

[文章编号] 1004-0609(2001)06-1099-05

$\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ 的 Mössbauer 谱^①

罗广圣¹, 曾贻伟²

(1. 南昌大学 化学与材料科学学院, 南昌 330047; 2. 北京师范大学 物理系, 北京 100875)

[摘 要] 通过 X 射线衍射、磁测量和 Mössbauer 谱等测试方法研究了 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ 的结构和磁性。结果表明: $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) 化合物的晶体结构均为 ThMn_{12} 型结构; 随着 Co 含量增大, 晶格常数将单调减少, 居里温度 T_c 呈单调增大, 饱和磁化强度 M_s 逐渐增加。Co 部分取代 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ 中的 Fe 原子, 将择优占据 8i 铁晶位。

[关键词] $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$; 择优占位; 晶体结构; 居里温度; 饱和磁化强度; Mössbauer 谱

[中图分类号] TM 273

[文献标识码] A

最近几年, 新型稀土(RE)过渡(T)族金属间化合物永磁材料的探索集中在 1:12, 2:17 和 3:29 型稀土铁基化合物上^[1~3]。在探索新型稀土永磁材料的过程中, 人们发现利用磁性元素 Co, Ni 或非磁性元素 Al, Ga, Si 等替代 1:12 型 RE-Fe 化合物中的 Fe, 可以有效提高材料的内禀永磁性能^[4~6]。在 1:12 型化合物中, 存在 3 个不等价过渡族晶位: 8i, 8j 和 8f, 它们对化合物的内禀磁性贡献不同。选择 $\text{NdFe}_{10}\text{V}_2$ 为研究对象主要基于以下考虑: 1) V 原子为磁中性原子, 没有磁矩, 可以集中研究 RE 与 Fe 之间的相互作用; 2) $\text{REFe}_{12-x}\text{V}_x$ 中, 当 $x = 2$ 时磁性能最好; 3) $\text{REFe}_{10}\text{V}_2$ 中, 当 RE 为 Nd 时磁性能较好^[7]。考虑到 $\text{NdFe}_{10}\text{V}_2$ 的居里温度 T_c (570 K) 比 SmCo_5 的要低, 所以探讨用 Co 原子部分替代 Fe 原子, 研究替代效应对其结构和磁性能的影响以及 Co 原子的占位情况等磁性能微观机制。作者将报道通过 X 射线衍射、磁测量、Mössbauer 谱等手段研究 Co 替代 $\text{NdFe}_{10}\text{V}_2$ 中的 Fe 对化合物结构和磁性能的影响。

1 实验

纯度超过 99.9% 的 Nd, Fe, Co 和 V 原料, 按分子式配比称量后利用电弧炉在高纯氩气保护下熔炼成 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) 合金, 每个合金锭子熔炼 3 次以保证均匀, 然后在 1.33×10^{-4} Pa 高真空条件下在 850 °C 退火处

理 2 周, 随炉冷却至室温。

对 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) 化合物粉末样品进行了 X 射线衍射实验。该实验是在日本理学 D/MAX-RC 型功率为 50 kV/80 mA 的 Cu 靶 $K_{\alpha 1}$ 特征线 X 射线衍射仪(配有石墨单色器)上进行的, 扫描范围 2θ 为 $20^\circ \sim 100^\circ$ 。

在 DMT-1 型数字永磁温度特性测试仪上对 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) 化合物粉末样品进行了居里温度 T_c 的测量, 外磁场为 640×10^3 A/m, 采用镍铬-镍铝热电偶温度计。利用振动样品磁强计对 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) 化合物取向样品进行了室温条件下饱和磁化强度 M_s 的测量。

