

NiFe/FeMn/CoFe 3층 구조에서의 FeMn 두께에 따른 강자성 공명(FMR)에 관한 연구

최혁철*, 유천열, 김기연¹, 이정수¹, 심제호², 김동현²

인하대학교 물리학과,

¹한국원자력연구원 중성자과학연구부,

²충북대학교 물리학과

1. 서론

교환 바이어스 (exchange bias)는 강자성 (F: ferromagnet)과 반강자성 (AF: antiferromagnet) 사이의 계면에서의 교환 결합에 의한 현상으로 강자성과 반강자성의 이중접합구조가 자기 냉각되거나 인가된 일정 자기장 하에서 증착되었을 때 자기이력곡선의 중심이동과 보자력 증가 등 다양하고 고유한 특성들을 보인다[1,2]. 일반적으로 지금까지 교환바이어스에 기인한 일방향이방성(unidirectional anisotropy)과 냉각 자기 방향과 동일한 방향으로 인식되어왔다. 하지만 최근에 교환 바이어스 된 F/AF 이중접합구조에서 계면에서의 스핀 무질서 (spin disorder)에 의한 영향으로 일방향이방성과 일축이방성(uniaxial anisotropy)의 방향이 동일선상에 있지 않다는 실험적 연구 보고가 있었다[3]. 본 연구에서는 강자성 공명 (FMR: Ferromagnetic Resonance) 실험을 통하여 NiFe/FeMn/CoFe 3층 구조를 갖는 교환바이어스 된 박막들의 교환 이방성에 대해서 조사하였다.

2. 실험방법

고진공 dc 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 Si(100)/Ta(5 nm)/NiFe(19 nm)/FeMn(t nm)/CoFe(19 nm)/Ta(5nm)의 구조를 초고진공 3.0×10^{-9} Torr에서 상온 증착하였으며 FeMn의 두께 t를 0~15 nm 로 변화시키면서 시료를 제작하였다. 이 제작된 시료들은 VSM (vibrating sample magnetometer)으로 M-H 자기이력곡선을 측정하고 FMR을 이용하여 방위각 (azimuthal angular)에 따른 공명 자기장의 측정으로 일축이방성 자기장, 일방향이방성 자기장 그리고 이들 이방성 방향의 차이 γ 를 구하여 분석하였다.

3. 결과 및 논의

FeMn의 두께 변화에 따른 Ta/NiFe/FeMn/CoFe/Ta 구조의 시료들을 VSM으로 자기이력곡선 측정을 Fig. 1에서 나타내었다. FeMn의 임계 두께(<5 nm) 이상부터 교환 바이어스가 형성되었으며 10 nm 이상의 두께에서 포화값을 가졌다.

Fig. 2는 FeMn 두께 15 nm 인 3층 구조에서의 방위각에 따른 공명자기장을 나타낸 것이다. 바이어스가 일어나지 않은 단층 NiFe의 공명자기장보다 바이어스된 NiFe층의 공명자기장이 더 크게 나타났으며 CoFe의 경우는 정반대 현상을 보인다(Fig. 2(좌)). 이를 극좌표로 다시 표현하면 자기 냉각 방향과 일방향이방성 방향이 동일선상에 있지 않다는 사실을 알 수 있다(Fig. 2(우)).

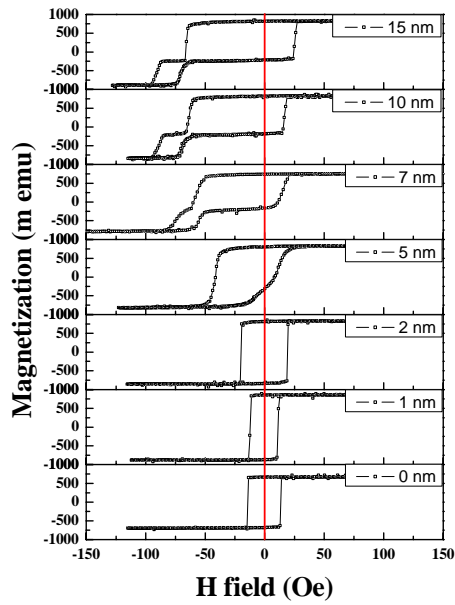


Fig. 1. FeMn의 두께에 따른 trilayer 구조의 VSM 측정 결과.

