Ce이 치환된 YIG garnet의 결정학적 및 자기적 성질 연구

금준식 · 김삼진 · 심인보 · 김철성*

국민대학교 자연과학대학 물리학과, 서울시 성북구 정릉동 861-1, 136-702

(2004년 2월 3일 받음, 2004년 2월 18일 최종수정본 받음)

자성 garnet $Y_3Fe_5O_{12}$의 Y자리에 Ce이 치환된 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$(x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3) 분말을 졸-겔법으로 합성하였다. $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$의 결정학적 자기적 성질을 X-선 회절기(XRD), 진동시료 자화율 측정기(VSM) 및 Mössbauer 분광기를 이용하여 연구하였다. $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$의 결정구조는 cubic이며, 격자상수는 x = 0.0에서 0.3까지 치환하였을 때 12.3758 ± 0.0005 Å부터 12.4062 ± 0.0005 Å으로 선형적으로 증가함을 보였다. VSM 측정 결과 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$의 포화 자화(saturation magnetization) 값은 거의 변화가 없었던 반면, 보자력(coercivity) 값은 $Y_3Fe_5O_{12}$과 $Y_{2.9}Ce_{0.1}Fe_5O_{12}$일때 각각 18.3 Oe에서 5.8 Oe로 감소 하였다. 이들 시료의 Mössbauer spectrum을 13 K부터 Néel 온도까지 측정을 하였다. Fe 원자 위치의 분포를 고려하여 16a와 24d에 site의 2set으로 분석하였으며, 또한 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$의 자성 이온간의 상호작용을 Néel 이론으로 해석할 수 있었으며 개별 부격자간의 초교환 상호작용의 세기를 결정하였다. Debye 온도를 분석 결과 24d site 의 고체의 굳기가 16a site 경우보다 더 큰 것으로 분석 되었다.

주제어 : Garnet, Mössbauer 분광학, Sol-gel법, 초교환 상호작용

I. 서 론

정보 통신 산업이 발달함에 따라서 방대한 정보량을 신속, 정확하게 처리하고, 전 세계 어디서나 정보를 주고 받을 수 있는 통신의 필요성이 증가하게 되었다. 이런 통신에는 GHz에 해당하는 microwave의 사용이 필요하게 되었다. 자성 garnet $Y_3Fe_5O_{12}$이 1956년 Bertaut와 Forrat에 의하여 개발된 이후, yttrium iron garnet(YIG, $Y_3Fe_5O_{12}$)은 GHz 대역에서 동작할 수 있는 우수한 마이크로웨이브 소자로 사용되고 있다[1, 2]. 자성 물질이 microwave 소자에 응용하기 위해서는 포화자화 값, 자기이방성(anisoptropy) 상수, Néel 온도, 보자력 값등의 특성 확인이 가장 중요하게 다루어져야 하는 자기적 성질들이다. 일반적으로 높은 Néel 온도 낮은 보자력 값이 요구되며, 또한 낮은 보자력 값을 갖기 위한 조건 중에서 낮은 자기 이방성이 중요한 역할을 한다[3]. 최근에는 Ce이 치환된 자성 garnet(Ce:YIG) 박막이 매우 거대한 자기 광학 효과와 낮은 자기 손실 값을 나타내어, 매우 작은 자기 손실이 요구되어지는 마이크로웨이브 소자 소재로써 주목을 받고 있으며, 몇몇 연구자들에 의해서 연구 되어지고 있다[4-5].

$Y_3Fe_5O_{12}$의 결정구조는 cubic이며 공간 구룹은 O_h^{10}-la3d에 속한다. Garnet을 구성하는 철의 분포는 다른 페라이트와 달리 일정한 위치에만 분포하므로 자성연구에 매우 적합하다. 이러한 특성을 가지는 garnet의 결정 내에는 octahedral-16a와 tetrahedral-24d, 그리고 dodechahedral-24c의 세 개의 부격자가 있다. 이온 분포는 $\{Y^{3+}\}_3[Fe^{3+}]_2(Fe^{3+})_3O_{12}$로 나타낼 수 있고, { }은 24c, [ ]는 16a, ( )는 24d site를 나타낸다. 이때, 이러한 부격자들에 치환되는 이온에 따라 자기적 교환 상호작용이 달라지게 된다[6]. Yttrium은 비자성 이온으로 24c site에 위치하고 있고, 자성 이온인 Fe는 16a, 24d site에 위치하고 있기 때문에 거시적으로 준강자성 물질인 $Y_3Fe_5O_{12}$는 16a, 24d site의 스핀이 서로 반평행한 상태로 반 강자성 결합을 하는 것으로 알려져 있다[7].

