

열처리된 CoFeB 층의 결정화와 자기이방성에 대한 연구

김남희^{1*}, 김덕호^{1,2}, 유천열¹, 최경민³, 민병철³, 신경호³

¹인하대학교 물리학과

²서울대학교 물리천문학부

³한국과학기술연구원 스핀트로닉스 연구팀

1. 서론

MgO를 터널 배리어로 사용하는 CoFeB/MgO/CoFeB 터널 접합 구조에서의 자기저항 효과는 기존의 Al₂O₃를 터널 배리어로 사용하였을 때보다 더욱 큰 자기저항 비율을 얻을 수 있으며[1], 여기에 적절한 열처리 과정을 거치면 비정질의 CoFeB 층에 결정화 작용이 일어나게 되어 큰 터널 자기 저항 비율을 얻는데 기인한다[2]. 이러한 현상은 MRAM의 구동 셀 또는 자기저항 센서 등의 응용분야에 가능성을 갖고 있기 때문에 현재 많은 연구가 되어 지고 있다. 본 연구에서는 일반적인 자기 터널 접합 구조인 절연층을 중심으로 자유층의 강자성체로 나뉘어진 구조가 아니라, 결정화 작용을 용이하게 해주는 MgO(001) 기판 위에 CoFeB층을 증착하고, capping층으로 Ta, Ru, Cu와 같은 물질에 비해 열처리 온도를 낮추어 주는 효과를 가진 Ti을 사용하였다[3]. 또한 제작된 시료에 적절한 열처리 한 후 벡터 네트워크 강자성 공명(Vector network analyzer- ferromagnetic resonance, VNA-FMR)과 브릴루앙 광 산란 실험(Brillouin light scattering, BLS)을 이용하여 스핀파 공명 진동수 변화를 관측하여 결정화 된 CoFeB 층의 자기적 성질 및 자기이방성의 변화를 관측하였다.

2. 실험방법

시료의 제작은 2×10^{-9} Torr 이하의 기본 진공도에서 MgO(001)기판 위에 CoFeB(2 nm)층과 Ti(5 nm, capping)층을 rf-sputtering 방식으로 증착 하였다. 증착 후 2×10^{-7} Torr의 진공도에서 200, 250°C 온도로 1 시간 동안 열처리를 수행하였으며 제작한 시료의 모식도는 그림 1 (a)와 같다. 열처리 후 시료의 스핀파 공명진동수를 측정하기 위하여 벡터 네트워크 강자성 공명 실험을 이용하여 측정된 공명진동수의 결과를 바탕으로 자기 방향 변화에 대한 자기 감수율과 포화자화 값을 측정하였으며 브릴루앙 광 산란 실험을 통하여 자기장 세기에 대한 공명진동수의 값을 측정하여 포화자화 값을 얻었다.

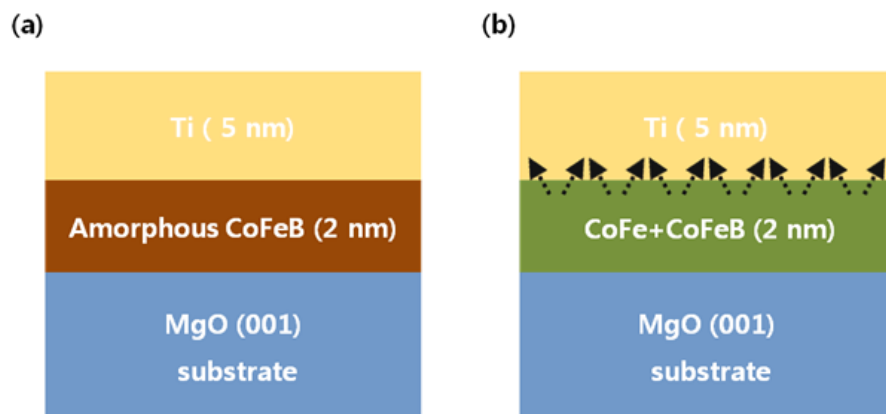


그림 1. MgO(001, substrate)/CoFeB (2 nm)/Ti(5 nm)으로 구성된 시료 구조의 모식도 (a) 열처리 전 (b) 열처리 후 B의 확산에 의한 시료의 조성 변화

