

MTJs에서 MgO 스퍼터 조건에 따른 터널링 특성

최경민*, 임우창, 이택동

한국과학기술원 신소재공학과, 대전광역시 유성구 구성동 373-1

1. 서론

터널링 MTJ에서 coherent tunneling 조건이 되면 1000%이상의 TMR이 얻어질 수 있다는 이론적 예측이 발표된[1],[2] 후에 실험적으로 저온에서 1000%근처의 TMR이 발표 되었다 [3]. 이는 CoFe 혹은 Fe (001) orientation과 MgO의 (001)와 45° tilt 되었을 lattice matching이 잘되었기 때문에 가능하다. 최근 CoFeB 비정질 전극을 쓸 때도 열처리 시에 MgO/CoFeB 경계 면에서 CoFeB이 결정화 할 때 MgO의 결정배향성을 따라서 (001)로 성장하면 높은 TMR비를 얻을 수 있다는 것이 알려 졌다 [4]. 따라서 MgO의 결정성 및 배향성이 매우 중요하다. 본 연구에서는 MgO 증착조건이 barrier 특성 및 TMR비에 미치는 영향을 연구했다.

2. 실험방법

자기터널접합의 구조는 Ta(5)/Ru(50)/Ta(5)/NiFe(8)/IrMn(10)/CoFe(2.5)/Ru(0.8)/CoFeB(3)/MgO(2)/CoFeB(3)/Ta(5)/Ru(50)이고, 괄호 안의 숫자의 기본 단위는 nm이다. Ta과 NiFe을 제외한 모든 증착은 5×10^{-9} torr 이하의 고 진공 스퍼터 장비에서 이루어졌다. 모든 금속 층은 Ar 1mtorr 압력에서 증착하였고 MgO층만 증착 조건을 변화 시켰다. 열처리는 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 으로 etching한 후 400°C, 1000Oe에서 1시간 동안 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 MgO 증착시 파워 60W, 타겟-기판 거리 5cm로 일정하게 유지하고 아르곤 압력만 변화시켰을 때 자기저항 곡선을 그린 것이다. 그림에서 보듯이 Ar 압력이 1mtorr일 때는 10mtorr일 때와 비교해 TMR 비는 크게 감소하고 장선의 저항은 크게 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 MgO 스퍼터 조건, 특히 아르곤 압력에 따라 MgO barrier 특성이 크게 바뀌는 것을 의미한다. Fig. 2에서는 fig. 1의 자기저항 곡선 중에서 평행 저항 부분의 I-V 곡선을 나타낸 것이다. Ar 1mtorr일 때의 평행 저항은 전압이 증가함에 따라 저항이 크게 감소하는 것을 볼 수 있고 Ar 10mtorr일 때는 전압이 증가해도 저항은 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 이는 Ar 1mtorr에서 성장 시키면 MgO는 coherent tunneling을 하지 않는 것을 뜻한다. Fig. 2의 빨간 곡선은 I-V 곡선을 Simmons[5]의 rectangular barrier equation으로 linear fitting한 결과이다. Ar 1mtorr의 fitting 결과를 보면 MgO 두께가 실제 두께인 2nm와 거의 일치함을 알 수 있다. 또한 barrier height 0.931eV 값은 pulsed laser deposition으로 자란 MgO(111) barrier의 IV curve fitting 결과인 0.9eV와 유사하다 [6]. Ideal MgO tunnel barrier height은 높은 MgO bandgap에 의해 약 3.7eV가 되어야 한다. 3.7eV보다 훨씬 낮은 barrier height은 MgO 내의 defect energy level 때문인 것으로 생각된다 [7]. X-선 결과가 없어 Ar 1mtorr에서 증착된 MgO가 (111) 방향으로 성장했는지는 알 수 없지만 TMR 결과로 볼 때 (001)으로 성장한 것은 아니거나 혹은 bottom electrode가 high energy 입사원자 때문에 산화되어 생긴 현상일 수도 있다. Fig. 1 (b)의 Ar 10mtorr에서 증착 된 MgO는 높은 TMR과 낮은 RA를 갖는다. 높은 TMR은 MgO가 (001)으로 성장했다는 것을 의미하고 낮은 RA는 (001) grain에서의 coherent tunnel 현상으로 non-coherent tunnel에 비해서 저항이 훨씬 낮다는 것을 의미한다. 이처럼 Ar 1mtorr 증착시 10mtorr와 비교해 저항은 훨씬 크고 TMR 비는 훨씬 작은 것은 MgO 성장시 너무 큰 에너지를 가진 입사원자나ion은 (001) 성장을 위해서나 bottom electrode 산화 방지를 위해서나 바람직하지 않다는 것을 의

