

## CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub> 합금박막의 Ti 우선증착에 따른 자기적 특성과 자구형상변화

이인선, 김동원\*

인하대학교 기초과학연구소, 인천, 402-751

\*경기대학교 재료공학과, 수원, 440-760

(1999년 7월 21일 접수)

## Magnetic properties and the shapes of magnetic domain for CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub> alloy films with the prior deposition of Ti layer

In-Seon Lee and Dong-Won Kim\*

*Institute of Basic Science, Inha University, Incheon 402-751, Korea*

*\*Department of Materials Science and Engineering, Kyonggi Univ., Suwon 440-760, Korea*

(Received July 21, 1999)

**요 약** 수직보자력이 크고 CoCrPt에 비하여 noise 저감 효과가 큰 것으로 알려진 CoCrPtTa계 합금박막의 수직이방성을 더욱 개선하기 위해 Ti를 우선 증착하였다. 본 연구에서는 Ti 두께 변화에 따른 비교적 높은 수직보자력치를 보였던 CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti/glass 시편에서 자기적 특성과 자구형상의 변화를 살펴보았다. 또한 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)을 이용하여 M-H loop를 측정하였으며 자구형상은 MFM(Magnetic Force Microscopy)으로 관찰하였다. 육방정 Ti가 하지층으로서 우선증착되면 bare glass에 직접 증착되는 경우보다 CoCrPtTa 자성층의 수직이방성에 현저한 향상을 가져왔으며 Ti의 두께가 두꺼울수록 c-축 배향성도 개선되었다. MFM 결과에 의하면 Ti 두께가 20 nm에서 90 nm로 증가함에 따라 자구형상이 연속적인 stripe type에서 mass type으로 분절된 형태로 변화하였다. 이는 Ti의 증착이 비자성 Cr 편석 거동에 영향을 미쳐 자화반전시 인접 columnar grain의 자화벡터들간의 상호교환작용을 억제하는 자기적 분리 효과에 기여했음을 의미한다. 아울러 이와 같은 거동은 Ti가 CoCr계 자성층의 수직이방성을 개선하는데 있어서 형상자기이방성적인 측면에서의 기여가 현저함을 의미하기도 한다.

**Abstract** A quaternary alloy film of CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub> was investigated for its magnetic properties and c-axis orientation with and without Ti underlayer. Additional elements such as Ta, Pt have been frequently introduced in CoCr alloy film for perpendicular recording as a means of improving magnetic performance. It has been reported that the addition of Pt and Ta in CoCr increase the coercivity and the magnetic isolation of columnar grains, respectively. However, CoCrPtTa perpendicular magnetic layer should be more increased its perpendicular magnetic anisotropy than at present for the application of ultrahigh recording density. The improvement of underlayers and substrate materials is one of the promised schemes to intensify the perpendicular magnetic anisotropy. In this study, the insertion of Ti underlayer shows the remarkable improvement of c-axis orientation compare with the direct deposition on the bare glass. The mechanism about this effect of Ti underlayer on CoCrPtTa is not to be clarified yet. Meanwhile, it is found that the magnetic domain of CoCrPtTa on 20 nm Ti underlayer has the continuous stripe pattern but the one of CoCrPtTa on 90 nm Ti underlayer shows the discrete mass type from the results of MFM investigation. This phenomenon is to be a distinct evidence that the improvement of perpendicular anisotropy by the adoption of Ti underlayer is originated from the reinforcement of the grain boundary segregation in CoCrPtTa alloy. Moreover, the transition of the M-H hysteresis pattern with the thickness of Ti underlayer indicates that the major contribution of Ti underlayer is not the magnetocrystalline anisotropy but the shape anisotropy due to the formation of uniform columnar grains by the nonmagnetic alloy segregation.

