

## FeCoNiB 박막의 연자성 특성과 미세구조 연구

(Soft magnetic properties and Microstructures of As-deposited FeCoNiB thin films)

한양대학교 금속재료공학과

심종식\*, 김종렬

한국과학기술연구원 나노소재연구센터

한석희, 김희중

동북대학교 전기연구소

김기현, 마사히로 야마구찌

## 1. 서론

급격한 정보통신의 발전은 전자기소자의 초소형화 고주파화를 강력히 요구하고 있다. 최근 이런 요구를 만족하기 위하여 수GHz의 강자성 공진 주파수를 갖은 재료들이 개발되고 있다. 이를 위해 연자성 박막은 높은 포화자화( $4\pi M_s$ ), 자기 이방성( $H_k$ ), 그리고 와전류 손실을 줄이기 위해 높은 비저항( $\rho$ )을 가져야 한다. FeCoB, FeCoBN 박막은 이에 잘 부합되며 RF 박막인덕터등의 전자기소자에 적용할 목적으로 개발되었다[1, 2]. B과 N의 첨가로 자기 이방성과 비저항을 증가시키며, 비교적 높은 포화자화를 갖은 박막을 만들었으나, FeCo 재료가 갖은 높은 자기변형 상수와 잔류된 응력에 의한 비교적 높은 보자력( $> 50$  Oe) 두께 의존성을 보였다[3, 4]. 이를 개선하고자 Ni가 첨가된 나노결정 FeCoNiB 박막의 연자성 특성, 고주파 특성 및 미세구조에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 실험방법

시편은 Ar 플라즈마 사용하여 Si(100) 기판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 직경 1cm의 원형으로 증착하였다. 조성변화는  $Fe_7Co_3$  합금타겟 위에 Ni 칩과 B 칩을 사용하여 조절하였다. 초기 진공도는  $7 \times 10^{-7}$  이하로 하였고, 증착 시 Ar 분압은 7~11 mTorr 사이에서 변화시켰으며, 450 W의 RF power를 인가하였다. 이방성 제어를 위하여 NdFeB 자석을 이용한 홀더를 사용하여 200 Oe의 균일한 자장을 가하였다. 증착된 시편의 자기적 특성은 Vibration sample magnetometer (VSM), 투자율 측정장치 (PMM-9G1 permeameter), 비저항은 four-point probe 방법을 사용하였으며, 조성과 구조분석은 AES, XRD 그리고 TEM을 사용하여 분석하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a)는  $2.45 \mu B$ 를 나타내는  $Fe_7Co_3$  합금타겟에 Ni 칩으로 조성을 변화시킨  $(Fe_7Co_3)Ni$  박막의 자기적 성질을 보여준다. Ni 함량의 증가는  $4\pi M_s$ 의 선형적 감소와 보자력( $H_c$ )을 감소시킨다(그림 1(a)). 이를 자세히 살펴보면 그림 1(a), 1(b)에서 보듯이 Ni 함량증가는  $\alpha$ -FeCo(BCC)상의 결정립의 크기를 감소시키며, Ni가 40at.%(40 Ni-chips) 이상 첨가되면 전적으로  $\gamma$ -NiFe(FCC)상 형성시킨다.  $\alpha$ -FeCo상에서의 Ni의 첨가는 다른 천이금속(Ta, Zr, Nb 등)과 같이 결정립의 크기를 줄임과 동시에 그림 1(b)에서 보듯이 FeCo(7:3) 박막의 잔류응력을 줄여주는 역할을 한다. Ni 40at.% 이상 첨가된  $\gamma$ -NiFe상을 갖는 FeCoNi 박막은  $\lambda_s$ 가 크게 줄어 퍼멀로이 같은 훌륭한 연자성 특성을 보인다[5~7]. 그러나 낮은 자기이방성( $< 20$  Oe)과  $\rho$ (30~40  $\mu\Omega \cdot cm$ )으로 100 MHz 이하의 주파수에서 사용이 가능하다.

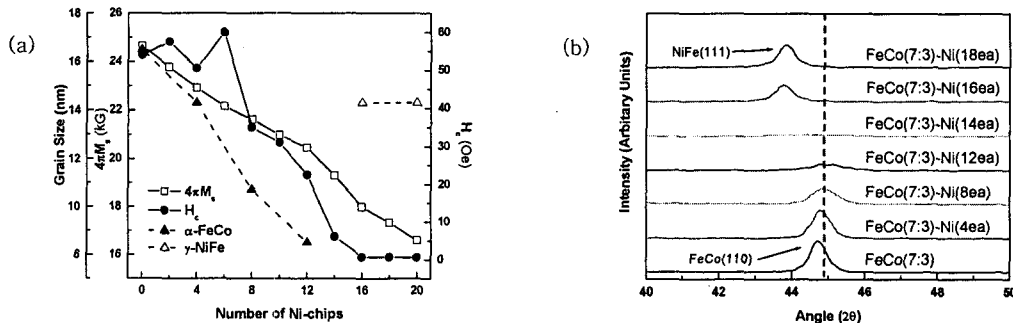


그림 1.  $(Fe_7Co_3)Ni$  박막의 Ni 함량 증가에 따른 (a) 포화자화, 보자력의 변화 및 결정립 크기의 변화, (c) XRD 패턴변화

