

# 전자빔 증착 Co/ Pt 다층박막에서 입사 선속의 방향에 따른 자기 및 자기광학적 성질 변화 연구

문기석, 신성철

한국과학기술원 물리학과

대전시 유성구 구성동 373-1, 305-701

(1994년 10월 29일 받음, 1994년 11월 28일 최종수정본 받음)

전자빔 증착 Co/Pt 다층박막에서 증발원자의 입사방향이 자기 및 자기광학적 성질에 미치는 영향을 조사하였다. 조성변조 Co/Pt 다층박막을 증발원자의 입사방향이 0°, 15°, 30°, 45°, 60°이 되도록 하여 전자빔 증착법으로 제조한 후 x-ray 회절실험, 주사전자현미경으로 구조분석을 하였고, VSM, torque magnetometer, Kerr loop tracer를 사용하여 자기 및 자기광학적 성질을 조사하였다. x-ray 회절실험을 통해 모든 시료가 조성변조 다층박막 구조로 만들어졌음을 확인하였고, 입사각이 증가함에 따라 주상구조의 성장방향은 기판 수직선에서 벗어나지만 <111> 결정방향은 기판 수직선 가까이 존재함이 관찰되었다. 포화자화값  $M_s$ , Kerr회전각  $\theta_k$ 는 입사각이 증가하면 줄어들었는데 이는 박막의 밀도 감소 때문이다. 자기이방성 또한 입사각의 증가에 따라 줄어들었다.

## I. 서 론

조성변조 Co/Pd, Co/Pt 다층박막은 합금 박막에서 볼 수 없는 새로운 현상들과 차세대 기록 재료의 응용가능성 때문에 활발한 연구의 대상이 되고 있다[1, 2, 3]. 이 조성변조 Co계 다층박막은 현재 광자기 기록재료로 사용중인 회토-천이 금속 합금 박막에 비해 산화에 강하고 단파장 영역에서 Kerr회전각이 증가하며 기록밀도를 높일 수 있다는 제 장점을 가지고 있다[4]. 특히 Co/Pt 다층박막은 Co/Pd 다층박막에 비해 Pt의 큰 spin-orbit coupling로 인해 자기광학적 성질이 우수한 재료로 보고 되고 있다[5, 6, 7, 8].

조성변조 Co계 다층박막의 수직자기이방성은 Néel이 제안한 표면자기 이방성 (surface anisotropy)이 주 원인으로 알려져 있으나[9, 10, 11], 그 밖에 stress 유도 이방성[12], 박막면에 수직하게 자라난 주상구조 (columnar structure)에 의한 이방성[13], 계면 거칠기 (surface roughness)에 의한 이방성[14]도 이 재료의 수직자기이방성에 기여하는 것으로 보고 되고 있다.

조성변조 다층박막의 수직자기이방성은 박막의 제작방법과 제작조건에 민감하다. 전자빔 증착법으로 제작한 다층박막은 기판에 도달하는 입자의 에너지가 dc magnetron sputtering 방법의 경우보다 작기 때문에 일반적으로 뚜렷한 계면, 큰 자기이방성, 높은 보자력을 갖는다고 알려져 있으며[15], 한편 전자빔 증착 방법의 경우 진공압력, 기판온도등의 제작조건에 따라 다층박막의 수직 자기이방성이 민감하게 변한다고 보고되었다[16].

본 연구에서는 전자빔 증착법으로 Co/Pt 다층박막을

제작하는 경우 증발원자의 입사방향이 박막의 자기적 성질 및 자기광학적 성질에 미치는 영향을 조사하였다.

## II. 실험 방법

Co/Pt 다층박막 시료는 회전 펌프와 유화산 펌프로 기준 진공이  $7.5 \times 10^{-7}$  torr, 작업 진공은  $6.0 \times 10^{-6}$  torr로 유지되는 진공챔버내에서 두 대의 전자총을 사용하여 상온에서 제작하였다. 기판 지지대에는 12개의  $1'' \times 1''$  기판을 놓을 수 있다. Co, Pt 증발원에서 기판까지 높이는 25 cm이며, 기판은 증발원 수직 위쪽에 놓인다. 한 기판의 증착도중 옆 기판의 오염을 막기 위해 정지 셔터를 기판 바로 아래에 두었다. 또 Co, Pt 선속에 의한 상호오염을 막기 위해 두 전자총 사이에 스테인레스격막을 설치했으며, 기판 이동 중 불필요한 증착을 막기 위해, 스테핑모터로 셔터를 움직여 증발원을 가리게 하였다. Co와 Pt의 증착율은 두 대의 수정진동자 두께측정장치 (Leybold-Inficon, XTC)를 이용하여 일정하게 유지하였는데, 본 실험에서 Co, Pt의 증착율은 각각  $0.28 \pm 0.04 \text{ \AA/s}$ ,  $0.25 \pm 0.02 \text{ \AA/s}$ 가 되도록 하였다.

