

# Magnetic properties of noncollinear Al doped CuFeO<sub>2</sub>

최동혁\*, 심인보, 김철성  
국민대학교 물리학과

## 1. 서론

최근 Multiferroic 연구분야에서는 noncollinear, spiral 등의 다양한 스핀 구조로 인한 자기적 특성 및 강유전적 분극현상에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, rhombohedral 구조를 가지고 *c*-축으로 강한 결정자기이방성을 가지는 CuFeO<sub>2</sub>는 TN (14 K)이하에서 Fe<sup>3+</sup> 이온의 부격자는 4 - 자리이며, 이들 부격자 이온은 collinear한 스핀구조를 이루고 있는 Antiferromagnetic 특성을 나타낸다. 그러나 비자성 이온인 Al<sup>3+</sup> 이온의 미량 치환으로 스핀구조를 noncollinear하게 변화시키며, 이러한 스핀구조의 변화에 의하여 강유전적 특성이 유도됨이 보고되고 있다[1].

본 연구에서는 CuFe<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>O<sub>2</sub> (Al=0, 0.02) 분말을 x-선 회절기 (XRD), 뫼스바우어 분광기 (Mössbauer spectroscopy), SQUID를 이용하여 자기적 특성 및 강유전적 성질의 근원이 되는 초미세 자기적 및 전기적 특성에 관하여 연구를 수행하였다.

## 2. 실험방법

CuFe<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>O<sub>2</sub> (Al=0, 0.02) 분말은 고상반응법으로 합성하였으며, 출발 물질로 Cu<sub>2</sub>O (99.9 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99.9 %), 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99.9 %) 분말을 사용하였다. 시료 합성 과정 중, second phase 인 스피넬 상 (CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)을 없애기 위하여 Cu<sub>2</sub>O 와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 분말을 1.1 : 1의 몰비로 혼합하여 10<sup>-6</sup> Torr이하의 압력에서 석영관에 봉합하고 1000 °C 로 60 시간의 조건으로 열처리하였다.

XRD 측정을 통하여 순수한 CuFe<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>O<sub>2</sub> (Al=0, 0.02) 분말의 단일상을 가짐을 확인할 수 있었으며, rietveld refinement program을 이용하여 분석한 결과, R-3m의 공간군을 가지는 rhombohedral 구조로 분석되었다.

## 3. 실험결과 및 고찰

CuFeO<sub>2</sub> 및 CuFe<sub>0.98</sub>Al<sub>0.02</sub>O<sub>2</sub> 분말의 4.2 K에서의 자기이력곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 순수한 CuFeO<sub>2</sub> 인 경우 자성이온인 Fe<sup>3+</sup> 이온의 4개의 부격자는 up-up-down-down의 자기구조를 가지고 있으며, collinear 상태로 존재하기 때문에 자기이력이 나타나지 않는다. 그러나, 2 %의 Al<sup>3+</sup> 이온이 치환된 CuFe<sub>0.98</sub>Al<sub>0.02</sub>O<sub>2</sub> 인 경우 자기이력이 나타남을 확인할 수 있다. 이는 Al<sup>3+</sup> 치환에 의한 부격자간의 스핀 상태가 noncollinear 하게 되어, 총 자기모멘트가 weak ferromagnetism 을 야기시킴을 확인할 수 있었다[1].

Fig. 2는 CuFeO<sub>2</sub> (a) 및 CuFe<sub>0.98</sub>Al<sub>0.02</sub>O<sub>2</sub> (b)의 4.2 K에서의 뫼스바우어 스펙트럼을 나타내었다. CuFeO<sub>2</sub> 의 경우, 4개의 부격자가 결맞는 (commensurate) 상태이기 때문에, 1-set로 분석하였다. 그러나 CuFe<sub>0.98</sub>Al<sub>0.02</sub>O<sub>2</sub>의 경우 자기구조에 의한 부격자가 4-set으로 확연히 구분됨을 확인할 수 있다. 이는 noncollinear 상태의 spin 구조로 인한 결과임을 확인할 수 있었으며, quadruple splitting 값은 각 부격자에 대하여 0.3, 0.15, 0.08, 및 0.05 mm/s 이었다. 이는 자발분극의 발현에 의해 부격자 내의 Fe<sup>3+</sup> 이온 핵 내의 quadruple splitting 값이 영향을 받은 것이며, Tokura et al. [1] 등은 noncollinear 스핀 구조에 의하여 자발 분극 (spontaneous polarization)이 발현됨을 보고하였다.