본 논문에서는, 졸-겔법으로 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$(x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3) 분말을 제조하여 X-선 회절기를 이용하여 결정학적 특성을 연구하고, 진동시료 자화율 측정기를 이용하여 거시적 자성을 측정하였으며, 원자핵의 입장에서 불확정성의 원리를 만족하는 Mössbauer 분광기를 이용하여 초미세 자기장, 전기 4중극자 분열치 및 이성질체 이동치를 구하고, 초교환 상호작용의 세기와 Debye 온도를 분석하는 등의 미시적 자성을 연구하였다.

II. 실험 방법

자성 garnet $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$(x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3) 분말을 졸-겔법을 이용하여 합성하였다. 출발 원료로 순도 99.99 %의 yttrium nitrate pentahydrate($Y(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$), 99.99 %의 iron(III) nitrate nonahydrate($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$), 99.99 %의 cerium(III) nitrate hexahydrate($Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$)를 사용하였으며, 용매로는 2-Methoxyethanol(2-MOE), acetic acid 및 distilled water (H_2O)을 사용하였다. 제조된 용액을 110 °C에서 48시간 건조하여 초기 분말을 제조하였다. 건조된 분말을 마노에서 1시간 분쇄후 400 °C에서 유기물과 용매의 증발을 충분히 이루

*Tel: (02) 910-4752, E-mail: cskim@phys.kookmin.ac.kr

어 내기 위해서 1차로 열처리 공정을 수행하였고, 1400 °C에서 2차 열처리 공정을 수행하여 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ 시료를 제조하였다. 본 연구에서는 Ce 함량의 변화에 따라 결정구조 및 자기적 성질의 변화를 보고자 동일한 조건하에서 시료를 제조하였다.

열처리 한 분말의 결정학적 특성을 알아 보기 위해 XRD를 사용하였다. 또한 분말의 자기적 특성 측정을 위해서 VSM을 이용하였다. 측정은 실온에서 최대 5000 Oe의 외부 자장을 인가하여 자기적 변화를 측정하였다. Mössbauer 스펙트럼은 전기역학적 등가속도형 Mössbauer 분광기로 취하였으며, 본 실험에서 사용한 감마선 source는 rhodium 금속에 확산시킨 40 mCi의 ^{57}Co를 사용하였다.

III. 결과 및 논의

Fig. 1는 자성 garnet $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$(x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3)의 분말 시료의 X-ray 회절도이다. X-선 회절도를 회절각 및 산란강도를 바탕으로 하여 구조를 분석한 결과 모두 cubic garnet spinel 구조임을 알 수 있었다. 격자 상수를 얻기 위해 Nelson-Riley 함수에 대한 격자상수 $a_0(\theta)$를 일차함수로 맞추어 $\theta = 90°$에서 격자상수를 구하였다[8].

X-선 회절도의 Miller 지수는 cubic 구조의 인접 격자면 사이 거리를 이용하여 구한 이론값으로부터 X-선 변화에 따라 회절선의 이동을 고려하여 붙였으며, 격자상수(a_0) 값은 $K\alpha_1$선 파장에 의한 Bragg의 회절 조건 로부터 주어진 와 주어진 Miller 지수를 써서 컴퓨터를 이용하여 최소자승법으로 맞추어서 결정하였으며, 그 결과는 Fig. 2에서처럼 Ce 이온의 치환량이 증가함에 따라 $a_0 = 12.3758 \pm 0.0005$Å에서 12.4062 ±0.0005 Å으로 증가하는 경향을 보였다. Ce의 치환량의 증가에 따른 격자 상수의 증가 경향은 Ce의 이온반경(1.18 Å)

