



산화막중간층에 의한 수직자기기록층의 입자크기 미세화

김경환^{a*}, 공석현^b

^a경원대학교 전기정보공학과, ^b일본 가고시마대학 Venture Business Laboratory

Fine Granulation of Recording Layer in Perpendicular Magnetic Recording Media Using Oxide-interlayer

Kyung Hwan Kim^{a*}, Sok-Hyun Kong^b

^aDept. of Electrical & Information Engineering, Kyungwon University, San 65 Bokjung, Sujung, Seongnam, Kyunggi 461-701, Korea

^bKagoshima University Venture Business Laboratory

(Received 29 June 2004 ; accepted 20 August 2004)

Abstract

Seedlayers with low surface energy which increases the density of nucleation sites in the initial growth region of the recording layer deposited on them was studied to reduce grain size in recording layer. The seedlayer with low surface energy was so effective to attain finer grain in magnetic upper-layers. The Ni-Fe-O intermediate layer with low surface energy was found to be effective in reduction of grain size as well as magnetic cluster size of Co-Cr-Ta-Pt recording layer. Furthermore, the reduction of grain size in Co-Cr-Ta-Pt recording layer on Ni-Fe-O intermediate layer with low surface energy led to decrease the noise level in the high recording density region.

Keywords : Grain size, Surface energy, Nucleation sites, Seedlayer, Ni-Fe-O intermediate layer, Co-Cr-Ta-Pt recording layer

1. 서 론

Co-Cr계 합금박막, Ba-ferrite박막으로 대표되는 granular형 기록층을 갖는 수직자기기록매체에 있어서, 고밀도기록의 달성 및 천이영역노이즈의 저감을 위해서는 기록층의 입자크기미세화가 무엇보다도 중요하게 요구되고 있다¹⁾. 본 연구에서는 기록층의 입자크기미세화를 위한 새로운 기술로서 핵형성사이트의 밀도제어에 의한 방법을 제안한다. 이 방법은 막형성 초기단계에 있어서, 증착입자의 표면에너지와 비교해서 상대적으로 낮은 표면에너지를 갖는 하지층상에 높은 핵형성사이트밀도를 유도하는 방법이다. 즉, 핵형성사이트밀도를 증가시켜 박막의 입자크기 증대를 억제시켜 입자크기의 미세

화를 유도하였다. 또한, 본 연구에서는 하지층의 표면에너지와 그 위에 증착되는 각종 자성막의 입자크기를 비롯한 미세결정구조변화와의 관계를 조사하였다. 그 결과 낮은 표면에너지를 나타내는 하지층위에 자성박막을 증착시킴으로서 입자크기를 미세화시키는 데 성공하였다. 더욱이, Co-Cr-Ta(-Pt) 수직자기기록층의 하지층으로서 Ni-Fe-O 박막이 기록층 입자의 미세화를 유도하는데 있어서 매우 효과가 있음을 발견하였다. 낮은 표면에너지를 나타내는 Ni-Fe-O 하지층상의 Co-Cr-Ta-Pt 기록층은 입자크기의 미세화와 더불어 고밀도영역에서 비교적 낮은 노이즈 증가를 나타내었다.