### 1. 서 론

CoCr계 합금박막은 고밀도 자기기록이 가능한 기록매체

로서 많은 연구대상이 되어왔다. 박막제조조건에 따라 입내 및 입계에 Cr 편석이 발생하여 자기적 특성에 큰 영향을 끼치는데 특히 자기적 분리 효과와[1] 밀접한 관계가 있는

것으로 알려져 있다. 이와같은 자기기록 매체에 있어서는 고밀도 기록과 관련하여 고보자력 효과와 함께 저noise 효과가 동반되어야 하는데 종래 2원계 CoCr 합금 박막만으로는 3000 Oe 이상의 보자력을 얻기 어려웠다. 따라서 이를 해결하고자 3원계 CoCrM(M = alloy element)에 대한 연구가 많이 진행되었는데 가장 많이 연구된 것이 CoCrTa계와 CoCrPt계 합금 박막이다. CoCrTa계는 Ta를 첨가함에 따라 기존의 2원계 CoCr 합금박막에 비하여 보자력이 어느정도 상승하는데 이효과 보다는 매체의 저noise화 효과를 증진시키기 위함을 목적으로 하고 있다. Pt를 첨가하는 경우에는 결정자기이방성 기여에 의해 보자력 증가가 현저하지만 매체의 기록 및 재생시 noise가 증가하는 단점이 있는 것으로 알려져 있다[2]. 이를 개선하기 위하여 최근까지 CoCrTa 이외에도 Zr, Nb과 같은 제3원소로 대체하거나 CoCrPt에 Ta과 Nb을 제4, 제5원소로서 첨가하는 연구가 활발히 진행되었다[3, 4, 5]. 한편 수직자기 기록매체에서는 c-축 방향으로의 결정배향성을 향상시키기 위해서 Ge, Ti 같은 하지층의 우선 증착을 통하여 자성층의 수직이방성과 수직보자력을 향상시키는 연구도 시도되어 왔다[6, 7].

본 연구에서도 앞서 언급한대로 보자력치가 높은 CoCrPt 합금박막에 Ta를 첨가하여 noise 저감 효과가 있을 것으로 기대되는 CoCrPtTa/Ti 4원계 합금 박막을 선택하였다. 연구결과 Pt와 Ta의 첨가 함량이 각각 10.8 at%와 4 at% 일 때 수직보자력치는 Ti 두께에 따라 2300~3700 Oe의 범위를 보이고 유효이방성자계( $Hk^{eff}$ )도 거의 동일한 경향을 보이는 것을 확인하였다. CoCrPt와 CoCrTa 3원계 수직박막에 대한 이전 연구결과에서도 Pt와 Ta의 최적 첨가분율은 각각 8~12 at% 및 4 at%의 수준을 보여주었다. 하지층의 경우 CoCr계 기록매체에 있어서 수평방식에는 Cr이 주로 사용되고 있으나 수직의 경우는 최근에 이르러 Ti를 주로 활용하고 있다. Ti는 자성박막의 random orientation의 초기 천이층의 성장을 억제시키는 작용을 하여 columnar 자성박막의 수직이방성을 향상시키는데, 일부의 연구에 의하면 이러한 Ti의 효과가 결정자기이방성에 의한것인지 아니면 형상자기이방성에 의한것인지 논란의 여지를 남겼다[8, 9]. 따라서 이와같은 연구배경하에 고보자력의 자기적 특성을 보이는 CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti 합금박막에서 Ti 하지층의 두께를 변화시켜 자성층의 자기적 특성을 조사하였으며 이외에도 수직배향성( $\Delta\theta_{50}$ )과 AC-erased 상태에서의 자구 형상의 변화를 MFM을 통하여 조사하여 보았다. 이로부터 Ti 두께변화에 따른 M-H loop 형상 변화와, 또 이러한 자기적 특성과 관련된 자구 형상의 변화를 통하여 Ti 하지층의 CoCrPtTa 자성층에 대한 수직이방성 개선 mechanism의 주된 기여인자가 무엇인지를 규명코자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 박막 증착조건

박막 제조를 위한 sputtering 장비에는 DC magnetron sputter를 사용하였다. Target은 99.9% 순도의  $\phi 4$  inch 인 Co<sub>81</sub>Cr<sub>19</sub> 합금 Target을 이용하였으며 4원계 박막의 증착시에는 이 CoCr target위에  $0.5 \times 0.5 \times 0.1$  cm 크기의 Ta과 Pt chip을 얹어서 성분을 조절하는 composit target 방식을 취하였다. 기판은 유리기판(corning 2948)으로서 초음파 세척 후 사용하였다. Sputtering 시 가해진 전력은 200 watt였으며 sputter를 위한 base pressure는  $1.0 \times 10^{-6}$  torr를 유지하였다. sputter pressure(Ar gas)는 3 mtorr를 유지하였으며 증착시 기판의 온도를 240°C로 일정하게 하였다. 수직이방성을 개선하기위한 Ti 하지층은 20 nm, 50 nm, 70 nm, 90 nm 두께로 각각 우선 증착하고 각 Ti 하지층에 대하여 연이어서 모든 4원계 자성합금 박막을 60 nm 두께로 증착시켜 CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti 이층막을 제작하였다.

