶格模型来解释.

关键词:  $RCo_{12-x}Ti_x$  ( $R = Y, Sm$ ) 化合物, x 射线衍射, 磁晶各向异性

PACC: 6110, 7530G, 7530K

## 1. 引言

十年来, 具有  $ThMn_{12}$  型结构的富 Fe 稀土 ( $R$ ) 过渡族 ( $T$ ) 金属间化合物的磁性研究受到极大重视<sup>[1]</sup>, 一方面因为在这类化合物中发现了新型稀土永磁材料, 另一方面还因为这类化合物显示出丰富的磁性. 新近 稀土-Co 基金属间化合物因其在高温永磁材料上的应用又引起了人们的兴趣<sup>[2-5]</sup>. 研究结果表明, 1:12 型化合物的稳定元素不仅对晶体的形成有很大作用, 而且对化合物的磁晶各向异性、居里温度  $T_C$  及饱和磁化强度  $M_s$  等内禀磁性也有很大影响<sup>[6]</sup>. Hu 等报道,  $Y(Fe, Ti)_2$  化合物的磁晶各向异性场不受稳定元素 Ti 含量的影响<sup>[7]</sup>; 而  $Y(Co, Ti)_2$  化合物的磁晶各向异性场却随稳定元素 Ti 含量的增加而显著下降<sup>[8]</sup>. 我们知道, 具有  $ThMn_{12}$  型结构都源于具有  $CaCu_5$  结构, 用一对哑铃状  $T$  原子替代  $RT_5$  结构中的每一晶胞中 1/2 稀土晶位上的稀土原子就得到具有  $ThMn_{12}$  型结构的  $RT_{12}$  化合物, 化学式表示为:  $R_{1/2}(2T)_{1/2}T_5 \rightarrow RT_{12}$ . 根据转换矩阵得知, 1:5 的  $c$  轴对应的是 1:12 的  $a$  轴, 稀土占据  $2a$  位, 过渡族占据三个不同的晶位  $3f, 8i, 8j$  位<sup>[1]</sup>. 对 1:12 型化合物研究兴趣在于不同晶位的过渡族原子对磁化强度和磁晶各向异性的贡献不同<sup>[1]</sup>. 除了  $SmFe_{12-x}M_x$  ( $M =$  稳定元素) 化合物以外, 大部分

$RFe_{12-x}M_x$  ( $M =$  稳定元素) 化合物不具有大的磁晶各向异性. 由于  $SmFe_{12-x}M_x$  ( $M =$  稳定元素) 化合物具有强的单轴磁晶各向异性, 因此系统研究  $SmCo_{12-x}M_x$  化合物的结构和磁性很有意义.

本论文系统研究了稳定元素对 Co 基  $RCo_{12-x}Ti_x$  ( $R = Y, Sm$ ) 化合物中饱和磁化强度、交换相互作用的影响.

## 2. 实验方法

$SmCo_{12-x}Ti_x$  三元合金的  $x$  值确定为  $x = 1.49, 1.61, 1.74, 1.86$  和  $1.99$ ;  $YCo_{12-x}Ti_x$  三元合金的  $x$  值确定为  $x = 0.85, 1.25, 1.5$  和  $2.0$ . 利用电弧炉在高纯氩气保护下将组成元素熔炼成合金, 由于 Sm 易挥发, 实际中按其质量的 15%—20% 过量加入. 一般情况下, 熔炼后的样品失重不超过 2%. 将熔炼好的合金锭子在高纯氩气保护下,  $SmCo_{12-x}Ti_x$  在 1403 K 退火一天,  $YCo_{12-x}Ti_x$  在 1273 K 退火一周, 然后水淬. 用振动样品磁强计 (VSM) 测量化合物在低场 (0.05 T) 下的磁化强度  $M$  与温度  $T$  的关系, 作出  $M^2-T$  曲线并将  $M^2$  外推到零, 用以得到样品的居里温度  $T_C$ . x 射线 ( $CuK\alpha$ ) 衍射用于分析样品的相组成和确定晶格常数. 磁化曲线在 4.2 K 下用提拉样品磁强计测得, 饱和磁化强度可以从  $M-H^{-1/2}$  曲线中把  $H^{-1/2}$  外推到零而得到. 为了测量磁晶各向异性场,