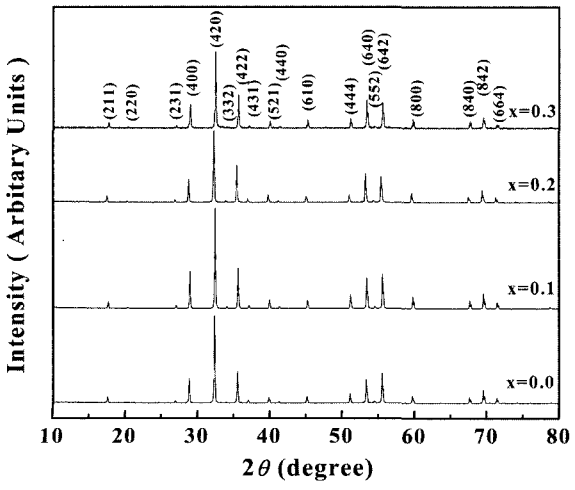

Fig. 1. XRD patterns for $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ (x = 0.0, 0.1, 0.2, and 0.3).

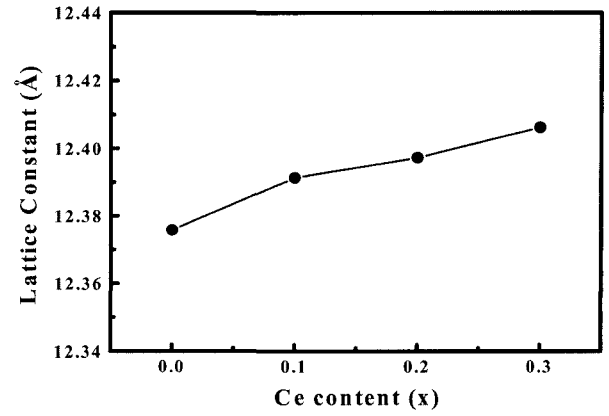

Fig. 2. Lattice contants dependent on the Ce concentration of $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ (x = 0.0, 0.1, 0.2, and 0.3).

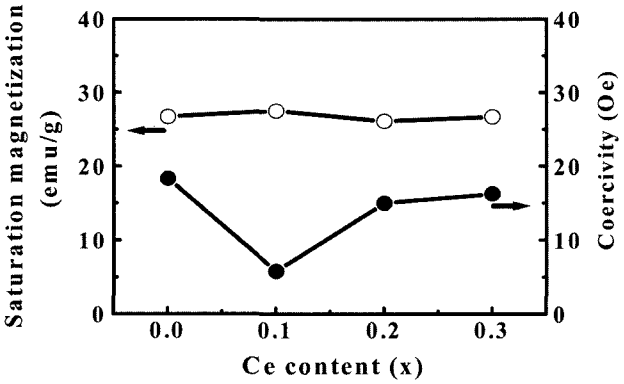

Fig. 3. Saturation magnetization (M_s) and coercivity (H_c) as a function of Ce concentration (x) at room temperature.

이 Y의 이온반경(1.06 Å) 보다 크기 때문에 나타나는 결과라고 분석되어진다.

졸-겔법으로 Ce의 첨가량 변화에 따른 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ 시료의 자기적 성질을 상온에서 5000 Oe의 외부자기장을 인가하여 VSM으로 측정하였다. Fig. 3은 상온에서 Ce의 조성 변화에 따른 포화자화 값과 보자력 값의 변화를 나타낸 것이다. 실험 결과값은 Table I에 나타내었다.

연자성 물질인 garnet은 상대적으로 작은 보자력 값을 갖는데, Ce를 치환했을 때 포화자화 값은 치환량의 변화에 따라서 어떤 경향성이 없이 오차 한도 내에서 일정한 모습을 보였다. 그러나 보자력 값은 $Y_3Fe_5O_{12}$과 $Y_{2.9}Ce_{0.1}Fe_5O_{12}$일때 각각 18.3 Oe에서 5.8 Oe로 감소하는 경향성을 보였다. 또한 그 결과 값은 일반적인 YIG garnet의 보자력 값(54.1 Oe)경우보다 작은 결과 값을 가짐을 알 수 있었다[9].

Fig. 4은 Néel 온도(T_N)를 결정하기 위하여 온도에 따른 자기화값을 나타내었다. 온도에 따른 자화 곡선으로 Néel 온도를 결정하면 오차가 약간 크다고 할 수 있는데, 본 실험에서는 Mössbauer 실험과 연계하여 Néel 온도를 결정하였다.

