

수직자기기록매체용 Fe-Co-B/M 하지연자성층의 미세결정구조 및 자기특성

Microstructure and Magnetic Properties in Fe-Co-B/M Films for Soft Magnetic Underlayer of Perpendicular Magnetic Recording Media

공석현¹, 손인환², 금민종³, 최형욱³, 박용서³, 김경환^{3,a}
(Sok-Hyun Kong¹, In Hwan Son², Min Jong Keum³, Hyung Wook Choi³,
Yong Seo Park³, and Kyung Hwan Kim^{3,a})

Abstract

It is necessary to develop soft magnetic layer with high saturation magnetization $4 \pi M_s$ and in-plane magnetic anisotropy field H_k for soft magnetic underlayer of perpendicular magnetic recording media with high signal to noise ratio. Fe-Co-B layer with high $4 \pi M_s$ of about 23 kG deposited on Ni-Fe and Ni-Fe/Si seedlayer exhibited very high in-plane magnetic anisotropy field H_k of about 280 and 380 Oe, respectively. In-plane XRD studies clarified that the lattice spacing of planes along the easy axis direction was longer than that along the hard axis direction in the Fe-Co-B layers with high H_k . These results indicate that high H_k of Fe-Co-B/Ni-Fe and Fe-Co-B/[Ni-Fe/Si] layers were resulted from magnetoelastic anisotropy owing to a residual stress. Moreover, the high H_k in the Fe-Co-B/Ni-Fe layer was maintained until 300 °C annealing temperature.

Key Words : Fe-Co-B layer, High magnetic anisotropy field, Perpendicular magnetic recording media, Residual stress, Soft magnetic underlayer

1. 서 론

수직자기기록방식에 있어서, 하지연자성층을 갖는 수직이층막구조의 매체가 고밀도 기록에 매우 적합하다는 연구결과들이 보고되고 있다[1]. 그러나 하지연자성층의 불안정한 자구구조에 의한 노이즈 발생이 수직이층막매체의 실용화에 큰 문제가 된다는 연구결과도 보고되고 있다[2]. 따라서 저노이즈화를 위해 스파이크노이즈의 원인으로서

알려져 있는 하지연자성층의 자벽형성과 자기이방성분산에 의한 자화리플형성을 억제하기 위한 연구가 크게 주목되고 있다. 하지연자성층에 자벽과 자화리플과 같은 불안정한 자구구조의 형성을 억제하기 위한 방법으로서, 높은 자기이방성에너지부여가 연구되고 있다. 즉, 하지연자성층의 면내방향으로 강한 일축자기이방성을 부여하고, 자화관란축 방향을 기록트랙방향으로 대응시킴에 의해 노이즈 저감을 기대할 수 있다. 실제로, 하지연자성층의 면내일축자기이방성자계 H_k 의 증가와 함께, Signal to Noise비가 향상되는 시뮬레이션결과가 보고되었다[3]. 그러나 일반적으로 하지연자성층에 사용되는 연자성박막의 H_k 는 수십 Oe정도이기 때문에, 저노이즈형 수직자기기록매체 제작을 위해서는 보다 높은 H_k 를 갖는 연자성박막의 개발이 필수불가결하다. 본 연구에서는 저노이즈형 하지연자성층의

1. Kagoshima University Venture Business Laboratory

2. 신성대학 디지털 전기계열

3. 경원대학교 전기정보공학과

(경기도 성남시 수정구 복정동 산 65)

a. Corresponding Author : khkim@kyungwon.ac.kr

접수일자 : 2004. 5. 17

1차 심사 : 2004. 6. 24

심사완료 : 2004. 7. 5

개발을 위해 높은 H_k 를 갖는 하지연자성층의 개발을 시도하였다.

높은 포화자화 $4\pi M_s$ 와 H_k 를 갖는 하지연자성층 개발을 위해, 23 kG의 높은 $4\pi M_s$ 를 나타내는 Fe-Co박막에 주목하였다. Fe-Co박막은 높은 $4\pi M_s$ 과 더불어 매우 높은 포화자화정수 λ_s 를 나타내기 때문에 높은 H_k 를 갖는 연자성박막의 실현에 매우 유리하다는 특성을 갖고 있다. 그러나 통상의 Fe-Co박막은 보자력 H_c 가 매우 높기 때문에, 수직 자기기록매체의 하지연자성층으로 사용되기 위해서는 H_c 를 저감시켜줄 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 Boron의 첨가와 Ni-Fe박막과 Ni-Fe/Si박막을 하지층으로 이용하여 입자크기 미세화에 따른 Fe-Co박막의 H_c 를 저감을 시도하였다.

