

초미세자기장값을 통한 다양한 프러스트레이션 효과 연구

최강룡*, 최한나, 김철성
국민대학교 물리학과

1. 서론

스핀배열에 따른 다양한 프러스트레이션 효과에 관련되어, A 자리에 비자성이온에 의한 강한 반강자성 물질에 대한 $M\text{Cr}_2\text{O}_4$ ($M=\text{Hg}, \text{Zn}$)에 대하여 연구^[1-2]를 비롯하여, A 자리에 자성이온에 의한 나선형태의 준강자성에 의한 다강체 물질인 $M\text{Cr}_2\text{O}_4$ ($M=\text{Co}, \text{Mn}$)의 다강체성질에 관한 연구^[3] 등 매우 활발하게 진행되어 지고 있다. 이에 본 연구에서는 이러한 Cr의 이온의 거동을 미시적인 관점에서 살펴보기 위하여, 미량의 철을 치환하여 시료를 제조하였으며, 이를 자화율 측정 및 뫼스바우어 분광법을 통하여 온도변화에 따른 자기거동을 분석하고자 하였다.

2. 실험방법

졸겔법을 이용한 $M\text{Cr}_{1.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_4$ ($M=\text{Mg}, \text{Zn}, \text{Co}, \text{Mn}$) 물질들을 제조하기 위한 출발물질로는 순도 99.9 % 이상의 Mg, Zn, Co, Mn acetate, Cr nitrate 및 ^{57}Fe 를 이용하였다. 초산, 에탄올, 질산, 증류수의 혼합용매에 적정 당량비로 혼합하여 용해시킨 후 최종적으로 0.2몰 농도의 졸을 제조하였으며, 120 °C 에서 건조한 다음 이를 적정온도에서 유기물을 증발시킨 다음 고온에서 열처리하여 단일상의 $M\text{Cr}_{1.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_4$ ($M=\text{Mg}, \text{Zn}, \text{Co}, \text{Mn}$) 물질들을 제조하였다. 이렇게 만들어진 $M\text{Cr}_{1.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_4$ ($M=\text{Mg}, \text{Zn}, \text{Co}, \text{Mn}$) 물질들의 자성특성은 SQUID, VSM을 이용하여 온도에 따른 자기적 거동을 관찰하였으며, Mössbauer 분광기를 통하여 양이온들의 미시적인 거동에 대하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

표 1.에서 보이는 바와 같이, $M\text{Cr}_{1.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_4$ ($M=\text{Mg}, \text{Zn}, \text{Co}, \text{Mn}$) 물질들의 전이 온도는 A 자리의 이온의 종류에 따라서 변화하는 모습을 보인다. 널 온도의 경우, A자리에 자성이 이온이 위치하는 준강자성의 정렬에 의한 널온도의 상승을 나타나게 되고, 스핀-궤도 모멘트의 변화에 따른 널 온도의 변화를 보이며, A자리에 비자성이온의 경우 서로 비슷한 널 온도를 나타냄을 알 수 있다. 큐리-바이스 온도의 경우, 준강자성 물질에서는 1에 근사한 값을 가지며, 반강자성의 경우 강한 프러스트레이션 효과에 의한 큰 음의 값을 갖게 된다. 이러한 자기적 성질에 대하여 명확하게 알아보기 위하여 극저온(4.2K)영역에서의 초미세 자기장 값을 뫼스바우어 분광법을 이용하여 측정하였다. 측정결과 모든 chromite물질에 대하여 Cr 이온들이 incommensurate 상태에 의한 프러스트레이션된 서로 다른 두 가지 거동을 보였으며, 철의 이온가는 Fe^{+3} 상태였고 전기사중극자 분열치는 0에 가까운 값을 나타내었다. 강한 반강자성의 경우(Zn, Mg), 초미세자기장 값이 준강자성 정렬에 비해 작은 값을 나타내는 것을 알 수 있었으며, 특히 Mg의 경우 Bond 프러스트레이션 효과에 따른 약간 차이가 나는 초미세자기장 값을 나타냄을 알 수 있었다. 정리하면 초미세자기장 값과 프러스트레이션값에 대하여 chromite 물질의 경우 둘 사이의 값이 서로 강하게 연관되어 있음을 알 수 있었다.

표 1. 다양한 chromite 물질에 대한 자기적 전이온도 및 특성.

Materials	T_N	θ_{cw}	$f = \theta_{cw} / T_N$	Interaction	Frustration type	Hyperfine fields(4.2K)
$\text{CoCr}_{1.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_4$	97 K	78 K	0.8	A-A, A-B, B-B,	Geometrical	488 KOe 478 KOe
$\text{MnCr}_{1.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_4$	50 K	42 K	0.8	A-A, A-B, B-B,	Geometrical	483 KOe 472 KOe
$\text{ZnCr}_{1.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_4$	12.5 K	-368 K	29.4	Only B-B interaction	Geometrical	463 KOe 453 KOe
$\text{MgCr}_{1.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_4$	13 K	-392 K	30	Only B-B interaction	Bond	469 KOe 426 KOe

4. 참고문헌

- [1] M. Matsuda, H. Ueda, A. Kikkawa, Y. Tanaka, K. Katsumata, Y. Narumi, T. Inami, Y. Ueda, and S-H Lee, Nature physics, **3**, 397(2007).
- [2] S. -H. Lee, C. Broholm, W. Ratcliff, G. Gasparovic, Q.Huang, T. H. Kim, S. - W. Cheong, Nature, **418**, 856 (2002).
- [3] Y. Yamasaki, S. Miyasaka, Y. Kaneko, J.-P. He, T. Arima, and Y. Tokura, Phys. Rev. Lett., **96**, 207204 (2006).