Table I. Lattice parameter (a_0), saturation magnetization (M_s), coercivity (H_c), Neel temperature (T_N), magnetic hyperfine field (H_{hf}), quadrupole splitting (ΔE_Q), and isomer shift (δ) of $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ (x = 0.0, 0.1, 0.2, and 0.3) at room temperature

x	a_0 (Å)	M_s (emu/g)	H_c (Oe)	T_N (K)	H_{hf} (kOe)		ΔE_Q (mm/s)		δ (mm/s)	
					16a	24d	16a	24d	16a	24d
0.0	12.3758	26.7	18.3	570	492	399	0.03	0.01	0.25	0.03
0.1	12.3913	27.5	5.8	563	494	401	0.01	0.01	0.38	0.14
0.2	12.3973	26.1	15.0	560	493	399	0.03	0.01	0.26	0.04
0.3	12.4062	26.7	16.2	562	492	398	0.02	0.01	0.27	0.04

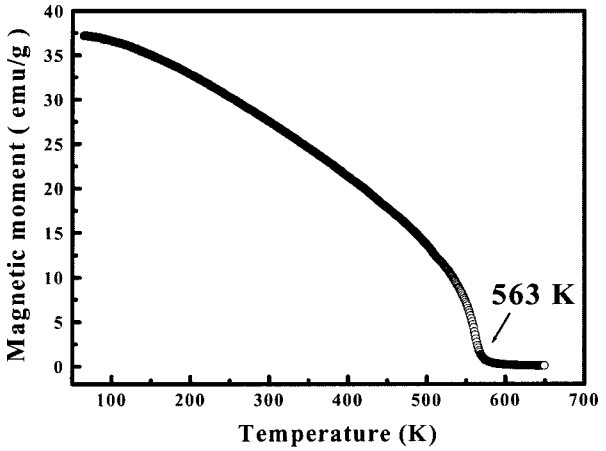

Fig. 4. Temperature dependence of magnetization curves for $Y_{2.9}Ce_{0.1}Fe_5O_{12}$.

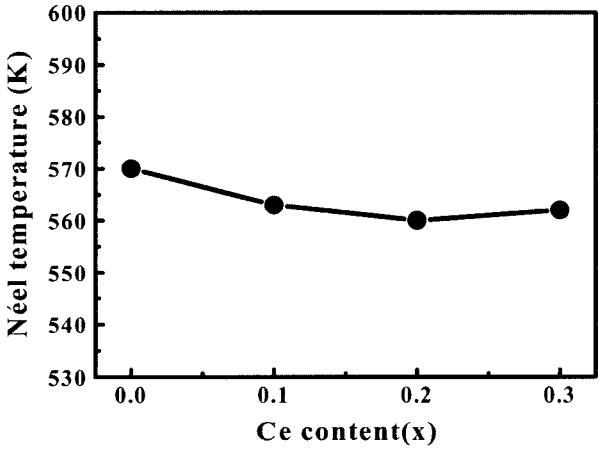

Fig. 5. Néel temperature Dependence on the Ce concentration for $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$(x = 0.0, 0.1, 0.2, and 0.3).

Fig. 5에서 보이는 바와 같이 각각의 물질들에 대한 Néel 온도는 YIG와 비교 하였을 때는 감소 하는 경향성을 보였다. 하지만 Ce의 치환량이 증가 함에 따라서 오차 범위 내에서 일정한 값을 가졌다. 실험 결과값은 Table I에 나타내었다.

Fig. 6는 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$의 상온에서 취한 Mössbauer 스펙트럼을 나타낸다. 단위포 내의 garnet은 24c, 16a와 24d의 세 자리가 존재하지만 Fe는 16a와 24d 자리에만 존재하므로 이들 스펙트럼의 분석은 2 set의 6 Lorenzian 으로 분석하였으