2. 실험

모든 박막의 제작은 대향타겟식 스퍼터방법 [4-8]을 이용하였으며, Si wafer를 기판으로 하여 실온에서 증착하였다. $Fe_{67}Co_{29}B_4$ 박막의 제작은 $Fe_{70}Co_{30}$ 합금타겟상에 B칩을 배치한 복합타겟구조를 이용하였다. Ni-Fe하지층과 Ni-Fe/Si하지층은 $Ni_{82}Fe_{18}$ 과 다결정Si타겟을 이용하였다. 박막 제작시 Ar가스압력은 1 mTorr로 고정하여 제작하였다. 박막의 결정구조는 통상의 X선회절(XRD)측정과 함께, 면내X선회절(in-plane XRD)측정을 이용하여 면내중의 각각의 결정방향에 따른 결정면간격과 결정배향도의 차이를 측정하였다. 박막의 표면상태는 원자력현미경(AFM)을 이용하였다. 자기특성은 진동시편형자력계(VSM)와 자기력현미경(MFM) 및 Kerr효과에 의한 디스크표면자구해석장치를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Fe-Co-B/M 박막의 자기특성

그림 1에 (a) Fe-Co-B 단층막 및 (b) Ni-Fe 하지층, (c) Ni-Fe/Si 하지층상의 Fe-Co-B 박막의 AFM관찰상을 나타내었다. Fe-Co-B 박막을 Ni-Fe 하지층상에 증착시킴에 의해 입자크기의 미세화가 촉진되고 있음을 그림 1을 통해 알 수 있다. 이것은 Ni-Fe 하지층이 다결정 Fe-Co-B 박막의 보자력의 감소를 유도하는 입자크기 미세화에 크게 효과가 있음을 나타내는 결과라고 할 수 있다.

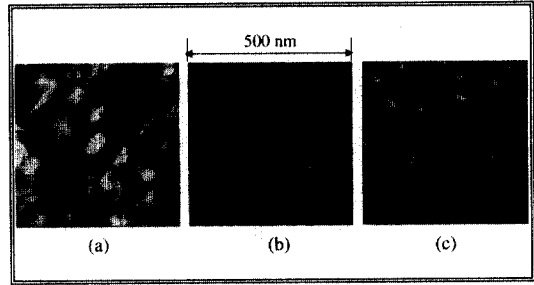


그림 1. (a) Fe-Co-B(160 nm) 단층막, (b) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm) 이중막, (c) Fe-Co-B(200 nm)/[Ni-Fe(10 nm)/Si(2 nm)] 이중막의 AFM상.

Fig. 1. AFM images of (a) Fe-Co-B(160 nm) single layer, (b) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm) and (c) Fe-Co-B(200 nm)/[Ni-Fe(10 nm)/Si(2 nm)] layer.

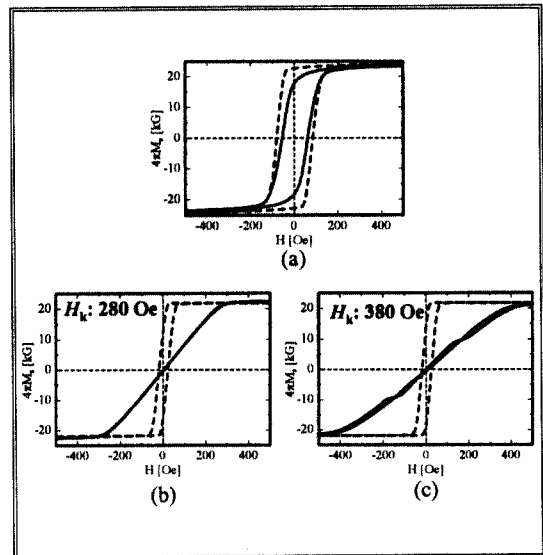


그림 2. (a) Fe-Co-B(160 nm) 단층막, (b) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm) 이중막, (c) Fe-Co-B(200 nm)/[Ni-Fe(10 nm)/Si(2 nm)] 이중막의 M-H loop.

