

## AFeO<sub>3</sub>(A=Al, Ga)의 자기적 특성 연구

위지훈\*, 강건욱, 김철성  
국민대학교 물리학과

### 1. 서론

일반적인 ABO<sub>3</sub> perovskite와는 다른 산소 이온의 분포로 인해, 다른 결정구조를 가지는 GaFeO<sub>3</sub>와 AlFeO<sub>3</sub> 물질은 저온에서 강자성과 압전성을 동시에 보이고 있으며, 큰 자기장에서도 충분히 자화값이 포화되지 않는 특성을 보이고 있다.[1]-[3] 이러한 이종적 성질로부터, TbMnO<sub>3</sub>[4] 또는 TbMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub>[5] 등에서 나타나는 것과 같이 자기장이나 전기장 중 어느 하나의 field를 이용하여 다른 하나의 field가 제어되는 multiferroic 특성의 가능성에 대한 연구가 이루어지고 있다. 이에 본 연구에서는 비자성 이온과 철 이온으로 이루어진 위와 같은 물질들을 x-선 회절법, 진동시료자화를 측정법을 통해 결정학적 구조 및 개별 부역자의 자기거동현상에 대하여 연구하였으며, 뫼스바우어 분광법을 이용하여 Fe 이온의 결정구조내 분포와 미시적인 자기거동을 연구하였다.

### 2. 실험방법

Sol-gel 법을 이용하여 AlFeO<sub>3</sub> 와 GaFeO<sub>3</sub> 단일상 분말을 합성하였다. 출발 물질로는 Aluminum nitrate, Gallium nitrate 및 Iron nitrate(Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O)를 사용하였고, 용매는 Acetic acid(CH<sub>3</sub>COOH), Ethanol(CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) 및 순수 물(H<sub>2</sub>O)을 5 : 14 : 1의 비율로 혼합한 것을 선정하였다. 이 용액을 상온에서 24 시간동안 반응을 시킨 후, 분말 시료를 얻기 위해 100 °C의 오븐에서 24 시간동안 건조하여 선구체를 제조하였다. 이 분말을 400 °C에서 3 시간동안 공기 중에서 열처리하여 유기물을 제거한 후, 1400 °C에서 1 시간동안 열처리함으로써 최종 시료를 얻었다. 결정학적 구조분석을 위하여 CuK<sub>α</sub> 선을 사용하는 x-선 회절분석기를 이용하였으며, Mössbauer 스펙트럼은 전기역학적 등가속도형 Mössbauer 분광기를 이용하였다. γ-선원은 Dupont 회사제품의 Rh 금속에 확산시킨 실온상태의 30 mCi의 <sup>57</sup>Co 단일선을 사용하였다. VSM을 사용하여 온도변화 및 인가 자기장에 따른 자기 모우멘트를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

GaFeO<sub>3</sub>와 AlFeO<sub>3</sub>의 결정구조는 육방정계와 면심입방정계의 혼합된 산소 이온 분포를 하고 있는 *Pc2<sub>1n</sub>*와 *Pna2<sub>1</sub>*의 orthorhombic 구조임을 확인하였고, 격자 상수는 AlFeO<sub>3</sub>의 경우  $a_0 = 4.983 \text{ \AA}$ ,  $b_0 = 8.554 \text{ \AA}$ ,  $c_0 = 9.239 \text{ \AA}$ , GaFeO<sub>3</sub>의 경우  $a_0 = 5.080 \text{ \AA}$ ,  $b_0 = 8.746 \text{ \AA}$ ,  $c_0 = 9.389 \text{ \AA}$ 로 각각 분석되었다. 온도에 따른 자기 모멘트 변화를 측정한 결과, 그 형태는 전형적인 강자성의 거동을 나타내었고 자기전이온도( $T_C$ )는 240 - 250 K로 결정하였다. 다양한 온도에서 외부자기장에 의한 자기이력곡선 측정결과, Fig. 1 및 2에서 보이는 것과 같이,  $T_C$  이하에서 외부자기장의 변화에 따른 비대칭적 변화를 보이는 특이한 형태가 관측되었다. 이는 전이금속과 희토류금속의 혼합물 형태에서 발견되는 'Exchange-Spring magnet'의 자기이력곡선과 유사한 모양으로 관측되었는데, 이러한 현상은 GaFeO<sub>3</sub>와 AlFeO<sub>3</sub> 각 부역자간의 자기이방성에너지가 차이를 보이는 것으로 해석할 수 있다. 뫼스바우어 스펙트럼은 4.2 K에서 상온까지 여러 온도에서 관측하였다. 온도 변화에 따른 뫼스바우어 스펙트럼에

