≪연구논문≫ Journal of The Korean Magnetics Society, Volume 12, Number 3, June 2002

보자력 향상을 위한 Ti/CoCrPt박막의 하지층

장평우
청주대학교 물리학과

(2002년 5월 10일 받음, 2002년 6월 10일 최종수정본 받음)

20 nm이하의 얇은 박막에서도 높은 보자력이 요구되는 Ti/CoCrPt 수직자기기록박막의 보자력 향상을 위해 Al, Cu, Ni, Cr, Ag, Mg, Fe, Co, Pd, Au, Pt, Mo, Hf 등의 여러 하지층과 제조조건이 보자력에 미치는 영향을 조사하였다. 이들 중 Ag과 Mg 하지층은 Ti/CoCrPt 박막의 보자력을 향상시켰으며 특히 2 nm Ag 하지층을 사용할 경우 10 nm CoCrPt 박막에서 2200 Oe의 높은 보자력을 보일뿐 아니라 α 값을 낮추는 효과가 있었다. 그러나 Ag를 하지층으로 사용하면 기대와는 달리 Ti(002)면의 우선배향 성장이 전혀 일어나지 않아 보자력 증대에 다른 기구가 작용하는 것으로 판단되었다. 그리고 표면의 거칠기가 큰 기판에서는 보자력뿐만 아니라 역자구생성자계도 감소하였다.

주제어 : 수직자기기록, Ag 하지층, CoCrPt, Ti 하지층, 적층결함

I. 서 론

CoCr합금박막에 대한 연구를 시작으로 수직자기기록매체는 차세대의 고밀도자기기록재료로 사용될 가능성이 높고 50 GB/in^{2}이상의 기록밀도달성이 보고 되고 있으며, 100 GB/in^2 이상의 기록밀도 달성을 위해서는 박막의 두께가 20 nm이하로 됨과 동시에 결정립경도 10 nm이하로 되어야 한다[1,2]. 그러나 이와 같이 박막의 두께가 감소하게 되면 열적요동에 의한 자화열화현상이 커지게 됨과 동시에 보자력 역시 감소하게 되므로 얇은 박막에서 높은 수직이방성과 보자력을 가지는 박막의 개발이 필수적이다.

그러나 박막의 두께가 얇아지는 경우 Co합금박막의 생성초기에 결정배향성이 무질서한 소위 천이층이 생성되어 수직이방성이 급격히 저하되어 기록특성을 현격히 저하시키는 것으로 알려져 있다[3]. 이러한 천이층을 억제하는 방법으로 Ti, Nb, Ge 등 여러 가지 하지층(underlayer)이나 중간층을 사용하는 것이 제안되었다. 이와 같이 하지층을 사용하는 것은 거의 모든 합금박막에 해당하는 일반적인 것으로 FePt규칙합금이나 $[Co/Pd]_n$의 다층박막에서도 MgO[4]나 ITO[5]등을 하지층으로 사용하고 있다. CoCrPt 박막의 대표적인 하지층으로는 $Co_{73}Cr_{27}$[3], Ti[6, 7], C[8], Ti-Cr[9], $CoCr_{35}$/$TiCr_{10}$[10], NiAl [11], Co-Zr[9] 등이 있다.

본 논문에서는 수직자기기록박막으로 널리 연구되어져 온 CoCrPt합금박막을 선정하여 보자력을 향상시키는 연구를 진행하였다. CoCrPt박막은 CoCr이원합금계에 비해 수직이방성이 매우 높아 보자력 역시 크다. 그러나 CoCrPt박막이 높은 수직이방성을 높이기 위해서는 통상 Ti층을 사용하고 있으며 Ti 층을 사용하게 되면 CoCrPt층의 c-축 배향이 향상되어 수직이방성이 커지는 것으로 널리 알려져 있다. 또한 기록층의 미세조직을 조절하기 위한 두 가지 하지층을 사용하는 것도 다층박막에서 널리 사용되어져 온 방법으로 첫 번째 하지층의 역할은 그 위에 생성되는 두 번째 하지층의 미세구조를 조절하는 것으로 통상 첫 번째 하지층의 두께는 10 nm이하로 매우 얇은 것이다.

