

Magnetic and Electric Properties of Epitaxial Sr-doped BiFeO₃ Thin Films

정종훈^{1*}, 성길동¹, 조영훈²

¹인하대학교 물리학과, 인천 402-751

²양자물질 연구팀, 한국기초과학지원연구원 대전 305-333

1. 서론

최근 들어, 두 가지 이상의 질서 매개 변수가 동시에 존재하고 이들 사이에 결합이 존재하는 다강체 물질에 대해 많은 연구진들이 관심을 가지고 있다[1,2]. 특히, 상온에서 강유전성 및 자성을 보이는 BiFeO₃는 다양한 응용이 가능하기 때문에 집중적으로 연구된 물질 중의 하나이다. 하지만, 이 물질은 상온에서 반강자성체이기 때문에, 이를 강자성체로 변환시키기 위해서 화학적 치환, 에피택시얼 스트레인 등의 방법을 이용하였다 [3,4].

본 연구에서는 Bi³⁺ 이온 대신에 Sr²⁺ 이온을 치환시켜 산소 결합을 만들거나 혹은 혼합 전자 가를 만들어 spiral 구조의 반강자성을 약한 강자성으로 변환할 수 있다는 기존 논문들[5, 6]을 검증하기 위해서 Sr²⁺가 치환된 BiFeO₃ 박막을 산소의 분압에 따라 체계적으로 합성하고 자기적 전기적 성질의 변화를 연구하였다.

2. 실험방법

펄스 레이저 증착법을 이용하여, 700 °C의 온도에서 산소의 분압을 50 - 400 mTorr까지 변화시키면서 에피택시얼 박막을 증착하였다. 이 박막의 구조적, 전기적, 자기적 성질을 각각 XRD, TF-Analyzer, SQUID를 이용하여 측정하였다. 특히, 자기적 성질을 자세히 분석하기 위해 포항방사광 가속기의 XMCD 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

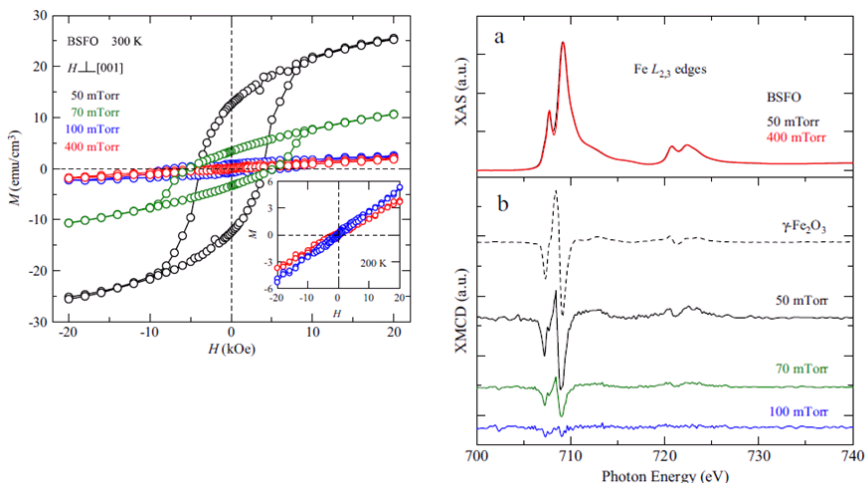


그림 1. (좌) 산소 분압에 따른 M-H 커브. 그림 2 (우) XAS, XMCD 실험 결과. γ -Fe₂O₃ 스펙트럼을 참조로 같이 보임.