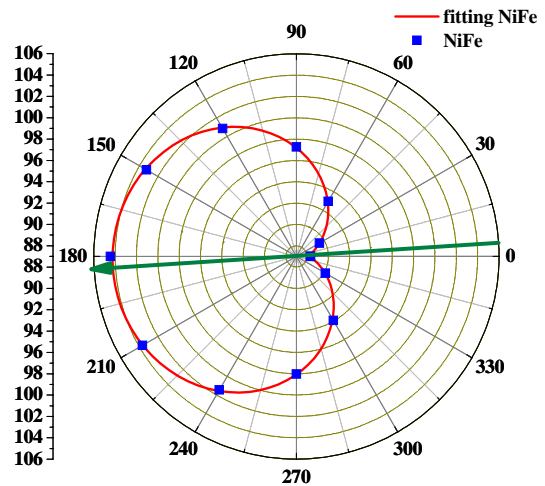
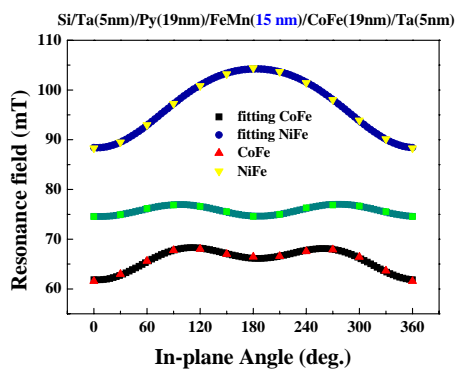
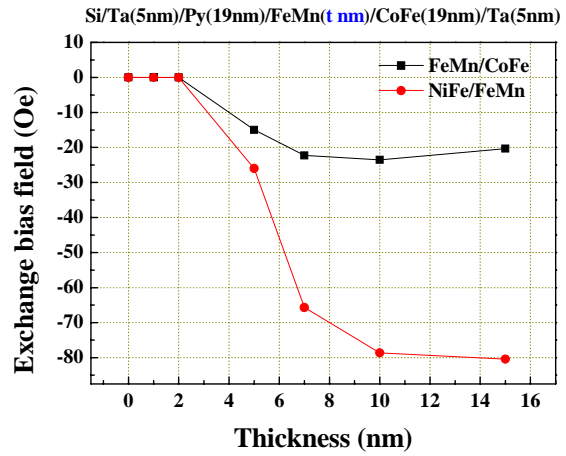


Fig. 2. FeMn 15 nm 두께에서의 방위각에 따른 공명자기장.

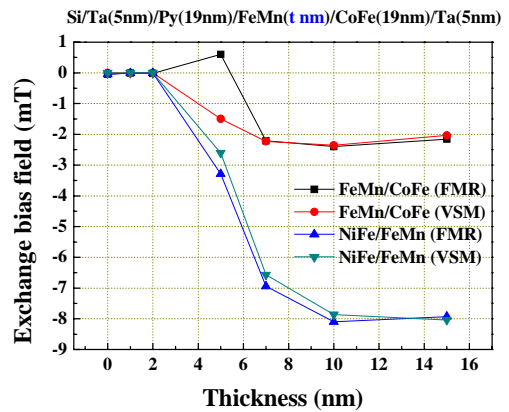
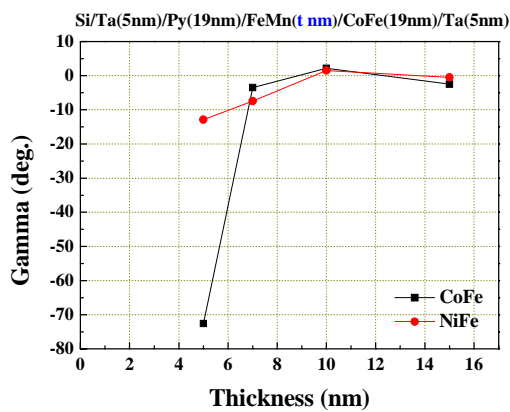


Fig. 3. FeMn 두께에 따른 일방향이방성과 일축이방성의 방향차와 교환 바이어스.

Fig. 3(좌)은 3층막 구조에서 일축이방성과 일방향이방성 방향의 차 γ 를 나타낸 것이다. FeMn층의 임계 두께 이상에서 그 두께가 증가함에 따라 둘의 이방성 방향의 차 γ 가 점차 감소해간다. 이는 교환바이어스의 크기가 증가해가는 것과 비교해 볼 수 있으며 FeMn의 두께 증가가 계면에서의 스핀 무질서(spin-disorder) 현상을 점차 감소시키는 것으로 해석될 수 있다. 그리고 γ 를 고려한 공명자기장으로부터 얻어진 교환바이어스 자기장은 VSM측정 결과와 잘 일치함을 볼 수 있다(Fig. 3(우)).

4. 결론

NiFe/FeMn/CoFe 3층막 구조에서 교환 바이어스가 생기는 FeMn의 임계 두께(< 5 nm) 이상의 시료들에 대해서 두께 증가에 따라 교환 바이어스 자기장이 증가함을 보였다. 그리고 이들 시료에 대한 F/AF 계면에서의 일방향이방성은 일축이방성 방향과 동일선상에 존재하지 않았으며 이러한 결과는 Meiklejohn과 Bean 모델을 통해서 설명될 수 있음을 보였다.

5. 참고문헌

- [1] H. W. Meiklejohn and C. P. Bean., Phys. Rev. **102**,1413(1956).
- [2] J. Nogues *et al.*, JMMM **192**, 203-232 (1999).
- [3] F. Radu *et al.*, J. Phys.: Condens. Matter, **18** L29(2006).