본 연구에서도 이러한 방법을 사용하여 Ti층의 미세조직을 조절할 수 있는 2 nm정도의 매우 얇은 하지층을 먼저 성장시켜 이 하지층이 보자력에 미치는 영향을 조사하였으며, 하지층으로는 Al, Cu, Ni, Cr, Ag, Mg, Fe, Co, Pd, Au, Pt, Mo, Hf 등의 여러 금속 원소를 사용하였다. 그리고 여기서 얻은 결과를 바탕으로 기록층의 두께가 10, 15 nm 정도로 매우 얇은 수직자기기록매체를 제작하여 그 자기적 특성을 검토하여 100 Gb/in^{2}의 고밀도수직기록매체로서의 가능성을 고찰하였다.

II. 실험 방법

박막은 4인치의 $Co_{78}Cr_{22}$ 합금타겟 위에 Pt조각을 둔 복합타겟과 2인치의 Ti 타겟을 장착한 DC 스파터장치를 이용하였으며, 하지층 타겟으로는 2인치의 Mo, Ag, Mg, Pd, Pt, Hf, Au 타겟과 4인치의 Al, Cu, Ni, Cr, Fe, Co을 사용하였다. 투입전력으로는 기록층은 100 W, Ti층은 300 W이고 기판온도는 400 °C로 고정하였고 초기진공도는 7×10^{-7} torr 이하였다. 기록층의 두께는 10~20 nm, Ti층의 두께는 18, 20 nm이였고, 하지층의 두께는 2 nm로 고정하였고 기판으로는 Corning 7059를 사용하였다. 제작된 박막의 조성은 EPMA로 분석을 한 결과 Pt함량은 약 20 at.% 정도였고, 진동시료형자

*Tel: (043)229-8553, E-mail: pwjang@chongju.ac.kr

력계(VSM)에서 자기적 특성을, x-선 회절장치(2.2, 7 kW)에서 구조분석을 행하였고, 기판과 박막의 표면은 원자력현미경(AFM)으로 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

본 연구에서는 corning 7059 glass를 기판으로 사용하였으며, 이 기판은 Na_2O, Li_2O, K_2O 또는 CaO 원소가 적어 변형점 또는 융점이 높아 고온에서 스파터를 하거나 열처리를 해도 기판의 영향이 적다는 이점이 있다. 따라서 본 연구에서도 20 nm이하의 얇은 박막에서도 높은 보자력을 얻기 위해 400 ℃의 비교적 높은 기판온도에서 스파터를 할 예정이었기 때문에 각기 다른 경로로 입수한 종류의 Corning 7059 기판 A와 B를 사용하였다. CoCrPt계 단층박막에서는 기록층의 이방성을 증대시키기 위해 하지층으로 Ti를 사용하고 있으며 Ti[002] 축의 수직배향이 기록층의 [002] 축의 수직배향을 향상시키기 때문이다. 그림 1은 기판 A에 2 nm의 M=Al, Co, Cu, Ni, Cr, Fe, Ag, Pd, Au의 금속원소를 Ti의 하지층으로 사용한 M/(18 nm) Ti/(20 nm) CoCrPt 박막의 VSM 이력곡선을 나타낸 것이다. 그림 1에서 Ag, Pd, Au의 귀금속원소를 하지층으로 사용한 경우가 보자력이 높고, Co, Cu을 사용하였을 경우가 보자력이 낮게 나타났다. 그림 2는 그림 1과 같은 조건으로 M=Pd, Au, Ti, Pt, Mo, Hf, Mg, Ag를 Ti의 하지층으로 사용해서 기판 B에 스파터한 박막의 VSM 이력곡선을 나타낸 것으로 그림 1과 비교해 보면 보자력과 핵생성자계가 훨씬 큼을 알 수 있다. 그리고 기판 A에서와는 달리 Au와 Pd을 사용한 경우가 보자력이 낮고 Ag와 Mg를 Ti의 하지층으로 사용한 경우가 Ti만 사용한 경우보다 높은 보자력을 나타내었다.