2. 실 험

표면에너지측정에 사용된 하지층으로는 SiO₂ 박

*Corresponding author. E-mail : khkim@kyungwon.ac.kr

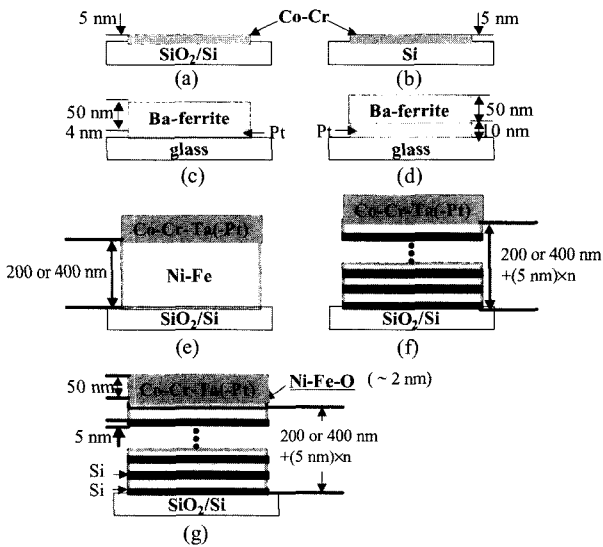


Fig. 1. Schematic configurations of (a) Co-Cr/SiO₂/Si (b) Co-Cr/Si (c) BaM/Pt(4 nm) (d) BaM/Pt(10 nm) (e) Co-Cr-Ta(-Pt)/Ni-Fe (f) Co-Cr-Ta(-Pt)/[Ni-Fe/Si]_n (g) Co-Cr-Ta(-Pt)/Ni-Fe-O/[Ni-Fe/Si]_n.

막(자연산화 Si), Si 박막, Pt 박막 및 Ni-Fe-O 박막을 이용하였다. 이들 하지층위에 막두께 5 nm의 Co-Cr-Ta 박막, 50 nm의 Ba-ferrite 박막과 Co-Cr-Ta(-Pt) 박막을 증착시켰다. 그림 1에 제작한 박막의 구조 및 제작조건을 나타내었다. Co-Cr-Ta(-Pt)/Ni-Fe-O/[Ni-Fe/Si]_n 이층막매체에 있어서 Ni-Fe-O 중간층은 Ni-Fe 막표면을 대기중에서 24시간 산화시켜 제작하였다. 모든 박막의 제작은 대향타겟식 스퍼터장치^{2,4)}를 이용하였다.

박막의 표면에너지 분석은 표면에너지성분을 분산력, 극성성분과 수소결합력의 3성분의 합으로서 계산하는 확장 Fowkes이론을 이용하였다⁵⁾. 각 표면에너지성분의 측정에는 methylene iodine, ethylene glycol과 물을 이용하여 각 액체와 박막사이에 형성되는 접촉각을 측정하여 계산하였다. 박막의 구조해석에는 X선 회절장치(XRD)와 투과전자현미경(TEM)을 이용하였으며, 자기특성은 진동시료자력계(VSM) 및 Kerr loop tracer를 이용하였다. 한편, 기록재생특성측정에 사용된 박막은 유리디스크상에 증착시킨 후 막두께 10 nm의 C을 보호층으로 증착시켰다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기판과 박막의 표면에너지

표 1은 SiO₂ 박막과 Si 박막, 막두께가 서로 다른 Pt 박막 및 자연산화법으로 제작된 Ni-Fe-O 박막과 반응성스퍼터법으로 제작된 Ni-Fe-O 박막의 표면에

Table 1. Surface energy of various kinds of films

| Specimen | Thickness [nm] | Surface energy [mN/m] |
|--|----------------|-----------------------|
| Si | 20 | 55 |
| SiO ₂ | 300 | 101 |
| Pt | 5 | 37 |
| | 10 | 74 |
| Pd | 3 | 49 |
| | 10 | 38 |
| Ni-Fe-O(reactive sputtered in O ₂ /(Ar+O ₂) of 10 vol%) | 10 | 27 |
| Ni-Fe-O/Ni-Fe (naturally oxidized thin film) | 2/200 | 47 |

너지를 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이 현재 하지층으로서 널리 사용되고 있는 SiO₂ 박막은 Si 박막과 비교해서 약 2배의 높은 표면에너지를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한, Pt 박막의 경우에는 막두께와 비례해서 표면에너지가 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, 막두께 5 nm의 Pt 박막의 표면에너지는 37 mN/m를 나타내는 것에 비교해서 10 nm 막두께의 Pt 박막은 74 mN/m의 표면에너지를 나타내었다. 그러나, 차세대 수직자기기록층으로서 검토되고 있는 Co/Pd 다층막의 하지층으로서 사용되고 있는 Pd 박막의 경우에는 표면에너지의 막두께 의존성이 거의 관찰되지 않았다. 따라서 Pt 박막의 경우에는 막두께를 변화시킴에 의해 표면에너지를 제어할 수 있다는 것을 알 수 있다. 한편, 자연산화법으로 제작된 Ni-Fe-O 박막의 표면에너지는 47 mN/m를 나타내는 반면, 반응성스퍼터법에 의해 제작된 보다 산화도가 높은 Ni-Fe-O 박막의 표면에너지는 금속막과 비교해서 약 55% 낮은 27 mN/m의 매우 낮은 표면에너지 값을 나타내었다. 이 결과로부터, Ni-Fe-O 박막에 있어서는 산소함유량을 높여줌에 의해 표면에너지값을 감소시킬 수 있다는 알 수 있다.

