

Si의 seed layer와 capping layer에 의한 교환결합력의 특성

단국대학교 김선욱\*, 김종기  
상지대학교 김보경, 이진용, 이상석, 황도근  
숙명대학교 이장로

Properties of Exchange biasing with Si seed and capping layers

Dankook Univ. Sun-Wook Kim, and Jong-Kee Kim  
Sangji Univ. Bo-Kyung Kim, Jin-Yong Lee, Sang-Suk Lee and Do-Geun Hwang  
Sookmyung Univ. Jang-Ro Rhee

1. 서론

거대자기저항(GMR)과 터널자기저항(TMR)에서 Seed layer는 자기저항(MR)비와 교환결합력( $H_{ex}$ )에 중요한 역할을 한다. Ta layer는 이러한 점에 있어 가장 일반적으로 buffer layer로 쓰여 왔다. 그러나, Nakagawa와 그 연구자들에 의해 Si의 seed layer의 이용이 FeMn과 NiFe layer에서 높은 결정 성장과 교환결합력을 가진다는 사실을 알아내었다[1]. Si과 같은 반도체가 스핀 전자 소자에서 강자성층 사이에 접합층으로 쓰일 수 있다는 사실은 이미 알려진 바 있다[2, 3]. 본 연구에서는 Si가 seed layer와 capping layer인 NiFe/FeMn/NiFe 다층박막과 Si/(NiFe, Co, CoFe) bilayer의 400 °C 열처리를 통해 Si/강자성층 사이의 내부 확산과 Si seed layer의 특성을 연구하였다.

2. 실험방법

Ion-beam sputtering system으로 실온에서 glass/[Si, Ta(0~40 nm)]/NiFe(12 nm)/FeMn(10 nm)/NiFe(7 nm)/Si과 glass/Ta(5 nm)/Si(10 nm)/[NiFe, Co, Co<sub>25</sub>Fe<sub>75</sub>(10 nm)]/Ta(5 nm)의 다층박막구조를 제작하였다. 초기 압력은  $8.0 \times 10^{-9}$  Torr이다. Ion gun의 beam voltage/current는 800eV/6.0mA이고 Ar 분압은  $1.2 \times 10^{-4}$  Torr이다. 증착률은 각각 Si, Ta이 0.16 Å/s, NiFe, Co, CoFe, Co가 0.07 Å/s, FeMn이 0.12 Å/s이다. 300 Oe의 인가자장 하에 증착되었으며, 500 Oe의 인가자장 하에 400 °C로 두 시간 동안 열처리하였다. X-ray 회절법(XRD), 자기저항 곡선과 진동시료법(VSM)에 의해 각각 결정구조, 자기저항 그리고 자기적 특성을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 Si와 Ta seed layer의 두께를 40 nm까지 증가시켜감에 따라 NiFe(bottom, 12 nm)/FeMn(10 nm)/NiFe(top, 7 nm) trilayer의 두 계면에서의 교환결합력을 보여준다. Si seed layer인 sample은 Si 40 nm에서 교환결합력(bottom)이 40 Oe로 유지되었으나, Ta seed에 경우에는 Ta 15 nm에서 40 nm로 두께가 증가함에 따라 교환결합력이 110 oe에서 60 oe로 감소하였다. 교환결합력이 top의 경우엔 Si 두께가 30 nm로 증가함에 따라 205 Oe에서 300Oe까지 향상되었으나, Ta은 15 nm일 때 270 Oe에서 40 nm로 두꺼워지면서 125 Oe로 급격히 떨어졌다. Si와 Ta이 seed layer인 다층박막의 XRD pattern을 보면 Si의 경우가 Ta의 경우보다 NiFe와 FeMn (111) 구조의 peak 강도가 더 강하게 나타났으며[4], seed layer의 두께가 증가함에 따라 두 층의 (111) 구조가 보다 뚜렷이 나타났다. 또한 Si와 Ta 두 경우의 교환결합력의 차이가 벌어진다.

Fig. 2는 열처리 온도에 따른 [Si, Ta(5 nm)]/NiFe(12 nm)/FeMn(10 nm)/NiFe(7 nm)/[Si, Ta(5 nm)] 다층박막에서 top의 교환결합력과 bottom의 교환결합력의 변화를 보여준다. 열처리 온도를 300 °C로 증가시켜 Ta seed 다층박막은 top 교환결합력은 약 250 Oe에서 머물렀고, bottom 교환결합력은 100 Oe에서 80 Oe로 약간 감소하였으며, NiFe와 FeMn(111) peak도 shift 되지 않았다. 반대로 Si의 경우, top의 교환결합력은 200 °C에서 220 Oe에서 460 Oe로 급격히 증가하였으며, bottom의 교환결합력도 300 °C에서 140 Oe까지 증가하였다. 그러나, 250 °C 이상은 측정할 수 없었다. 면저항 또한 Silicide 층의 성장으로 두 배로 증가하였