### 2.2. 박막의 분석 및 특성평가

자성박막의 두께는 시편에 단차를 만든 후 이 단차를 탐침법(stylus method)으로 측정하였다. 시편의 함량은 ICP(Inductive Coupled Plasma) spectrometer로 분석되어졌다. 각 박막의 자기적인 특성은 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)을 이용하여 자기력곡선을 구하고 이로부터 수평·수직보자력(Hc), 유효이방성자계( $Hk^{eff}$ ) 등을 구하였다. 아울러 XRD(X-ray Diffraction) 분석을 통하여 각 시편의 rocking curve를 얻은후 이로부터 c-축 배향성의 척도가 되는  $\Delta\theta_{50}$ 를 구하였다. 최종적으로 MFM(Magnetic Force Microscopy)을 이용하여 Ti 두께차에 따른 자성층의 자구관찰을 행하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1. Ti 두께에 따른 c-축 배향성과 자기적 특성

Fig. 1은 Ti 두께 변화에 따른 수평 및 수직보자력의 변화를 나타낸 그림이다. 우선 수직보자력은 유리기판에 자성층이 직접 증착되었을때보다 Ti층 위에 증착되었을때가 현저히 증가된 것을 알 수 있다. 전반적으로 Ti 하지층이 두꺼워 질수록 자성층의 수직이방성은 향상되었고 특히 Ti층이 없을때는 VSM을 통한 M-H loop로부터 수직화 현상도 잘 이뤄지지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 이후 Ti

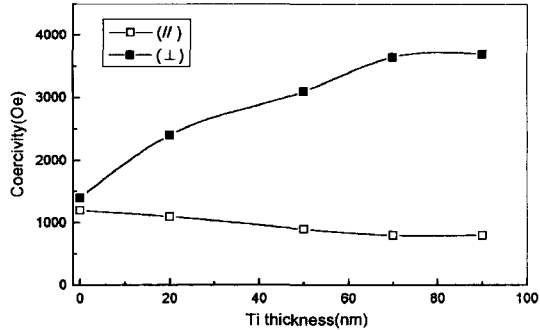


Fig. 1. Variations of coercivity in CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti with Ti thickness.

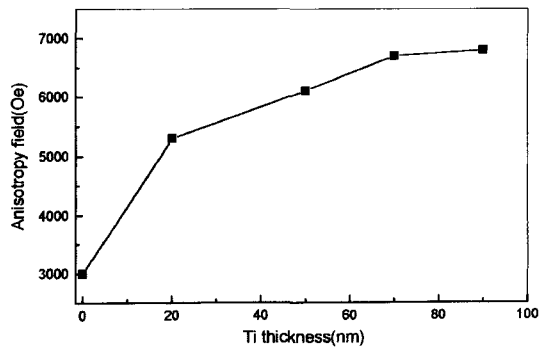


Fig. 2. Variations of effective anisotropy field in CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti with Ti thickness.

의 두께가 200 Å에서 900 Å까지 증가함에 따라 수직보자력도 3700 Oe까지 증가하는 양상을 보여주고 있다. 그러나 수평보자력은 약간 줄어들기는 했으나 1000 Oe의 수준으로 큰 변화를 보여주고 있지는 않았다.

Fig. 2는 역시 Ti 두께를 변화시키에 따른 유효이방성자계(Hk<sup>eff</sup>)의 추이를 보여준 그림이다. 이 그림에 의하면 수직보자력의 경향과 거의 비슷한 모습을 보여주고 있는데 이는 수직자기이방성이 수직보자력의 증가에 기여하고 있다는 현상적 증거가 된다. Hk<sup>eff</sup> 역시 Ti 두께가 700 Å 이상에서 포화치를 보여주고 있는데 수직이방성 자계의 값이 크다는 것은 그만큼 수직자화가 되어있는 자화벡터의 방향이 수평배열을 이루기가 어렵다는 의미로서 CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti(700 Å 이상) 합금박에서는 기존의 3원계 보다는 외부 환경변화에도 수직자기기록매체로서 보다 우수한 안정성을 갖는다는 의미가 된다.