用 MS-500 型匀加速透射 Mössbauer 谱仪对 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.1, 0.2$) 进行 290 K 和 80 K 条件下的 Mössbauer 谱测量。 γ 射线源是 $^{57}\text{Co}/\text{Pd}$ (源强 25mCi)。室温样品为均匀的各向同性, 厚度为 300 g/m^2 的吸收体; 低温样品为直径 14 mm, 厚度 30 μm 的薄片样品, γ 射线方向与薄片样品所在平面的法线方向平行。通过收集室温条件下 25 μm 厚的 $\alpha\text{-Fe}$ 箔标准吸收体的 Mössbauer 谱来标定速度。低温与室温条件下的所有 Mössbauer 谱数据通过 MOSFUN 专用程序根据最小二乘法原理拟合分析。拟合的 Mössbauer 谱由 5 套独立的铁晶位的洛伦兹六线谱以及杂质相的 1 套双线谱和 1 套单线谱叠加而成。拟合过程中各个铁晶位及其子晶位的谱线强度比根据子谱分裂情况约束为 2:1:1:1:1,

① [基金项目] 江西省自然科学基金资助项目(9950035)

[收稿日期] 2001-04-17; [修订日期] 2001-07-02

[作者简介] 罗广圣(1970-), 男, 副教授, 硕士。

分别对应 $8i$, $8j_1$, $8j_2$, $8f_1$ 和 $8f_2$ 子谱强度。拟合时, $(8j_1, 8j_2)$, $(8f_1, 8f_2)$ 两个铁晶位上对应的两个子晶位产生的六线谱分别具有相同的同质异能移 I_S 和电四极分裂值 Q_S , 4 套六线谱的宽度限制为相等。每套磁分裂谱的宽度根据 Mössbauer 谱学原理限制为 $\Gamma_{1,6} > \Gamma_{2,5} > \Gamma_{3,4}$ 。

2 分析与讨论

2.1 晶体结构分析

X 射线衍射实验结果表明, 用 Co 原子部分替代 $NdFe_{10}V_2$ 中的 Fe 原子形成 $Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ 化合物, 当 Co 的含量 x 为 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 时, 所有样品晶体结构均保持 $ThMn_{12}$ 型四方结构不变, 空间群为 $I4/mmm$ 。进一步分析表明, 除主相 $ThMn_{12}$ 型结构外, 样品还存在少量的具有顺磁性富 Nd 相和具有 CsCl 结构的杂质相, 杂质相含量小于 5%。图 1 示出了 $Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ ($x = 0$) 粉末样品的 X 射线衍射图。

表 1 列出了 $Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) 粉末样品的晶格常数 a , c 和晶胞

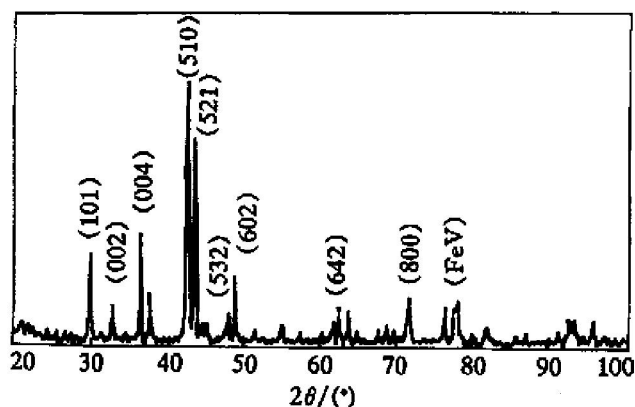


图 1 $Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ ($x = 0$) 粉末样品的 X 射线衍射图

Fig. 1 XRD pattern of powder sample

$Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ ($x = 0$)

表 1 $Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ 化合物的晶格常数、晶胞体积和磁性参数

Table 1 Lattice parameters a , c , unit-cell volume V and magnetic properties parameters of $Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ compounds

x	a/nm	c/nm	V/nm^3	$\Delta V/V$	T/K	$M_s/(\text{Am}^2 \text{kg}^{-1})$	$H_F/(10^7 \text{A} \cdot \text{m}^{-1})$	Structure
0	0.857 7	0.479 6	0.352 8	0	557	122.46	1.71	$ThMn_{12}$
0.05	0.857 1	0.479 4	0.352 2	-0.17%	593	123.95	1.75	$ThMn_{12}$
0.10	0.856 1	0.479 0	0.351 1	-0.48%	632	125.50	1.78	$ThMn_{12}$
0.15	0.855 4	0.478 6	0.350 2	-0.74%	655	127.79	1.80	$ThMn_{12}$
0.20	0.854 9	0.478 4	0.349 6	-0.91%	679	130.05	1.82	$ThMn_{12}$