Fig. 2. M-H loops of (a) Fe-Co-B(160 nm) single layer, (b) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm) and (c) Fe-Co-B(200 nm)/[Ni-Fe(10 nm)/Si(2 nm)] layer.

그림 2에 (a) Fe-Co-B 단층막 및 (b) Ni-Fe 하지층과 (c) Ni-Fe/Si 하지층상에 증착된 Fe-Co-B 박막의 M-H loop의 변화를 나타내었다. Ni-Fe 하지층의 도입에 의해 Fe-Co-B 박막의 입자크기 미세화와 더불어 H_c 가 크게 감소되었다. 특히, 자화곤란축의 H_c 은 1.0 Oe이하의 값을 나타내었다. 더욱이, Ni-Fe 하지층과 Ni-Fe/Si 하지층상에 Fe-Co-B 박막을 증착시킴에 의해 일반적인 연자성박막의 H_k 와 비교해서 약 수배이상의 280 Oe와 380 Oe의 매우 높은 값이 각각 관측되었다. Ni-Fe 하지층과 Ni-Fe/Si 하지층상의 Fe-Co-B 박막에 관측된 고 H_k 의 원인을 조사하기 위해, 본 연구에서는 in-plane XRD를 이용하여 Fe-Co-B 박막의 면내방향의 결정구조 변화를 관찰하였다.

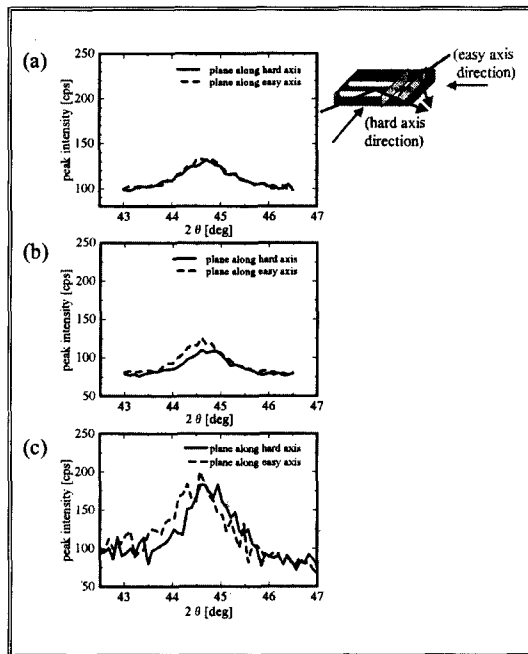


그림 3. (a) Fe-Co-B(160 nm) 단층막, (b) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm) 이중막, (c) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Si(2 nm) 이중막의 면내 XRD 측정결과.
 Fig. 3. In-plane XRD profiles of (a) Fe-Co-B(160 nm) single layer, (b) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm) and (c) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Si(2 nm) layer.

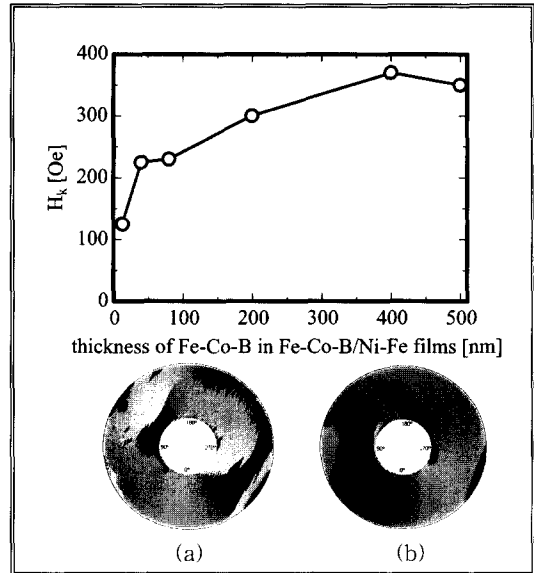


그림 4. Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm)박막의 Fe-Co-B박막두께에 따른 H_k 의 변화와, (a) Fe-Co-B(80 nm)/Ni-Fe(3 nm) 박막과 (b) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm) 박막의 표면자구 구조.
 Fig. 4. Dependence of H_k in Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm) layers on thickness of Fe-Co-B layer and observation of magnetic domain on the surface for (a) Fe-Co-B(80 nm)/Ni-Fe(3 nm) and (b) Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm).

