

XMCD 분석을 통한 MgO/Co/Pd 구조에서 열처리 후 수직자기이방성에 각 계면의 기여 연구

박진구*, 김민석, 김상훈, 고정호, 홍종일

연세대학교 공과대학 신소재공학과, 서울특별시 서대문구 신촌동 134, 120-749

1. 서론

산화물/강자성체/비자성 금속 구조는 각각의 계면에서 발생하는 수직자기이방성, spin-orbit torque, Dzyaloshinskii-Moriya interaction과 같은 특성들을 갖고 있다[1]. 또한 독특하게 모멘텀 공간의 비대칭성으로 인해 라쉬바 현상이 발견될 수 있어 관심이 집중되고 있다[2,3].

MgO/Co/Pd trilayer 구조에서 나타나는 수직자기이방성은 MgO/Co 계면 또는 Co/Pd 계면에서 전자구조의 변화에 의하여 강화될 수 있다. 본 발표에서는 MgO/Co/Pd 구조에서 열처리를 통한 각 계면의 화학적 구조 및 결정구조 변화, 그리고 이러한 변화가 수직자기이방성과 spin-orbit coupling에 미치는 영향에 대하여 논의한다.

2. 실험방법 및 결과

MgO 5/Co t/Pd 3 (nm) 구조의 박막은 UHV DC-magnetron 스퍼터링 시스템($<2.0 \times 10^{-9}$ torr)을 이용하여 증착하였으며, Co 층의 두께를 0.4 nm부터 2.4 nm까지 0.2 nm씩 증가시켰다. 열처리 조건에 따른 수직자기이방성의 변화를 관찰하기 위하여 300 °C, 350 °C, 400 °C에서 각각 1시간 동안 4.5 kOe의 외부 자기장을 가하여 열처리를 진행하였다. Co 층의 두께에 따른 열처리 전후 수직자기이방성의 관찰은 VSM (vibrating sample magnetometer)을 통하여 측정하였다. 계면에서의 화학적 구조와 결정구조는 x-ray absorption spectroscopy (XAS)와 x-ray magnetic circular dichroism (XMCD)를 이용하여 분석하였다. XMCD 측정은 포항 가속기의 2A beam-line에서 진행하였다. 0.6 T의 pulse magnetic field를 번갈아가며 샘플의 수직방향으로 가해주었고, 입사 빔의 angle은 22.5°였다.

MgO/Co/Pd에서 열처리후 자성의 계면에서 구조적 변화효과를 XAS와 XMCD 방법을 이용하여 측정하였다. 열처리 온도에 따른 XAS와 XMCD결과를 그림 1에 나타내었다.

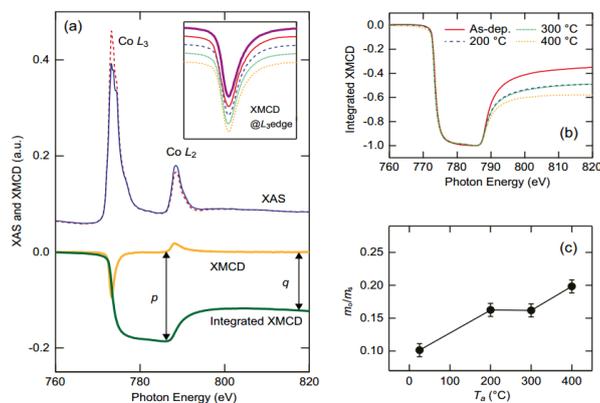


그림 1. (a) MgO/Co/Pd 구조를 400 °C에서 열처리한 시편의 Co L_{2,3} edges에서 XAS와 XMCD결과. 붉은 라인과 파란라인은 각각 95% 편광된 X-ray에 parallel과 anti-parallel한 XAS spectra를 나타낸다.

노란색 라인은 XMCD 결과이고, 초록색 라인은 integrated XMCD spectra를 의미한다.

(b) 열처리 온도에 따른 integrated XMCD spectra. (c) 열처리 온도에 따른 m₀/m_x.

3. 고찰

MgO/Co 계면은 자화특성 변화에 큰 역할을 하지 않음을 확인하였다. Trilayer의 oxidation state는 reference single Co layer와 다르지만, peak의 모양이 전혀 변하지 않음을 확인 할 수 있었다. 이에 열처리 중 MgO/Co/Pd 구조에서 자성특성의 변화는 Co/Pd의 계면의 변화가 주된 원인임을 알 수 있었다. 박막에 수직방향의 orbital의 moments (m_o)와 spin의 moments (m_s)를 비를 sum rule로 XMCD spectra에서 계산하였다. 그 결과 m_o/m_s 는 열처리를 하였을 때 크게 증가함을 알 수 있었다.

4. 결론

MgO/Co/Pd 구조에서 열처리 전 후의 자기 모멘트 관찰 및 자기이방성의 분석과 XMCD측정을 통해 각 계면이 수직자기이방성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 열처리 후 강한 spin-orbit coupling을 가진다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 MgO/Co/Pd 구조가 스핀전류 형성에 유리한 특성을 가지고 있음을 의미하기 때문에[4] MgO를 기반으로 한 수직자기터널접합, 스핀나노소자 등 수직자화 물질을 이용하는 여러 나노 소자에 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

5. 참고문헌

- [1] M. Johnson et al. Rep. Prog. Phys. **59**, 1409 (1996).
- [2] I. M. Miron et al. Nature Mater. **9**, 230 (2010).
- [3] I. M. Miron et al. Nature Mater. **10**, 419 (2011).
- [4] J. H. Jung et al. J. Appl. Phys. **108**, 113902 (2010).