3. 실험결과

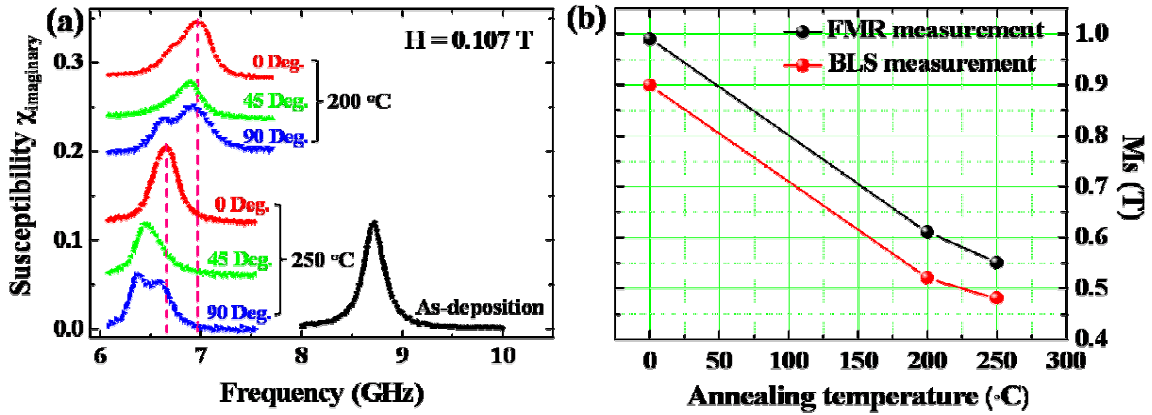


그림 2. (a) 자기장 인가 방향에 대한 자기 감수율의 변화 (b) 열처리 온도 증가에 대한 포화자화

그림 2(a)는 시료의 방위각을 변화 시켜 서로 다른 자기장 인가 방향으로 측정된 자기감수율 값을 나타낸 그림이다. 열처리를 하지 않은 시료와 비교하여 각각 200, 250°C에서 열처리를 한 경우 열처리 효과로 인한 자화의 감소로 인하여 공명 진동수 값이 감소하는 경향을 관측하였다. 또한 시료의 방위각을 90°로 회전시켜 자기장을 인가한 경우 두 개의 공명진동수 봉우리가 관측되었는데 이것은 자화 또는 자기이방성과 같은 자기적 요소가 서로 달라지게 된 것으로 생각할 수 있으며 열처리 과정에 의한 MgO와 Ti 층으로의 B 원자들의 확산효과로 인해 그림 1(b)와 같이 CoFeB 층의 조성이 변함에 따라 기인된 결과로 사료된다. 그림 2 (b)의 경우 벡터 네트워크 강자성공명 및 브릴루앙 광 산란 실험을 통하여 측정된 공명진동수 값을 바탕으로 계산된 포화자화 값을 나타낸 결과이다. 열처리 온도가 증가할수록 포화자화 값이 감소하는 경향을 얻을 수 있었는데 첫 번째로 B의 확산효과와 Ti 층의 산화 작용에 대한 원인과 CoFeB층의 수직자기이방성 효과에 의한 원인 때문에 포화자화 값이 감소한 것으로 판단된다. 브릴루앙 광 산란 실험에 대한 포화자화 값은 자기장 세기에 대한 공명진동수 변화 측정 결과를 바탕으로 수직자기이방성에 대하여 사용되어지는 $\left(\frac{\omega}{\gamma}\right)^2 = H(H + [4\pi D_{\perp} M_s]_{eff})$ 방정식을 사용하였다[4].

4. 결론

본 연구에서는 벡터 네트워크 강자성공명과 브릴루앙 광 산란 실험을 통하여 MgO(001) 기판위에 열처리된 CoFeB층의 공명진동수의 변화를 측정하여 자기적 성질 및 자기이방성에 관하여 연구하였다. 시료의 열처리 결과 비정질 상태의 CoFeB층의 결정화 작용 및 B 원자의 확산효과에 의한 조성변화로 인하여 자기장 방향에 대한 의존성을 보임을 확인하였고, 열처리 온도 증가에 따라서 포화자화 값이 감소하는 결과를 바탕으로 Ti 층의 산화작용과 CoFeB층의 수직자기이방성 효과 인한 결과임을 추측할 수 있었다. 향후 추가적인 실험을 통하여 CoFeB 층의 수직자기이방성 에너지의 효과에 대한 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

5. 참고 문헌

- [1] S. S. P. Parkin, C.Kaiser, A. Panchula, P. M. Rice, B. Hughes, M. Samant, and S.H. Yang, Nat. Mater. 3, 862-867(2004).
- [2] S. Ikeda, J.Hayakawa, Y. Ashzawa, Y.M. Lee, K. Miura, H. Hasekawa, M. Tsunoda, F. Matsukura, and

- H. Ohno, Appl. Phys. Lett. **93**,082508(2008).
- [3] Takahiro Ibusuki, Toyoo Miyajima, Shinjiro Umehara, Shin Eguchi, and Masashige Sato, Appl. Phys. Lett., **94**, 062509(2009).
- [4] J. R. Dutcher, B. Heinrich, J. F. Cochran, D. A. Steigerwald, and W. F. Egelhoff, J. Appl. Phys., **63**, 3464(1988).