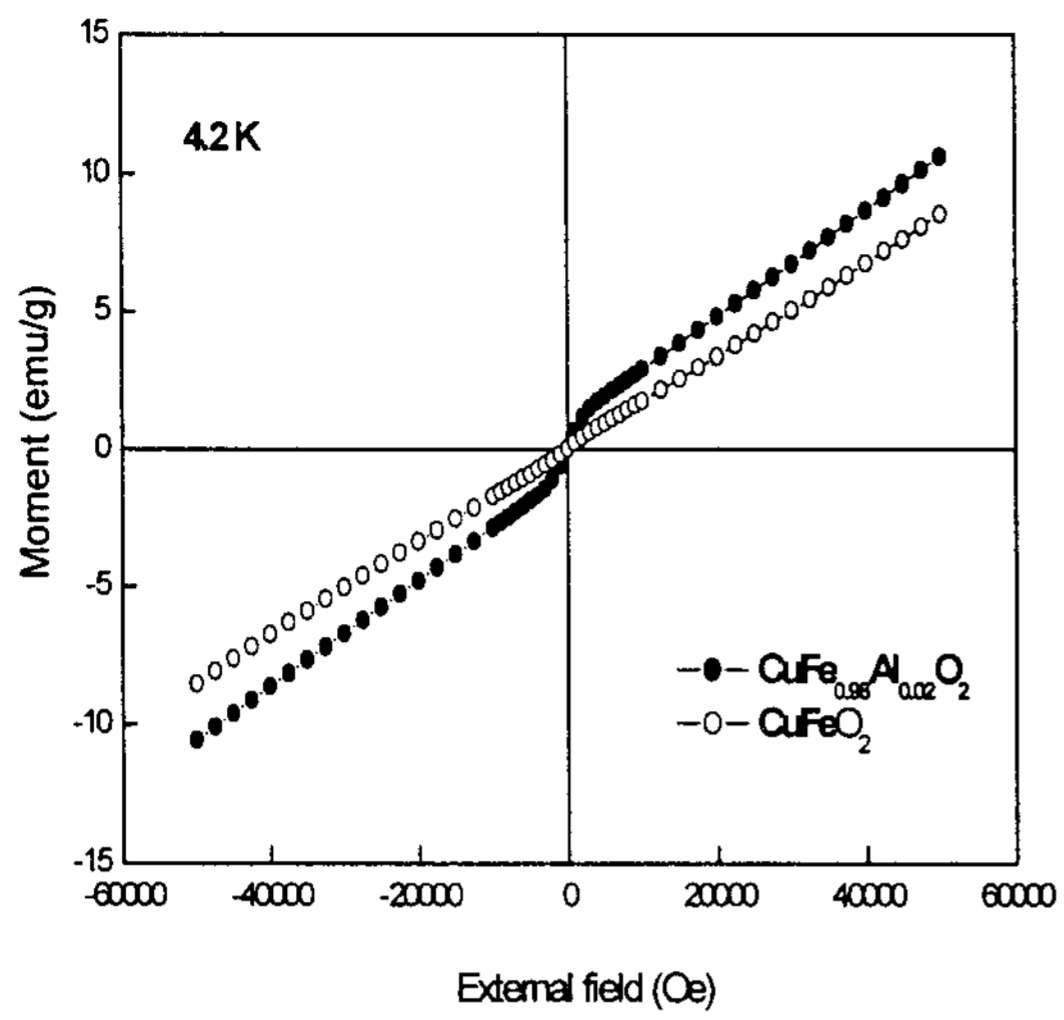


Fig. 1. Hysteresis loop of  $\text{CuFeO}_2$  and  $\text{CuFe}_{0.98}\text{Al}_{0.02}\text{O}_2$  at 4.2 K.