서 선폭의 증가가 관측되는데, 이는 4개의 양이온 자리에 분포하는 철이온의 서로 다른 온도의존성에 기인함으로 설명할 수 있다. 4.2 K에서의 뫼스바우어 스펙트럼 분석 결과 초미세자기장의 세기는 429 - 494 kOe 이고, 전기사중극자분열값은 팔면체를 형성하는  $Fe_1$ ,  $Fe_2$ ,  $Al_1(Ga_1)$  자리 철 이온에서  $\sim 0.10$  mm/s의 값을 가짐으로 분석되었다. 각 자리의 철이온 분포는 뫼스바우어 스펙트럼의 흡수면적 비 계산으로부터  $AlFeO_3$ 는  $Fe_1$ ,  $Fe_2$ ,  $Al_1$ ,  $Al_2$  각 자리에 각각 41.1%, 38.7%, 12.4%, 7.8%,  $GaFeO_3$ 의 경우  $Fe_1$ ,  $Fe_2$ ,  $Ga_1$ ,  $Ga_2$ 에 각각 36.5, 31.8, 10.9, 20.8 %로 분포함을 알 수 있었고, 이 결과는 XRD 분석 결과와 일치하였다.

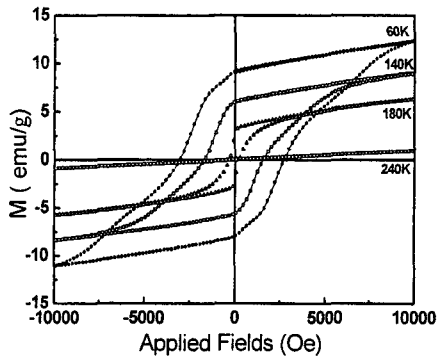


Fig. 1. The hysteresis loops for  $GaFeO_3$  at various temperatures.

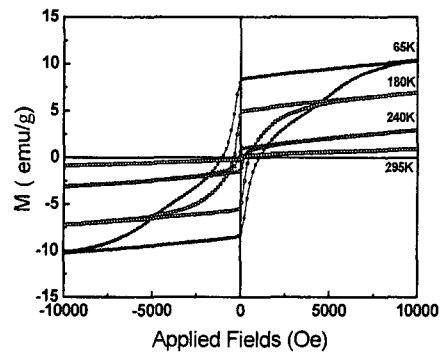


Fig. 2. The hysteresis loops for  $AlFeO_3$  at various temperatures.

#### 4. 참고논문

- [1] S. C. Abrahams and J. M Reddy, Phys. Rev. Lett. 13, 688 (1964).
- [2] T. Arima, D. Higashiyama, Y. Kaneko, J. P. He, T. Goto, S. Miyasaka, T. Kimura, K. Oikawa, T. Kamiyama, R. Kumai, and Y. Tokura, Phys. Rev B. 13, 064426 (2004).
- [3] F. Bouree, J. L. Baudour, E. Elbadraoui, J. Musso, C. Laurent and A. Rousset, Acta Cryst. B 52, 217, (1996).
- [4] T. Kimura, T. Goto, H. Shintani, K. Ishizaka, T. Arima, Y. Tokura, Nature 426, 55 (2003).
- [5] N. Hur, S. Park, P. A. Sharma, J. S. Ahn, S. Guha, S-W. Cheong, Nature 429, 392 (2004).