이와 같이 같은 조성의 기판을 사용했음에도 불구하고 특

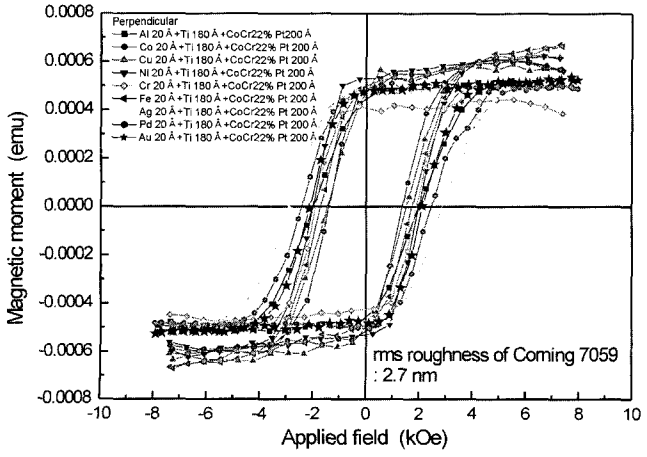

Fig. 1. M-H loops of M/Ti/CoCrPt films sputtered on substrate A.

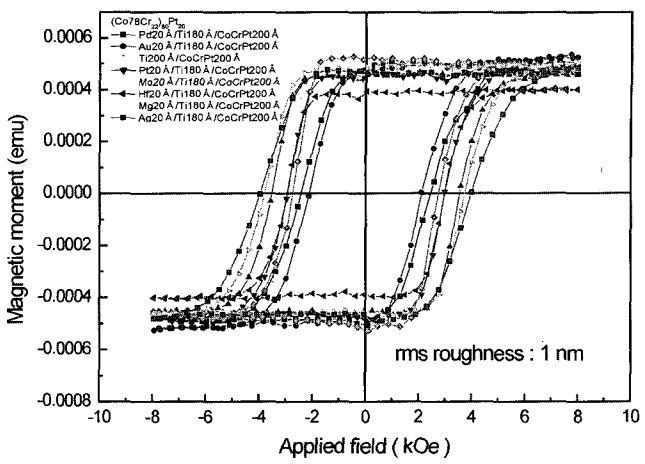

Fig. 2. M-H loops of M/Ti/CoCrPt films sputtered on substrate B.

성이 매우 다른 것을 이해하기 위해 먼저 두 기판의 표면 상태를 원자력현미경으로 관찰한 것이 그림 3으로 기판 A의 RMS 거칠기가 2.7 nm, B의 거칠기는 1.0 nm이었다. 일반적으로 박막은 기판이나 스파터 조건의 영향을 많이 받게 되지만 박막이 두꺼워질수록 표면에너지가 낮은 결정면의 우성성장이 일어나게 되어 스파터조건이나 기판의 영향이 감소하게 된다. 그러나 그림 1, 2, 3에서와 같이 20 nm 정도의 얇은 박막에서는 기판의 거칠기가 결정성장에 매우 큰 영향을 주어 보자력에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 실제 기판 A에 20 nm Ti를 스파터했을 경우 XRD실험에서 (002)회절선의 강도가 매우 약했으나 기판 B를 사용했을 경우에는 비교적 높은 회절 강도를 나타내었다.