将研磨好的粉末与环氧树脂均匀混合放在直径为  $\phi 3\text{mm}$ , 长  $10\text{mm}$  聚四氟乙烯管中, 对于室温具有单轴磁晶各向异性的化合物, 装好样品的聚四氟乙烯管放在  $1\text{T}$  左右的外场中, 并使聚四氟乙烯管的轴线和外场平行, 因此, 圆柱轴的方向就是易磁化方向; 对于室温下为面磁晶各向异性的化合物, 装好样品的聚四氟乙烯管绕着与外场垂直的轴线旋转, 因此, 轴线方向就是难磁化方向. 室温和  $4.2\text{K}$  下的磁晶各向异性场  $\mu_0 H_a$  分别通过在室温下齐点检测法 (利用  $20\text{T}$  脉冲强磁场测量室温磁化强度及其对磁场的二次微分与磁场的关系, 由 SPD 的峰值确定化合物的磁晶各向异性场) 和  $4.2\text{K}$  下的难磁化曲线和易磁化曲线的交点来确定的.

### 3. 结果与讨论

$x$  射线衍射和热磁分析结果表明,  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物在  $x = 1.5-2.0$ ;  $YCo_{12-x}Ti_x$  化合物在  $x = 0.85-2.0$  时, 所有化合物全部为单相, 均具有  $ThMn_{12}$  型结构.  $YCo_{12-x}Ti_x$  和  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物的晶格常数  $a, c$  和晶胞体积  $V$  从粉末  $x$  射线衍射谱得到, 其值分别列于表 1 和表 2 中.  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物的晶格常数和 Ti 含量的关系如图 1 所示. 从图 1 中可以看到,  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物的晶格常数  $a, c$  和晶胞体积  $V$  随 Ti 含量的增加而增加, 这是由于 Ti 的原子半径比 Co 原子半径大的缘故.

表 1  $YCo_{12-x}Ti_x$  化合物的结构和磁性参数

$x$	$a/\text{nm}$	$c/\text{nm}$	$V/\text{nm}^3$	$T_C/\text{K}$	$M_s(\mu_B/\text{f.u.})$	$\mu_{Co}/\mu_B$	EMD(RT)	$\mu_0 H_a/\text{T(RT)}$	$\mu_0 H_a/\text{T(4.2 K)}$	$J_{CoCo}/10^{-21}\text{J}$
0.85	0.8369	0.4707	0.3297	1053	15.7	1.4	$c$ 轴	—	2.94	3.9
1.00	0.8369	0.4716	0.3303	1020	14.8	1.3	$c$ 轴	1.67	2.75	4.3
1.25	0.8383	0.4712	0.3311	918	13.3	1.2	$c$ 轴	1.50	2.46	4.4
1.50	0.8396	0.4723	0.3329	863	11.6	1.1	$c$ 轴	1.40	2.32	4.8
2.00	0.8419	0.4740	0.3360	663	9.2	0.9	$c$ 轴	0.85	2.01	5.0

表 2  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物的结构和磁性参数

$x$	$a/\text{nm}$	$c/\text{nm}$	$V/\text{nm}^3$	$M_s(\mu_B/\text{f.u.})$	$T_C/\text{K}$	$\mu_0 H_a/\text{T(4.2 K)}$	EMD(RT)	$K_1(\text{K} \cdot 10^3 \text{J/kg})$	$K_2(\text{K} \cdot 10^3 \text{J/kg})$
1.49	0.8426	0.4741	0.3366	12.4	792	25.9	平面	-1.05	0.37
1.61	0.8433	0.4746	0.3375	11.9	748	26.0	平面	-1.03	0.36
1.74	0.8442	0.4750	0.3385	11.2	699	27.3	平面	-1.02	0.35
1.86	0.8445	0.4750	0.3387	10.5	656	28.3	平面	-1.00	0.35
1.99	0.8446	0.4751	0.3389	9.7	607	25.8	平面	-0.85	0.18

化合物的居里温度  $T_C$  是通过  $M^2 - T$  曲线把  $M^2$  外推到零得到的.  $YCo_{12-x}Ti_x$  和  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物的居里温度  $T_C$  值分别列于表 1 和表 2 中. 以  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物为例,  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物的居里温度  $T_C$  和 Ti 含量的关系示于图 2(a), 从图 2(a) 中可以看到, 随着 Ti 含量的增加, 居里温度  $T_C$  几乎线性下降, 这和  $YCo_{12-x}Ti_x$  化合物很相似.

