

FeB₂S₄ (B = Ga, In)의 결정학적 및 자기적 성질에 관한 연구

명보라, 손배순, 이용혜, 김삼진, 김철성

국민대학교 물리학과

1. 서론

Chalcogenide 물질들은 초거대자기저항(colossal magnetoresistance: CMR) 효과, 극저온에서 스핀-글라스(spin-glass) 현상, 금속-절연체 전이(metal-insulator transition)와 구조 전이(structural phase transition) 등의 현상, 그리고 반도체적인 특성으로 다양한 연구가 수행되어 지고 있다. 이중 FeIn₂S₄와 FeGaS₄ 물질들은 극저온에서 기하학적인 스핀-찢찢맵(spin-frustration) 현상과 스핀-글라스(spin-glass) 현상을 갖고 있어 주목을 받고 있다. 더욱이 FeIn₂S₄ 물질은 inverse spinel 구조이지만, B site에 Ga를 치환한 FeGa₂S₄ 물질은 trigonal 구조로써, B site에 다른 비자성을 치환함에 따라 구조전이 현상을 보이고 있는 것으로 나타나고 있다. 본 연구에서는 FeIn₂S₄와 FeGaS₄ 물질을 합성하여 각 물질의 결정학적 특성과 자기적 성질변화를 통한 구조전이에 대해 연구하고자 한다.

2. 실험방법

FeB₂S₄ (B = Ga, In) 물질은 99.995% 이상의 고순도 Fe, Ga, In, S 분말을 정확한 당량비로 계산하여 고진공에서 봉입하여 직접합성법으로 합성하였다. 1차 열처리에서 급속한 온도 상승은 황의 증기압 상승시켜 석영관 폭발의 원인이 되므로, 이를 방지하기 위하여 0.4°C/min의 속도로 온도를 서서히 증가시키며 1차열처리를 수행하였다. 냉각시에는 S 분말의 추출을 막기 위해 2일에 걸쳐 0.2°C/min의 속도로 서냉하였다. 이후 시료의 균질성을 고려하여 마노에 곱게 분쇄한 후 유압기를 사용하여 pellet으로 만들고 석영관 내에 진공을 봉입한 후 2차 열처리를 수행하였다. 위의 열처리 과정에서 봉입한 석영관 외벽에 고순도 질소 가스를 흘려 시료 내부로 산소가 확산되는 것을 방지하였다. 시료의 결정구조를 확인하기 위해 CuK α 선을 사용하는 Philips사 X-선 회절기를 이용하였으며, SQUID (superconducting quantum interference device magnetometer)를 수행하여 자기적 특성을 연구하였다. 포스바우어 스펙트럼은 ⁵⁷Co 단일선을 사용하는 전기동역학적 등가속도형 포스바우어 분광기로 4.2 K부터 상온까지 취하였다.

3. 실험결과 및 고찰

X-선 회절 결과, FeB₂S₄ (B = Ga, In) 물질은 단일상으로 제조되었음을 확인할 수 있었다. X-선 회절선 회절강도의 분석을 위하여 Rietveld 방법에 의한 Fullprof 컴퓨터 분석프로그램을 이용하였다. 시료의 결정구조는 각각 FeIn₂S₄은 spinel, FeGaS₄은 trigonal 구조로 확인되었으며, 시료의 B site, In에 Ga를 치환함에 따라 구조전이(structural phase transition) 현상을 보이고 있음을 알 수 있었다. Fig. 1은 FeB₂S₄ (B = Ga, In)의 물질을 zero field cooled (ZFC) 조건하에서의 온도에 따른 자기모멘트 변화를 5000 Oe 인가자장 하에서 측정한 결과를 나타낸 것이다. 두 물질은 모두 반강자성 자기적 특성(antiferromagnetic properties)을 나타내고 있다.

Fig. 2는 FeB₂S₄ (B = Ga, In) 물질의 극저온 4.2K에 대한 Mössbauer 스펙트럼을 각각 나타내고 있으며, 초미세자기장 H_{hf} , 전기사중극자분열치 ΔE_Q , 이성질체 이동값 δ 를 결정할 수 있었다. 극저온 4.2K의 Mössbauer 스펙트럼 분석 결과 FeIn₂S₄와 FeGaS₄의 이성질체 이동치는 0.86 mm/s와 1.13 mm/s 로 분석되었고 이는 철의 이온상태가 +2가임을 나타내고 있다.