体积 V 等参数。由表 1 可知, Co 原子部分替代 Fe 原子形成 $Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ 化合物, 随着 Co 含量 x 的增加, 晶格常数 a , c 均呈单调下降趋势, 晶胞体积 V 也呈单调下降趋势, 这是因为 Co 原子的半径比 Fe 原子的半径小, Co 原子的替代产生了局域晶格收缩, 从而导致晶胞体积的减小。

2.2 磁性能分析

$Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) 化合物的磁测量结果也列于表 1。由表 1 可知, Co 原子部分替代 $NdFe_{10}V_2$ 化合物中的 Fe 原子, 随着 Co 原子含量 x 的增加, 居里温度 T_c 呈单调增加趋势。这一实验现象是由于在 $ThMn_{12}$ 型结构中 $NdFe_{10}V_2$ 化合物的 Fe 原子占据 $8i$, $8j$ 和 $8f$ 3 个不等价晶位, 而在 $8i$ 晶位间的 Fe-Fe 原子对中, 有 1 对其间距为 0.241 4 nm, 交换作用能为负值。Co 原子部分替代 $NdFe_{10}V_2$ 化合物中的 Fe 原子, 将择优占据 $8i$ 晶位, 从而部分取代 $8i$ 晶位的 Fe 原子, 使得交换作用能为负值的原子对减少, 这样导致交换相互作用增强, 因此居里温度 T_c 将提高^[8]。

从表 1 所列的室温条件下饱和磁化强度 M_s 和内磁场 H_F 值可看出, M_s 和 H_F 均随 Co 原子的含量 x 的增加而呈单调增加趋势。这一实验结果可用 Slater-Pauling 曲线^[9] 解释。Co 部分替代 Fe 原子, 随着 Co 原子含量 x 的增加, Co 原子作为 Fe 原子近邻的数目逐渐增加, 自旋向上的 3d 带中的空穴数将减少, 而自旋向下的 3d 带中的空穴数将增加, 从而 $Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ 化合物的分子磁矩将逐渐增加, 这样饱和磁化强度 M_s 和内磁场 H_F 呈单调增加现象。根据马歇尔方程^[10]: $H_F = AM_s$ 可确定 $Nd(Fe_{1-x}Co_x)_{10}V_2$ 化合物中的比例常数 A 约为 $1.41 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2.3 Mössbauer 谱分析