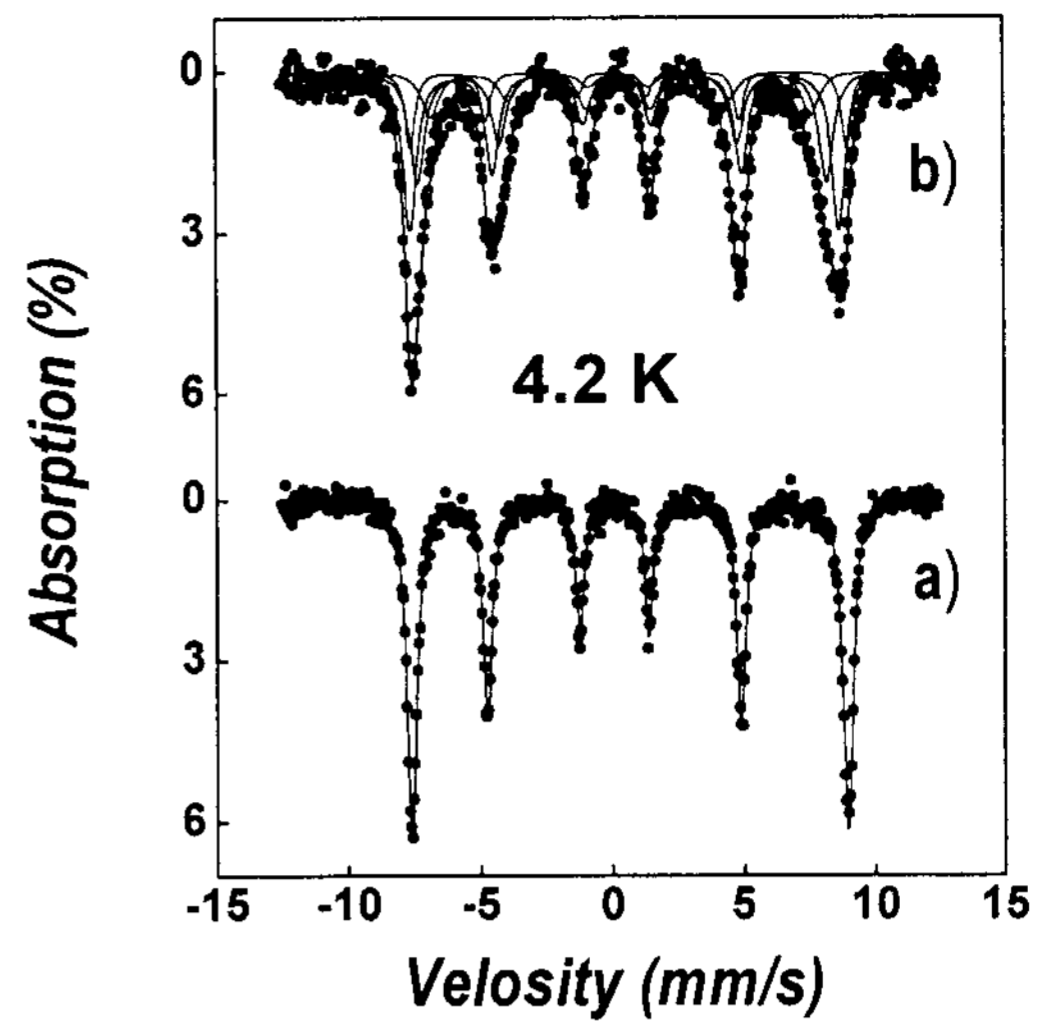


Fig. 2. Mössbauer spectra of  $\text{CuFeO}_2$  and  $\text{CuFe}_{0.98}\text{Al}_{0.02}\text{O}_2$  at 4.2 K.

#### 4. 참고문헌

- [1] Tokura et al. cond-mat., 1, 0611255 (2006).