미한다. 또한 본 연구에서는 동일한 10mtorr 압력에서 MgO를 sputter했을 때 RF power에 따라서 TMR은 유사한 값을 보이지만 RA값이 크게 차이가 나는 것을 보이고 그 원인을 해석하고자 한다.

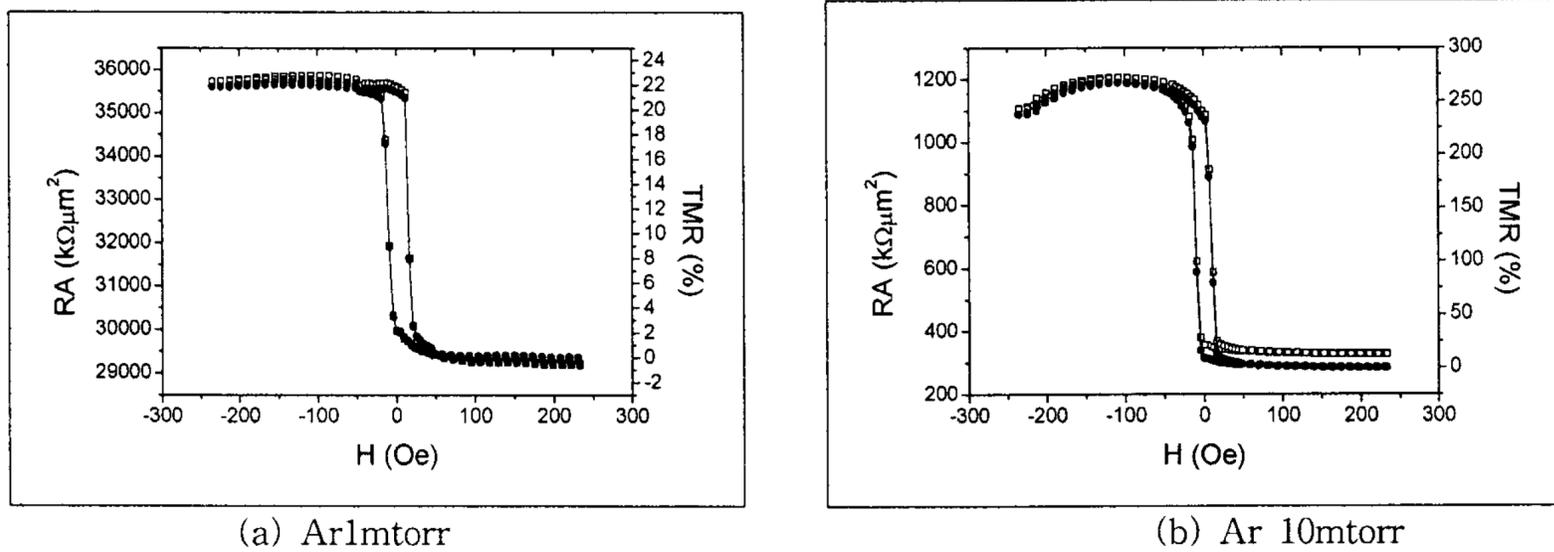


Figure 1. MR curve at different Ar pressure.