众所周知, 在 ThMn_{12} 型结构中稀土原子 RE 占据 1 个 $2a$ 晶位, 过渡金属原子 T 占据 3 个结晶学不等效晶位 (8i, 8j, 8f)。 ThMn_{12} 型结构各个晶位的近邻环境为: $2a(-, 4, 8, 8)$, $8i(1, 5, 4, 4)$, $8j(2, 4, 4, 2)$, $8f(2, 4, 2, 4)$, 这样 8i 晶位的 Fe 近邻数最多, 为 13 个, 从而 8i 晶位的超精细场 H_F 值最大; 而 8j, 8f 两个晶位的子谱总强度以及近邻环境均相近, 但其超精细场 H_F 值通过能带结构计算可判定为: $H_F(8j) > H_F(8f)$ 。因此, 3 个不等价铁晶位的超精细场值 H_F 由大到小的顺序为: $H_F(8i) > H_F(8j) > H_F(8f)$ 。V 原子为磁中性原子, V 原子在 3 个不等价铁晶位上的择优占位, 使得同一铁晶位上的 Fe 原子在不同晶胞中存在不同的近邻环境, 从而构成超精细场的分布。结合考虑偶极场的贡献以及易磁化方向与电场梯度主轴之间夹角不同, 拟合过程中 8j 和 8f 晶位分别由 2 套子谱 ($8j_1, 8j_2$), ($8f_1, 8f_2$) 构成, 8i 晶位用 1 套六线谱拟合, $8j_1, 8j_2$ 为 8j 晶位的 2 个子晶位, $8f_1$ 和 $8f_2$ 为 8f 晶位的 2 个子晶位, 这样可用 5 套六线谱拟合^[11]。另外, 考虑到杂质相的存在, 增加 1 套双线谱(顺磁性富 Nd 相)及一套单线谱(CsCl 结构 FeV 相, 对称性程度很高, 电四极分裂值 Q_S 可视为零)参加拟合。拟合时, ($8j_1, 8j_2$), ($8f_1, 8f_2$) 两个晶位上对应两个子晶位产生的六线谱分别具有相同的 I_S, Q_S 值, 强度比均约束为 1:1, 4 套六线谱的宽度限制为相等。对 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.1, 0.2$) 3 个粉末样品在 290 K 和 80 K 2 种温度条件下的 Mössbauer 谱进行了拟合, 2 种条件下拟合方法一样。 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.1, 0.2$) 的 290 K 和 80 K 的 Mössbauer 谱以及拟合结果分别示于图 2 和表 2(表 2 中的 I_S 为相对于室温条件下 αFe 的同质异能移)。

由表 2 可知, 290 K 的各个铁晶位的同质异能移 I_S 均比 80 K 的值小, 这一实验现象是由于二次多谱勒能移对同质异能移的贡献。从表 2 中不同铁晶位的同质异能移 I_S 值知, 随着 Co 含量 x 的增加, 同质异能移 I_S 整体没有出现规律性的变化。这一现象是由于掺入 Co 原子后, 晶格常数减小, 电子密度增大, 导致同质异能移 I_S 减小; 同时, Co 原子掺入之后成为 Fe 原子的近邻, 使 Fe 原子成为 3d 电子的接受者, 从而对 s 电子的屏蔽作用增大, 促使同质异能移 I_S 增加^[12]。这两个方面的效应综合起来使 I_S 呈现无规律性变化。需要指出的是, 在 $T = 290\text{ K}$, 8i 铁晶位的 I_S 随 Co 含量 x 的增加而呈单调减小趋势; 而在 $T = 80\text{ K}$ 时, 8i 铁晶位

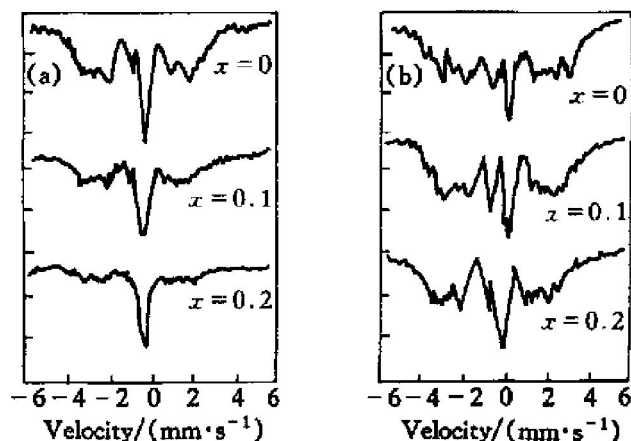


图 2 $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.1, 0.2$) 化合物的 290 K (a) 和 80 K (b) 的 Mössbauer 谱图

Fig. 2 Mössbauer spectroscopy patterns of $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.1, 0.2$) compounds at 290 K (a) and 80 K (b)