Fig. 3은 Ti 두께에 따른 자성박막의 (00.2) 면에 대한 c-축배향성(ΔΘ<sub>50</sub>)의 변화를 도시한 그림으로서 앞서 언급한 수직이방성의 향상 요인을 Ti 하지층에 epitaxy 성장을 하는 CoCrPtTa의 c-축 방향으로의 결정배향성을 검토함으로써 얻은 결과이다. 그림에 의하면 ΔΘ<sub>50</sub>은 Ti 없이 직접

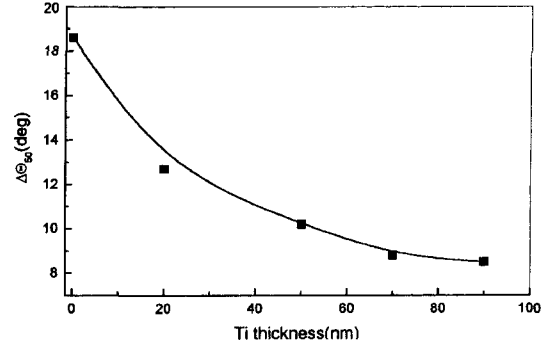


Fig. 3. Variations of c-axis alignment in CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti with Ti thickness.

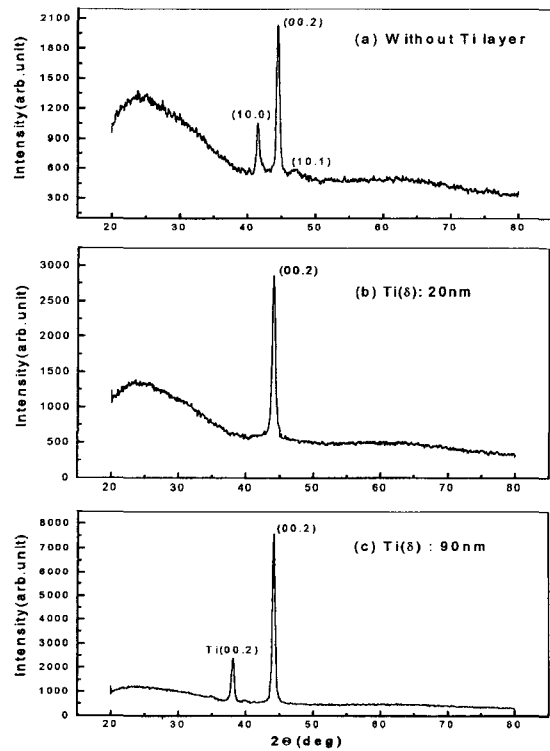


Fig. 4. XRD spectra of CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti with Ti thickness.

bare glass에 자성층을 증착시켰을 경우 측정이 어려울 정도로 XRD에 의한 rocking curve의 형상이 broad하였다. 그러나 Ti가 200 Å 이상 증착되기만 하면 자성층의 ΔΘ<sub>50</sub>은 괄목할 정도로 작아졌고 Ti가 70 nm 이상의 두께에서는 8~9° 정도의 일정치를 보여주는 경향을 띠었다. ΔΘ<sub>50</sub>가 감소한다는 것은 rocking curve의 반폭이 그만큼 좁아졌다는 것으로 본 연구에서는 Ti 두께 증가에 따라 (00.2) basal 면을 갖는 CoCrPtTa 자성층의 columnar grain들의

c-축배향성이 향상되었다는 뜻을 의미한다. 그러나 Ti가 하 지층으로 작용한다해도 전체적으로  $\Delta\Theta_{50}$ 가 평균적으로  $10^\circ$  정도에 분포하고 있으며 Ti 두께를 900 Å 이상으로 증가 시켜도 더 이상 c-축배향성의 향상은 없었다.

한편, Fig. 4의 XRD 결과에서 보듯이 Ti가 우선 증착 되었을때와 그렇지 않은 경우를 관찰해보면 20 nm로 얇게 우선증착 되었을 때도 자성층인 CoCrPtTa층의 (00.2) peak 가 매우 예리하고 명확할 뿐만 아니라,  $\Delta\Theta_{50}$ 가 점차 적어 져서 일정치를 보이는 900 Å의 경우에는 Ti (00.2) peak 도 보이고 자성층의 (00.2) peak는 그 강도가 더욱 증가 한 것을 알 수 있다.