3.2 자성층의 입자크기와 하지층의 표면에너지와의 관계

그림 2는 Si와 SiO₂ 하지층에 막두께 5 nm의 Co-Cr-Ta 박막을 기판온도 250°C에서 증착시킨 경우의 표면상태를 나타내고 있다. 그림을 보면 높은 표면에너지를 나타내는 SiO₂ 하지층에 증착된 Co-Cr-Ta 박막의 입자크기는 14 nm인 반면, 보다 낮은 표면에너지를 갖는 Si 하지층상의 박막의 경우에는 입자크기가 12 nm로 크게 미세화되고 있으며, 우수

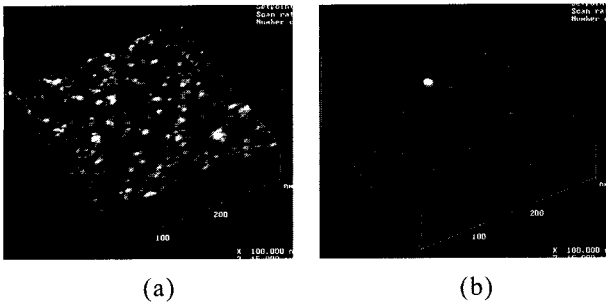


Fig. 2. AFM images of (a) Co-Cr-Ta(5 nm) deposited on SiO₂ thin film and (b) Co-Cr-Ta(5 nm) deposited on Si(5 nm) thin film (scan size: 300 nm).

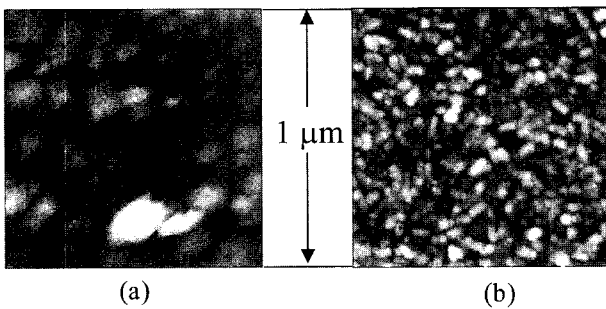


Fig. 3. AFM images of (a) BaM(50 nm)/Pt(10 nm) (b) BaM(50 nm)/Pt(4 nm).

한 표면평탄성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉, SiO₂ 하지층상 박막의 평균 표면거칠기 Ra는 0.43 nm인 반면, Si 하지층상의 박막은 0.2 nm로 표면 평탄성이 크게 개선되었다. 한편, 표면에너지가 막 두께에 비례하는 경향을 나타내는 Pt 하지층상에 막 두께 50 nm의 Ba-ferrite 박막을 증착시킨 후 표면상태변화를 관찰하였다. 보다 낮은 표면에너지를 갖는 막 두께 4 nm의 Pt 하지층상에 Ba-ferrite 박막을 증착시킴에 의해 막 두께 10 nm의 Pt 하지층에 증착시킨 Ba-ferrite 박막과 비교해서 입자크기가 약 75% 미세화 되었다는 것을 그림 3을 통해 알 수 있다. 이 들의 결과로부터 자성막을 낮은 표면에너지를 나타내는 하지층상에 증착시키는 것이 입자크기의 미세화에 매우 유효하다는 것을 알 수 있다. 낮은 표면에너지를 갖는 하지층상에 있어서 이러한 자성막의 입자크기 미세화는, 막형성초기단계에 있어서 핵형성사이트밀도가 높기 때문에 일어난 현상이라고 추측된다. 즉, 막형성초기단계에 있어서 낮은 표면에너지의 하지층에 부착된 입자는 밀도가 높은 핵형성사이트를 실현할 수 있게 되며, 이렇게 형성된 핵형성사이트밀도의 증가는 박막의 입자크기 증대를 크게 억제할 수 있게 된다고 생각된다. 하지층의 표면에너지에 따른 박막형성모델을 그림 4에 나타내었다.