的 I_S 呈无规律性变化, 这表明在低温 80 K 下热运动效应比择优占位效应更强。

从表 2 可以看出, 80 K 和 290 K 2 种温度条件下的电四极分裂值 Q_S 均较小, 且接近于零, 这一实验现象表明不同铁晶位上 Fe 原子核的周围环境均具有较高的对称性, 且与温度关系不大。但是, $T = 290\text{ K}$ 和 $T = 80\text{ K}$ 条件下的 8i 铁晶位上的电四极分裂值 Q_S 却较大, 并有突变; $x = 0.1$ 和 0.2 的 Q_S 值相对于 $x = 0$ 的 Q_S 值有突变, 且变化的绝对值较大, 分别约为 0.23 mm/s 和 0.13 mm/s , 并且随着 Co 含量 x 的增大电四极分裂 Q_S 绝对值呈单调增加趋势。这一结果表明, Co 原子部分替代 Nd ($\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$) $_{10}\text{V}_2$ 化合物中 Fe 原子, 将择优占据 8i 铁晶位。

忽略各个铁晶位上的无反冲因子之间的差异, 各套谱线的面积比等于各个铁晶位上的 Fe 原子数之比。据此可推算出 Fe 原子在各个铁晶位上的分布情况, 从而可推知 Co 原子的占位情况。由表 2 可知, $T = 290\text{ K}$ 和 $T = 80\text{ K}$ 2 种温度条件下的 8i 铁晶位上的 Fe 原子数比 8j 和 8f 铁晶位上的 Fe 原子数均小得多, 约小 50%, 而 8j 铁晶位和 8f 铁晶位上的 Fe 原子数近似相同。并且随着 Co 含量 x 的增大 8i 铁晶位上的 Fe 原子数不断减小, 8f 铁晶位和 8j 铁晶位上的 Fe 原子数却不断增加。这一实验结果形象地表明, 掺入 Co 原子后, Co 原子将择优占据 8i 铁晶位, 并造成 Fe 原子的重迁移分布。

由表 2 中不同铁晶位的内磁场 H_F 值可知, $T = 290\text{ K}$ 和 $T = 80\text{ K}$ 2 种条件下各个铁晶位上

表 2 Nd(Fe_{1-x}Co_x)₁₀V₂($x = 0, 0.1, 0.2$) 化合物在 290 K 和 80 K 条件下的 Mössbauer 谱拟合结果

Table 2 Mössbauer spectroscopy results of

Nd(Fe_{1-x}Co_x)₁₀V₂($x = 0, 0.1, 0.2$) compounds at 290 K and 80 K

Composition	8i				8j				8f			
	I_s /(mm·s ⁻¹)	Q_s /(mm·s ⁻¹)	H_F / (10 ⁷ A·m ⁻¹)	Atom number /%	I_s /(mm·s ⁻¹)	Q_s /(mm·s ⁻¹)	H_F / (10 ⁷ A·m ⁻¹)	Atom number /%	I_s /(mm·s ⁻¹)	Q_s /(mm·s ⁻¹)	H_F / (10 ⁷ A·m ⁻¹)	Atom number /%
$T = 290\text{ K}$												
$x = 0$	-0.080	0.042	2.04	22.0	-0.16	-0.041	1.69	39.9	-0.15	-0.14	1.41	38.2
$x = 0.1$	-0.14	0.19	2.12	15.4	-0.15	-0.004 7	1.77	41.7	-0.20	-0.017	1.44	42.8
$x = 0.2$	-0.23	-0.20	2.23	10.4	-0.17	-0.043	1.80	43.9	-0.19	-0.003 4	1.44	45.7
$T = 80\text{ K}$												
$x = 0$	-0.030	-0.002 0	2.18	22.7	-0.030	-0.017	1.90	41.2	-0.11	-0.031	1.57	36.1
$x = 0.1$	0.050	-0.13	2.31	15.7	0.050	-0.040	1.93	39.2	-0.050	-0.042	1.57	45.1
$x = 0.2$	-0.010	-0.21	2.35	8.3	-0.050	-0.005 0	1.99	42.9	-0.070	-0.020	1.62	48.8

