

Tb_{3-x}Bi_xFe₅O₁₂의 negative magnetization에 관한 연구

박일진*, 강진욱, 김철성
국민대학교 물리학과

1. 서론

(TbBi)₃Fe₅O₁₂은 1.3-1.6 μm 의 파장에서 응용될 수 있는 광분리기 소자로 연구되고 있다[1]. Bismuth가 RE(rare earth) garnet에 치환되면 spin-orbit coupling을 증대시키며 그 효과로 인해 faraday rotation 이 증가된다고 보고되고 있다[2]. 또한 Terbium iron garnet의 spin구조는 보상점 부근에서 스핀이 재배열 되는 것과 double-umbrella magnetic structure로써 설명된 바 있다[3]. 본 연구에서 우리는 보상점 이하의 낮은 온도에서 negative magnetization을 관측하였다. Terbium과 비슷한 큰 moment를 가지는 Holmium이 치환된 Ho(Fe_{0.6}Mn_{0.4})₁₂ 에서도 field cooled 상태에서 negative magnetization을 보였으며 이 효과는 Ho에 의한 큰 이방성 에너지로 설명된 바 있다[4]. 본 연구에서는 Bismuth가 치환된 Tb-garnet 의 보상점 이하에서의 비정상적인 negative magnetization 과 Bismuth의 치환이 Tb-garnet의 Spin-orbit coupling이 증대되는 현상을 진동자화를 측정기(VSM)와 Mössbauer 분광법을 이용하여 설명하고자 한다.

2. 실험방법

Tb_{3-x}Bi_xFe₅O₁₂ 는 sol-gel법으로 합성하였으며 출발시료는 순도 99.9 %의 Tb(NO₃)₃-5H₂O 와 99.99 %의 Fe(NO₃)₃-9H₂O, 99.99 %의 Bi(NO₃)₃-5H₂O 를 사용하였으며 용매로는 Acetic acid와 2-Metoxy-ethanol를 사용하여 액상인 sol을 제조하였다. 제조된 sol을 120 °C 에서 48시간 동안 건조하여 400 °C와 900 °C 에서 각각 4시간 동안 열처리를 하여 단일상의 Tb_{3-x}Bi_xFe₅O₁₂ 분말을 제조하였다.

제조된 Tb_{3-x}Bi_xFe₅O₁₂ 시료의 결정성 및 단일상의 시료임을 확인하기 위해 X-선 회절실험을 하였고 진동시료형자화를 측정기(VSM)를 통하여 온도에 따른 자기적 특성의 변화를 측정하였다. 미시적 자성 측정 및 Fe 이온들의 상태를 알아보기 위해 Mössbauer 분광기를 사용하였고 4.2 K부터 Néel온도까지 Mössbauer 스펙트럼을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Tb_{3-x}Bi_xFe₅O₁₂ 시료의 X-선 회절 실험에 대한 분석은 Rietveld 분석법을 이용하여 분석하였고, 분석결과 *Ia3d*의 space group을 갖는 cubic garnet 구조임을 확인 할 수 있었다. Terbium보다 큰 이온 반경(Tb³⁺ = 1.06 Å, Bi³⁺ = 1.17 Å) 을 가지는 Bismuth가 치환됨에 따라(Bi = 0.0, 0.5, 1.0) 시료의 격자상수는 12.436, 12.466, 12.499 Å로 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 온도에 따른 자기적 특성의 변화를 측정하기 위해 100 Oe의 인가자장 하에서 zero-field cooled magnetization과 field cooled magnetization을 측정하였으며 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 이 결과에서 Bismuth의 치환량이 증가하면 Néel 온도는 증가하며 compensation 온도는 감소함을 확인할 수 있었다. Field cooled 조건에서 비정상적인 negative magnetization이 관측되었고 이 현상을 연구하기 위해 보상점 부근의 여러 온도에서 hysteresis loop을 측정하였고 그때의 보자력을 field cooled magnetization과 같은 온도구간에서 비교하였다(Fig. 2). 각각의 시료 모두 보상점에서 가장 큰 보자력을 가지며 보상점 에서의 보자

력(Bi=0.5 - 1600 Oe, Bi=1.0 - 2000 Oe) 보다 큰 인가자기장 하에서는 자화값이 양의 값을 가짐을 인가자기장 세기변화에 따른 field cooled magnetization의 결과로부터 알 수 있었다. 이 결과는 Bismuth가 치환됨에 따라 Bi와 Fe의 공유결합적 특성에 따른 이방성에너지의 증가로 해석될 수 있으며 이것은 Mössbauer 스펙트럼의 분석결과와 일치함을 알 수 있었다.

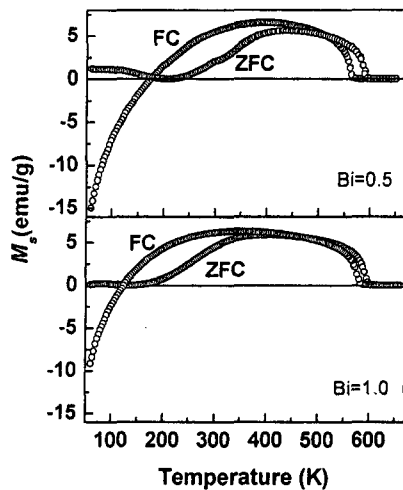


Fig. 1. The temperature dependence of magnetization under zero-field cooling and field cooled condition with 100 Oe applied field.

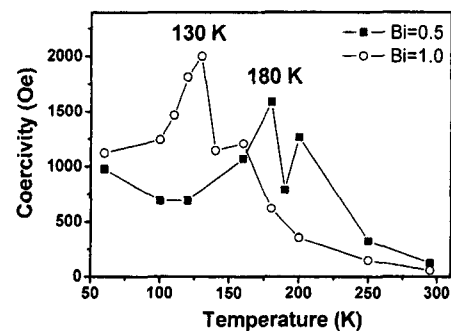


Fig. 2. The temperature dependence of the coercivity for the samples (Bi =0.5, 1.0).

4. 참고논문

- [1] G.Y. Zhang, X.W. Xu, T.C.Chong, J. Appl. Phys. 95 (2004) 5267.
- [2] G.F.Dionne, G.A.Allen, J.Appl.Phys. 75 (1994) 6372.
- [3] Y. J. Hong, J. S. Kum, I. B. Shim, C. S. Kim, IEEE Trans. Magn. 40 (2004) 2808.
- [4] J. B. Yang, W.B. Yelon, W. J. James, S. Cai, D. Eckert, A. Handstein, K. H. Müller, Y. C. Yang, Phys. Rev. B. 65 (2002) 064444.