

## 고압으로 제조된 Fe-selenide 물질의 전자기연구

강주홍<sup>1\*</sup>, 김삼진<sup>1</sup>, 이혜경<sup>2</sup>, 박민석<sup>2</sup>, 이성익<sup>2</sup>, 김철성<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 물리학과

<sup>2</sup>포항공과대학 초전도연구단

### 1. 서론

Chalcogenide 물질은 도체-부도체 전이, 극저온에서의 스핀-글라스(spin-glass) 현상 등 다양한 물리적 특성으로 인해 주목받고 있다. 이러한 현상들이 나타나는 이유는 기본적으로  $AB_2X_4$ 의 물질들은 사면체와 팔면체 2개의 부격자들을 가지고 있으며 이 두 부격자에 치환되는 금속이온의 다양성에 따라 물리적 성질들이 발현되기 때문이다 [1]. 최근 팔면체 자리에 Cr을 기본으로 하는 물질 중 사면체 자리에 Cd나 Hg, Zn등을 치환한 chalcogenide 스피넬 물질에 대하여 multiferroic 성질이 보고되어 매우 활발히 연구되고있다. [2, 3]. 본 연구에서는 X선 회절(XRD)과 중성자 회절, SQUID, 그리고 비저항을 측정하여  $FeCr_2Se_4$ 의 전기적 및 자기적 성질을 규명하였다.

### 2. 실험방법

99.99 % 이상의 고 순도의 Fe, Cr, Se 분말을 확한 당량비로 갈아서 섞은 후 석영관에 진공 봉입하였다. 봉입한 시료는 Se의 증기압으로 인한 폭발을 방지하기 위해  $10.5^\circ\text{C}/\text{h}$  로 온도를 서서히 증가시켜  $1000^\circ\text{C}$ 에서 72시간동안 질소가스 분위기에서 열처리 하였으며 온도를 내릴 때도  $14^\circ\text{C}/\text{h}$  로 서서히 상온까지 내렸다. 비저항 측정을 위하여 400기압의 압력을 가하여 알약형태의 시료를 제조하였다.  $FeCr_2Se_4$ 의 전기적 및 자기적 성질을 알아보기 위해 X선 회절 (XRD), 중성자 회절, SQUID, 비저항 그리고 피스바우어를 측정하여 연구하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

XRD를 이용하여 측정한  $FeCr_2Se_4$ 의 결정구조는  $I2/m$ 의 공간군(space group)을 가지는 단사 구조로 분석되었으며, 격자상수는 각각  $a_0 = 6.27$ ,  $b_0 = 3.62$ ,  $c_0 = 11.83$  Å,  $\beta = 90.68^\circ$  값을 나타내었다. 물질의 온도에 따른 자기구조를 해석하기 위하여 중성자 회절법으로 4 K부터 상온까지 측정하였다. 4 K에서는 온도가 감소함에 따라 동일한 이온의 스핀이 반대로 정렬됨으로써 나타나는 초격자 구조의 회절선 (1 0 1)이 관측 되었다. Fig.1은 2 - 300 K 온도 구간에서의 SQUID 측정 결과를 나타내고 있다. 강한 외부장에서는 나타나지 않는 9 K 근방의 스핀글라스전이온도가 나타났으며, 자기적 전이가 일어나는 220 K 를 Néel온도로 결정하였다. 이는 8 K근방에서 초미세자기장과 전기사중극자 분열치의 갑작스런 변화를 보이는 피스바우어 결과와 일치함을 알 수 있으며 Fig.2, 3에 나타내었다. 9 - 110 K 구간에서는 온도 증가에 따라 자기모멘트가 감소하는 모습을 보였으며, 110K이상의 온도에서는 antiferromagnetic 스핀-격자 결합이 점점 약해지면서 격자상수의 급격한 증가를 야기시킴을 관찰할 수 있었다. Fig.2는 온도에 따른 비저항 측정결과를 보여준다. 온도전반에 걸쳐 반도체적 거동을 보이고 있으며 온도가 증가함에 따라 저항이 급격하게 감소하는 구간 I ( $T < 20$  K)와 온도가 증가함에 따라 저항이 천천히 감소하는 구간 II ( $T > 42$  K)으로 2개의 구간으로 구분하였고 Mott-VRH(variable range hopping)모델, ES-VRH(Efros-Shklovski)모델, small polaron 모델, 그리고 Arrhenius 모델을 이용하여 갭 에너지를 계산하였다. 그 결과, 구간 I ( $T < 20$  K)에서는 Mott-VRH 모델이 구간 II ( $T > 42$  K)에서는 small polaron 모델이 적용되었으며, 갭 에너지는 각각 19.7 eV, 0.26 meV로 계산되었다.

