

나노결정 CoFeBN 연자성 박막의 자기적 특성의 두께 의존성과 고주파 특성 (High frequency characteristic and Thickness effect on magnetic properties of nanocrystalline CoFeBN soft magnetic thin films)

전형진*, 김인영, 김종렬

한양대학교 공학대학 금속재료공학과 경기도 안산시 상록구 사1동 1271

김기현, 마사히로 야마구찌

도후쿠대학 RIEC 일본 센다이 980-8577

1. 서론

현재 전자기 소자의 발전은 보다 더 작은 크기와 고주파 영역에서 작동되기를 요구하고 있다[1]. 이런 요구를 만족하기 위한 연자성 박막은 높은 비저항(ρ)과 높은 포화자화($4\pi M_s$) 그리고 높은 이방성(Hk)을 충족시켜야 한다. 지금까지의 FeMN(X=transition metal) 박막은 수백 μm 영역까지는 우수한 연자성 특성을 나타내고 있으나, GHz영역에서 사용하기에는 너무도 낮은 이방성으로 수 GHz영역이전에 자기공명($f_{FMR} = \gamma \sqrt{4\pi M_s \cdot H_k}$) 일어나 고주파에서의 적용이 어렵다[2, 3]. 이런 제한요소를 극복하고 고주파영역에서 작동하기 위한 나노결정 연자성 박막 재료로 CoFe를 기본으로 한 연자성 합금박막이 높은 포화 자화 및 결정자기 이방성을 가지고 있어 주목을 모으고 있다. 그러나, CoFe를 기본으로 한 연자성 합금박막은 높은 자기변형 상수를 가지고 있어서 나노결정 박막으로 제조되어도 연자성 특성이 두께 의존성이 있음이 보고되고 있다.[4, 5] 따라서 본 연구에서는 나노 결정 ($\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67}$) $_{100-x-y}\text{B}_x\text{N}_y$ 연자성 박막의 두께에 따른 연자성 특성 변화와 고주파 특성에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험방법

시편은 Reactive RF magnetron sputtering 장비로 Ar 과 N_2 반응성 분위기에서 4 인치 Co_3Fe_7 합금타겟에 B 칩을 이용 제조하였으며, 초기 진공도는 10^{-7} torr를 유지하였으며 sputter시 압력은 1 mtorr 이었다. CoFeBN 합금 박막의 각각 조성별 두께는 300 nm에서 100 nm까지 변화 시키며 Si wafer(P-type, (100), 11.8×11.8 mm)위에 증착 되었으며, 작업시 RF power는 450 W 이었다. 박막 증착시 일축자기 이방성 생성을 위해 NdFeB 영구 자석을 이용 200 Oe의 정렬된 자장을 가하였다. 제조된 연자성 박막의 조성 및 미세구조는 Auger electron spectroscopy (AES), X-ray diffraction (XRD) 그리고 Transmission electron microscopy (TEM)을 이용 분석하였다. 박막의 자기적 특성과 비저항은 Vibration sample magnetometer (VSM), 투자율 측정장치(~ 3 GHz)과 Four-point probe 방법으로 측정되었다. 박막 두께와 박막에 잔류하는 응력은 α -step(Tencor, P-10)을 이용하여 측정되었다.

3. 실험결과 및 고찰

CoFeBN 연자성 박막의 두께 변화에 따른 자기적 특성 변화를 관찰하기 위해 300nm에서 100nm까지 두께를 변화시켜 가며 Fig. 1. (a)의 그림과 같이 포화 자화값과 비저항 값을 조사하였다. ($\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67}$) $_{85}\text{B}_{2.75}\text{N}_{8.25}$, ($\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67}$) $_{85}\text{B}_{4.5}\text{N}_{10.5}$ 그리고 ($\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67}$) $_{83}\text{B}_{7.65}\text{N}_{9.35}$ 은 두께 100nm에서 각 B 조성에서 최소 보자력을 갖는 N 함량을 선택한 조성으로 두께 변화에 따라 포화 자화값과 비저항의 변화는 볼 수 없었으며, 단지 Fig. 1. (b)의 박막 두께에 따른 보자력의 변화에 대한 그림에서 보여주듯이 각 조성에서 임계두께 이상에서 보자력이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 이 임계두께는 조성에 따라 변화하고 B, N 함량 증가에 따라 보자력이 증가와 함께 임계두께도 감소하는 양상이 관찰되는데, 이는 박막의 잔류 응력과 자기변형 상수에 의존하는 수직 이방성(K_{perm})의 존재로 각 조성에서 임계두께 이상에서 "Strip domain"이 형성되어 보자력이 증가하는 것이다. Fig. 1. (b)의 점선 원은 각 조성에서의 임계두께 이하 영역을 나타내고 있다. Fig. 2 (a)는 ($\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67}$) $_{85}\text{B}_{4.5}\text{N}_{10.5}$ 의 자기이력 곡선의 두께 변화에 따른 변화양상을 보여 주는데, 그림에서 보듯이 임계두께 이상에서 자기이력 곡선이 두 개의 기울기를 가지며 쉽게 포화가 되지 않는 양상을 보이는데 이는 박막에 Strip domain의 배열이 생성되어 보자력이 커진 것이다. 이런 두께의 변화에 따른 자기적 특성 변화는 조성, texture, 미세구조 등의 변화에 따라서도 변화될 수 있으나, AES, XRD, TEM의 분석결과 조성이나 texture, 미세구조의 변화 양상은 관찰되지 않았고 grain 크기는 $\sim 10\text{nm}$ 로 변화가 없었다.(Fig. 3) 따라서, B, N 함