我们知道, 在稀土-过渡族金属间化合物中存在三种交换作用: 稀土次晶格中稀土与稀土磁矩间的  $R-R$  间接交换作用, 稀土次晶格与过渡族次晶格之间的  $R-T$  间接交换作用, 以及过渡族次晶格内的  $T-T$  直接交换作用, 它们中过渡族次晶格内的  $T-T$  直

接交换作用最强, 稀土次晶格  $R-R$  的作用最弱, 一般可以忽略. 稀土-过渡族金属间化合物的居里温度主要由  $T-T$  的交换作用决定的. 在  $R-Co$  系统中 Co 磁矩间的耦合是铁磁性的, 而与 Co 基化合物的 Co 磁矩以及结构无关<sup>[9]</sup>. 因此, 导致居里温度减少的反铁磁型  $3d-d$  磁矩的相互作用是不存在的. 对于  $RCo_{12-x}Ti_x$  化合物来说, Ti 对 Co 原子的置换不仅稀释了 Co 的磁矩, 而且降低了 Co 的磁矩, 这就导致了 Co-Co 之间交换作用的降低.

根据分子场理论, Co-Co 之间的交换作用常数  $J_{CoCo}$  可以表示为

$$J_{CoCo} = 3k_B T_C / Z_{CoCo} S_{Co} (1 + S_{Co}), \quad (1)$$

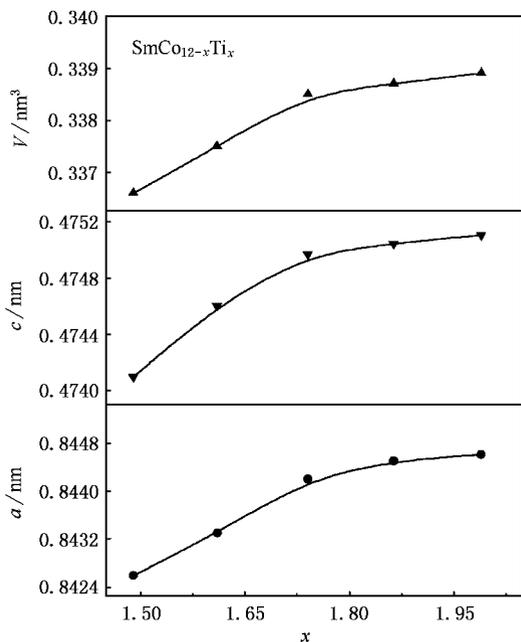


图 1  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物的晶格常数  $a$ ,  $c$  和晶胞体积  $V$  和 Ti 含量的关系曲线

$S_{\text{Co}}$  是与 Co 原子磁矩相关的自旋量子数,  $k_B$  是玻尔兹曼常数,  $Z_{\text{CoCo}}$  是 Co 原子最近邻的 Co 原子数. 对于  $\text{Y}(\text{Co}_{1-y}\text{Ti}_y)_2$  化合物, 假设 Ti 对 Co 的置换是任意的, 一般来说,  $Z_{\text{CoCo}} = 10(1-y)$ .  $J_{\text{CoCo}}$  和 Ti 含量的关系用 (1) 式计算得到, 其值列于表 1 中. 从表 1 中可以看到,  $J_{\text{CoCo}}$  随 Ti 含量增加而增加.

图 3 是  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物在不同 Ti 含量的情况下, 难向 (HMD) 和易向 (EMD) 的磁化曲线. 饱和磁化强度  $M_s$  通过  $M-H^{-1/2}$  曲线把  $H^{-1/2}$  外推到零得到.  $\text{YCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  和  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物的饱和磁化强度  $M_s$  分别列于表 1 和表 2 中. 从表 1 和表 2 中可以看到, 随着 Ti 含量的增加  $\text{YCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  和  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物的饱和磁化强度  $M_s$  都单调下降. 由于 Y 没有磁性,  $\text{YCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物中 Co 磁矩可以通过  $\mu_{\text{Co}} = M_s/(12-x)$  来估计得到, 假设 Ti 对磁化强度没有贡献,  $\mu_{\text{Co}}$  的值列于表 1 中.  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物的饱和磁化强度  $M_s$  和 Ti 含量的关系如图 2 (b) 所示, 从图 2 (b) 可以看到, 饱和磁化强度  $M_s$  下降要比稀释模型所预期的要快, 这意味着 Ti 对 Co 的置换不仅稀释了 Co 的磁矩, 而且还降低了 Co 的磁矩.