CoCr계 수직자성박막에 대한 Ti층의 기여는 서론부에서 도 언급하였듯이 결정자기이방성과 형상자기이방성의 기여의 두가지 측면에서 고찰되어 왔다. 먼저 결정자기 이방성의 기여측면에서 고찰하여보면 육방정인 Ti층 위로 역시 육방 정인 CoCr계 자성층이 epitaxy 성장을 하여 c-축 배향성 을 향상시키고 이러한 결정자기이방성의 기여로 수직보자력 도 증가하게 된다는 것이다. 그러나 또 한편에서는 Ti로 말미암아 CoCr계 박막의 비자성 Cr 편석 거동과 함께 Co의 columnar 구조의 형상변화로부터 야기되는 형상자기 이방성의 기여가 수직이방성 및 수직보자력의 증가 원인인 것으로 주장되어 왔다[9]. 현재까지의 연구결과로는 어느쪽 의 기여가 압도적인지는 판명되지 않았으나 Ti와 Co간의 lattice parameter 차이에도 불구하고 성립되는 epitaxy 성장과 함께, c-축 배향성과 관련한 결정자기 이방성의 기 구가 우세한 것으로 간주되어 왔다. 그러나 여기에는 Ti와 Co 합금간의 lattice parameter에 대한 misfit이 15% 이상인 점을 미루어볼 때, 일반적으로 결정자기이방성의 기 여가 우세하다고 하는 해석에 의문이 남게된다. 따라서 Ti 하지층이 계면부에 대한 초기 자성층의 비자성 첨가원소의 편석 거동에 영향을 미치는 방식과 정도를 확인함으로써, CoCr계 합금박막층에 대한 Ti 하지층의 수직이방성 향상에 대한 형상자기이방성 측면에서의 기여도를 조사하는것도 가 치있는 연구가 될 것으로 생각된다. 다음절에서는 자구 (magnetic domain)형상을 중심으로 이에 대하여 살펴 보 았다.

### 3.2. Ti 두께에 따른 자구(magnetic domain) 형상 변화

Fig. 5는 Ti 하지층을 20 nm 정도로 얇게 증착한 경우 와 이에 상대적으로 두껍게 90 nm로 증착한 경우에 있어 서 M-H loop의 형상을 보여준 그림이다. 그림에 의하면 Ti 하지층이 20 nm로 얇은 경우는 90 nm일때에 비하여 수직보자력도 작고 특히 M-H loop의 형상면에 있어서 중 앙 부분이 기울기가 급하고 약간 오목한 모습을 보이는데 이는 얇은 Ti 하지층 위에서는 자성층의 성막과정시 비자

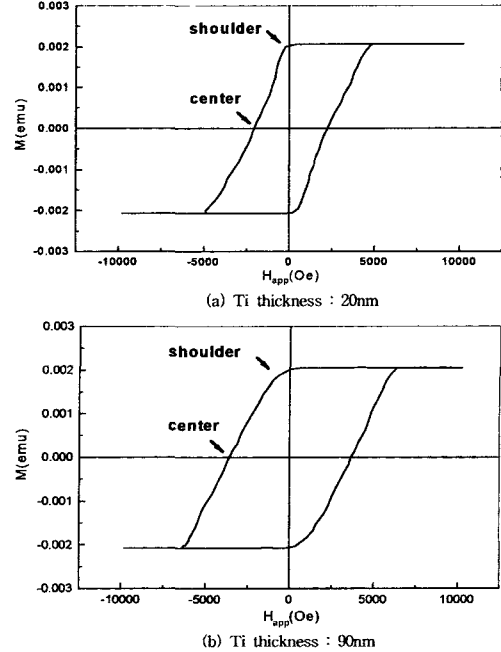


Fig. 5. Shapes of M-H loop in  $\text{CoCr}_{16.2}\text{Pt}_{10.8}\text{Ta}_4/\text{Ti}$  with two other Ti thickness.