량 증가에 따른 임계두께의 감소와 보자력의 증가는 침입형 원소인 B, N에 의해 박막 잔류 응력과 수직 이방성의 증가가 요인이 된 것으로 판단된다. $(\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67})_{85}\text{B}_{4.5}\text{N}_{10.5}$ 과 $(\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67})_{83}\text{B}_{7.65}\text{N}_{9.35}$ 박막의 잔류 응력 측정결과 각각 -294 MPa, -349 MPa 이었다. 이로써 잔류 응력 증가에 의해 나노결정의 CoFeBN박막의 보자력 변화에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 또한 투자율 측정을 통한 자기공명 주파수(f_{FMR})는 2.3 GHz, 2.4 GHz, 2.7 GHz로 B, N 함량 증가에 따라 포화자화의 감소와 더불어 이방성의 증가로 자기공명 주파수가 점차 고주파로 이동하는 것을 볼 수 있다.

임계두께의 제한을 극복하기 위해 $(\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67})_{85}\text{B}_{4.5}\text{N}_{10.5}$ 200nm 박막에 4nm의 TiN 중간층의 삽입으로 임계두께 이상에서 ~3 Oe의 보자력을 갖는 박막을 제조할 수 있었다. 이는 이중층의 Exchange coupling과 wall coercive에 기인한 것으로 판단된다.

4. 결론

고주파 특성이 우수한 CoFeBN 박막 자성특성에 두께가 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과, 임계 두께 이하에서는 자기공명 주파수가 2.3GHz~2.7GHz로 고주파 영역에서 우수한 자기 소자로 사용할 수 있다는 것을 확인하였으나, 임계두께 이상에서 결정구조, texture, 조성, grain 크기 그리고 포화 자화, 비저항 등의 자성특성 변화 없이 보자력이 급격히 증가하는 것을 관찰하였다. 이는 B, N 함량 증가에 따라, 박막의 잔류응력과 자기변형 상수에 기인한 것으로 판단된다. 이 두께한계를 극복하기 위해서 임계두께 이상에서 TiN 중간층을 삽입한 경우 다층구조로써 보자력을 감소시킬 수 있음을 관찰하였다.

5. 참고문헌

- [1] M. Mino, K. Yanagisawa, A. Tago, and T. Yachi, APEC Record 422 (1996)
- [2] B. Viala, M. K. Minor, and J. A. Barnard, J. Appl. Phys., vol. 80, pp. 3941-3956, Oct. (1996)
- [3] S. Jin et al., Appl. Phys. Lett., vol. 70, pp. 3161-3163, Oct. (1996)
- [4] Pei Zou et al. IEEE Tran. Mag. 38. 5, 3501 (2002)
- [5] M. K. Minor, T. M. Crawford, T. J. Klemmer, Y. Peng and D. E. Laughlin. J. Appl. Phys. 88 (10) 8453 (2002)

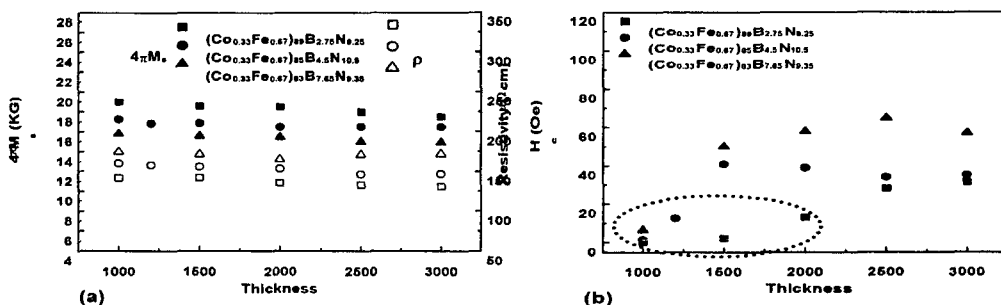


Fig. 1 (a) Saturation magnetization and resistivity, (b) Coercivity of nanocrystalline CoFeBN alloys as a function of film thickness.

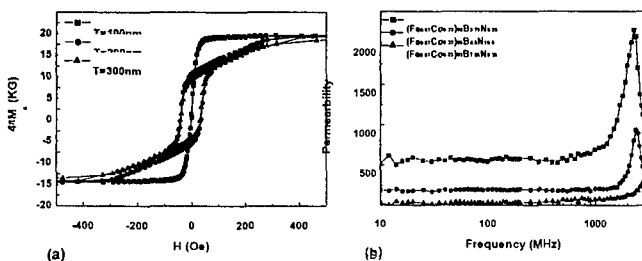


Fig. 2 (a) Hysteresis loops of with different $(\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67})_{85}\text{B}_{4.5}\text{N}_{10.5}$ film thickness, (b) Permeability of CoFeBN thin film.

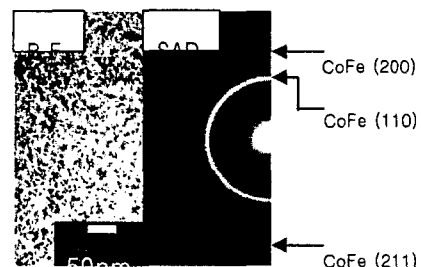


Fig. 3. TEM image of CoFeBN