3.2 Fe-Co-B/M 박막의 고이방성자계의 원인

그림 3에 Fe-Co-B 단층막, Ni-Fe 하지층 및 Ni-Fe/Si 하지층상에 증착된 Fe-Co-B박막의 막면내방향에서의 XRD(in-plane XRD) 관찰결과를 나타내었다. 높은 H_k 를 나타낸 Fe-Co-B박막에 있어서, 자화용이축방향에서의 면간격이 보다 증가되어 있는 것이 관측되었다. (b)의 Ni-Fe 하지층상에 증착된 Fe-Co-B 박막에 있어서 자화용이축방향에서의 (110)면의 면간격은 2.028 Å를 나타내는 반면, 자화곤란축방향에서의 면간격은 2.020 Å를 나타내었다. 한편, H_k 가 거의 0 Oe를 나타내는 (a) Fe-Co-B 단층막에 있어서는 이와 같은 면내방향에서의 면간격변화가 관측되지 않았다. 이 면간격 변화분을 이용하여 형성된 H_k 를 내부응력에 의한 자기탄성에너지로서 계산한 결과, M-H loop에서 관측된 H_k 와 거의 같은 값을 나타내는 것을 알 수

있었다. 따라서 Ni-Fe 하지층과 Ni-Fe/Si 하지층 상에 증착된 Fe-Co-B 박막에 형성된 높은 H_k 는 내부응력에 의한 자기탄성에너지가 원인이라고 생각된다. 더욱이 그림 4에서와 같이 Fe-Co-B/Ni-Fe막에 있어서, Fe-Co-B 박막의 막두께 증가와 함께 H_k 가 증가되는 경향이 관측되었다. H_k 의 막두께 의존성에 대한 원인은 좀 더 검토가 필요하지만, 여기서 주목해야 될 점은 H_k 의 크기에 따른 박막의 자구구조변화라 할 수 있다. 즉, 낮은 H_k 를 갖는 (a) 얇은 박막에 있어서는 불안정한 자구구조를 나타내는 것이 확인되었다. 이것은 낮은 H_k 를 갖는 박막은 이방성방향이 크게 분산되는 것을 암시하는 결과이다. 한편, 막두께가 두꺼운 박막은 보다 안정한 자구구조가 관측됨과 동시에 강한 일축자기이방성이 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 이 결과는 높은 H_k 의 연자성박막이 저노이즈형 자기저장매체로서 매우 유용하다는 것을 말해준다. 그러나 H_k 의 막두께 의존성의 원인에 대해서는 결정구조변화 등의 정밀한 분석이 필요하다고 생각된다.

3.3 고온 어닐링 처리에 의한 이방성 자계의 변화

높은 결정화온도가 요구되는 Fe-Pt 박막등의 수직자기기록층을 증착할 필요가 있는 경우, 이러한 열처리에 내구성이 있는 자기저장매체를 개발할 필요가 있다. 본 연구에서는, 높은 H_k 를 나타내는 Fe-Co-B/Ni-Fe 박막의 고온열처리에 의한 H_k 의 변화를 조사하였다. 그림 5는 Fe-Co-B/Ni-Fe 박막에 있어서 H_k 의 어닐링 온도의존성을 나타내고 있다. 그림에 나타낸 바와 같이, 300 °C의 어닐링 온도에 있어서도 H_k 는 높은 값을 유지하는 것을 알 수 있다. 즉, H_k 는 300 °C의 열처리온도까지는 큰 변화를 나타내고 있지 않지만, 400 °C에서 100 Oe까지 감소하며, 500 °C에서는 이방성방향이 변화하는 것을 알 수 있다. 자기탄성에너지에 기인하는 자기이방성의 경우에는, 고온 처리를 가한 경우, 열완화에 의한 응력완화와 더불어, 자기이방성 또한 소실되는 경향이 나타나지만, 본 연구에서 제작된 박막의 경우에는 고온어닐링처리에 따른 내성도 어느 정도 기대할 수 있다고 생각된다. 한편, 보자력변화에 있어서도 400 °C 이상의 열처리에 의해 그 변화가 관찰되었다. 한편, 자화곡관측방향의 H_c 는 H_k 의 감소와 함께 증가하였으며, 자화용이축 방향의 H_c 는 약간 감소하였다. 이것은 Fe-Co-B 박막의 보자력이 내부응력에 의한 자기이방성의

변화에 크게 의존하고 있는 것을 나타내는 결과라고 사료된다.