극저온 4.2 K에서는 초미세 자기장과 전기사중극자 상호작용의 행렬에 의하여 8개의 Lorentzans으로 분석

하였으며, FeIn_2S_4 는 $H_{\text{hf}} = 170$ KOe, $\Delta E_Q = 2.87$ mm/s, FeGa_2S_4 는 $H_{\text{hf}} = 130$ KOe, $\Delta E_Q = 2.20$ mm/s로 결정되었다. 4.2 K의 뫼스바우어 흡수선은 매우 비대칭적이고 선폭이 넓은 것으로 Jahn-Teller 효과에 기인한 것으로 해석되어지며, B site In에 Ga를 치환함에 따라 흡수선이 하나로 합쳐지는 현상을 보이고 있다. 이는 In에 Ga를 치환함에 따라 스핀요동(spín-fluctuation) 현상이 증가하고, 스핀의 결맞지 않은 상태(spín-incommensuration)로 전이하기 때문인 것으로 해석되어지며, 이러한 현상에 의해 각각의 물질의 구조가 spinel에서 A와 B site 가 찌그러진 trigonal 구조로 바뀌는 것으로 해석되어진다.

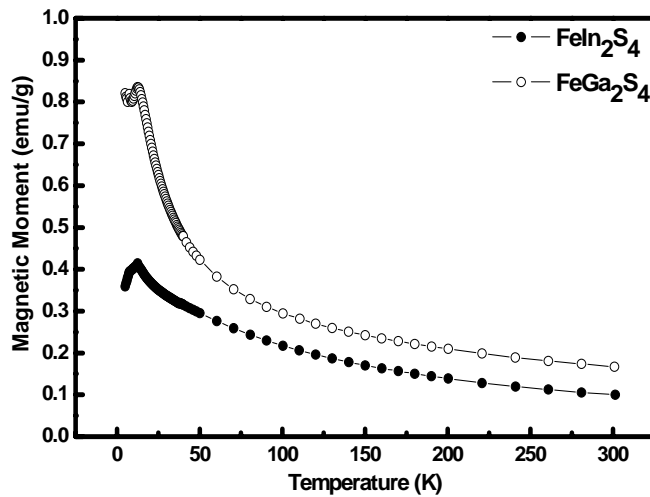


Fig. 1. The zero field cooled (ZFC) magnetic moment under $B = 5000$ Oe for FeIn_2S_4 and FeGa_2S_4 .

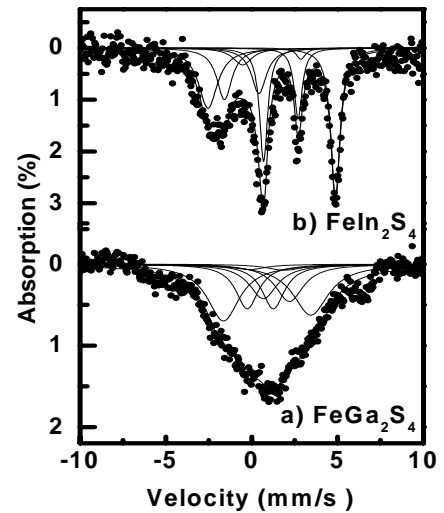


Fig. 2. The Mössbauer spectra of FeIn_2S_4 and FeGa_2S_4 at 4.2 K.

4. 참고문헌

- [1] B. S. Son, S. J. Kim and C. S. Kim, J. Korean Phys. Soc. **52**, 1077(2008).
- [2] R. Fichtl, V. Tsurkan, P. Lunkenheimer, J. Hamberger, V. Fritsch, H.-A. Krug von Nidda, E.-W. Scheidt, and A. Loidl, Phys. Rev. Lett. **94**, 027601 (2005).
- [3] M. Mertinat, V. Tsurkan, D. Samusi, R. Tidecks, and F. Haider, Phys. Rev. B **71**, 100408(R) (2005).
- [4] S. Nakatsuji, Y. Nambu, H. Tonomura, O. Sakai, S. Jonas, C. Broholm, H. Tsunetsugu, Y. Qiu and Y. Maeno, Science **309**, 1697(2005).