

# CoFe/MnIr 박막재료의 Rotatable Anisotropy에 대한 연구

김동영\*, 윤석수, 배성철  
안동대학교 물리학과

## 1. 서론

강자성체/반강자성체(F/AF)의 교환결합력은 일축이방성에너지(unidirectional anisotropy)에 기인한다. 그러나 이들 F/AF 재료를 사용하여 강자성공명(ferromagnetic resonance, FMR) 특성을 측정하여 교환결합력에 대한 자기이방성에너지 특성을 분석할 경우 비등방성에너지 특성을 갖는 새로운 에너지가 관측되고 있으며, 이러한 에너지를 rotatable anisotropy(RA)라고 한다[1-3]. 이러한 RA특성은 그 원인이 아직까지 명확히 규명되지 않고 있다.

본 연구에서는 교환결합력을 갖는 CoFe/MnIr 박막 재료의 FMR측정에서 나타나는 RA특성을 자화곡선, FMR의 각도의존성 및 주파수에 따른 투자율 특성 등을 함께 해석함으로써 CoFe/MnIr 계면에서 나타나는 Rotatable Anisotropy에 대한 메커니즘을 분석 하였다.

## 2. 실험방법

CoFe/MnIr 시료는 Si기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터 법을 사용하여 증착 하였으며, seed층으로 Ta(5 nm)/Cu(20 nm)를 사용하였으며 보호층으로는 Ta(5 nm)를 증착 하였다. MnIr 두께에 따른 교환 결합특성을 관측하기 위하여 CoFe의 두께가 50 nm 고정한 시료에 대하여 MnIr의 두께를 0에서 20 nm까지 변화 시켰다. 제조된 시편의 자화 곡선은 VSM을 사용하여 측정하였으며, in-plane 각도에 따른 강자성공명자기장( $H_{res}$ )은 FMR 측정 장치인 Bruker Xerp를 사용하여 9.89 GHz (X-band)의 주파수에서 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1에서는 CoFe/MnIr 구조에서 MnIr의 두께가  $t_{AF} = 0, 3$  및 10 nm인 경우 각각에 대한 자화곡선과 각도에 따른 강자성공명자기장 ( $H_{res}$ ) 특성을 보인다. 이들 시편의 자기이방성 특성은 강자성공명자기장을( $H_{res}$ ) 이용하여 분석된다. 박막 시편의 in-plane에서 측정된  $H_{res}$ 는  $4\pi M_s$ 가 재료의 유효이방성자기장 ( $H_{eff}$ ) 보다 매우 클 경우 다음과 같이 표현된다.

$$H_{res} = \left(\frac{\omega}{\gamma}\right)^2 \frac{1}{4\pi M_s} - H_{ra} - H_{ex} \cos \Phi_H - H_k \cos 2\Phi_H \quad (1)$$

여기서  $\gamma = 1.92 \times 10^7$  rad/sec-Oe는 자기스핀의 자이로 계수이고,  $\Phi_H$ 는 in-plane에서 용이축으로 부터 측정된 인가 자기장의 방향을 나타낸다. Fig. 1(b)에서 보인바와 같이 CoFe재료는 일축이방성특성을 보인다. 또한  $t_{AF} = 10$  nm에서는 일축이방성 뿐만 아니라 일방이방성에너지가 혼합된 형태의 이방성에너지 특성을 보인다. 한편  $t_{AF} = 3$  nm 시편의 이방성에너지 특성은 CoFe와 같은 일축이방성과 더불어,  $H_{res}$ 는 CoFe 보다 낮은 자기장 쪽으로 이동되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 이동은 rotatable anisotropy특성에 기인하며, Fig. 1(a)의 자화곡선에서 보인 보자력의 증가와 관련된다. 즉 저주파수 측정 특성인 자화곡선에서는 보자력의 증가로 나타나고, 고주파수 측정 특성인  $H_{res}$ 는 rotatable anisotropy로 나타난다. 이러한 변화는 자화특성이 주파수에 의존함을 의미하고 있으며, 주파수에 따른 투자율 측정 결과로부터 Rotatable anisotropy는 CoFe/MnIr 계면에서의 자기점성효과에 기인함을 알 수 있다.

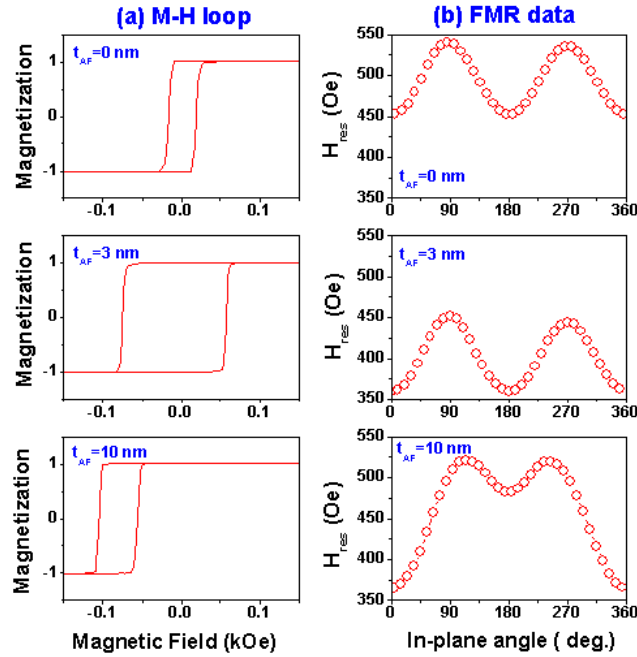


Fig. 1. (a) Hysteresis loops and (b)  $H_{res}$  with in-plane angle in CoFe(50 nm)/MnIr( $t_{AF}$ ) with  $t_{AF} = 0, 3,$  and  $10$  nm.

#### 4. 결론

교환결합력을 갖는 CoFe/MnIr구조에서 MnIr이 임계두께 이하인 재료에서는 자화곡선의 보자력을 증가시키고 있으며, FMR측정에서는 rotatable anisotropy의 증가를 유발시킨다. 이렇듯 측정 방법에 따른 특성 변화는 자화 특성이 주파수에 의존함을 반영한다. 본 연구에서는 주파수에 따른 투자율 측정 결과로부터 Rotatable anisotropy는 CoFe/MnIr 계면에서의 자기점성효과에 기인함을 입증하였다.

#### 5. 참고문헌

- [1] R. D. McMichael, et. al, Phys, Rev. B, **58**, 8605 (1998).
- [2] J. Geshev, L. G. Pereira, J. E. Schmidt, Phys, Rev. B, **66**, 134432 (2002).
- [3] L. Wee, R. L. Stamps, L. Malkinski, Z. Celinski, Phys, Rev. B, **69**, 134426 (2004).