

반강자성체 결정립의 용이축 분포에 따른 교환 결합 특성

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 경동로 1375, 760-749

1. 서론

강자성 (F)과 반강자성 (AF) 박막으로 이루어진 다층구조에서 이들 F/AF 계면에 존재하는 스핀들간의 상호 작용에 의하여 교환 결합(exchange coupling) 특성이 나타난다. 교환 바이어스는 강자성층의 자화 방향을 고정 시켜 하드디스크 드라이브의 헤드에 사용되는 거대 자기저항 또는 터널링 자기저항 소자의 기준 방향으로 활용하고 있으며, 교환 결합특성 향상을 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

교환 결합에 기여하는 일방 이방성 에너지(J_c)는 F층의 자화 방향과 AF층의 스핀 방향에 의존한다. 이러한 교환 결합 특성을 반영하는 J_c 는 계면 효과로 면적당 에너지 단위이다. 따라서 부피당 에너지인 AF층의 일축 이방성 에너지에 반강자성층의 두께(t_{AF})를 곱한 양이 AF층의 면적당 이방성 에너지가 되어 J_c 와 비교 대상이 된다. 따라서 AF의 부피당 에너지 밀도가 일정할 경우 t_{AF} 에 따라서 자화 곡선이 다르게 나타난다.

이러한 교환 결합 특성은 계면의 일축 이방성 에너지 및 AF 층의 이방성 에너지에 의존하므로 이방성 에너지를 직접 측정하여 이들 특성을 비교하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 교환 결합 특성을 갖는 CoFe/MnIr 재료에서 MnIr 두께에 따른 토오크 신호를 측정하였으며, Stoner- Wohlfarth 모델을 사용하여 AF층의 일축 이방성 상수 및 결정립의 용이축 분포 특성을 도입하여 측정결과와 비교 분석하였다.

2. 실험방법

Co₇₀Fe₃₀/Mn₇₅Ir₂₅ 구조를 갖는 시료는 Si기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터 법을 사용하여 증착 하였으며, seed층으로 Ta(5 nm)/Cu(20 nm)를 사용하였으며 capping층으로는 Ta(5 nm)로 하였다. MnIr 두께 의존성을 관측하기 위하여 CoFe의 두께를 50 nm로 고정하고, MnIr의 두께를 0, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 5, 7, 10, 15 및 20 nm의 시료를 준비하였다. 제조된 시편의 교환 바이어스와 (Exchange bias; H_{ex}) 및 보자력(coercive force; H_c)는 VSM 을 사용하여 측정하였으며, 토오크 마그네토메터를 이용하여 토오크 신호를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 $t_{AF}=0, 2.5$ 및 20 nm인 CoFe/MnIr 박막 재료에서 자화 각도에 따른 토오크 신호를 측정한 결과를 보인다. $t_{AF}=0$ 재료는 강자성체인 CoFe 박막을 의미하며, 토오크 신호는 CoFe 재료의 일축 이방성 특성이 나타나고 있다. $t_{AF}=2.5$ nm 재료에서는 CoFe 재료의 일축이방성 특성과 회전 손실(rotational loss, RL) 특성이 나타나고 있다. Stoner- Wohlfarth 모델을 사용하여 계산한 경우 RL은 AF의 두께가 임계 두께 이하에서 나타나는 현상이며, AF층의 용이축이 한쪽 방향만 있는 경우 자화 방향이 90도 및 270도 근처의 각도에서 나타난다. 그러나 측정 결과는 모든 각도에서 거의 동일하게 나타나는 것으로 보아 AF층의 용이축은 모든 방향으로 고르게 분포 되어 있음을 의미한다. 한편, $t_{AF}=20$ nm 재료에서는 일방 이방성 특성이 나타나고 있으며, 이는 AF층이 고정되어 나타나는 교환 바이어스 특성을 반영한다.

본 연구에서는 AF 결정립들이 갖는 이방성 에너지의 용이축이 모든 방향으로 균일하게 분포한 경우 반강자성층의 두께에 따른 일방 이방성 상수, 일축 이방성 상수 및 회전 손실 특성을 Stoner-Wohlfarth 모델을 사용하여 분석하였다. 회전 손실 특성으로부터 결정립의 크기는 반강자성층의 두께보다 작게 성장하고 있음을 알 수 있었으며, 반강자성층의 용이축이 모든 방향으로 분포하는 경우 일축 이방성 상수는 교환 결합력 상수 보다

작게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이러한 분석 결과로부터 교환 결합력을 갖는 F/AF 다층구조의 교환 바이어스 특성은 반강자성층의 용이축을 한쪽 방향으로 정렬할 경우 약 37% 향상 될 수 있음을 보인다.

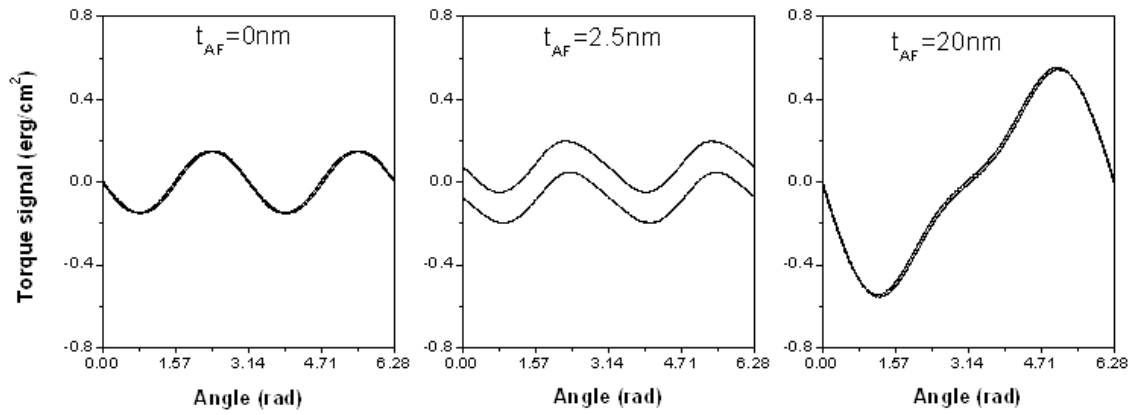


Fig. 1. Torque signal in CoFe/MnIr(t_{AF}) bilayers with $t_{AF}=0, 2.5, 20\text{ nm}$.

4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF2010-0008282).