다. NiFe(111)과 FeMn(111) peak는 온도가 증가함에 따라 높은 각도로 이동하였다. 이것은 Ni<sub>2</sub>Si의 격자 상수와 상 온도가 NiFe와 Fe-Si alloy의 것보다 각각 더 작고 낮기 때문에, NiFe의 평균 원자간 거리가 Ni<sub>2</sub>Si silicide의 gradual 성장을 통해 감소하는 것을 말해 준다. 따라서 250 °C 이상에서의 top 교환결합력이 사라지는 것은 NiFe/Si 계면에서 완전히 저하시키는 NiFe layer와 silicide가 공존하기 때문이다. Fig. 3에서 보듯이 Si/NiFe의 불안정한 열적 특성을 극복하기 위해 Si/Co와 Si/CoFe 층의 열적 효과를 비교하였다. 면저항과 fcc(111) peak의 각도를 보면 Si/CoFe bilayer가 Si/NiFe나 Si/Co보다 열적 안정성이 훨씬 더 나은 것을 알 수 있다. 이 결과는 AF-coupled FM/Si/FM과 Schottky FM/Si junction의 좀 더 나은 연구를 가져온다.

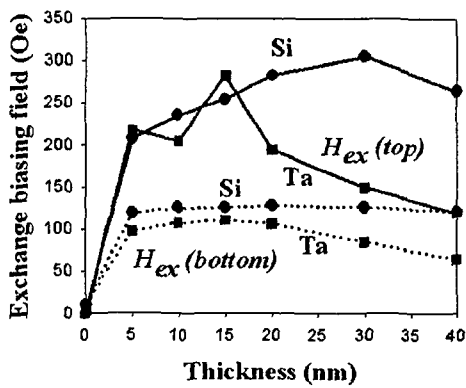


Fig. 1. Exchange biasing fields ( $H_{ex}$ ) at the top (solid line) and bottom (dot line) interfaces of NiFe (12 nm)/FeMn (10 nm)/NiFe (7 nm) multilayers as a function of thickness of Si and Ta seed layer

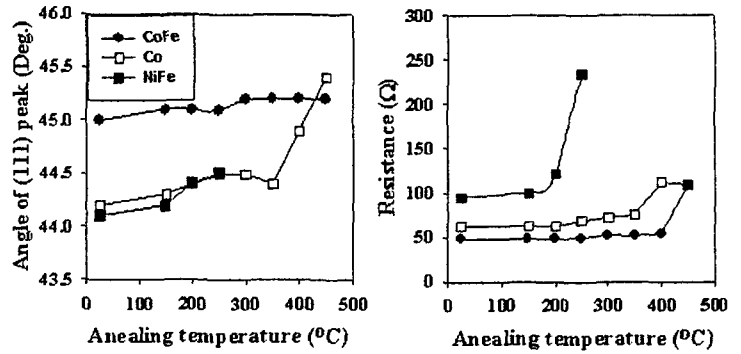


Fig.2. (a) Hex at the top and bottom interfaces and (b) the angles of (111) XRD peaks of Si, Ta (5 nm)/NiFe (12 nm)/FeMn (10 nm)/NiFe (7 nm)/Si, Ta (5 nm) multilayers as a function of the annealing temperature

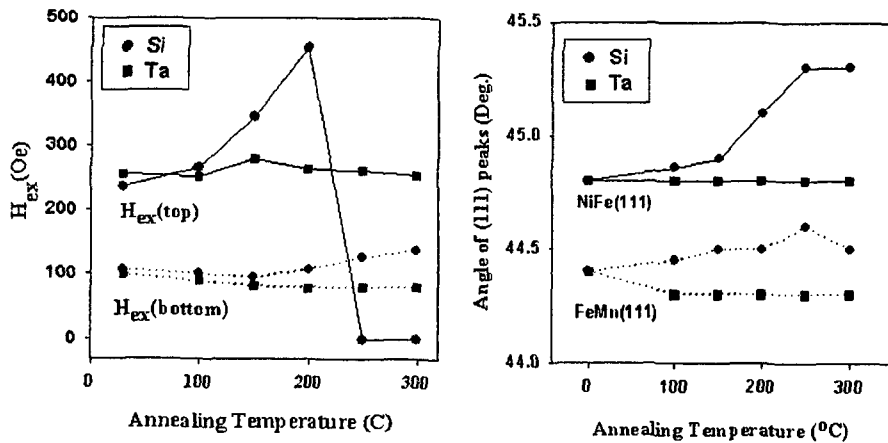


Fig. 3. (a) The shifted angles of fcc (111) peaks and (b) the sheet resistance in the multilayers of Ta (5 nm)/Si (10 nm)/Co, NiFe, CoFe (10 nm)/Ta (5 nm) as a function of the annealing temperature.

#### 4. 참고문헌

- [1] S. Nakagawa et al., IEEE Trans. on Magn. 35, 2970 (1999).
- [2] M. Xiao et al., Phys. Rev. B 54, 3322 (1996).
- [3] D. R. Loraine et al., J. Appl. Phys. 87 5161 (2000).
- [4] B. K. Kim et al., J. Kor. Mag. Soc. 12, 132 (2002).