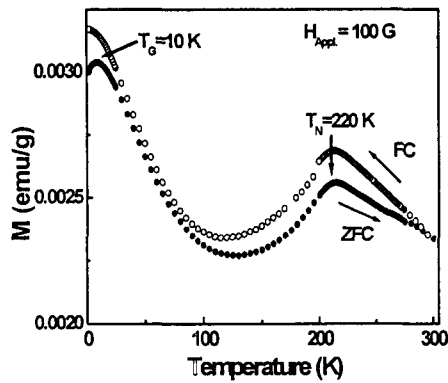


Fig.1. Temperature dependence of magnetic moment, zero-field cooled and field cooled curves under 100 Oe, for  $\text{FeCr}_2\text{Se}_4$ .

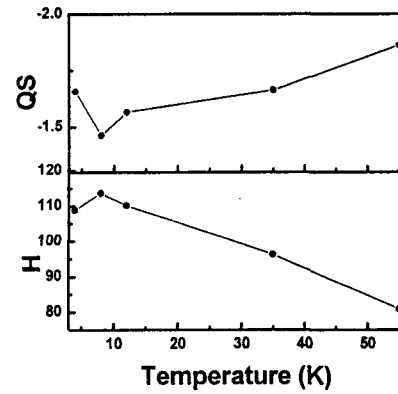


Fig.2. Temperature dependence of hyperfine field and quadrupole splitting

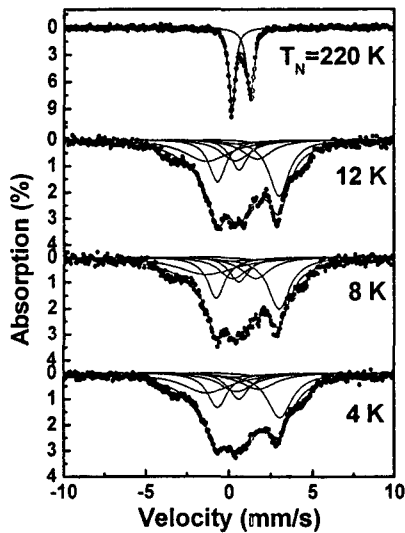


Fig. 3. Mössbauer spectra of  $\text{FeCr}_2\text{Se}_4$  at various temperatures.

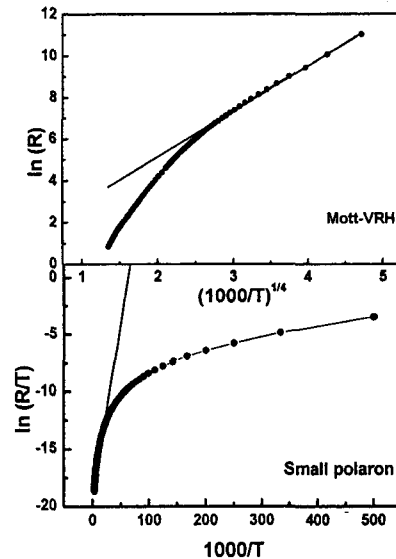


Fig. 4. Temperature dependence of zero field resistance  $\log(R)$  for the  $\text{FeCr}_2\text{Se}_4$

#### 4. 참고문헌

- [1] H. Bakrim, K. Bouslykhane, M. Hamedoun, A. Hourmatallah, and N. Benzakour, *J. Magn. Magn. Mater.* 285, 327 (2005).
- [2] J. Hemberger, P. Lunkenheimer, R. Fichtl, H. -A. Krug von Nidda, V. Tsurkan, and A. Loidl, *Nature*, 434, 364 (2005).
- [3] S. Weber, P. Lunkenheimer, R. Fichtl, J. Hemberger, V. Tsurkan and A. Loidl, *Phys. Rev. Lett.* 96, 157202 (2006).