산소 분압에 따라서 자기적 성질을 매우 큰 변화를 보인다. 그림 1은 상온에서 측정한 Sr-도핑된 BiFeO₃

박막의 M-H 커브를 보여준다. 50 mTorr에서 증착한 박막은 매우 확실한 히스테리시스 커브를 보이지만 400 mTorr에서 증착한 박막은 그렇지 않다. 이와 같은 강자성체와 같은 자기적 성질의 원인을 파악하기 위해서, XMCD 실험을 수행하였고 그 결과를 $g\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 와 비교하였다. 그림 2에서 보여준 바와 같이 50 mTorr에서 증착한 박막은 $g\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 와 거의 같은 시그널을 보이는데, 이로부터 이 시료의 자성은 기존 논문과 다르게 BiFeO_3 자체의 자성의 변화라기보다는 $g\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 불순물에 의한 것이라고 결론 내릴 수 있었다.

산소 분압에 따라서 전기적 성질 또한 매우 큰 변화를 보인다. 그림 3은 산소 분압에 따른 I-V 특성과 P-E 커브를 보여준다. 산소 분압이 낮아짐에 따라서 전기적 손실이 커지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 특성은 전기적 분극 실험을 통해서도 확인 될 수 있는데 특히 400 mTorr에서 성장한 시료는 강유전 특성을 보이는 것을 P-E 커브 실험을 통해 확인하였다.

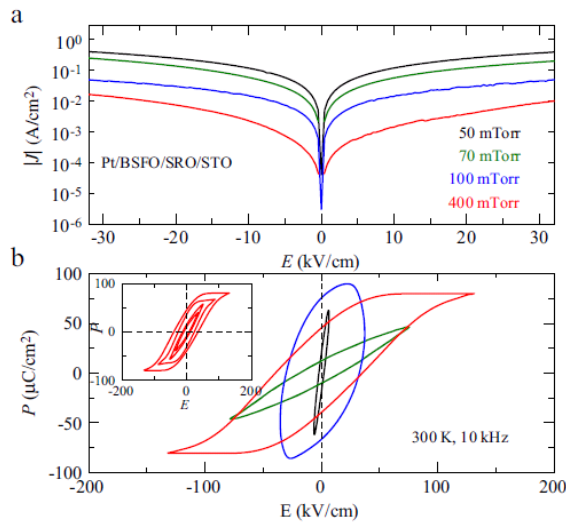


그림 3. 산소 분압에 따른 I-V, P-E 커브

4. 결론

우리는 $\text{SrRuO}_3/\text{SrTiO}_3$ (001) 박막위에 Sr이 도핑된 BiFeO_3 박막을 펄스 레이저 증착법을 이용하여 다양한 산소 분압에서 합성하였다. 산소의 분압이 낮은 경우에는 매우 확실한 M-H 커브를 관측할 수 있었으나 XMCD 실험을 통해서 그 원인이 $g\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 불순물 때문이라는 것을 밝혀내었다. 반면 산소 분압이 높은 경우에는 매우 확실한 P-E 커브를 관측하였고, 이를 통해 강유전성을 가진다는 것을 밝혀내었다.

5. 참고문헌

- [1] S-W. Cheong, M. Mostovoy, Nature Mater. 6, 13 (2007)
- [2] R. Ramesh, N. A. Spaldin, Nature Mater. 6, 21 (2007).
- [3] B. Ruetter, S. Zvyagin, A.P. Pyatakov, A. Bush, J.F. Li, V.I. Belotelov, A.K. Zvezdin, D. Viehland, Phys. Rev. B 69, 064114 (2004) .
- [4] J. Wang, J.B. Neaton, H. Zheng, V. Nagarajan, S.B. Ogale, B. Liu, D. Viehland, V. Vaithyanathan, D.G. Schlom, U.V. Waghmare, N.A. Spaldin, K.M. Rabe, M. Wuttig, R. Ramesh, Science 299, 1719 (2003).
- [5] V. A. Khomchenko, D. A. Kiselev, J. M. Viera, A. L. Kholkim, M. A. Sa, Y. G. Pogorelov, Appl. Phys. Lett. 90, 242901 (2007).
- [6] D. H. Wang, W. C. Goh, M. Ning, C. K. Ong, Appl. Phys. Lett. 88, 212907 (2006).