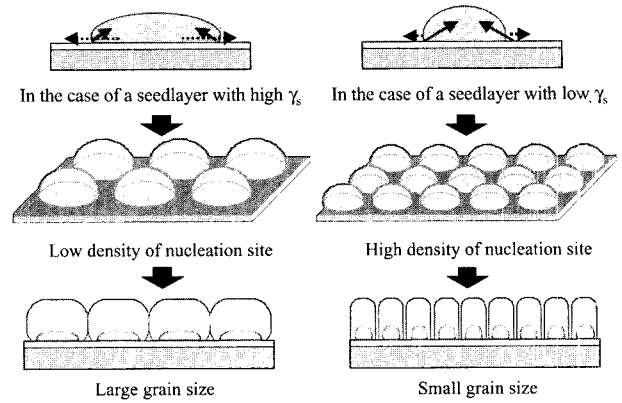


Fig. 4. Model of growth for thin film deposited onto underlayer.

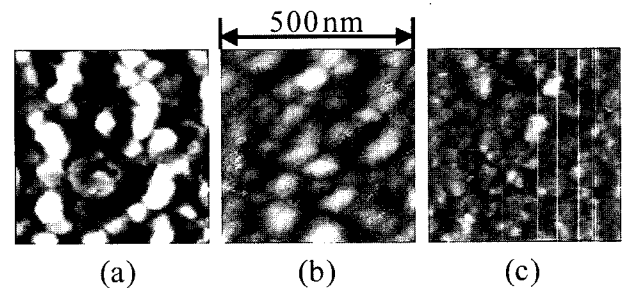


Fig. 5. AFM images of (a) Co-Cr-Ta(50 nm)/Ni-Fe(400 nm) (b) Co-Cr-Ta(50 nm)/[Ni-Fe(65 nm)/Si(5 nm)]₆ (c) Co-Cr-Ta(50 nm)/Ni-Fe-O/[Ni-Fe(65 nm)/Si(5 nm)]₆.

3.3 낮은 표면에너지를 갖는 Ni-Fe-O 박막

수직자기기록매체에 있어서 하지연자성층으로서 널리 검토되고 있는 Ni-Fe 박막과 보다 낮은 표면에너지를 나타내는 Ni-Fe-O 박막상에 Co-Cr-Ta(-Pt) 기록층을 증착시킨 후 입자크기의 변화를 관찰하였다. 그림 5는 Co-Cr-Ta 기록층을 (a) Ni-Fe 단층막상에 직접 증착시킨 경우와 (b) [Ni-Fe/Si]₆ 다층구조의 박막에 증착시킨 경우, (c) [Ni-Fe/Si]₆ 다층막상에 Ni-Fe-O 산화막을 형성시킨 후 그 위에 증착시킨 경우의 표면상태를 나타내고 있다. Ni-Fe 박막을 Si 막을 이용하여 다층구조화함에 의해 Co-Cr-Ta 기록층의 입자크기가 약간 미세화되는 것을 그림을 통해 알 수 있다. 또한, 매우 낮은 표면에너지를 갖는 Ni-Fe-O 하지층상에 증착시킴에 의해 Co-Cr-Ta 기록층의 입자크기가 Ni-Fe-O 산화층이 없을 때와 비교해서 약 50%까지 그 크기가 감소함을 알 수 있다. 더욱이, Ni-Fe-O 중간층이 존재하는 박막을 단면 TEM상으로 관찰해 본 결과, 그림 6과 같이 Co-Cr-Ta-Pt 기록층이 우수한 결정성을 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 이들 결과는 2 nm의 매우 얇은 막 두께를 갖으며, 낮은 표면에너지를

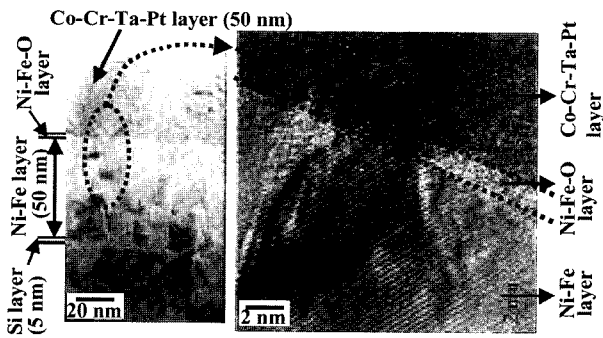


Fig. 6. Cross-sectional TEM images of the Co-Cr-Ta-Pt/Ni-Fe-O/[Ni-Fe(50 nm)/Si(5 nm)]₄ thin film.