x 射线衍射谱表明,  $\text{YCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物在室温下具有单轴磁晶各向异性, 而  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物在室温下具有易面磁晶各向异性. 图 4 是  $\text{SmCo}_{10.1}\text{Ti}_{1.99}$  化

合物旋转取向 (a), 常规取向 (b) 和无规取向样品 (c) 的 x 射线衍射谱. 从图 4 可以看到, 相对无规取向样品的 x 射线衍射谱, 常规取向样品 x 射线衍射谱的 ( $hk0$ ) 峰增强, 其他峰变弱或消失. 这证明了在室温下,  $\text{SmCo}_{10.1}\text{Ti}_{1.99}$  化合物的易磁化方向为面磁晶各向异性. 为了进一步验证上述结论, 旋转取向样品的 x 射线衍射谱如图 4 (a) 所示. 和图 4 (b) 常规取向样品的 x 射线衍射谱相比, 旋转取向样品的 x 射线衍射谱中的 (002) 峰成为主要的, 这意味着 (002) 方向是难磁化方向. 这又进一步证明了  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物的易磁化方向是垂直 (002) 方向的平面.

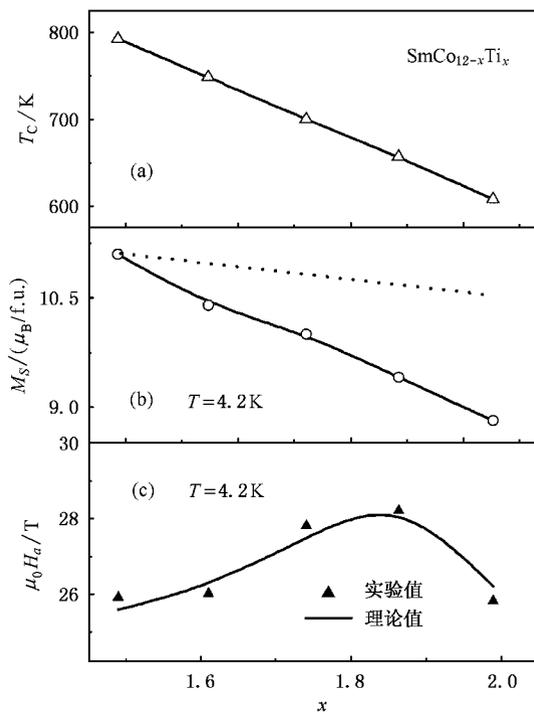


图 2  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物的居里温度  $T_c$  (a), 饱和磁化强度  $M_s$  (b) 和磁晶各向异性场  $\mu_0 H_a$  (c) 与 Ti 含量的关系

室温下  $\text{RCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  ( $R = \text{Y, Sm}$ ) 化合物的磁晶各向异性场通过 SPD 测得<sup>[10]</sup>. 4.2 K 下所有化合物的磁晶各向异性场是通过  $\Delta M-H$  ( $\Delta M = M_{\text{EMD}} - M_{\text{HMD}}$ ) 曲线把  $\Delta M$  外推到零得到的,  $M_{\text{EMD}}$  和  $M_{\text{HMD}}$  分别通过易磁化曲线和难磁化曲线获得. 图 3 是  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物在不同 Ti 含量的情况下的易磁化曲线和难磁化曲线 ( $T = 4.2 \text{ K}$ ).  $\text{YCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  和  $\text{SmCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物的磁晶各向异性场  $\mu_0 H_a$  分别列于表 1 和表 2 中. 可以看出, 对于  $\text{YCo}_{12-x}\text{Ti}_x$  化合物, 磁晶各向异性场  $\mu_0 H_a$  随 Ti 含量增加而降低, 而对于  $\text{SmCo}_{12-x}$