的磁超精细场值 H_F 随着 Co 含量 x 的增大而不断增大, 这一实验事实可用 Slater-Pauling 曲线^[9] 解释。随着 Co 原子作为 Fe 原子近邻的原子数的增加, 自旋向上的 3d 带中空穴数不断减少, 而自旋向下的 3d 带中空穴数则不断增加, 这样合金的总磁矩将增大, 因而磁超精细场 H_F 随 Co 含量 x 增大而不断增加。另外, $T = 290\text{ K}$ 和 $T = 80\text{ K}$ 下 8j 和 8f 铁晶位上的 H_F 值随 x 的变化不大, 而 8i 铁晶位上的 H_F 值随 x 的增大而不断增加, 且增加的幅度较大, 这表明 Co 原子将择优占据 8i 铁晶位。由表 2 还可知, $T = 290\text{ K}$ 下各个铁晶位的 H_F 值比 $T = 80\text{ K}$ 下的值要小, 这是由于自发磁化强度随温度升高而逐渐衰减的缘故。

根据关系式: $H_{Fi} = A_i \mu_i$, 可以求出各个铁晶位上的局域原子磁矩、总的平均原子磁矩以及总的饱和原子磁矩^[10]。比例因子 A_i 只与晶体结构有关, 对不同铁晶位以及不同温度条件下则近似相同。在 ThMn₁₂型结构中, A_i 可选取为 $14.5\text{ T}/\mu_B$ 。由此可以推算出, 在低温 80 K 条件下, Nd(Fe_{1-x}Co_x)₁₀V₂($x = 0, 0.1, 0.2$) 化合物 3 个不等价铁晶位 8i, 8j 和 8f 的局域原子磁矩及总的平均原子磁矩分别为: $1.88\mu_B, 1.64\mu_B, 1.36\mu_B, 1.63\mu_B$ ($x = 0$); $1.99\mu_B, 1.66\mu_B, 1.36\mu_B, 1.67\mu_B$ ($x = 0.1$); $2.03\mu_B, 1.71\mu_B, 1.39\mu_B, 1.71\mu_B$ ($x = 0.2$)。这样进一步可推出 NdFe_{(1-x)Co_x}₁₀V₂($x = 0, 0.1, 0.2$) 化合物总的饱和原子磁矩分别为: $1.65\mu_B, 1.70\mu_B, 1.75\mu_B$ 。另外, $T = 290\text{ K}$ 和 $T = 80\text{ K}$ 下 Nd(Fe_{1-x}Co_x)₁₀V₂($x = 0, 0.1, 0.2$) 总的平均磁超精细场值 H_{Fa} 可分别推算为: $1.71 \times 10^7, 1.77 \times 10^7, 1.81 \times 10^7\text{ A/m}$ ($T = 290\text{ K}$); $1.88 \times 10^7, 1.93$

$\times 10^7, 1.97 \times 10^7\text{ A/m}$ ($T = 80\text{ K}$)。

3 结论

对 Nd(Fe_{1-x}Co_x)₁₀V₂($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) 化合物进行了 X 射线衍射、磁测量和 Mössbauer 谱等实验研究。研究结果表明:

1) Nd(Fe_{1-x}Co_x)₁₀V₂($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) 化合物的晶体结构均为 ThMn₁₂型结构。随着 Co 原子含量 x 的增大, 晶格常数 a, c 和晶胞体积 V 减小。

2) Co 原子掺入后, 随着 Co 原子含量 x 的增大, 居里温度 T_c 呈单调增加趋势, 饱和磁化强度 M_s 逐渐增加, 化合物的内磁场 H_F 也呈逐渐增加趋势。

3) Co 部分取代 Nd(Fe_{1-x}Co_x)₁₀V₂ 化合物中的 Fe 原子, 将择优占据 8i 铁晶位。

[REFERENCES]

- [1] YANG Fu-ming, Nasunjilegal B, PAN Huo-yong, et al. Magnetic properties of a novel Sm₃(Fe, Ti)₂₉ phase [J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1994, 135: 298–302.
- [2] HU Bo-ping, WANG Kai-ying, WANG Yi-zhong, et al. Structure and magnetic properties of RFe_{11.35}Nb_{0.65} and RFe_{11.35}Nb_{0.65}Ny (R = Y, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er and Lu) [J]. Phys Rev B, 1995, 51: 2905–2919.
- [3] ZHANG D, Bruck E, de Boer F R, et al. Magnetic properties of Tb₂Co_{17-x}Al_x compounds [J]. Physica B, 1997, 240: 110–115.