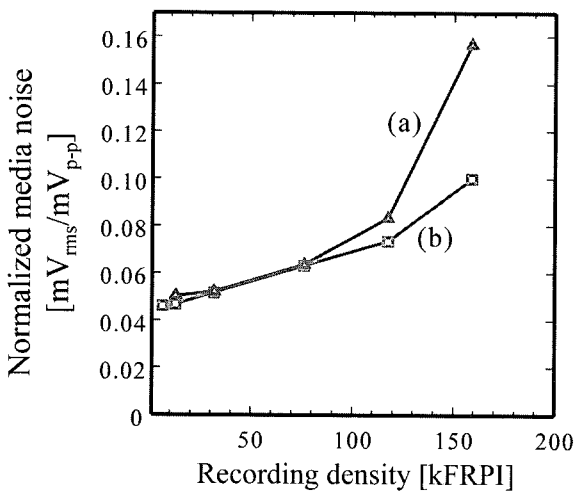


Fig. 7. Dependence of a) Co-Cr-Ta-Pt(50 nm)/[Ni-Fe(65 nm)/Si(5 nm)]₆, (b)Co-Cr-Ta-Pt (50 nm)/Ni-Fe-O/[Ni-Fe(65 nm)/Si(5 nm)]₆ media noise level on linear recording density.

갖는 Ni-Fe-O 하지층이 Co-Cr-Ta-Pt 기록층의 입자 크기 미세화와 더불어 결정성 개선에 매우 유효하다는 것을 말해 주고 있다. 그림 7에 Co-Cr-Ta-Pt/[Ni-Fe/Si]_n의 구조를 갖는 수직자기기록매체와 Co-Cr-Ta-Pt/Ni-Fe-O/[Ni-Fe/Si]_n의 구조를 갖는 수직자

기기록매체의 기록밀도에 의한 노이즈레벨변화를 나타내었다. 노이즈레벨변화를 보면, Ni-Fe-O 박막이 삽입된 기록매체는 고밀도영역에서 보다 낮은 노이즈레벨을 나타내고 있다. 이것은 보다 낮은 표면에너지를 갖는 Ni-Fe-O 층에 증착된 Co-Cr-Ta-Pt 기록층이 입자크기의 미세화됨에 의해 친이영역노이즈 저감에 관련된 결과라 사료된다. 이들 결과로부터, Ni-Fe-O 하지층은 Co-Cr-Ta-Pt 기록층의 입자 크기 미세화에 매우 유효함을 알 수 있다.

4. 결 론

자성층의 입자크기 미세화를 위한 수법으로서 낮은 표면에너지를 갖는 하지층을 이용하는 방법을 검토하였다. 그 결과, 자성층을 보다 낮은 표면에너지를 나타내는 하지층 상에 증착시킴에 의해 입자 크기를 미세화시키는 데 성공하였다. 특히, 낮은 표면에너지를 갖는 Ni-Fe-O 하지층에 의해 Co-Cr-Ta-Pt 기록층의 입자크기의 미세화와 더불어 고밀도 영역에서 노이즈를 감소시키는 데 성공하였다.

참고문헌

1. H. Nakagawa, Y. Honda, A. Kikukawa, K. Tanahashi, A. Ishikawa, M. Futamoto, J. Magn. Magn. Mat., 235 (2001) 73.
2. K. H. Kim, Applied Surface Science, 169-170 (2001) 410.
3. 김경환, Co-Cr(-Ta)/Si 이층막의 자기적 특성, 전기전자재료학회 논문지, 15(3) (2002) 281.
4. 김경환, 대향타겟스퍼터링법에 의한 FBAR용 AZO (ZnO:Al) 박막의 제작, 전기전자재료 학회 논문지, 17 (2004) 422.
5. J. N. Israelachvili, Intermolecular and Surface Forces, Academic Press, London, (1985) 213.