표면이 편평한 기판 B의 Ti 하지층 실험결과인 그림 2에서 Mg와 Ag가 높은 보자력을 나타내게 되어 먼저 Ag를 Ti 하지층으로 사용한 2 nm Ag/(18 nm) Ti/(10, 15 nm) CoCrPt 박막을 제작하여 VSM 이력곡선을 그림 4에 나타내었으며, 비교하기 위해(20 nm) Ti/(10, 15 nm) CoCrPt박막의 결과도 동시에 나타내었다. 그림 4에서 Ag 하지층을 사용하지 않았을 경우에 비해 보자력이 훨씬 증가하였음을 알 수 있다. 그림 5는 Ag하지층을 사용하거나 하지 않은 경우 박막의 두께에 따른 보자력과 핵생성자구의 변화를 다시 나타낸 것으로 Ag하지층이 없는 경우 10, 15 nm 두께의 기록층에서 보자력은 1140, 1720 Oe, 핵생성자계는 690, 1380 Oe이었다. Ag 하지층이 있는 경우 보자력은 각각 2220, 3330 Oe, 그리고 핵생성자계는 각각 1540, 1700 Oe로 크게 증가를 함을 알 수 있다. Ag하지층을 사용함으로써 향상되는 것은 보자력이나 핵생성자계만이 아니고 $\alpha(=4\pi(dM/dH)_{Hc})$ 값이 크게 감소한다는 사실이다. α 값이 커지면 입자간의 상호작용이 증대하고, 작아지면 입자가 서로 독립적 자구로 있을 경향이 큼을 의미하므로, 매체의 잡음이 입자간의 상호작용에 기인한다

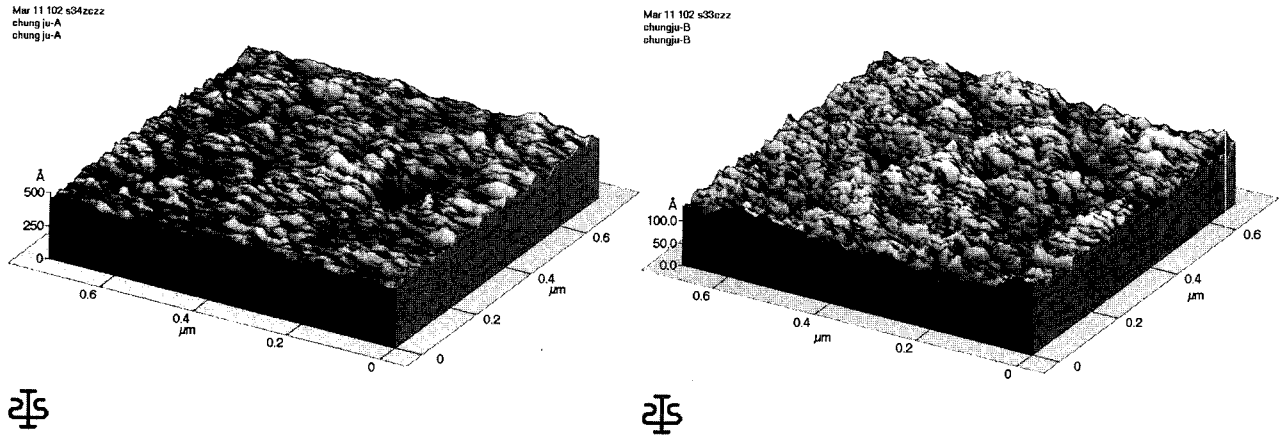

Fig. 3. AFM image of corning 7059 glass (Left (A): rms roughness 2.7 nm, right (B) 1 nm).

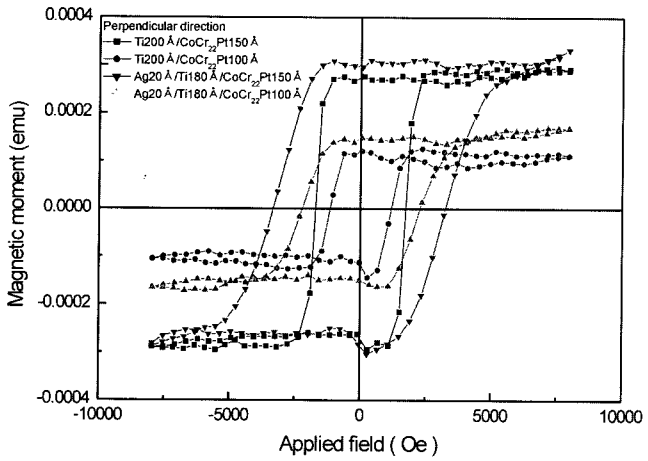

Fig. 4. High coercivity and better properties with 2 nm Ag under layer.