그림 2(a)는  $Fe_7Co_3$  합금타겟에 B 칩으로 조성을 변화시켜 나타난  $(Fe_7Co_3)B$  박막의  $4\pi M_s$ ,  $H_c$ ,  $H_k$ 와 결정립 크기의 변화를 보여준다. B가 18 at.%(20 B-chips) 이상 들어간 박막은  $\sim 19.5$  kG의  $4\pi M_s$ 와 1.5~2.0의  $H_c$ 를 나타내며, 10 at.% B(12 B-chips)에서는  $H_k$ 가 약 12 Oe에서 30 Oe로 증가됨이 나타난다.  $H_k$ 가 증가된 10 at.% B 이상의  $(Fe_7Co_3)B$  박막( $\alpha$ -FeCo상)에 소량의 Ni를 첨가하면,  $\alpha$ -FeCo상을 갖는 FeCoNi 박막과 같은 Ni 효과를 보인다. 그림 2(b), (c)는  $(Fe_7Co_3)_{88}B_{12}$  박막과  $(Fe_7Co_3)_{80}Ni_{18}B_{12}$  박막의 XRD 패턴의 변화와 VSM 루프를 보이고 있다. Ni의 첨가는  $(Fe_7Co_3)B$  박막의 연자성특성을 저해시키는 압축응력을 줄이며, 결정립의 크기를 줄여,  $4\pi M_s$ 의 큰 감소없이 자화판란축  $H_c$ 를 20 Oe에서 0.8 Oe으로 크게 감소시키고,  $H_k$ 를 30 Oe에서 36 Oe로 증가시킨다.

그림 3(a), (b)는 위 실험 결과에 기인한 소량의 Ni가 첨가된 100nm 두께의  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)_{78}\text{Ni}_8\text{B}_{14}$  박막 (21.5 kG의  $4\pi M_s$ , 0.9 Oe의  $H_c$ , 39 Oe의  $H_k$  및  $72.3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 의  $\rho$ )과 200nm 두께의  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)_{71}\text{Ni}_7\text{B}_{21}$  (17.8 kG의  $4\pi M_s$ , 0.2 Oe의  $H_c$ , 30 Oe의  $H_k$  및  $107 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 의  $\rho$ ) 주파수 변화에 따른 투자율 값을 보이고 있다.  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)_{78}\text{Ni}_8\text{B}_{14}$  박막은 2.65 GHz의 강자성 공진 주파수를 가지며, 1 GHz까지 600의 투자율을 유지하며,  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)_{78}\text{Ni}_8\text{B}_{14}$  박막은 2 GHz의 강자성 공진 주파수를 가지며, 이 또한 1 GHz까지 600의 투자율 값을 유지한다. 이는 박막의 두께가 증가하여도 고주파 특성이 유지됨을 보여주고 있다.

XRD 패턴에서 보듯이  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)\text{NiB}$  박막은  $\gamma\text{-NiFe}$ 상의 형성없이 전적으로 미세한 나노결정립  $\alpha\text{-FeCo}$ 상을 가졌음을 그림 3(c)의 TEM 패턴을 통해 확인할 수 있다. 또한 연자성 특성과 고주파 특성을 저해시키는 columnar 구조가 형성되지 않았음을 TEM 단면 사진을 통해 확인할 수 있다[8].

#### 4. 결론

$(\text{Fe}_7\text{Co}_3)\text{B}$  박막에 첨가된 소량의 Ni는 결정립을 미세화하며, 동시에 박막의 잔류응력을 줄여  $4\pi M_s$ 의 큰 감소 없이,  $H_c$ 를 크게 줄이며  $H_k$  또한 증가시키는데 기여한다. 이러한 나노결정립  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)\text{NiB}$  박막은 RF대역에서 적은 손실을 가진 하드디스크의 기록용 헤드, 박막인덕터 등의 전자기소자 제작에 적합한 재료로 판단된다. 열처리나 seed layer 없이  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)\text{B}$  박막에서 나타난 FeCo계 박막이 가진 두께 의존성을 개선시킨다.