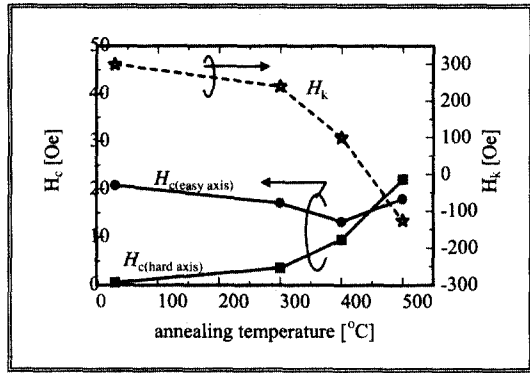


그림 5. Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm) 박막에 있어서 H_c (자화용이축과 곤란축)와 H_k 의 어닐링온도 의존성.

Fig. 5. Dependence of H_c (easy and hard axis) and H_k on annealing temperature in Fe-Co-B(200 nm)/Ni-Fe(3 nm).

4. 결론

높은 $4\pi M_s$ 와 H_k 를 나타내는 수직자기기록매체용 자기저장매체를 개발하기 위해, Fe-Co 박막에 B 첨가와 Ni-Fe하지층과 Ni-Fe/Si하지층의 삽입을 시도하였다. 그 결과, Ni-Fe 하지층과 Ni-Fe/Si 하지층상에 Fe-Co-B 박막을 증착시키는 것에 의해, 입자크기의 미세화와 더불어, 보자력을 크게 저감시키는 데 성공하였다. 특히, Fe-Co-B박막을 Ni-Fe/Si 하지층에 증착시킴에 의해 380 Oe의 매우 높은 H_k 를 얻을 수 있었다. 이와 같은 높은 H_k 의 기원은 면내방향에서의 내부응력차에 의한 자기탄성에너지가 원인이라고 생각된다. 또한, 제작된 박막들은 300°C 정도의 고온 어닐링에 있어서도 높은 H_k 를 유지하여, 이 들 박막들이 고온 처리에 있어서도 높은 내성을 나타내는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

[1] D. Litvinov, M. H. Kryder, and S. Khizroev, "Recording physics of perpendicular media:"

- soft underlayers”, J. Magn. Magn. Mat., Vol. 232, p. 84, 2001.
- [2] Y. Honda, K. Tanahashi, Y. Hirayama, A. Kikukawa, and M. Futamoto. “MFM study of magnetic interaction between recording and soft magnetic layers”, J. Magn. Magn. Mat., Vol. 235, p. 126, 2001.
- [3] Y. Nakatani, N. Hayashi, Y. Uesaka, and H. Fukushima: “Effect of anisotropy field of soft magnetic underlayer on read/write properties in perpendicular recording media”, J. Appl. Phys., Vol. 93, p. 7744, 2003.
- [4] 김경환, 금민중, 공석현, 손인환, 최성민, S. Nakagawa, M. Naoe, “대향타겟식 스퍼터링에 의한 Co-Cr 박막의 제작”, 전기전자재료학회 논문지, 11권, 5호, p. 418, 1998.
- [5] K. H. Kim, I. H. Son, K. B. Song, S. H. Kong, M. J. Keum, S. Nakagawa, and M. Naoe “Thin Film Properties by Facing Targets Sputtering System”, Applied Surface Science, 169-170, p. 410, 2001
- [6] 김용진, 박원호, 금민중, 손인환, 최형욱, 김경환, “Co-Cr(-Ta)/Si 이층박막의 자기적 특성”, 전기전자재료학회논문지, 15권, 3호, p. 281, 2002.
- [7] 금민중, 손인환, 최명규, 추순남, 최형욱, 신영화, 김경환, “FBAR용 ZnO/Si O₂/Si 박막의 결정학적 특성에 관한 연구”, 전기전자재료학회 논문지, 16권, 4호, p. 711, 2003.
- [8] 금민중, 김경환, “대향타겟식 스퍼터링법에 의한 FBAR용 AZO(ZnO:Al) 박막의 제작”, 전기전자재료학회논문지, 17권, 4호, p. 422, 2004.