- [4] Venturini G, Welter R, Malaman B, et al. Magnetic structure of YMn_6Ge_6 and room temperature magnetic structure of LuMn_6Sn_6 obtained from neutron diffraction study [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 1993, 200: 51– 57.
- [5] WANG Jian-li, TANG Ning, YANG Dong, et al. Magnetic properties of $\text{R}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x)_{11.3}\text{Nb}_{0.7}$ compounds [J]. *Acta Physica Sinica*, 1999, 48(suppl): 74– 79.
- [6] WANG Yǐzhong, HU Bǒping, SONG Lin, et al. Study of the magnetocrystalline anisotropy of $\text{YFe}_{12-x}\text{Mo}_x$ and $\text{YFe}_{12-x}\text{Mo}_x\text{Ny}$ [J]. *J Phys Condens Matter*, 1999, 6: 7085– 7090.
- [7] HU Bǒping, WANG Yǐzhong, WANG Kǎiyǐng, et al. Magnetic properties of $\text{NdFe}_{12-x}\text{V}_x$ and $\text{NdFe}_{12-x}\text{V}_x\text{Ny}$ ($x = 1.0 \sim 3.0$) [J]. *J Appl Phys*, 1994, 76: 1971– 1976.
- [8] Luborsky F E. A Handbook on the Properties of Magnetically Ordered Substances Ferromagnetic Materials [M]. Amsterdam: North-Holland, 1980. 491– 495.
- [9] Yang Y C, Sun H, Zhang Z Y, et al. Structure and magnetic properties of $\text{ErFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$ compounds [J]. *Sol Sta Commun*, 1988, 68: 175– 181.
- [10] Buschow K H J. A Handbook on the Properties of Magnetically Ordered Substances Ferromagnetic Materials [M]. Amsterdam: North-Holland, 1980. 297– 306.
- [11] HU Bǒping, Coey J M D. A ^{57}Fe Mössbauer study of $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ [J]. *Journal of the Less-Common Metals*, 1991, 171: 33– 39.
- [12] WANG Jian-li, TANG Ning, Bruck E, et al. Magnetic properties of $\text{Y}(\text{Fe}_{0.8}\text{M}_{0.2})_{11.3}\text{Nb}_{0.7}$ compounds with $\text{M} = \text{Mn, Fe, Co, Ni, Al}$ and Ga [J]. *J Appl Phys*, 1997, 81: 5131– 5133.

Mössbauer spectroscopy study of $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$

LUO Guang-sheng¹, ZENG Yǐwei²

(1. College of Chemistry and Materials Sciences, Nanchang University, Nanchang 330047, P. R. China;

2. Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, P. R. China)

[Abstract] The crystal structure and magnetic properties of $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ were studied by X-ray diffraction, magnetic measurements and Mössbauer spectroscopy methods. The following conclusions were obtained: All $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) compounds crystallize in ThMn_{12} -type structure; the lattice constants decrease monotonically with the increasing of Co atom content x , Curie temperature T_c increases monotonically with Co atom content x , and the saturation magnetization M_s increases gradually with Co atom content x . Substitution of Co for Fe leads to a monotonic increase of the hyperfine interaction field H_F on all Fe sites. Furthermore, the experiment results show that Co atom occupies preferentially 8i Fe site in $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$ compounds.

[Key words] $\text{Nd}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{10}\text{V}_2$; preferential occupation; crystal structure; Curie temperature; saturation magnetization; Mössbauer spectroscopy

(编辑 朱忠国)