

Mössbauer 분광 실험을 통한 Remeikite의 corundum structure phase 연구 (Corundum structure phase of Remeikite by Mössbauer spectroscopy)

Rutgers Univ. 김성백*, S-W. Cheong,
삼성전기(주) 안성용,
성균관대학교 장광현, 박제근,
국민대학교 김삼진, 김철성

1. 서론

GaFeO₃ 단결정은 1960년대 Bell Lab.의 J. P. Remeika[1]에 의하여 처음 flux growth method로 제조되었고, 후대에 'Remeikite'라고 불리게 되었다. GaFeO₃ 물질은 강자성체이면서 압전(piezoelectric) 특성을 나타내는 물질로 오래전부터 많은 학자들에 의해 연구 되어왔으며[1], [2], 최근에는 이러한 이중적 성질로부터, TbMnO₃[3] 또는 TbMn₂O₅[4] 등에서 나타나는 것과 같이 자기장이나 전기장 중 어느 하나의 field를 이용하여 다른 하나의 field가 제어될 수 있는지, 그 가능성 여부의 측면에서 multiferroic 특성에 대한 연구가 이루어지고 있다[5]-[7].

GaFeO₃는 결정학적으로 Al₂O₃와 같은 corundum structure를 이루고 있으며, 사면체 및 팔면체의 부결자로 이루어져 있다. 여기서 사면체의 중심에 위치하게 되는 Ga³⁺ 이온은 3d¹⁰의 전자 구조를 갖음으로 비자성 이온이나, 결정학적으로 비대칭적 결합 구조를 갖는 전자 분포에 의하여 전기적 자발 분극(electric spontaneous polarization)이 생기는 것으로 알려져 있다. 또한 나머지 사면체 및 팔면체 자리의 Fe³⁺ (3d⁵)이온에 의한 spin moment로부터 강자성 특성이 발현되는 것으로 이해되고 있다.

따라서 본 연구에서는 corundum structure를 갖는 GaFeO₃ 물질에 대하여 보다 근본적인 기초 물성의 이해를 위해, 원자의 입장에서 불확정성 원리를 만족하는 Mössbauer 분광학적 실험 방법을 도입하여 각각 상평형 상태에 따른 미시적 자성을 연구하고자 한다.

2. 실험방법

전통적인 transmission Mössbauer 실험을 위하여 flux growth method로 성장된 GaFeO₃ 단결정을 분말이 되도록 곱게 간 후, 약 40 mg 정도를 두 Al-foil 사이에 균일한 두께로 packing 하였다. 감마선원은 Rh matrix에 고착된 50 mCi의 ⁵⁷Co를 사용하였고, 12 K에서 300 K의 온도 범위에서 Mössbauer 스펙트럼을 측정하였다.

자기화 측정은 5 T 까지 인가할 수 있는 초전도양자간섭장치(SQUID-Quantum Design)를 사용하여 2 K에서 300 K의 온도 범위에서 측정하였다.

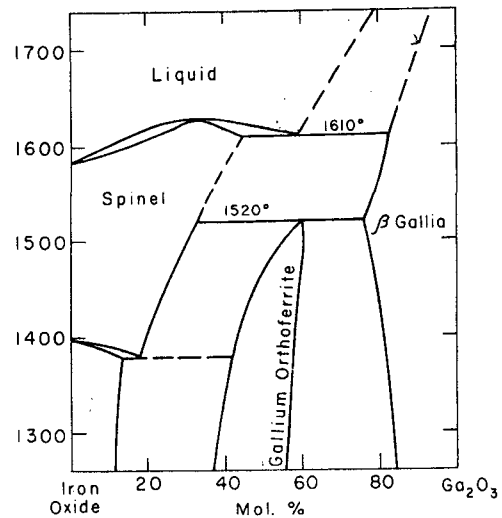
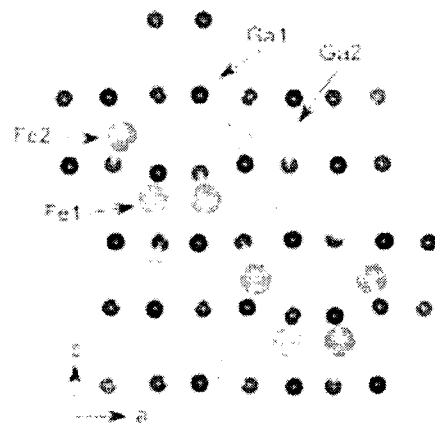


FIG. 2149.—System Ga₂O₃-Fe₂O₃ in air. Oxygen losses, not indicated, are extensive in the spinel and liquid phases, but are relatively small in the hematite, orthoferrite, and β-gallia crystalline phases.