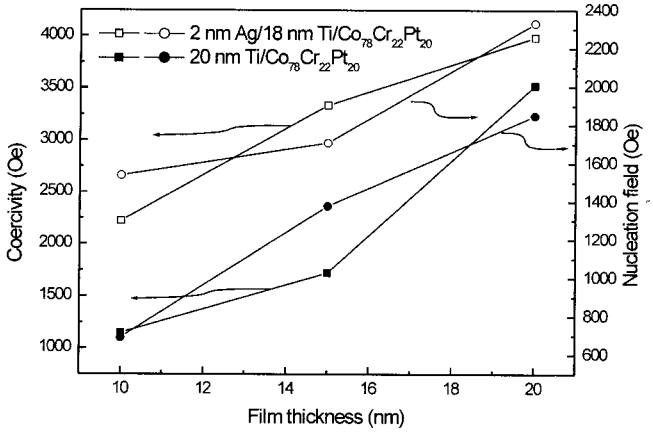

Fig. 5. Coercivity and nucleation field as a function of film thickness.

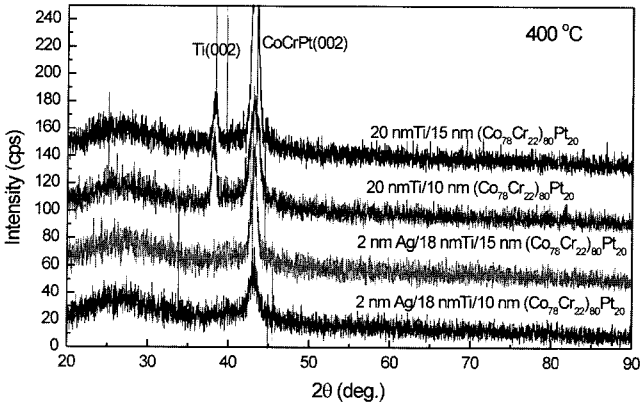

Fig. 6. XRD patterns of Ti/CoCrPt films with or without Ag seed layer.

는 사실을 상기하면 α가 작아진다는 것은 매체의 잡음이 작아진다는 것을 의미한다. 그림 4에서 20 nm Ti만 하지층으로 사용한 경우 기록층의 두께가 10, 15 nm일 경우 α는 각각 4.7, 12이나 2 nm의 Ag을 사용한 경우에는 각각 3.0, 2.7로 크게 감소한다. 이와 같이 보자력이 커짐과 동시에 α가 크게 감소한다는 것은 매우 고무적인 현상으로 Ag가 Ti/CoCrPt의 고밀도수직자기기록매체의 훌륭한 하지층으로 사용되어질 수 있음을 의미한다.

이상에서 Ag가 Ti/CoCrPt의 보자력과 입자간 상호작용을 감소시킬 수 있는 하지층으로 사용될 수 있는 원인을 알아보기 위해 2.2 kW출력의 θ-2θ x-선 회절실험을 행하였으며 그림 6에 그 결과를 나타내었다. 일반적으로 Ti 하지층의 역할은 Ti층의 [002]축이 기판에 수직하게 성장함으로써 그 위에 성장하는 CoCrPt기록층의 c-축 수직배향을 도모함으로써 기록층의 수직이방성을 향상시키는 것이다. 따라서 Ag를 사용함으로써 보자력이 향상되었다는 것은 Ti 하지층의 c-축의 수직배향이 향상됨을 예상할 수 있다. 그러나 예상과는 달리 그림 6에서 Ag을 사용한 경우 Ti층의 (002)면의 회절선이 전혀 나타나고 있지 않았으며, Ti만 사용했을 경우 Ti(002)면과 CoCrPt(002)면의 회절선만 나타나 두 층 모두 매우 강한 c-축 배향을 하고 있음을 알 수 있다. 그리고 CoCrPt층의 (002)회절선의 강도도 Ti만 사용한 경우가 더 큼을 알 수 있