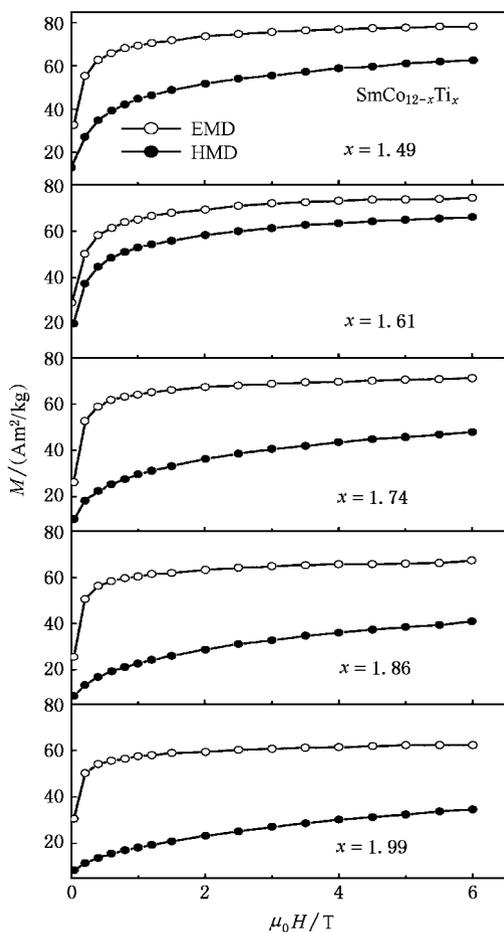


图3  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物在不同 Ti 含量的情况下易向 (EMD) 和难向 (HMD) 的磁化曲线 ( $T = 4.2 K$ )

$Ti_x$  化合物, 磁晶各向异性场  $\mu_0 H_a$  在 Ti 含量  $x = 1.74$  时出现一极大值, 如图  $\chi_c$  所示.

我们知道, 在稀土 ( $R$ ) - 过渡族 ( $T$ ) 金属间化合物中, 化合物的磁晶各向异性由稀土次晶格和过渡族次晶格两者的竞争结果所决定. 发现在  $YCo_{12-x}Ti_x$  化合物中 Co 次晶格贡献为单轴, 另一方面如前面所讨论,  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物显示出易面磁晶各向异性, 因此可以得出, 在  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物中稀土 Sm 贡献易面磁晶各向异性. 按照晶场理论, 在一级近似模型中, 稀土次晶格的贡献由稀土的二阶 Stevens 因子  $\alpha_J$  和二阶晶场系数  $A_2^0$  的乘积决定, 磁晶各向常数可描述为

$$K_{(R)} = -\frac{3}{2} \alpha_J r^2 O_2^0 A_2^0, \quad (2)$$

式中  $\alpha_J$  是二阶 Stevens 因子,  $r^2$  是 4f 壳层半径平方的平均值,  $O_2^0$  是量子力学期望值的热平均,  $A_2^0$  是晶场参数, 其值由晶体结构和稀土原子周围的化

学环境决定<sup>[11]</sup>. 对于  $Sm^{3+}$  来说,  $\alpha_J > 0$ , 而且  $A_2^0 < 0$ , 因此,  $Sm$  对磁晶各向异性的贡献为面各向异性的, 这和实验结果相一致.  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物在室温下具有面各向异性, 这证明了与 Co 次晶格相比,  $Sm$  的贡献是主要的. 在表 1 中显示了 Co 次晶格随着 Ti 含量的增加而降低, 另一方面, 人们已经知道, Ti 含量的增加导致晶格参数的变化, 通过改变电荷分布和化学环境, 从而引起了  $Sm$  各向异性的降低. 在 Ti 含量较低时, 过渡族  $T$  的各向异性的下降是主要的, 而在 Ti 含量较高时, 由于 Co 含量的降低而导致  $Sm$  各向异性的降低成为主要的.  $Sm$  和 Co 各向异性随 Ti 含量变化速度的不同, 就可以解释在  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物的磁晶各向异性场和 Ti 含量出现极大值的原因.

