

# 교환결합력을 갖는 CoFe/MnIr 박막재료의 Training 효과 연구

김동영\*, 배성철, 윤석수

안동대학교 물리학과

## 1. 서론

강자성/반강자성(F/AF) 재료의 교환결합력은 반강자성 표면에서의 비상보성 스핀들의 정렬에 의한 반강자성 결합력에 기인한다. 그 결과 F/AF재료의 자화곡선은 한쪽방향으로 치우게 된다. 그러나 이들 자화곡선을 반복하여 측정할 경우 자화곡선의 보자력( $H_c$ )과 교환결합력( $H_{ex}$ )은 반복 횟수에 따라서 감소하는 경향을 보이며, 이러한 현상을 training 효과라고 한다[1-3]. 이러한 training 효과는 반강자성층의 비상보성 AF스핀들에 기인할 것으로 추측하고 있으나, 자화량이 없는 AF 스핀의 특성을 분석하는 것이 실험적으로 불가능하다. 따라서 training 효과와 AF spin들과의 연관성은 아직까지 명확하게 규명되지 않고 있다.

본 연구에서는 교환결합력을 갖는 CoFe/MnIr 박막 재료의 training 효과를 측정하였으며, AF 스핀들과의 관계를 규명하기 위하여 각도에 따른 강자성공명(FMR) 특성 및 Rotational loss 측정 결과를 비교 분석하였다.

## 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. Rotational loss는 토오크 마그네토미터를 이용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1에서는 CoFe/MnIr 구조에서 MnIr의 두께가 3.5 nm인 재료 대한 자화곡선의 측정횟수( $n=1-10$ )에 따른 보자력의 변화 특성을 보인다. 보자력의 크기는 측정횟수에 따라서 감소하는 경향을 보이며, 이정한 값으로 접근하는 경향을 보인다. 본 연구에서는 각각의 재료에 대하여 자화곡선측정을 10번 수행하였으며, 순수한 training 효과를 10번까지의 측정시 변화된 보자력으로 정의 하였다.

$$\Delta H_{c1} = H_{c1}(n=1) - H_{c1}(n=10) \quad (1)$$

교환결합력을 갖는 A/AF구조에서 rotational loss는 unpinned AF의 이방성에너지의 크기를 의미한다. Fig.2에서 training 효과인  $\Delta H_{c1}$ 는 rotational loss의 크기에 따라서 증가하는 선형적인 비례 관계 보인다. 이들 결과로부터 training 효과는 unpinned AF의 이방성에너지에 의존한다.

$$\Delta H_{c1} = \beta \frac{K_{AF}^{unpinned}}{M_s t_F} \quad (2)$$

본 연구에서는 교환 결합력을 갖는 F/AF 재료의 training 효과는 unpinned AF의 이방성에너지에 비례하며, 열처리 과정동안 형성된 불안정한 상태의 unpinned AF spin들이 반복적인 자화 과정동안 안정한 상태의 AF spin들로 재배열되면서 나타나는 현상임을 입증하였다.

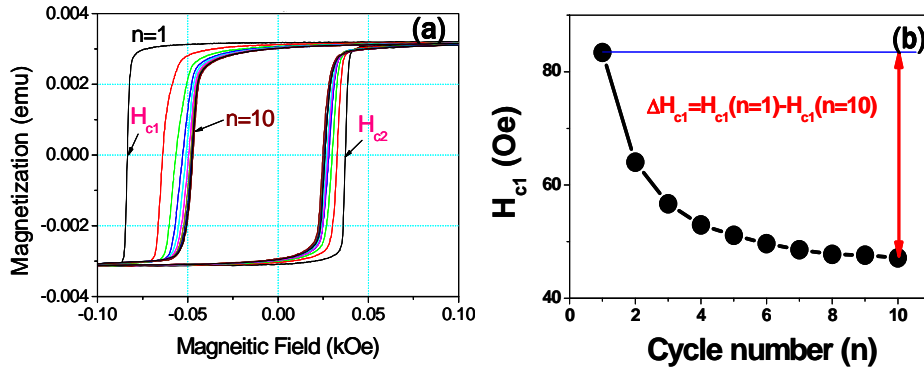


Fig. 1. (a) The typical magnetization hysteresis loops measured upon tenth successive field sweeps in CoFe(50 nm)/MnIr (3.5 nm) bilayers. (b) The training effect of the H<sub>c1</sub> with cycle number(n).

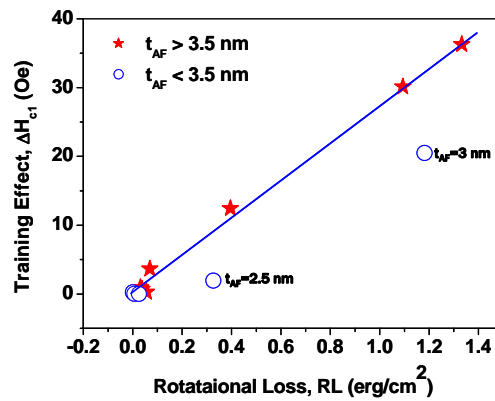


Fig. 2. The relationship between training effect and rotational loss.

### 3. 참고문헌

- [1] S. Brems, et. al, Phys, Rev. Lett. **99**, 067201 (2007).
- [2] S. Franzen and R.M. White, J. Appl. Phys. **101**, 09E513 (2007).
- [3] A. Hochstracht, et. al, Phys, Rev. B, **66**, 092409 (2002)