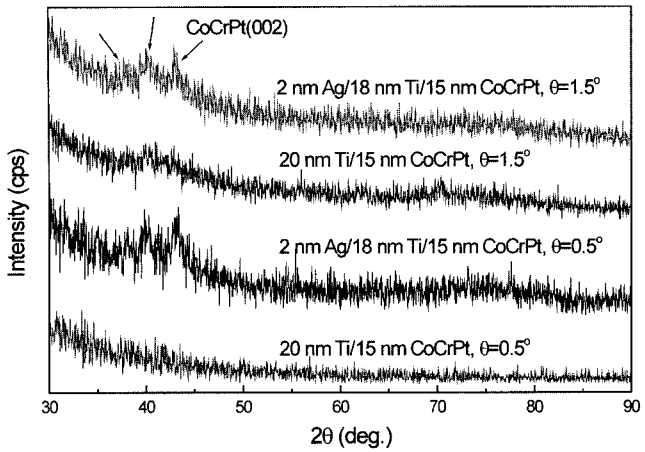

Fig. 7. XRD patterns of Ag/Ti/CoCrPt film scanned at a fixed angle of 0.5 and 1.5°.

다. 이러한 결과는 지금까지 알려져 있었던 CoCrPt층의 하지층으로서 Ti층의 일반적인 기대에 반하는 것이다.

Ag를 하지층으로 사용하였을 경우 Ti층의 구조를 이해하기 위해 다양한 x-선 분석을 행하였으며 첫 번째 방법으로 7 kW의 고출력 XRD를 사용해서 θ-2θ x-선 회절시험을 하였으나 마찬가지로 Ti 회절선을 검출하지 못하였다. 두 번째로는 θ를 0.5 또는 1.5°로 고정시키고 2θ를 30°에서 90°까지 측정하였으며 그 결과를 그림 7에 나타내었으며, 비교를 위해 Ag하지층을 사용하지 않은 박막의 결과도 같이 표시하였다. 그림 7에서 약한 회절선이 38, 40 그리고 43.1°에서 검출되었다. 43.1° 회절선은 CoCrPt의 (002)면의 회절선이 분명하나, 38°회절선은 Ti(002)에 해당하는 것으로 판단된다. 그리고 43° 근처의 회절선은 CoCrPt (101)회절선 또는 Ti((101) 회절선에 해당하는 것이나 CoCrPt(101)에 더 가까운 것으로 판단되나 앞으로의 정확한 분석이 더 필요하다. 이상의 결과에서 Ti층은 거의 무질서 방위에 가깝게 성장하고 또 CoCrPt층도 c-축의 수직배향이 오히려 악화되는 것을 확인할 수 있었으며 이러한 것은 15 nm CoCrPt박막의 수평방향 자기이력곡선의 원점근처의 자화값의 점프가 일어나 소위 천이층을 검출함으로써도 확인할 수 있었다. 또한 그림 6에서의 Ag 하지층을 사용한 경우 기록층의 입경을 비교하기 위해 CoCrPt의 회절선으로부터 입경을 비교하기 위해 반가폭을 측정하였는데, 기록층의 두께가 10 nm와 15 nm일 경우 반가폭이 각각 1.25, 0.9°로 Ag하지층이 기록층의 입경에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