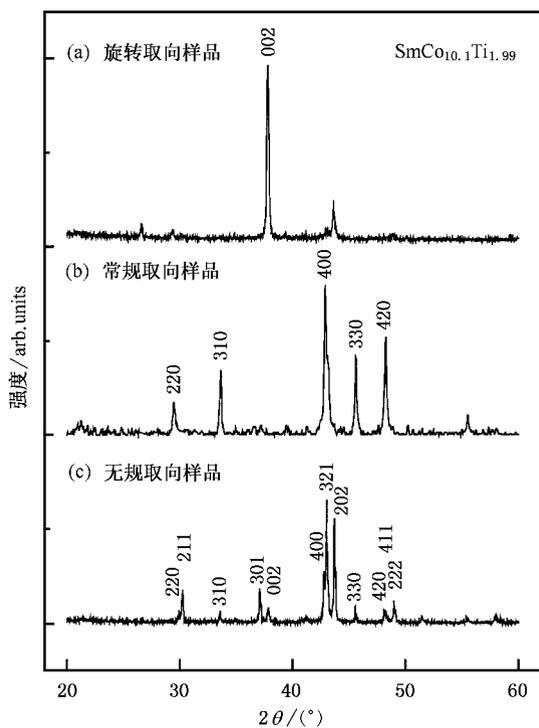


图4 旋转取向样品(a), 常规取向样品(b)和无规取向样品(c)的 x 射线衍射谱

$SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物的难磁化方向  $M-H$  磁化曲线可以用下式来描述<sup>[12]</sup>:

$$H/M = (4K_2/\mu_0 M_s^4) M^2 - (2K_1 + 4K_2)/\mu_0 M_s^2. \quad (3)$$

很清楚,  $H/M - M^2$  是直线关系. 作为例子, 图 5 给出了  $SmCo_{10.14}Ti_{1.86}$  化合物  $H/M - M^2$  关系曲线. 对于所有  $SmCo_{12-x}Ti_x$  化合物, 各向异性常数  $K_1$  和  $K_2$  可

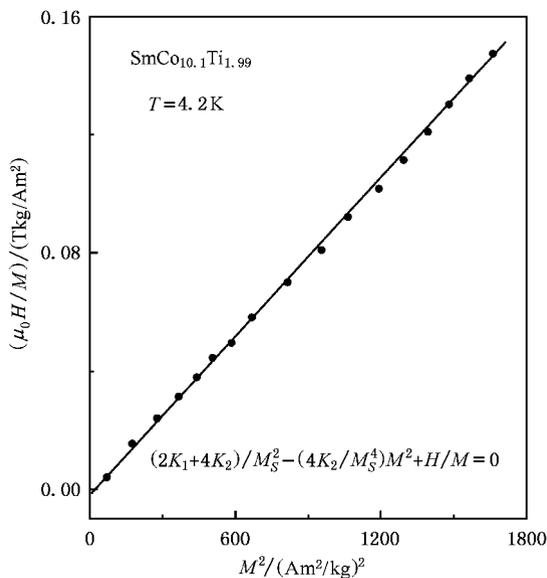


图5 SmCo<sub>10.1</sub>Ti<sub>1.99</sub>化合物  $H/M - M^2$  关系曲线

以从(3)式中估计到.另一方面,假设在取向样品中,不同晶粒的  $c$  轴沿着磁化方向且具有轴对称性,分布函数  $f(\theta)$  可以通过高斯分布  $f(\theta) = \exp(-\theta^2/2\theta_0)$  求得.  $K_1$  和  $K_2$  的值是通过修正 EMD (易磁化曲线) 和 HMD (难磁化曲线) 磁化曲线而得

到的.  $\theta_0$  值作为一个修正参数,反映了样品中不同轴的程度.修正 EMD 和 HMD 磁化曲线而得到的  $K_1$  和  $K_2$  值列于表 2 中.从表 2 中可以看到,所有化合物的  $K_1$  的值为负的,绝对值随 Ti 含量的增加而降低.  $\mu_0 H_a$  也可以通过  $\mu_0 H_a = 2K_1/M_s$  来估算,如图 2 (c) 实线所示,从图 2 (c) 可以看到理论和实验结果相符合.

## 4. 结 论

YCo<sub>12-x</sub>Ti<sub>x</sub> 化合物在  $x = 0.85-2.0$ , SmCo<sub>12-x</sub>Ti<sub>x</sub> 化合物在  $x = 1.5-2.0$ , 所有化合物全部为单相,具有 ThMn<sub>12</sub> 型结构.常规取向样品的  $x$  射线衍射谱表明 SmCo<sub>12-x</sub>Ti<sub>x</sub> 化合物具有室温面磁晶各向异性,而 YCo<sub>12-x</sub>Ti<sub>x</sub> 化合物具有室温单轴磁晶各向异性.随着 Ti 含量的增加,SmCo<sub>12-x</sub>Ti<sub>x</sub> 和 YCo<sub>12-x</sub>Ti<sub>x</sub> 化合物的居里温度  $T_c$  及饱和磁化强度  $M_s$  均单调降低.YCo<sub>12-x</sub>Ti<sub>x</sub> 化合物的磁晶各向异性场  $\mu_0 H_a$  随 Ti 含量的增加而降低,而 SmCo<sub>12-x</sub>Ti<sub>x</sub> 化合物的磁晶各向异性场  $\mu_0 H_a$  在  $x = 1.74$  时出现一极大值,这可以用双次晶格模型来解释.

