

Fe(Co)계 나노결정 박막의 연자성과 고주파 특성 연구 (Soft magnetic properties and high frequency characteristics of Fe(Co) based nanocrystalline films)

한양대학교 금속재료공학과
동북대학교 전기연구소

한성경*, 김인영, 김종렬
김기현, 마사히로 야마구찌

1. 서론

최근 전자기소자는 초소형화, 고성능화를 위해 더 높은 주파수에서 작동하는 연자성 박막을 요구해왔다. 이런 요구사항으로 인해 자성 박막은 강자성 공진 주파수를 증가시키고 와전류 손실을 감소시키기 위하여 높은 포화자화($4\pi Ms$), 자기 이방성(Hk)과 비저항(ρ)을 가져야 한다[1,2]. B는 Fe 격자에 침투하여 구조를 변형시키며 결정입계에 쉽게 편석되고, N은 나노결정을 잘 형성시키는 것으로 알려져 있다[3]. B와 N의 이러한 특성으로 비저항($\rho_B \sim 10^{12} \mu\Omega \cdot \text{cm}$, $\rho_{c\text{-BN}} \sim 10^{13} \mu\Omega \cdot \text{cm}$)과 자기 이방성을 증가시켜 Fe(Co) 계 박막의 연자성 특성을 향상시킬 것이라 예상하였다. 그래서, 본 실험에서는 B와 N을 첨가하여 증착한 Fe(Co)계 나노결정 박막의 연자성 성질과 고주파 특성을 조사하였다.

2. 실험방법

Fe(Co)계 박막을 Si(100) 기판 위에 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 박막은 Fe target위에 B, Co chip과 N_2 gas의 분압(PN_2)을 변화시켜가면서 1000 ~ 3000 Å 두께로 증착하였다. 초기진공은 1.0×10^{-6} Torr 이하로 하였고, 증착시 Power는 450 W, 아르곤 분압은 1.0×10^{-3} Torr를 유지하였다. 기판은 증착시 수냉하였으며, 영구자석(Nd-Fe-B)을 사용하여 시료의 이방성 방향을 조절하였다. 증착된 박막의 성분과 구조는 각각 AES와 XRD, TEM으로 분석하였으며 자성특성은 VSM으로 측정하였다. 투자율(μ)과 비저항(ρ)은 각각 PMM-9G1 permeameter와 four-point probe를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a)는 B를 첨가한 Fe 계 박막(약 3000 Å)의 자기적 성질을 보여준다. B 함량의 증가에 따라 포화자화는 감소하고 자기이방성은 미미하게 증가하였다. 모든 Fe-B 박막의 보자력은 20-30 Oe로 측정되었다. 결정립 미세화를 통한 연자성 특성의 향상을 위해 N을 첨가하였으며, 그림 1(b)에서 보여주듯이 N_2 분압 15 %에서 Fe-B(20개)박막의 보자력이 감소됨을 알 수 있었다. 자기적 특성의 변화를 정확히 이해하기 위하여 XRD와 TEM으로 관찰한 결과, 그림 2에서 B와 N의 첨가로 α -Fe(110) peak가 더 낮은 회절각으로 이동한 것을 명확하게 보여준다. 게다가, TEM으로 관찰한 결과, γ -Fe₄N과 c-BN상이 관찰되었고, 이것이 Fe-B-N 박막의 나노결정 형성에 기여했을 것으로 사료된다[4]. Fe 계 박막에 B와 N의 첨가로, 격자상수가 증가한 나노결정 구조를 형성하여 자기이방성과 비저항을 증가하였으나, Fe 계 박막내 B와 N 함량의 증가로 포화자화가 감소하였다.

포화자화와 자기이방성을 증가시키기 위하여 Fe-B-N 박막에 Co를 첨가하였다. 그리고 두께에 의한 박막의 응력을 줄여 보자력을 감소시키기 위하여 박막을 약 1000 Å 두께로 증착하였다. 그림 1(c)에 Co 함량을 증가시킨 Fe-B(20개)-15%PN₂ 박막에 대한 자기적 특성의 변화를 보여준다. Co 함량 증가에 따른 포화자화와 자기이방성이 증가하여 FeCo(7:3)-B-N 조성에서 가장 높은 포화자화와 자기이방성이 관찰되었다. 이런 자기적 특성의 향상은 그림 2의 FeCo(7:3)-B(20개)-15%PN₂의 XRD pattern에서 보여주듯이 α -FeCo 상의 형성으로 인한 것이다. α -FeCo의 보어 마그네트론은 $2.45 \mu_B$ 로 알려져 있고, Co 함량의 증가에 따라 α -FeCo상의 증가로 Fe(Co)-B-N 박막의 포화자화가 증가하였다. 결국 증가된 포화자화와 자기이방성으로 인하여 박막의 강자성 공진 주파수가 증가하였다. Fe(Co) 계 박막의 주파수에 대한 투자율을 그림 3에서 보여주고 있다. Fe_{76.1}B_{7.5}N_{16.4} 과 (Fe_{0.7}Co_{0.3})_{84.2}B_{4.6}N_{11.2}의 유효 투자율은 각각 400, 150이었고, 2.1 GHz와 3.3 GHz에서 강자성 공진 주파수가 발생하였다. Fe-B-N 박막보다 FeCo(7:3)-B-N 박막의 강자성 공진 주파수가 더 큰 것은 Co의 첨가로 자기 이방성이 크게 증가하였기 때문이다. Fe-B-N과 Fe-Co-B-N 박막 모두 높은 포화자화를 가진 우수한 고주파 특성을 나타내었다.