Ti (002) 우선배향이 되지 않아도 CoCrPt층의 보자력이 증가하는 원인 그리고 α 값이 감소하는 원인에 대해 현재까지의 실험결과로는 정확히 규명할 수는 없으나 다음의 기구들을 생각할 수 있다. 첫 째 하지층으로 사용한 2 nm의 Ag층이 기판의 거칠기를 줄여 Ti층과 계속되는 CoCrPt층을 더욱 편평하게 한 가능성이 있다. 그러나 Ag를 사용한 박막과 사용하지 않은 박막의 AFM 거칠기는 거의 차이가 없었으며 오히려 Ag를 사용하지 않은 경우가 더 낮은 rms거칠기를 가지고 있는 경우도 있어 Ag가 기판을 편평하게 하는 효과는 무시할 수 있다고 판단된다. 두 번째 가능성으로는 Ag 하지층이 Ti(002)면의 우선성장을 억제하여 Ti(002)면과 CoCrPt (002)면간의 직접적인 에피택시성장이 억제되고 대신 Ti의 다른 면과 CoCrPt(002)면간의 에피택시 성장이 일어나는 경우로 이렇게 될 경우 CoCrPt층에 상당한 잔류응력으로 남게 되고 이로 인해 보자력의 증가를 가져 올 수 있다. 그러나 XRD 실험 결과 오차범위안에서 회절각의 변화를 검지할 수 없어 이 가능성 또한 희박한 것으로 판단된다. 또 다른 가능성은 무질서방위의 Ti층과 (002) 우선배향을 한 Ti층에서 Ti 원자의 CoCrPt층으로의 확산정도가 달라져 CoCrPt층의 자기적 특성에 영향을 줄 수 있으나 가능성이 낮다.

다른 가능성으로는 Ti의 (002) 배향성이 향상될수록 적층결함(stacking fault), 즉 CoCrPt 면심입방정이 생성되기가 용이해질 수 있다는 것이다. 특히 이 적층결함은 수직이방성을 감소시키는데 제조방법에 따라 밀도와 분포가 달라지며 10 nm 이내에 많이 집중되어있음이 투과전자현미경실험에서 관찰된다[12,13]. CoCrPt박막에서 육방정의 basal plane과 면심입방정의 (111)면은 원자 적층순서가 약간 달라진 경우이므로 박막성장과정에서 island형태의 성장을 벗어나 원자층이 층층이 쌓여지는 박막 성장과정에서는 육방정 basal plane의 수직방향으로의 성장이 용이할수록 면심입방정이 생성되는 확률이 더 높아질 가능성이 있을 수 있다. 반대로 (002)면이 아닌 다른 면이 성장하게 되어 적층결함의 생성이 억제된다면 오히려 보자력 등의 증가를 가져올 수 있다. 실제로 기판으로부터의 거리에 따라 적층결함의 밀도가 변하며, 특히 3 nm이내의 영역에서는 적층결함의 밀도가 오히려 감소하고 있음이 관찰되는데, 이 영역은 결정배향이 무질서한 영역이다[13]. CoCr계에서 통상의 XRD실험으로 면심입방정으로 판단되는 회절선을 검지하였다는 보고도 있으며[14], 박막성장기구와 함께 적층결함을 좀 더 쉽게 정량적으로 분석할 수 있는 앞으로의 연구가 필요하다.

IV. 결 론

Ag, Mg, Au, Pt등의 여러 원소들을 Ti/CoCrPt수직자기기록매체의 하지층으로 사용하여 보자력을 중심으로 한 자기적 특성을 조사하였다. Coring 7059의 기판의 표면이 거칠수록 보자력과 핵생성자계는 낮아졌으며 Ti(002) 면의 성장이 억제되었다. Ti/CoCrPt의 여러 하지층 중에서 Ag와 Mg가 보