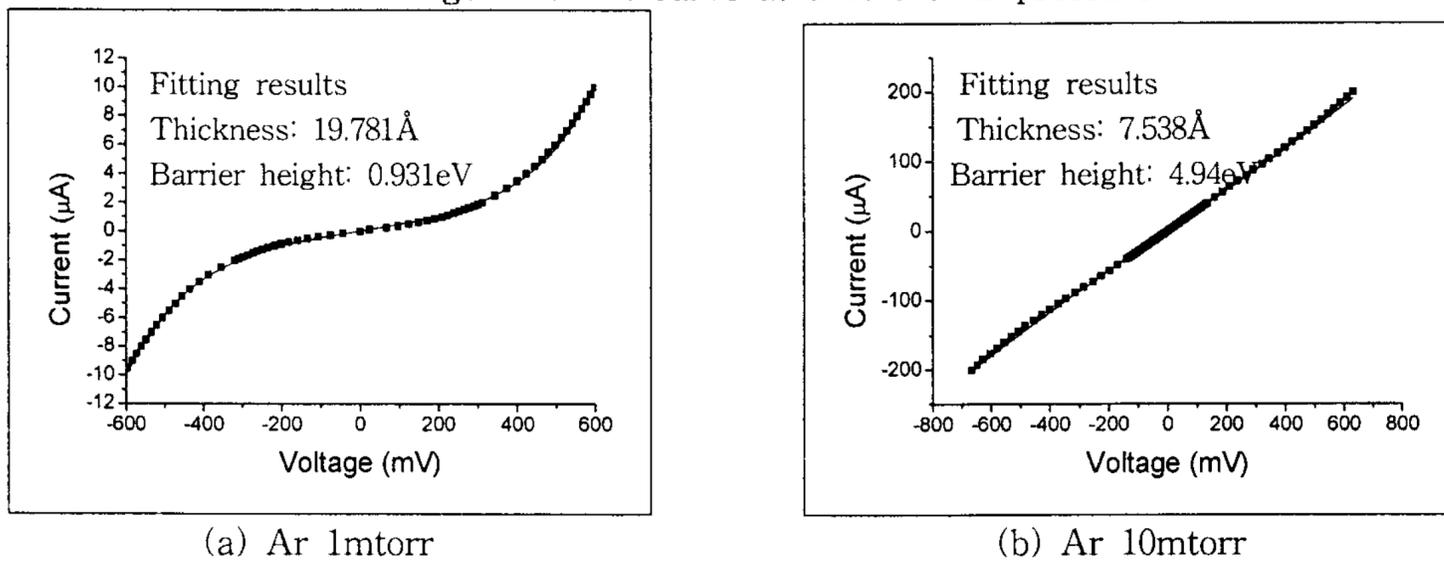


Figure 2. IV curve fitting with Simmons' equation.

4. 결론

MgO 증착시 Ar 압력을 변화 시켰을 때 MgO barrier를 통한 터널링 특성이 크게 달라지는 것을 알 수 있었다. Ar 압력 10mtorr에서의 높은 TMR과 낮은 RA 값은 coherent tunneling으로, 1mtorr에서의 낮은 TMR과 높은 RA 값은 simple barrier model에 의해 설명이 된다.

5. 참고문헌

- [1] W. H. Butler, X. -G. Zhang, T. C. Schulthess, J. M. MacLaren, Phys. Rev. B, 63 (2001) 054416.
- [2] J. Mathon, and A. Umerski, Phys. Rev. B, 63 (2001) 220403.
- [3] J. Hayakawa, S. Ikeda, Y. M. Lee, F. Matsukura, and H. Ohno, Appl. Phys. Lett., 89 (2006) 232510.
- [4] Y. M. Lee, J. Hayakawa, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, Appl. Phys. Lett., 89 (2006) 042506.
- [5] J. G. Simmons, J. Appl. Phys., 34 (1963) 1793.
- [6] T. Kiyomura, Y. Maruo, and M. Gomi, J. Appl. Phys., 88 (2000) 4768.
- [7] A. Gibson, R. Haydock, and J. P. LaFemina, Phys. Rev. B, 50 (1994) 2582.