

Sol-gel 법으로 만든 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ 의 초교환상호작용 연구

국민대학교
한국의국어대학교

금준식*, 김삼진, 김철성
이보화

Exchange Interaction In $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ Fabricated Using a Sol-gel Method

Kookmin University
Hankuk University of Foreign Studies

Jun Sig Kum*, Sam Jin Kim, Chul Sung Kim
Bo Wha Lee

1. 서 론

자성 garnet(YIG)의 현재 가장 널리 쓰이는 microwave 자성재료 중 하나이며 자기적 손실이 적은 특성을 가지고 있다고 보고 되어 지고 있다.[1] Microwave 소자로 응용하기 위해서는 포화자화값 (M_s), 보자력 (H_c), Néel 온도 (T_N)등을 제어하는 기술을 요구되어진다.

이러한 자성재료인 Garnet의 결정 내에는 octahedral-16a과 tetrahedral-24d 그리고 dodecahedral-24c의 세 개의 부격자가 있다. 이러한 부격자들에 치환되는 이온에 따라 자기적 교환 상호작용이 달라지게 된다. 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 자리의 스핀이 서로 반평행한 상태로 antiferromagnetic coupling을 하는 것으로 알려져 있다.[2]

본 연구에서는 Ce이 치환된 YIG 분말을 Sol-gel 법으로 제조하여, 초교환상호작용의 변화를 조사하여 Ce의 치환으로 인한 microwave 소자로의 응용에 적합한 자성조건을 알아보려고 한다.

2. 실험방법

$Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ ($x=0.0, 0.1, 0.3$) 분말을 sol-gel법을 이용하여 합성하였다. 출발원료로서는 순도 99.99 % 의 yttrium nitrate pentahydrate ($Y(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$), 99.9 % 의 iron(III) nitrate nonahydrate ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$), 99.999 % 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. X-선 회절(XRD; X-Ray Diffraction), 진동시료자화기(VSM; Vibrating Sample Magnetometer) 및 Mössbauer 분광기를 이용하여 결정학적 및 자기적 특성을 연구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

X-선 회절 실험결과 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ 의 단일상이 형성되었음을 확인하였으며, 격자상수는 $x=0.0$ 에서 0.3까지 치환하였을 때 12.381부터 12.408 Å으로 선형적으로 증가함을 보였다.

VSM 측정 결과 $Y_{3-x}Ce_xFe_5O_{12}$ 의 포화 자화값은 변화가 없었던 반면 보자력 값은 $Y_3Fe_5O_{12}$ 과의 경우 54.1 Oe 이고 $Y_{2.9}Ce_{0.1}Fe_5O_{12}$ 일때 5.8 Oe로 크게 감소 하였다

Fig. 1은 $Y_{2.9}Ce_{0.1}Fe_5O_{12}$ 의 4.2 K 부터 Néel 온도까지의 Mössbauer 스펙트럼 결과이다. 안쪽 6개의 공명선은 팔면체자리(16a), 바깥쪽은 사면체자리(24d) 를 나타낸다. 4.2K 일때 초미세자기장의 값은 각각 554 kOe, 476 kOe 이고 이성질체 이동치는 각각 0.49 mm/s, 0.26 mm/s 를 나타냈다. 따라서 두자리의 Fe 이온의 전하상태는 모두 +3이다. Néel 온도는 ZVC(zero velocity scanning) 방법을 이용하여 결정하였으며, 그 결과 585 K 로 결정하였다. Ce가 치환되면서 Néel 온도는 조금씩 감소하는 경향을 나타내었다. Fig. 2 은 $Y_{2.9}Ce_{0.1}Fe_5O_{12}$ 의 초교환 상호 작용을 분석하여 얻은 그림이다. 분석결과 초교환상호작용의 세기는 $J_{a-d} = -21.42$, $J_{a-a} = 4.50$, and $J_{d-d} = 0.02$ k_B로 분석되었다. $Y_3Fe_5O_{12}$ 와 비교한 결과 J_{a-d} 의 값은 변화가 없었던 반면에 J_{a-a} 의 값은 증가하고, J_{d-d} 의 값이 감소하는 결과를 얻을수 있었다.

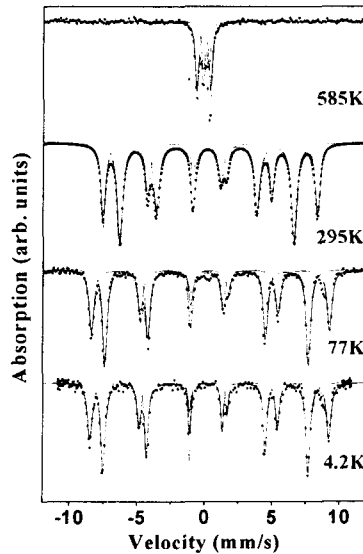


Fig. 1 Mössbauer spectra for $Y_{2.9}Ce_{0.1}Fe_5O_{12}$ at various temperature ranging from 4.2 K to Néel temperature.

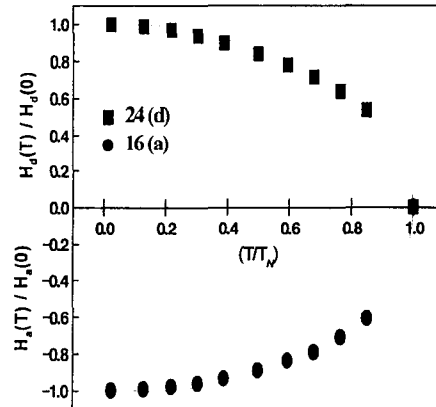


Fig. 2 Reduced magnetic hyperfine fields $H(T)/H(0)$ for 16(a) and 24(d) sites in $Y_{2.9}Ce_{0.1}Fe_5O_{12}$ as a function of reduced temperature T/T_N . The solid lines represents calculated reduced magnetization

4. 참고문헌

[1] K. Hisataka, I. Matubara, K. Maeda, H. Yasuoka, H. Mazaki, and K. Vematsu, J. Magn. Magn. Mater, **140-144**, 2127 (1995).
 [2] C. S. Kim, Y. R. Uhm, J. G. Lee, K. H. Jeong, Mater. Sci. Forum **373-376**, 753 (2001).