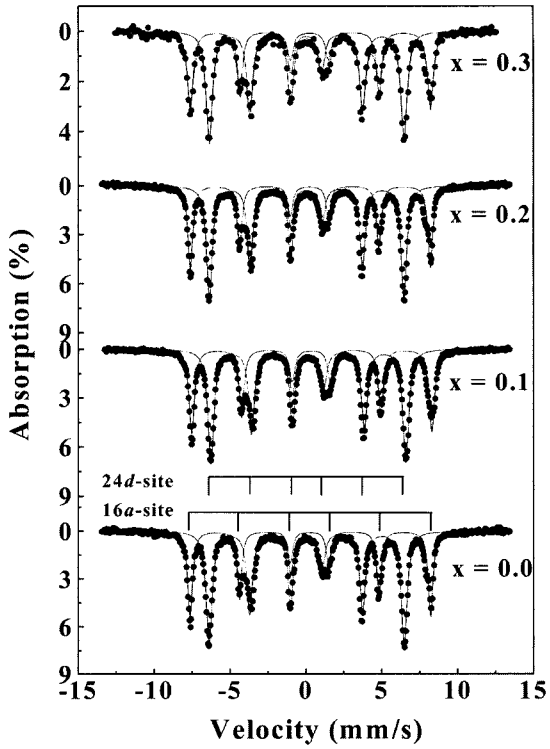

Fig. 6. Mössbauer spectra of $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ (x =0.0, 0.1, 0.2, and 0.3) at room temperature.

며, 그 분석 결과는 Table I에 나타내었다. Yttrium에 Cerium을 치환할 경우 초미세 자기장 값들은 큰 변화를 보이지 않으며, 이성질체 이동값은 16a 자리인 경우 0.25 mm/s ~0.38 mm/s, 24d 자리인 경우 0.03 mm/s~0.14 mm/s를 나타내었다. 그 값은 상온에서 α-Fe에 대한 상대값으로 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ 시료들은 16a 자리와 24d 자리 모두 ferric(Fe^{+3}) 이온 상태임을 알 수 있었다. 이러한 측정 결과는 전형적인 garnet의 Mössbauer 분광 실험 결과와 일치 한다[10].

Fig. 7은 Ce의 치환량이 x = 0.3인 $Y_{2.7}Ce_{0.3}Fe_5O_{12}$ 시료의 13 K부터 Néel 온도까지 여러 온도에서 취한 Mössbauer 스펙트럼중 대표적인 것들을 보여주고 있다. 13 K에서의 16a 자리의 초미세 자기장 값이 552 kOe이고 24d 값이 473 Oe 로 보여주고 있다. 전기사중극자 분열값은 온도에 거의 무관하게 zero의 값을 가지며 이성질체 이동값은 온도가 상승함에 따라 일차적으로 감소하는 2차 Doppler 효과를 만족함을 알 수

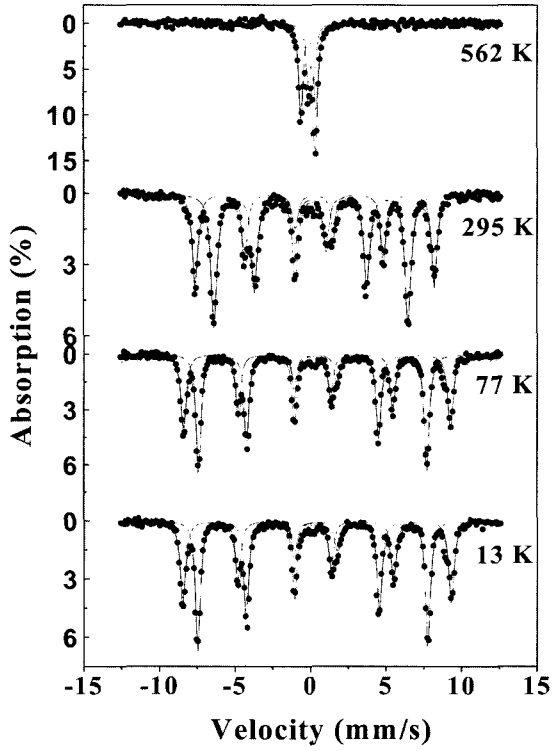

Fig. 7. Mössbauer spectra for $Y_{2.7}Ce_{0.3}Fe_5O_{12}$ at various temperature ranging from 13 K to Néel temperature.

있었다.