4. 결론

반응성 RF 플라즈마 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 B, Co, N을 첨가한 Fe 계 자성 박막을 제조하여 자기적 성질과 고주파 특성을 조사하였다. 이런 Fe(Co)-B-N 박막에서 우수한 고주파 특성이 관찰되었다. 특히, $(\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.3})_{84.2}\text{B}_{4.6}\text{N}_{11.2}$ 와 $\text{Fe}_{76.1}\text{B}_{7.5}\text{N}_{16.4}$ 자성박막은 높은 포화자화(~15, 12 kG)와 자기이방성(~80, 12 Oe), 상대적으로 높은 비저항(~180, 210 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)을 각각 나타내었다. 그리고, 높은 유효투자율(150, 400, 1GHz까지)과 강자성 공진 주파수(3.3, 2.1 GHz)로 우수한 고주파 특성을 나타냈다. 이런 자기적 특성에 근거하여 Fe(Co)-B-N 박막은 고주파 자기 소자에 응용될 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

- [1] V. Korenivski, *J. Magn. Magn. Mater.* 215-216, 800, (2000)
- [2] S. X. Wang, N. X. Sun, M. Yamaguchi, S. Yabukami, *Nature*, 407, 150, (2000)
- [3] H. Karamon, T. Masumoto, Y. Makino, *J. Appl. Phys.* 57, 3527, (1985)
- [4] K. H. Kim, J. H. Jeong, J. Kim, S. H. Han, H. J. Kim, *J. Magn. Magn. Mater.* 239, 487, (2002)

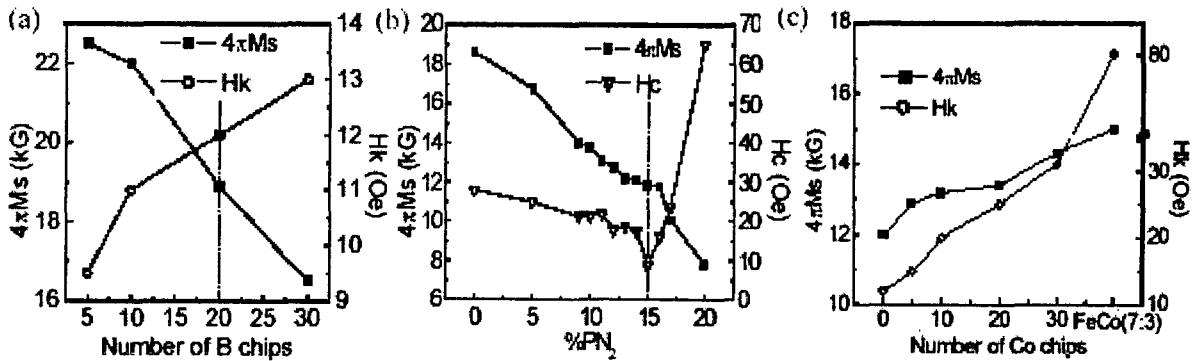


Fig. 1. (a) Variations of $4\pi M_s$ and H_k as a function of B contents. (b) Variations of $4\pi M_s$ and H_c of Fe-B(20ea) films with the increment of PN₂. (c) Variations of $4\pi M_s$, H_k and f_{FMR} of Fe-B(20ea)-15%PN₂ films as a function of Co contents.

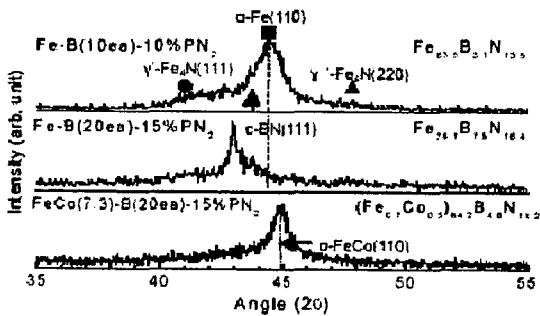


Fig. 2. Change of XRD patterns with the increment of B, N and Co contents.

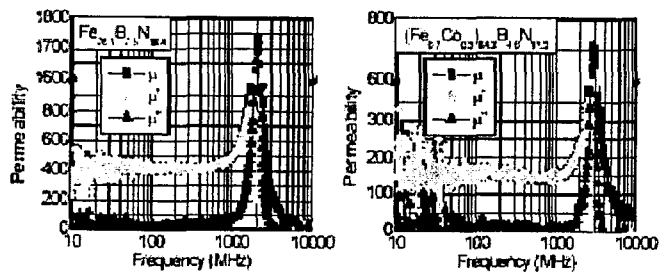


Fig. 3. Frequency dependence of permeability in Fe_{76.1}B_{7.5}N_{16.4} and (Fe_{0.7}Co_{0.3})_{84.2}B_{4.6}N_{11.2} films.