

# MgO/Co/Pd 구조에서 나타나는 수직자기이방성의 계면 의존성 분석

김민석\*, 임종구, 김상훈, 홍종일

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

## 1. 서론

수직자기이방성을 갖는 물질은 그것의 높은 열적안정성으로 나노미터 크기의 MRAM과 같은 차세대 비휘발성 정보저장 소자와 1 Tbit/in<sup>2</sup>이상의 기록밀도를 갖는 미디어에 활용될 수 있어 많은 연구가 되어왔다[1]. Co/Pd, Co/Pt 인공격자 (superlattice)나 L1<sub>0</sub> 구조를 갖는 FePt, FePd 합금은 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> erg/cc 이상의 높은 수직자기이방성을 갖고 있는 대표적인 물질로 알려져 있다[2,3]. 최근에는 산화물/강자성체/비자성 금속 구조도 수직자기이방성을 가질 수 있음이 확인되었다. 이 구조는 산화물을 사용하고 있어 자기터널접합에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 독특하게 모멘텀 공간의 비대칭성으로 인해 라쉬바 현상이 발견될 수 있어 관심이 집중되고 있다 [6,7].본 발표에서는 MgO/Co/Pd 구조에서 Co 층이 갖는 수직자기이방성의 열처리 온도 및 두께 의존성을 Pd/Co/Pd 구조와 비교하여 산화물/강자성체 계면상태가 MgO/Co/Pd 구조의 수직자기이방성에 미치는 영향에 대해 논의한다.

## 2. 실험방법

MgO 5/Co t/Pd 3(nm) 와 Pd 5/Co t/Pd 3(nm) 구조의 박막은 UHV DC-magnetron 스퍼터링 시스템(<2.0×10<sup>-9</sup> torr)을 이용하여 증착하였으며, Co 층의 두께를 0.4 nm부터 2.4 nm까지 0.2 nm 씩 증가시켰다. 열처리 조건에 따른 수직자기이방성의 변화를 관찰하기 위하여 300 °C, 350 °C, 400 °C에서 각각 1-2시간 동안 4.5 kOe의 외부 자기장을 가하여 열처리를 진행하였다. Co 층의 두께에 따른 열처리 전후 수직자기이방성의 관찰은 VSM (vibrating sample magnetometer)을 통하여 측정하였다.

## 3. 실험결과

MgO/Co/Pd 및 Pd/Co/Pd 구조에서 나타나는 수직자기이방성은 자화 용이축 및 곤란축에서 측정된 hysteresis loop 면적의 차이를 통해 관찰하였다. 두 구조는 열처리 전 각각 다른 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 증착된 상태의 MgO/Co/Pd 구조는 수직자기이방성이 관찰되지 않으며 자기모멘트가 전체 두께에서 Pd/Co/Pd구조에 비해 약 30 μemu가 줄어든 것을 확인할 수 있다. 반면 Pd/Co/Pd 구조의 경우 Co의 두께가 0.4-0.8 nm인 영역에서 수직자기이방성을 갖고 있음을 알 수 있다. 한편, 열처리한 시료의 수직자기이방성을 확인한 결과, MgO/Co/Pd과 Pd/Co/Pd는 각각 2.0 nm 및 1.6 nm의 Co 층 두께까지 수직자기이방성이 관측되었다. 주목할 점은 MgO를 사용한 시편이 더 두꺼운 Co층의 두께까지 수직자기이방성이 관측되었다는 것이다. 또한 열처리 전후의 자기모멘트를 비교하였을 때 MgO/Co/Pd 구조에서 자기모멘트가 열처리 후 약 1.4-1.8배 증가한 것을 확인하였다.

## 4. 고찰

열처리 전, MgO/Co/Pd 구조에서 전체 두께에서 Pd/Co/Pd에 비해 낮은 자기모멘트 값을 갖는데, 그 원인은 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 시편 증착시 계면에서 Co층의 산화에 의한 것이고 다른 하나는 Pd/Co/Pd의 계면에서 d-d 궤도 혼성화에 따른 자기모멘트 증가 현상에 의한 것이다. 이는 계면 상태에 따라 해석이 달라질 수

있어 계면 상태에 대한 추가 연구가 필요하다.

반면 열처리 후 관측된 MgO/Co/Pd 구조의 증가된 자기모멘트가 두께에 따라 일정한 것으로 볼 때 MgO/Co 의 계면에서 생성된 Co 산화물이 열처리를 통하여 환원되었음을 알 수 있다. 이로 인해 열처리 전에 계면에서 초과 산화되어 있던 MgO가 이상적인 화학양론 비를 이루게 되면서 수직자기이방성 에너지가 크게 증가하여 Pd/Co/Pd 구조보다 상대적으로 두꺼운 Co층에서 수직자기이방성이 확인되는 것으로 보인다[8]. 이는 산화물/강자성체 사이의 계면 상태 제어를 통해 강한 수직자기이방성을 확보할 수 있음을 의미한다.

## 5. 결론

MgO/Co/Pd 구조에서 열처리 전 후의 자기 모멘트 관찰 및 자기이방성의 분석을 통해 계면 상태를 간접적으로 확인하고 그것이 수직자기 이방성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 열처리 후 Pd/Co/Pd 구조와 비교하여 더 두꺼운 두께까지 수직자기이방성을 갖고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 MgO/Co/Pd구조가 스핀전류 형성에 유리한 특성을 가지고 있음을 의미하기 때문에[9] MgO를 기반으로 한 p-MTJ, 스핀나노소자 등 수직자화 물질을 이용하는 여러 나노 소자에 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- [1] P. Bruno and J.-P. Renard Appl. Phys. A **49**, 499 (1989)
- [2] F. J. A. den Broeder et al. Appl. Phys. A **49**, 507 (1989)
- [3] P. F. Carcia *et al.* Appl. Phys. Lett. **47**, 178 (1985)
- [4] Y. Dahmane *et al.* IEEE Trans. Magn. **44**, 2865 (2008)
- [5] L. E. Nistor *et al.* Appl. Phys. Lett. **94**, 012512 (2009)
- [6] Ioan Mihai Miron *et al.* Nature Mater. **9**, 230 (2010)
- [7] Ioan Mihai Miron *et al.* Nature Mater. **10**, 419 (2011)
- [8] H. X. Yang, M. Chshiev, and B. Dieny Phys. Rev. B **84**, 054401 (2011)
- [9] J. H. Jung, S. H. Lim and S. R. LEE J. Appl. Phys. **108**, 113902 (2010)