성 원소인 Cr이나 첨가원소의 편석이 효과적이지 못했음을 시사해주고 있는 현상이다. 또한 M-H loop에 있어서 Ti 90 nm에 비하여 shoulder 부분도 상대적으로 모가 난 형 상을 하고 있는데 이는 자화반전 거동시 domain wall motion mode가 우세하고 초기상태의 자구의 형상도 stripe type인 경우가 대부분이다. 상대적으로 Ti 두께가 90 nm로 두꺼운 경우는 M-H loop의 형상이 shoulder 부에 있어 서 보다 부드러운 전이를 보여주며 중심부(center)도 완만 한(flat) 경사를 보이고 있다. 이는 자화반전 거동이 do main wall motion 보다는 nucleation dominant spin rotation mode에 지배된다는 것을 의미한다. 이럴 경우 초기 탈자상태의 CoCr계 자성층에서는 자구의 형태면에서 서로 다른 양상을 보이게 되는데 이로부터 직접적으로 비 자성 원소들의 편석 거동의 변화 정도를 추단할 수 있게된 다. 이러한 현상은 과거 CoCr계 수직박막 연구에 있어서 온도 나 Cr 함량, 제3첨가원소에 따라서도 양상이 크게 틀려지는데[10, 11] 본 연구에서는 Ti 두께에 차이에 의해 서도 형상 차이가 있음을 알 수있었다. 따라서 이와 같은 점을 확인하기 위하여 MFM을 통해서 직접적으로 하지층 Ti 두께차에 의한  $\text{CoCr}_{16.2}\text{Pt}_{10.8}\text{Ta}_4$  자성층의 자구 관찰을 실시하였다.

Fig. 6은  $\text{CoCr}_{16.2}\text{Pt}_{10.8}\text{Ta}_4/\text{Ti}$ 에 있어서 Ti 두께가 20 nm인 경우와 이에 비하여 수직보자력과 수직이방성자계 값 이 현저히 큰 90 nm 두께의 Ti를 우선 증착시킨 시편들

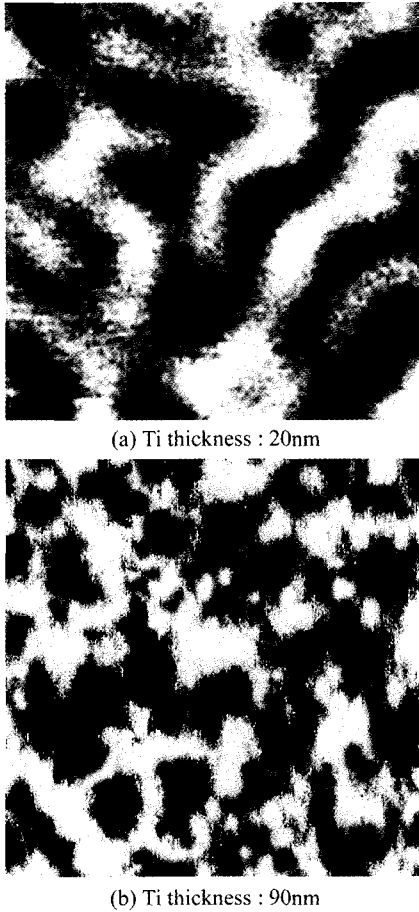


Fig. 6. Shapes of magnetic domain in CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti with two other Ti thickness (image size 1  $\mu\text{m}$   $\times$  1  $\mu\text{m}$ ).

간의 자구 양상의 차이를 나타낸 그림이다. Ti 두께가 20 nm로 얇은 경우는 90 nm의 두꺼운 경우에 비하여 자구가 stripe type에 가까운 형상을 하고 있으며, 이에 비하여 Ti 두께가 90 nm로 증가했을 때는 자구의 형태가 일부 구형에 가까운 패턴을 보이는 등 전체적으로 분절된 덩어리(mass)양상을 보여주고 있음을 알 수 있다. 자구의 형상이 분절되었다는 것은 CoCrPtTa 자성층에 있어서 비자성의 원소들이 그만큼 columnar 입계로 편석이 심화되었다는 증거가 되며, 또한 columnar grain들간의 자기적인 분리가 그만큼 잘 이루어져서 고밀도 기록시 야기되기 쉬운 자화 비트들간의 상호교환작용(exchange coupling)을 억제하게 되어 매체noise를 저감시키는 역할도 하게 된다는 뜻도 된다. 그러나 여기서 주목하는바는 MFM 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 하지층 Ti가 적절한 두께 이상(70 nm 이상)으로 증착되고 연이어 CoCr계 자성층이 증착될 때 Ti는 동일한 육방정의 CoCr계 자성층에 epitaxy

성장뿐만 아니라 초기 천이층의 Cr을 포함한 비자성원소들의 편석 거동에도 영향을 준다는 것이다.