자력과 핵생성자계를 향상시켰으며 특히 Ag를 사용한 경우 보자력과 함께 α도 향상되어 CoCrPt의 두께가 10 nm에서도 2220 Oe의 높은 보자력과 4.7 정도의 낮은 α 값을 가지고 있었다. 그러나 Ag를 사용하면 Ti(002) 성장이 오히려 억제되어 CoCrPt층의 c-축 수직배향이 악화되었다. 이는 하지층과 기록층의 배향성 향상을 통해 기록층의 보자력이 증가하지 않을 수 있음을 의미하는 것으로, 그 원인으로 적층결함으로 인해 국부적으로 많은 면심입방정이 생성될 수 있는 가능성을 배제할 수 없었다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부 극미세구조기술개발사업단의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] H. Takano, Y. Nishida, A. Kuroda, H. Sawaguchi, T. Kawabe, A. Ishikawa, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura and K. Ouchi, Abstracts of the 8th Joint MMM-Intermag conference, CA-01(2001).

[2] N. Y. Park, AIT-MINT 2001 workshop on Magnetic Information Storage Technology, I5(2001).

[3] P. W. Jang, Ph.D thesis, Seoul National University, Korea, 1991

[4] S. Jeong, M. E. McHenry and D. E. Laughlin, IEEE Trans. **37**(4), 1309(2001).

[5] W. Peng, R. H. Victora and J. H. Judy, IEEE Trans. **37**(4), 1577(2001).

[6] N. Honda, S. Yanase K. Ouchi and S. Iwasaki, J. Appl. Phys., **79**(8), 5362(1996).

[7] Y. Matsuda, M. Suzuki, Y. Hirayama, Y. Honda and M. Futamoto, J. Mag. Soc. Jpn., **18**, S1, 99(1994).

[8] T. Onoue, A. Takizawa, T. Asahi and T. Osaka, J. Appl. Phys., **88**(11) 6645(2000).

[9] I. S. Lee, H. Ryu, H. J. Lee and T. D. Lee, J. Appl. Phys., **85**(8), 6133(1999).

[10] Y. Hirayama, M. Futamoto, K. Ito, Y. Honda and Y. Murayama, IEEE Trans. **33**(1), 996(1997).

[11] Y. Ikeda, Y. Sonobe, G. Zeltzer, B. K. Yen, H. Do, E. E. Fullerton and P. Rice, IEEE Trans. **37**(4), 1583(2001).

[12] B. Bian, W. Yang, D. E. Laughlin and D. N. Lambeth, IEEE Trans. **37**(4), 1456(2001).

[13] Y. Hosoe, K. Tanabashi, Y. Takahashi, H. Nakagawa and A. Kikukawa, 日本應用磁氣學會, 弟 124回 研究會資料, 25(2002).

[14] H. Uwazumi, T. Shimatsu, M. Terakawa, Y. Sakai, S. Takenoiri, S. Watanabe, H. Muraoka and Y. Nakamura, J. Magn. Soc. Jpn, **26**(4), 205(2002).

Underlayer for Coercivity Enhancement of Ti/CoCrPt Thin Films

Pyungwoo Jang

Department of physics, Chongju university, Cheongju 360-764, Korea

(Received 10 May, in final form 10 June 2002)

Sputtering conditions and various underlayer such as Al, Cu, Ni, Cr, Ag, Mg, Fe, Co, Pd, Au, Pt, Mo and Hf were investigated for coercivity enhancement of 20 nm Ti/CoCrPt thin films in order to increase the coercivity of the films thinner than 20 nm. Among them, Ag and Mg were effective to increase the coercivity. Particularly 2 nm Ag was very effective to increase the coercivity and nucleation field as well as to reduce α value in CoCrPt thin film such that the coercivity of 2 nm Ag/18 nm Ti/10 nm CoCrPt film was 2200 Oe. However, it seemed that other coercivity enhancement mechanism operated in CoCrPt films because Ti (002) preferred texture was not developed with Ag underlayer contrary to a general expectation. And the coercivity and nucleation field were decreased when glass substrate with rougher surface was used.

Key words : perpendicular recording, Ag underlayer, CoCrPt thin film, Ti underlayer, stacking fault