Mössbauer 스펙트럼 분석 결과 계산된 초미세 자기장 값을 통하여 Néel 이론에 따라서 초교환 상호작용에 관한 연구를 수행하였다. Fig. 8은 $Y_{2.7}Ce_{0.3}Fe_5O_{12}$의 초교환 상호작용을 분석하여 나타낸 그림이고, 그 분석 결과를 Table II에 나타내었다. Y^{+3}은 비자성 이온이므로 자성 이온 자리는 16a, 24d 자리의 자성이온만이 존재한다. 따라서 가능한 교환 상호작용으로 a-d, a-a, d-d의 세 개의 상호작용을 고려하여 분석하였다.

$Y_{2.7}Ce_{0.3}Fe_5O_{12}$의 개별 부격자간의 초교환 상호작용의 세기의 분석 결과 $J_{a\text{-}d}$=−21.75 k_B, 로 반 강자성 결합을 이루고 있으며, $J_{a\text{-}a}$= 3.87 k_B, $J_{d\text{-}d}$= 0.02 k_B로 강자성 결합을 하고 있음을 알 수 있었다. Ce가 치환되지 않은 $Y_3Fe_5O_{12}$의 경우에는 초교환 상호 작용 분석 결과는 $J_{a\text{-}d}$=−24.71 k_B, $J_{a\text{-}a}$= 0.17 k_B, $J_{d\text{-}d}$= 0.02 k_B으로 분석 되었으며, Table II에서 알 수 있듯이 Néel 온도와 포화 자화값이 오차 범위내에서 일정한 모습

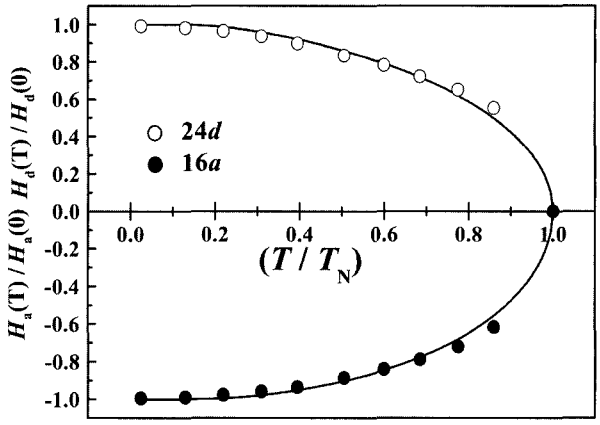

Fig. 8. Reduced magnetic hyperfine fields $H(T)/H(0)$ for 16a and 24d sites in $Y_{2.7}Ce_{0.3}Fe_5O_{12}$ as a function of reduced temperature T/T_N. The solid lines represents the calculated reduced magnetization.

을 보여주고 있다. 이것은 a-d 상호작용이 Ce가 치환됨에 따라 커다란 변화가 없는 것과 같은 것으로 해석 되어진다. 반면에 보자력 값은 x = 0.0에서 x = 0.1로 변화 할 때 18.3 Oe에서 5.8 Oe로 감소하는 것을 알수 있었고, 다시 x = 0.3으로 변화할때는 증가 하는 추세를 보였다. a-a 상호 작용의 결과 x = 0.0에서 x = 0.1로 변화 할때는 크게 증가하고 x = 0.3일때는 다시 감소하는 것을 알 수 있었다. 여기서 보자력 값과 $J_{a\text{-}a}$ 상호작용의 세기와는 반비례하는 성향을 보임을 현상학적으로 알 수 있었다. Ce이 약간 치환함으로써 a-a 상호작용은 증가하였다. 보통 a-a, d-d 상호작용이 우세한 경우는 스핀 glass의 성질을 나타내 기도 한다[11]. 따라서 본 연구에서 나타나는 현상은 a-a 상호 작용이 켜짐으로 인해 uniaxial 영역이 커지고 이로 인해 보자력 값이 감소된 것으로 해석된다.