#### 5. 참고문헌

- [1] T. J. Klemmer, K. A. Ellis, L. H. Chen, B. van Dover, and S. Jin, J. Appl. Phys., 87, 830(2000).
- [2] S. Han, I. Kim, J. Kim, Ki Hyeon Kim, and Masahiro Yamaguchi, J. Magn. Magn. Mater., 272(2), 1490(2004).
- [3] P. Zou, et al., IEEE Trans. Magn., 38, 3501(2002).
- [4] H. J. Jeon, I. Kim, J. Kim, K. H. Kim, and M. Yamaguchi, J. Magn. Magn. Mater. 272(1), 382(2004).
- [5] Tetsuya Osaka, Madoka Takai, Katsuyoshi Hayashi, Keishi Ohashi, Mikiko Saito, and Kazuhiko Yamada, Nature, 392, 796(1998).
- [6] Y. M. Kim, D. Choi, S. R. Kim, K. H. Kim, J. Kim, S. H. Han, and H. J. Kim, J. Magn. Magn. Mater., 226, 1507(2001).
- [7] Richard M. Bozorth, FERROMAGNETISM, IEEE PRESS, 675.
- [8] I. Kim, J. Kim, K. H. Kim, and M. Yamaguchi, IEEE Trans. Magn., 40(4), 2706(2004).

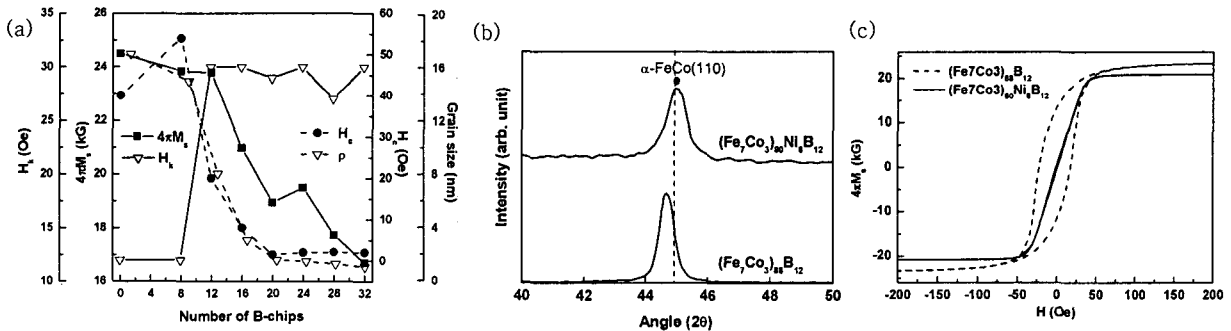


그림 2.  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)\text{B}$  박막의 B 함량 증가에 따른 (a) 포화자화, 보자력, 자기이방성과 비저항의 변화, (b)  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)_{88}\text{B}_{12}$  박막과  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)_{80}\text{Ni}_8\text{B}_{12}$  박막의 XRD 패턴의 변화와 (c) VSM 루프.

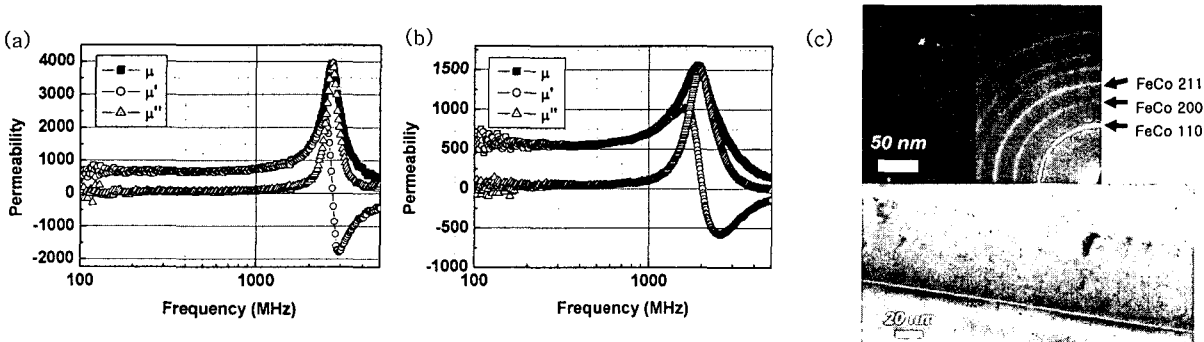


그림 3. (a) 100nm 두께의  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)_{78}\text{Ni}_8\text{B}_{14}$ , (b) 200nm 두께의  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)_{71}\text{Ni}_7\text{B}_{21}$  박막의 주파수 변화에 따른 투자율, (c)  $(\text{Fe}_7\text{Co}_3)_{78}\text{Ni}_8\text{B}_{14}$  박막의 TEM 사진과 그에 따른 SAD 패턴