

# CoFeB/MgO 재료의 고온 열처리에 의한 쌍축이방성 상수 유도 특성

김동영\*, 전성재, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

## 1. 서론

터널링자기저항(tunneling Magnetoresistance, TMR) 소자는 MgO를 절연층으로 사용하여 터널링자기저항비를 상온에서 200%이상까지 향상시켰다. 이러한 TMR 소자의 터널링자기저항비는 MgO의 결정 구조와 두 강자성체의 결정구조에 의존한다. 즉 (001) 결정면을 갖는 두 강자성층 사이에 삽입한 MgO 역시 (001)결정면으로 성장하였을 때 자기저항비가 증가할 수 있다는 계산결과가 보고되었다[1]. 비정질 CoFeB 재료 위에 증착한 MgO는 (100)결정면으로 성장하며, 열처리에 의하여 자기저항비가 230%까지 향상되었다[2,3]. 이때 비정질 CoFeB는 MgO 계면으로부터 (001)결정면을 갖는 체심입방결정(body centered cubic, bcc)으로 성장하고 있음을 확인하였다[4]. 그러나 bcc CoFeB(001) 결정구조에 기인한 결정이방성 특성은 아직까지 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 CoFeB/MgO 구조에서 열처리에 의해 형성된 bcc CoFeB(001) 결정구조의 결정이방성 특성을 분석하기 위하여 강자성공명 (ferromagnetic resonance, FMR) 신호를 측정하였다.

## 2. 실험방법

CoFeB/MgO 시료는 고진공 DC 스퍼터링 챔버에서 Si기판 위에 상온 증착하였다. 이때 하부층으로는 Ta(5 nm)를 사용하였으며, 시편의 산화를 방지하기 위한 상부층으로 Ta(5 nm)를 증착하였다. 시료의 적층구조는 Ta/CoFeB(4 nm)/MgO(5 nm)/Ta로 제작하였다. 제작된 시편은  $T_a=400^\circ\text{C}$ 에서 1 시간 동안 진공 열처리( $10^{-6}$  torr)를 수행하였다. 또한 자기장의 세기에 따른 강자성 공명 신호(FMR signal)는 FMR 측정 장치인 Bruker Xerp를 사용하여 9.89 GHz (X-band)의 주파수에서 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1(a)은 열처리를 하지 않은 CoFeB/MgO 박막 재료와  $400^\circ\text{C}$ 에서 1시간 동안 열처리한 CoFeB/MgO 박막 재료의 자기장 방향에 따른  $H_{\text{res}}$ 의 변화 특성을 보인다. Fig. 1(a)에서 보인 바와 같이 CoFeB재료는 열처리에 의하여  $H_{\text{res}}$ 는 낮은 자기장 쪽으로 이동되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 이동의 원인은 열처리 동안 CoFeB의 B이 확산되어 빠져나감으로 인하여 CoFeB의  $M_{\text{eff}}$ 가 증가한 특성에 기인하며, 계산 결과로부터 열처리한 경우  $M_{\text{eff}} = 1550 \text{ emu/cc}$ 로 증가되었음을 알 수 있다. 또한, 열처리를 한 경우 측정된  $H_{\text{res}}$ 는 일축 이방성 자기장에 의한 특성으로 설명이 되지 않으며, 이는 열처리 과정 동안 부가적으로 또 다른 이방성 특성이 생성되었음을 의미한다.

터널링 자기저항 재료에서 비정질 CoFeB/MgO(001)은 열처리에 의하여 B의 확산과 더불어 (001)결정면을 갖는 MgO 계면으로부터 체심입방구조(body centered cubic, bcc)를 갖는 bcc CoFeB(001) 결정으로 성장한다는 것은 이미 알려져 있다[4]. (001)결정면을 따라서 성장한 입방구조 결정체의 쌍축 자기이방성 에너지는 다음과 같이 표현된다[5].

$$E_{K2} = \frac{1}{4} K_2 \sin^2 2\Phi_M \quad (1)$$

여기서  $\Phi_M$ 은 박막재료의 수평면에서 [001]방향으로부터 측정한 자화 방향을 나타낸다. 이러한 쌍축 이방성 특성이 결부될 경우  $H_{res}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{res} = \left( \frac{\omega}{\gamma} \right)^2 \frac{1}{4\pi M_{eff}} - H_{K1} \cos 2\Phi_H - H_{K2} \cos 4\Phi_H \quad (2)$$

여기서  $H_{K2}$ 는 쌍축이방성 자기장을 나타낸다. Fig. 1(b)는 400°C에서 1시간 동안 열처리한 CoFeB/MgO 박막 재료의 자기장 방향에 따른  $H_{res}$ 의 변화 특성을 보인다. 여기서 실선은 식(2)를 이용하여 계산한 결과이며, 실험결과와 일치함을 보인다. 계산 결과 일축이방성 자기장  $H_{K1} = 34.5$  Oe이고, 쌍축이방성 자기장  $H_{K2} = 6$  Oe였다. 결국, 열처리에 의하여 비정질 CoFeB은 bcc CoFeB(001) 결정으로 성장하였으며, 그로 인하여 쌍축이방성 특성이 생성되었음을 나타낸다.

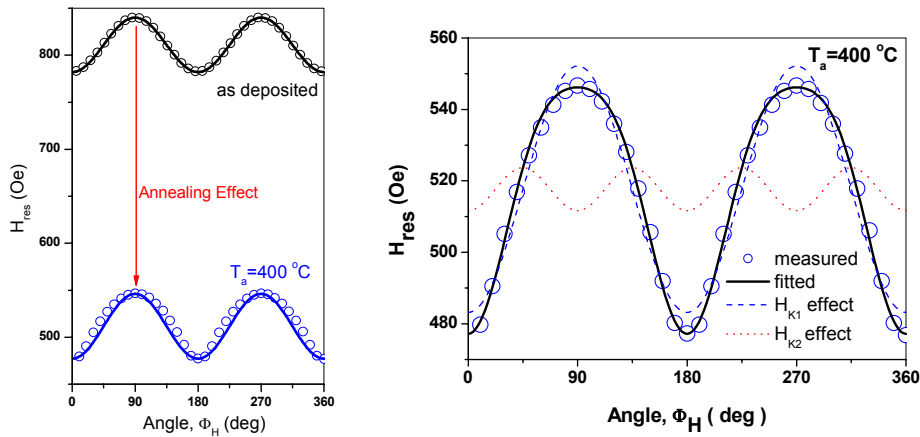


Fig. 1. (a)  $H_{res}$  with magnetic field angle of as deposited and 400°C annealed CoFeB/MgO thin film. (b)  $H_{res}$  with magnetic field angle of 400°C annealed CoFeB/MgO thin film.

#### 4. 참고문헌

- [1] W.H. Butler, et. al, Phys. Rev. B **63**, 054416 (2001)
- [2] D. D. Djayaprawira, et. al, Appl. Phys. Lett., **86**, 092502 (2005)
- [3] Y. M. Lee, et. al, Appl. Phys. Lett., **89**, 042506 (2006)
- [4] J. Hayakawa, et. al, Jpn. J. Appl. Phys., **44**, L587 (2005)
- [5] S. Chikazumi, Physics of Magnetism (Wiley, New York, 1964), p. 131.