Fig. 9는 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$의 온도에 따른 Mössbauer spectrum의 공명 흡수 면적으로부터 Debye 온도를 결정한 것을 나타낸 그림이다. Debye 온도를 결정하기 위해 되튐없는 확률 (recoil-free fraction) f에 Debye 모델을 도입하면 다음과 같이 된다[12].

$$f=exp\left[\frac{3E_R}{2k_B\Theta}\left(1+\frac{4T}{\Theta^2}\int_0^{\Theta/T}\frac{xdx}{e^x-1}\right)\right] \quad (1)$$

여기서 E_R은 14.4 keV, γ-선에 대한 ^{57}Fe의 되튐 에너지이고

Table II. Strength of superexchange parameters and Debye temperatures for $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ (x=0.0, 0.1, 0.2, and 0.3)

x	$J_{a\text{-}d}$ (k_B)	$J_{a\text{-}a}$ (k_B)	$J_{d\text{-}d}$ (k_B)	alpha	Beta	Θ_d (K)	Θ_d (K)
0.0	-24.71	0.17	0.02	0.001	0.011	385	472
0.1	-21.42	4.50	0.02	0.001	0.315	353	464
0.2	-21.45	3.96	0.02	0.001	0.277	344	422
0.3	-21.75	3.87	0.02	0.001	0.267	342	417

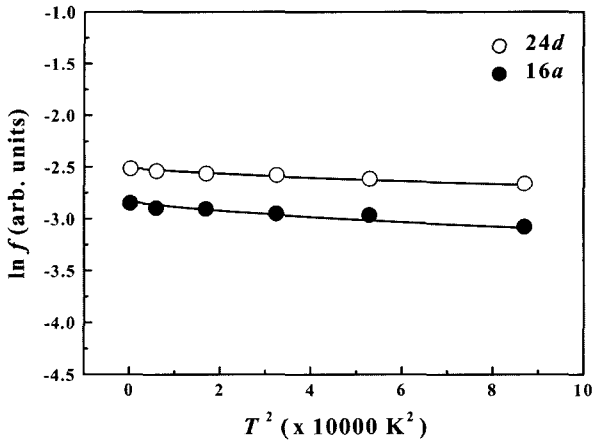

Fig. 9. Natural logarithm of the absorption area f, vs T^2 16a and 24d site of $Y_{2.7}Ce_{0.1}Fe_5O_{12}$. The solid lines were calculated using eg. (1).

Θ는 Debye 온도이며, k_B는 Boltzman 상수를 나타낸다. 온도 T에서 Mössbauer spectrum의 전체 공명흡수면적 F는 에 비례함으로 $\ln f = \ln F + \text{const.}$의 형태로 쓸 수 있다. 각 온도에서의 스펙트럼의 면적을 대입하고, computer를 사용하여 최소 지승법으로 fitting 하면, Debye 온도를 구할 수 있다. 원자의 질량을 m, 원자간 거리를 R_0라고 할 때 고체의 녹는 온도 $T_S \propto m \cdot \Theta \cdot R^2$에 비례하며 이 때 Debye 온도는 물체의 굳기를 나타낸다고 할 수 있다. 이 분석 통해 Table II와 같이 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$의 Debye 온도를 결정하였다. x = 0.0에서 경우, 16a site는 $\Theta_a = 385 \pm 5$ K, 24d site는 $\Theta_d = 472 \pm 5$ K로 결정되었다. Ce이 치환량이 증가 함에 따라 Debye 온도 값이 점차적으로 감소하는 결과를 알 수 있었다. Debye 온도 값이 24d site가 16a site 보다 큰 것은 24d site의 결합에너지가 16a site 경우보다 더 큰 것을 나타낸다. 따라서 24d site 고체의 굳기(inter-atomic binding force)가 16a site 경우보다 더 큰 것으로 해석된다.

