

TmFe₂O₄의 열잔류자화 현상 연구

김재영*, 이보화

한국의국어대학교 물리학과

1. 서론

TmFe₂O₄는 Tm₂O₃ layer와 Fe₂O_{2.5} layer가 c-axis을 따라 교대로 쌓여있는 space group $R\bar{3}m$ rhombohedral 구조의 물질이다[1]. 같은 결정학적 자리를 차지하는 Fe²⁺과 Fe³⁺ 이온은 +2.5의 평균값을 가지고 있으며 Fe moment 사이에서 강한 자기적 상호작용으로 인해 일반적으로 250 K 이하의 온도에서 반강자성 정렬(antiferromagnetic ordering)이 일어난다[2]. TmFe₂O₄의 경우 250 K에서 자기적 상전이는 일어나지만 YFe₂O₄와 ErFe₂O₄에서 볼 수 있는 190~200 K에서의 구조적 상전이와 일어나지 않고, 자기적 상전이 온도 이하에서 열잔류자화(thermoremanent magnetization : TRM) 현상을 보인다[3,4]. 이에 본 연구에서는 이러한 상전이 특성을 지닌 TmFe₂O₄의 자기적 특성과 TRM에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

TmFe₂O₄ 다결정체 시료를 고체 상태 반응법으로 CO(33%)/CO₂ 혼합 가스 분위기에서 12시간 동안 1200°C에서 소결하여 합성하였다. X-선 회절 측정(Rigaku, Mini Flex)을 통하여 시료들의 단일상을 확인하였고, VSM(Lake Shore, model 7300)을 이용하여 저온 영역에서 상온까지 온도에 따른 magnetization을 측정하였다. 측정은 외부 자기장을 가하지 않고 시료의 온도를 저온으로 냉각시킨 다음, 외부 자기장을 가해준 상태에서 시료의 온도를 올려 주면서 σ 를 측정하는 zero field cooling(ZFC) 방법과 외부자기장을 가해준 상태에서 시료를 냉각시키면서 σ 를 측정하는 field cooling A(FCA)와 온도를 올리면서 측정하는 field cooling B(FCB) 방법을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1 (a)은 TmFe₂O₄의 온도변화에 따른 1 kOe의 외부 자기장하에서 측정한 magnetization $\sigma(T)$ 를 나타낸 그림이다. 모든 magnetization 곡선에서 250 K에서 반강자성 자기적 상전이가 일어남을 알 수 있다. FCA와 FCB 곡선에서 field cooling 효과에 의해 온도가 저온으로 내려감에 따라 240 K에서 자화율이 증가하며 ZFC 곡선과 차이가 생기는 것을 볼 수 있으며 LuFe₂O₄의 경우[5]와 달리 FCA와 FCB의 thermal hysteresis가 일어나지 않는다. ZFC 곡선에서 50 K 이하의 온도에서 자화율이 커지는 것은 Tm³⁺의 자발자화의 증가의 의한 영향으로 볼 수 있다.

그림 1 (b)는 자기적 상전이가 일어나는 250 K 이하의 온도에서 외부 자기장에 의한 잔류자기를 확인할 수 있는 TRM의 결과로, 1 kOe의 외부 자기장하에서 시료를 냉각시킨 다음 외부 자기장을 제거하고 온도를 올리면서 측정하였다. TRM은 자성체가 고온에서 전이 온도를 거쳐 냉각될 때 잔류자기를 얻게 되는 현상으로, 작은 ferromagnetic cluster의 연속적인 정렬 과정으로 설명 할 수 있다[6]. 저온에서 큰 자화율을 가지는 TRM 곡선은 온도가 증가함에 따라 감소하고, 250 K에서 사라진다. ZFC 곡선과 FC 곡선의 시료의 냉각과정에서 외부 자기장의 유무와 관련이 있으며 TRM은 FCB와 ZFC의 차이인 $\sigma_{FCB} - \sigma_{ZFC}$ 와 매우 비슷한 형태를 가지고 있음을 알 수 있다.

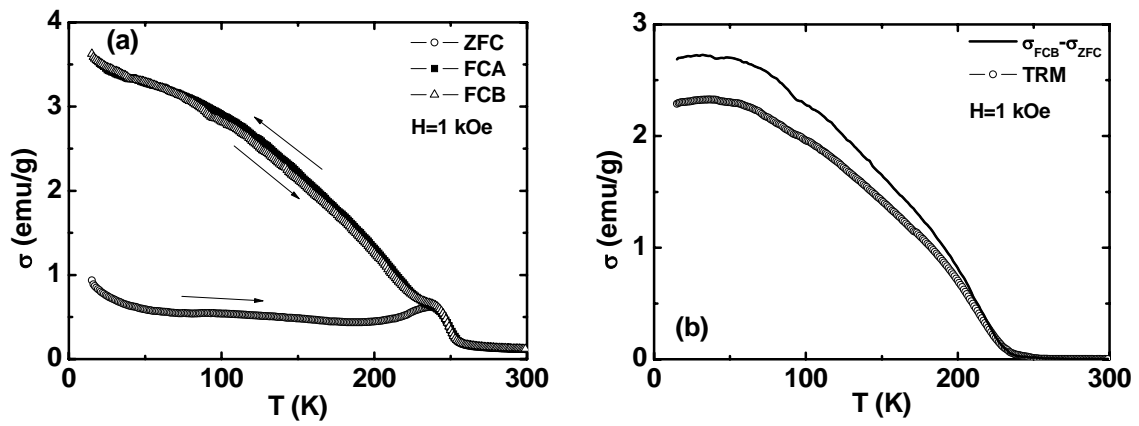


그림 1. (a) Temperature dependence of magnetization σ (T) for TmFe_2O_4 .
 (b) thermoremanent magnetization and the difference $\sigma_{\text{FCB}} - \sigma_{\text{ZFC}}$.

4. Reference

- [1] N. Ikeda, K. Kohn, H. Kiyoy, J. Akimitsu and K. Siratori, J. Phys. Soc. Jpn., **63**, 4556 (1994).
- [2] Y. Yamada, S. Nohdo, N. Ikeda, J. Phys. Soc. Jpn., **66**, 3733 (1997).
- [3] K. Yoshii, N. Ikeda, A. Nakamura, Physica B, **378-380**, 585 (2006).
- [4] K. Yoshii, N. Ikeda, S. Mori, J. Magn. Magn. Mater., **310**, 1154 (2007).
- [5] J. Kim, S. B. Kim, C. U. Jung, B. W. Lee, IEEE. Trans. Magn., **45**, 2608 (2009).
- [6] J. Iida, M. Tanaka, Y. Nakagawa, S. Funahashi, N. Kimizuka, and S. Takekawa, J. Phys. Soc. Jpn., **62**, 1723 (1993).