[ 1 ] Coey J M D and Li H S 1991 *In Handbook of Magnetic Materials*, Vol. 6, ed. K. H. J. Buschow (Amsterdam: North Holland)  
 [ 2 ] Yin X Y *et al* 1999 *Acta Phys. Sin.* **48** S87 (in Chinese) 尹晓英等 1999 物理学报 **48** S87  
 [ 3 ] Wang W Q *et al* 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 1534 (in Chinese) 王文全等 2001 物理学报 **50** 1534  
 [ 4 ] Buschow K H J 1997 *In Handbook of Magnetic Materials*, Vol. 10, p463. K. H. J. Buschow (Amsterdam: North Holland)  
 [ 5 ] Li Y B, Zhang L G, Zhang S Y and Shen B G 2002 *Chin. Phys.* **11** 174  
 [ 6 ] Wang J L *et al* 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 990 (in Chinese) 王建

立等 1998 物理学报 **47** 990  
 [ 7 ] Hu B P, Li H S and Coey J M D 1990 *J. Appl. Phys.* **67** 4838  
 [ 8 ] Pareti L, Solzi M, Marusi G, Ibarra M R and Algarabel P A 1991 *J. Appl. Phys.* **70** 3753  
 [ 9 ] Shen B G, Liang B, Cheng Z H, Zhang S Y, Zhang H W, Zhan W S and Zhang L G 1998 *Chin. Phys. Lett.* **15** 233  
 [ 10 ] Asti G 1990 *In Ferromagnetic Materials*, Vol. 5, p397. K. H. J. Buschow (Amsterdam: North Holland)  
 [ 11 ] Kuzmin M D, Richter M and Buschow K H J 1999 *Solid. State. Comm.* **113** 47  
 [ 12 ] Klein H P, Mentha A and Perkins R S 1975 *Physica B.* **80** 153

# Structural and magnetic properties of $RCo_{12-x}Ti_x$ ( $R = Y$ and $Sm$ ) compounds

Wang Wen-Quan<sup>1,2)</sup> Yan Yu<sup>1)</sup> Wang Xue-Feng<sup>1)</sup> Su Feng<sup>1)</sup> Wang Xiang-Qun<sup>1)</sup> Jin Han-Min<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>( *Department of Physics , Jilin University , Changchun 130023 , China* )

<sup>2)</sup>( *State Key Laboratory for Superhard Materials , Jilin University , Changchun 130023 , China* )

( Received 16 May 2002 ; revised manuscript received 15 June 2002 )

## Abstract

Magnetic and structural properties of  $RCo_{12-x}Ti_x$  with  $R = Y$  and  $Sm$  compounds have been investigated by using x-ray diffraction and magnetic measurements. It was found that all compounds investigated are almost of a single phase with the  $ThMn_{12}$ -type structure. x-ray diffraction patterns of magnetically aligned powder samples indicate that the easy magnetization directions (EMD) at room temperature are in the basal plane for  $SmCo_{12-x}Ti_x$  compounds while for  $YCo_{12-x}Ti_x$  compounds the EMDs are along the  $c$ -axis. The lattice parameters increase monotonically with increasing Ti content for all the compounds investigated. The Curie temperature  $T_c$  decreases monotonically with increasing Ti content for both  $YCo_{12-x}Ti_x$  and  $SmCo_{12-x}Ti_x$ . The saturation magnetization  $M_s$  decreases with increasing Ti content for all the systems. The anisotropy field  $\mu_0 H_a$  of  $YCo_{12-x}Ti_x$  compounds decreases monotonically with increasing Ti content, while the Ti content dependence of the anisotropy fields  $\mu_0 H_a$  for  $SmCo_{12-x}Ti_x$  compounds exhibits a maximum at about  $x = 1.74$ , which can be understood in terms of a two-sublattice model of anisotropy.

**Keywords :**  $RCo_{12-x}Ti_x$  ( $R = Y, Sm$ ) compounds, x-ray diffraction, magnetocrystalline anisotropy

**PACC :** 6110, 7530G, 7530K