

## 2-페이지 요약문(digest)

군산대학교 최승진, 차덕준, 윤성현\*  
국민대학교 민병기, 김철성

Mossbauer study of  $\text{LaFe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_3$ 

Gunsan National University S. J. Choi, D. J. Cha, S. H. Yoon\*  
Kookmin University B. K. Min, C. S. Kim

## 1. 서 론

$\text{LaFeO}_3$  는 결정학적으로는  $\text{La}^{3+}$  이온의 큰 반경으로 인하여 Pseudo-Cubic 에 가까운 Orthorhombic Perovskite 구조를 가지며, 전기적으로는 Charge-Transfer Type Insulator 이다. 또한 자기적으로는 G-Type Antiferromagnet 으로, 산화물 세라믹으로선 가장 큰 초미세 자기장 값과 가장 높은 Neel 온도를 갖는 부류에 속한다. 이로 인하여  $\text{LaFeO}_3$  는 최근 Conductor-Insulator Transition 문제나 Unusual High Valency 문제 등을 연구하는 모물질로도 흔히 이용되고 있다. 본 연구에서는  $\text{LaFeO}_3$  의 Transition Metal Site 에 있는  $\text{Fe}^{3+}$  이온을 비자성  $\text{Ga}^{3+}$  이온으로 대체시켜가면서 자기적 희석 (Magnetic Dilution) 현상과 그에 수반되는 매개변수들의 온도에 대한 변화 양상을 고찰해 보고자 한다.

## 2. 실험방법

세라믹 시료  $\text{LaFe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_3$  ( $x=1.0, 0.9, 0.7, 0.5, 0.3$ ) 는 통상적인 직접 합성법으로 제조하였다. 고순도의  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 그리고  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  분말을 적정 당량비로 혼합하여 마노에서 곱게 간 후, 프레스로 알약 모양으로 성형한 후 공기 중에서  $1150^\circ\text{C}$  로 3 일간 열처리하였다. 시료의 균질성을 증진시키기 위해 이 과정은 한 번 더 반복되었다. 합성된 시료의 결정구조를 알아보기 위하여 Cu K $\alpha$  선을 사용하여 X-선 회절분석을 실시하였다. 또한 50 mCi Co-57(Rh) 를 이용하여 20K에서 부터 750K 까지 통상적인 투과 뫼스바우어 스펙트럼을 취하였다. 모든 스펙트럼은  $\alpha\text{-Fe}$  를 이용하여 눈금 매기기를 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

합성된  $\text{LaFe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_3$  ( $x=1.0, 0.9, 0.7, 0.5, 0.3$ ) 시료는 모두 orthorhombic perovskite 구조를 갖는 것으로 나타났다. 모물질인  $\text{LaFeO}_3$  의 경우 격자상수는  $a=0.5551\text{ \AA}$ ,  $b=0.5556\text{ \AA}$ ,  $c=0.7860\text{ \AA}$  이었으며, 이 값들은  $\text{Ga}^{3+}$  의 치환에 따라 미소하게 줄어들었다. 이는 6 배위의  $\text{Fe}^{3+}$  이온 반경과  $\text{Ga}^{3+}$  이온 반경에 차이로 설명할 수 있다.

$\text{LaFeO}_3$  의 경우 뫼스바우어 스펙트럼은 거의  $0.9T_N$  까지 날카로운 6선 형태를 갖는다. 하지만  $x=0.9, 0.7$  시료의 경우, 극저온에서는 비교적 날카로운 6선이 나타났으나, 온도가 올라감에 따라 비대칭적인 line broadening 이 발생하였다.  $x=0.5$  시료는 극저온에서 이미 매우 굵은 6 선 형태이며,  $x=0.3$  시료의 경우엔 20K에서 paramagnetic 1 선 스펙트럼을 보이고 있다. 이를 분석하기 위해 transition metal

site 의 자성 이온이 이항분포를 하는 것으로 가정하였다.

LaFeO<sub>3</sub> 의 경우 20K에서의 초미세 자기장과 이성질체 이동값이 각각 565 kOe 와 0.37 mm/s 로 Fe의 전하상태는 +3가 임을 알 수 있다. x=0.9 시료의 경우, 20K에서 평균 초미세 자기장과 이성질체 이동값이 560 kOe 와 0.367 mm/s 였으며, nearest neighbor 의 Fe<sup>3+</sup> 이온 한 개가 비자성 Ga<sup>3+</sup> 이온으로 치환될 때마다 약 9 kOe의 감소가 발생하였다. 이 감소분은 온도가 올라감에 따라 증가하며, 이로써 온도에 따른 선폭의 변화를 설명할 수 있었다.

20K 에서의 평균 초미세 자기장은 x=1.0, 0.9, 0.7, 0.5 에 대해 각각 565, 560, 541, 509 kOe로, 비자성 이온 치환에 따라 비선형적으로 급격히 감소하였다. 20K 에서의 이성질체 이동값은 x=1.0, 0.9, 0.7, 0.5 에 대해 각각 0.368, 0.367, 0.363, 0.355 mm/s로 오차범위 내에서 거의 변화가 없었다. 전기사중극자 분열 값은 모든 시료, 전 온도에 대해 -0.01 ~ -0.04 mm/s 정도로 나타나, 시료의 결정학적 대칭성이 비교적 높음을 알 수 있었다.

시료의 Neel 온도는 x=1.0, 0.9, 0.7, 0.5 에 대해 각각 760, 720, 550, 230K 였으며, x=0.3 의 경우엔 20K 이하였다. 이는 초교환상수  $J_{Fe-Fe}$  값에 대해 유효장 이론(Effective Field Theory)에서 예측되는 것보다 비선형적으로 훨씬 급격히 감소하는 것이다.

또 한가지 주목할 만한 사실은, LaFe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>3</sub> 나 LaFe<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>3</sub> 등의 연구 결과에서 Neel 온도 이상에서 doublet 스펙트럼이 나타난다는 사실[1]과는 달리 본 연구에서는 Neel 온도 이상에서 singlet 이 나타난다는 점이다.

#### 4. 결 론

직접합성법으로 제작된 세라믹 산화물 LaFe<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>O<sub>3</sub> (x=1.0, 0.9, 0.7, 0.5, 0.3) 의 결정학적 및 자기적 성질을 연구하였다. 결정구조는 orthorhombic 구조를 가지며, Ga<sup>3+</sup> 의 치환에 따라 미소하게 줄어들었다. LaFeO<sub>3</sub> 의 경우 피스바우어 스펙트럼은 날카로운 6선 형태를 갖지만 Ga<sup>3+</sup> 이온이 치환 된 시료의 경우, 온도가 올라감에 따라 비대칭적인 line broadening 이 발생하였으며 이는 자성이온의 이항분포로 설명할 수 있었다. 시료의 Neel 온도는 유효장 이론(Effective Field Theory)에서 예측되는 것보다 훨씬 급격히 감소한다.

#### 5. 참고문헌

[1] Y. Q. Jia, S. T. Liu, Y. Wu, M. Z. Jin, X. W. Liu, and M. L. Liu, Phys. Stat. Sol. (a) **143**, 15 (1994).