H. J. Van Hook, *J. Am. Ceram. Soc.*, 48 [9] 470 (1965).



3. 실험결과 및 고찰

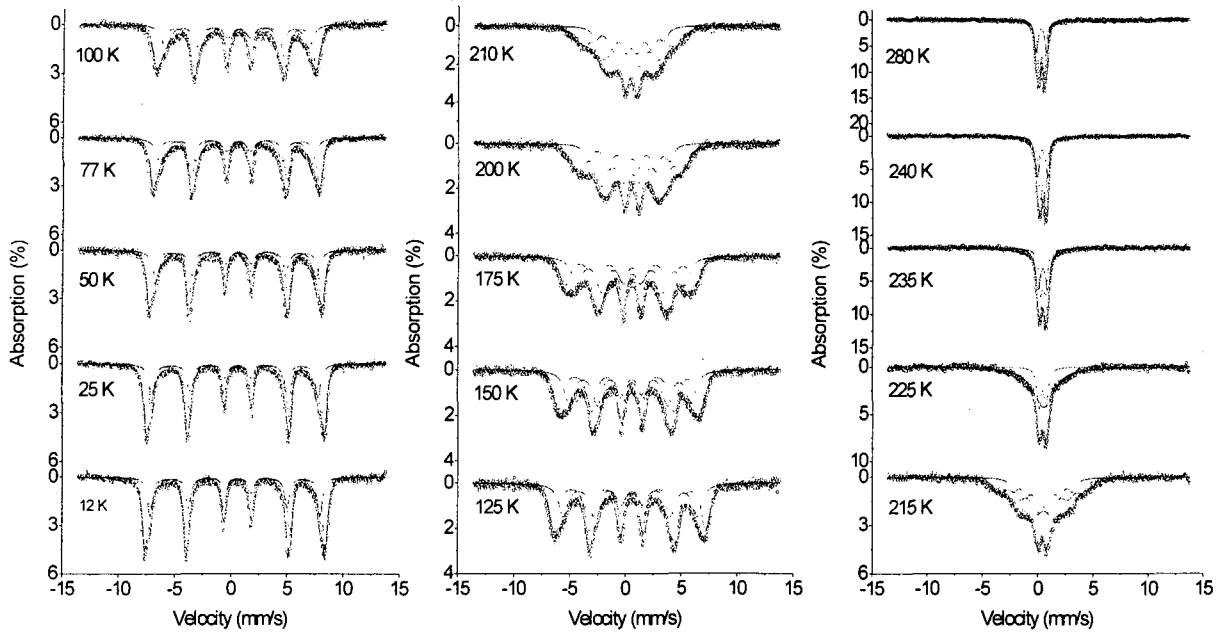


그림 1. GaFeO₃의 여러 온도에 대한 Mössbauer 스펙트럼

그림 1에 GaFeO₃의 여러 온도에 대한 Mössbauer 스펙트럼을 나타내었다. 분석은 12 line (2 set)의 Lorentzian 함수를 이용하여 분석하였으며, 이로부터 Fe 이온이 corundum structure의 사면체 및 팔면체 자리에 각각 분포되어 있음을 알 수 있다. 각각의 Mössbauer 스펙트럼으로부터 온도 증가에 따른 초미세 자기장의 감소를 관측할 수 있으며, 큐리온도는 240 K로 결정하였다. 300 K의 Mössbauer 스펙트럼 분석으로부터 Quadrupole splitting 값은 사면체 자리에서 0.6 mm/s, 팔면체 자리에서 0.7 mm/s를 얻었으며, Isomer shift 값은 각각 0.44 mm/s, 0.22 mm/s로 분석 되었다. 따라서 Fe 원자는 3+의 이온 상태를 갖으며, Fe 원자 주변의 이온 분포가 비교적 큰 비대칭 요소를 갖는 것으로 판단된다.

그림 2는 GaFeO₃의 온도변화에 따른 자화율 곡선이다. 12 K에서의 포화자화값 $M_s = 0.85 \mu_B/\text{mol.}$ 이고, 상자성 구간에서의 유효자기모멘트 $M_{\text{eff}} = 2.23 \mu_B/\text{mol.}$ 로 측정되었다.

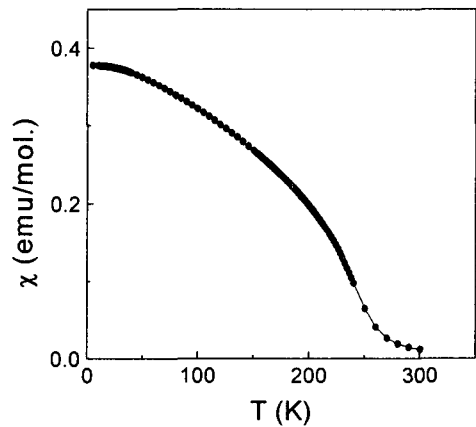


그림 2. GaFeO₃의 온도변화에 따른 자화율 곡선

4. 참고문헌

- [1]. J. P. Remeika, J. Appl. Phys. **31**, 263S (1960).
- [2]. R. B. Frankel, *et al*, Phys. Rev. Lett. **15** (25), 958 (1965).
- [3]. T. Kimura, *et al*, Nature (London) **426**, 55 (2003).
- [4]. N. Hur, *et al*, Nature (London) **429**, 392 (2004).
- [5]. J. H. Jung, *et al*, Phys. Rev. Lett. **93** (3), 037403 (2004).
- [6]. M. Kubota, *et al*, Phys. Rev. Lett. **92** (13), 137401 (2004).
- [7]. Y. Ogawa, *et al*, Phys. Rev. Lett. **92** (4), 047401 (2004).