IV. 결 론

$Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$(x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3)분말을 졸-겔법으로 합성하여, 마이크로웨이브 소자로의 응용 가능성에 대한 기본 물성을 연구하였다. 낮은 보자력과 함께 높은 Néel 온도를 요구하는 조건을 충족함에 있어, Ce의 치환량에 따라 보자력은 감소하는 추세를 나타내었으며, Néel 온도는 560~570 K 근방을 유지하여 높은 온도에서의 열적 안정성에는 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다. $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ 시료의 경우 일반적인 garnet 보다 작은 보자력값을 가지므로 마이크로웨이브 소자 응용에 보다 적합한 재료로 사용 가능성을 확인 하였다. 초교환 상호작용 분석 결과 $J_{a\text{-}d}$가 가장 강한 상호작용으로 나타났고, 그 값은 Ce를 치환한 garnet과 YIG를 비교 하면 그 세기가 감소 함을 알 수 있었다. 이것은 $J_{a\text{-}d}$의 세기와 Néel 온도가 비례하는 결과와 아주 잘 일치함을 알 수 있다. 또한 Ce 의 치환량에 관계없이 일정한 값 $J_{d\text{-}d} = 0.02\ k_B$을 가짐을 알 수 있었다. $J_{a\text{-}a}$ 값의 경우는 증가하다가, x = 0.1에서 최대값을 가지며 다시 치환량이 증가 할수록 감소 하는 값을 가짐을 알 수 있었다. 이것은 보자력값과 상호 반비례함을 현상학적으로 알 수 있었다. Debye 온도 분석 결과 치환량이 증가함에 따라 16a site는 $\Theta_a = 385 \pm 5$ K에서 342±5 K로 감소 하였고, 또한 24d site는 $\Theta_d = 472 \pm 5$ K에서 417 ±5 K로 감소 함을 알 수 있었다. Debye 온도의 크기를 비교 할 때, 24d site 고체의 굳기가 16a site 경우보다 더 큰 것으로 해석된다.

감사의 글

본 연구는 충남대 과학재단 ERC(고기능성 자성재료 연구센터)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] C. E Patton, J. Appl. Phys. **41**, 1637(1970).
[2] F. Bertaut and F. Forrat, Compt. Rend. **242**, 382(1956).
[3] M. Pardavi-Horvath, J. Mag. Magn. Mater. **215-216**, 171 (2000).
[4] M. Gomi, K. Satoh, M. Abe, Jpn. J. Phys. **27**, L1536(1988).
[5] T. Shintaku, A. Tate, S Mino, Appl. Phys. Lett. **71**, 1640 (1997).
[6] O. Yamaguchi, Y. Mukaida, and A. Hayashida, J. mater. Sci. Lett. **9**, 1314(1990).
[7] M. Gomi, T. Tanida, and M. Abe, J. Appl. Phys. **57**, 3888 (1985).
[8] P. Hansen, W. Torkdorf, K witter and J. M Robertson, IEEE Trans. Magn. Magn. Matter. **20**, 1099(1984).
[9] Byoung Ki Min, Sam Jin Kim, Sung Ro Yoon, Young Rang Uhm, and Chul Sung Kim, J. Magn.Magn. Mater. **254-255**, 553 (2003).
[10] Y. R. Uhm, C. S. Kim, and J. G. Lee, J. Korea Mag. Soc. **8**, 203(1996).
[11] S. M. Yuns, f. U. Ahmed, and M. A. Asgar, J. Alloys. Comp. **315**, 190(2001)
[12] H. N, Ok, K. S. Baek, E. C. Kim and C. S. Kim, Phys. Rev. **B48**, 3212(1993).

A study on the crystallographic and magnetic Properties of Ce doped Garnet

Jun Sig Kum, Sam Jin Kim, In-Bo Shim, and Chul Sung Kim*

Dept. of Physics, Kookmin University, Seoul 136-702

(Received 3 February 2004, in final form 18 February 2004)

Compounds of $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ (x = 0.0, 0.1, 0.2, and 0.3) were prepared using the sol-gel method. The XRD measurements show that these samples have only a single phase of the garnet structure regardless of the amount of Ce substitution. The lattice constants of x = 0.0 and x = 0.3 were found to be a_0 = 12.3758 ± 0.0005 Å and 12.4062 ± 0.0005 Å, respectively. The lattice constant increases linearly with increasing Ce concentration. The saturation magnetization was not changed fairly, with increasing Ce concentration, but coercivity decreased form 18.3 Oe to 5.8 Oe as x increased form x = 0.0 to x = 0.1. Mössbauer spectra of $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ were measured at various absorber temperatures from 13 K to Neel temperature. The Mössbauer spectra were fitted by least-squares technique with two subpatterns of Fe sites in the structure and corresponding to the 16a and 24d site. The temperature dependence of the magnetic hyperfine field in ^{57}Fe nuclei at the tetrahedral 24d and octahedral 16a sites were analyzed based on the Néel theory of ferrimagnetism. The result of the Debye temperatures indicated that the inter-atomic binding force for the 24d site was larger than that for the 16a site.

Key words : Garnet, Mossbauer spectroscopy, Sol-gel process, Superexchange interaction