결국 Ti를 우선증착 시킴으로 해서 초기천이층의 생성을 최대한 억제하고 이어 성장되는 columnar grain 사이로 입계편석을 활성화시켜 columnar grain의 aspect ratio에 변화를 주게되는데 이 점이 자성층의 수직이방성 향상에 있어서 Ti의 우선증착이 결정자기이방성뿐만 아니라 형상자기이방성 측면에서도 상당한 기여를 하고 있음을 말해주고 있다. 그러나 현재 구체적으로 Ti가 CoCr계 합금박막의 초기 증착시 형상자기이방성 기여도의 근간이되는 입계편석 거동에는 어떤 기구를 통하여 영향을 끼치는지는 알 수 없었다. 이에 대한 연구는 자성매체뿐만 아니라 계면에서의 epitaxy 성장을 취급하는 분야에서도 관심있는 연구사항으로 in-situ 방식에 의한 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

대표적인 수직자기기록매체로서 연구 되어온 CoCr 합금박막에 2~4 at% Ta과 8~12 at% Pt를 첨가하면 고보자력과 저noise의 효과가 있는 CoCrPtTa 합금박막을 얻을 수 있다. 그러나 10 Gbit/inch<sup>2</sup> 이상의 초고밀도용 기록매체를 얻기 위해서는 수직자기이방성을 보다 향상시켜야 하는데 이를 위해서 본 연구에서는 하지층으로서 Ti를 glass 기판위에 우선 증착 시켰다.

연구결과, Ti 두께 70 nm 이상에서는 자성층의 (00.2) 수직배향성은 Ti 하지층이 없거나 20 nm 정도로 매우 얇을 경우에 비하여, 결정의 c-축배향성의 척도가 되는  $\Delta\theta_{50}$ 이 4° 가량 감소할 정도로 향상되었으며 또한 수직보자력과 함께 수직이방성자계도 현저한 상승을 보여주었다. 아울러 MFM을 이용하여 AC-erased 상태에서 CoCr<sub>16.2</sub>Pt<sub>10.8</sub>Ta<sub>4</sub>/Ti의 자구형상을 확인한바 Ti의 하지층의 두께가 상대적으로 두꺼운 90 nm의 경우, 20 nm의 얇은 경우에 비해 자구 형태는 stripe type에서 이들이 분절된 덩어리 형상으로 전이되는 것을 확인 할 수 있었다. 이렇게 자구의 형상이 변했다는 것은 자성층의 columnar 입계에서 비자성 첨가합금원소의 편석거동에 변화가 있었다는 의미가 되며, 이 점은 바로 Ti 증착조건에 따른 columnar 자성층의 수직이방성 향상에 있어서 형상자기이방성의 기여도가 현저하다는 점을 시사해주고 있다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] J.N. Chapman, I.R. McFadyen and J.P.C. Bernardis, J.

- Mag. Magn. Matl. Vol. 62 (1986) 359.
- [ 2 ] J.K. Howard, J. Appl. Phys. Vol. 63 (1996) 3263.
- [ 3 ] N. Honda and K. Ouchi, IEEE Trans. Magn., Vol. 32, No. 5 (1996) 3804.
- [ 4 ] T. Keitoku *et al.*, J. Mag. Magn. Matl. Vol. 176 (1997) 25.
- [ 5 ] E.N. Abarra *et al.*, J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 21, No. S2 (1997) 291.
- [ 6 ] D.J. Mapps, M.A. Akhter and G. Pan, IEEE Trans. Magn. Vol. 26 (1996) 1614.
- [ 7 ] M. Futamoto *et al.*, IEEE Trans. Magn. MAG-21 (1985) 1426.
- [ 8 ] T. Tanaka and H. Masuya, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 26 (1987) 897.
- [ 9 ] O. Kitakami *et al.*, IEEE Trans. Magn. MAG-23 (1989) 4177.
- [10] J.C. Lodder, D. Wind, Th. J.A. Pompa and A. Hubert, IEEE Trans. Magn. Vol. 23 No. 5 (1987) 2055.
- [11] F Schmidt and A. Hubert, J. Mag. Magn. Matl. Vol. 61 (1986) 307.