조성변조 다층박막 구조는 회전하는 기판 지지대를 Co, Pt 증발원에 교대로 노출시킴으로써 만들어졌다. 각 층의 두께 및 층 수는 지지대에 부착된 스테핑모터를 컴퓨터에 인터페이스하여 각 증발원위에 머무는 시간 (dwelling time)과 회전수를 조절하였다.

기판은 크기  $1'' \times 1''$ , 두께 130  $\mu\text{m}$ 인 Corning사의 cover glass를 사용하였는데 증발원자의 입사 방향을 다양하게 하기 위해 경사각이 0°, 15°, 30°, 45°, 60°인 보조

대 위에 유리기판을 올려 놓아 여러 각도로 입사하게 하였다. 본 실험에서 사용한 Co/Pt 다층박막의 구조는 경사입사시의 cosine 효과를 고려하여 머무는 시간을 정하여 모든 시료에서 Co sublayer 두께를 4 Å, Pt sublayer 두께를 9.2 Å가 되게하고 Co, Pt를 교대로 각각 23층으로 적층한 것으로 총 두께가 300 Å이었으며, 모든 시료는 한 batch에서 동시에 제작되었기 때문에 시료 제작시 생기는 제작 조건의 차이를 최소화 할 수 있었다. 한편 경사각이 60°인 시료는 주사전자현미경 (SEM) 촬영을 위해 두께가 2000 Å으로도 제작되었다.

조성변조 구조는 소각 x-ray 회절 실험으로 확인하였는데 이때 사용한 x-ray 파장은 Cu Kα의 1.542 Å이었다. 주상 (column)의 성장방향을 확인하기 위하여 SEM으로 단면사진을 촬영하였다. 보자력 및 Kerr angle은 자체 제작한 Kerr spectrometer로 λ = 633 nm에서 측정하였으며, 포화 자화값은 VSM으로, 이방성 에너지 및 용이축 방향은 torque magnetometer로 각각 측정하였다.

### III. 결과 및 논의

#### 1. 다층박막의 구조 분석

시료의 조성변조 다층박막 구조를 확인하기 위하여 소각 x-ray 회절 실험을 하였다. 입사각 α가 0°인 시료에 대한 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

이 그림에서 보면 소각 x-ray 피이크가 존재하여 시료가 조성변조 다층박막 구조를 가지고 있음을 알 수 있다. 다른 입사각으로 만들어진 시료에 대해서도 소각 x-ray 실험을 한 결과, 입사각이 커질수록 피이크의 위치는 변화가 없지만 세기가 줄고, 피이크의 반치폭이 늘어남을 확인하였다. 이 결과는 입사선속이 기울어져 입사하면 소위 self-shadowing 효과[17]에 의해 sublayer를 구성하는 물질의 분포가 밀한 부분과 소한 부분이 교대되므로 결과적으로 계면의 거칠기가 증가되어 초격자주기의 변화폭이 커지기 때문으로 사려된다.

한편 시료의 결정성장방향을 확인하기 위하여 대각 x-ray 회절 실험을 하였는데 입사각 = 0°인 시료에 대한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 d<sub>111</sub> = 2.201 Å로서 fcc Pt의 (111) 면간거리 2.263 Å 보다는 작고 hcp Co의 (002) 면간거리 2.035 Å와 fcc Co의 (111) 면간거리 2.047 Å과 보다는 크므로 Co의 면간거리는 늘어나고 Pt의 면간거리는 줄어들어 hcp(002) Co/fcc(111) Pt 혹은 fcc(111) Co/fcc(111) Pt의 구조를 가지고 있다. Co의 구조가 hcp인지 fcc인지는 시

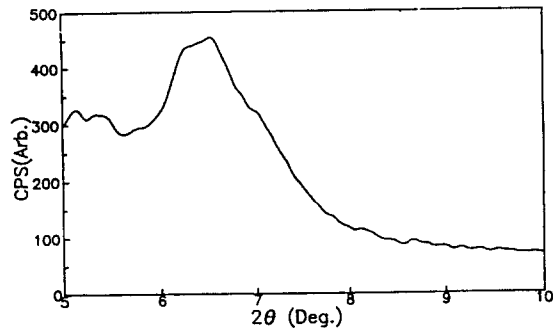


Fig. 1. Low-angle x-ray diffraction pattern of (4-Å Co/9.2-Å Pt)<sub>23</sub> prepared at incidence angle α = 0°.

료의 Co sublayer가 2 atomic layer (= 4 Å)이므로 구별할 수 없다.

다층박막의 계면은 sublayer가 아주 두꺼울 때는 비정합계면 (incoherent matching)이 되지만 두께가 얇아 지면서 정합계면 (coherent matching)이 된다. Co/Pt 다층박막의 경우 Co sublayer가 6 Å이하의 두께일때 정합계면이 됨이 보고 되었다[18]. 본 실험에서 연구한 시료의 Co sublayer의 두께가 4 Å이므로 정합계면일 것으로 추측된다.

입사각 가 증가함에 따른 시료의 대각 x-ray 회절 피이크의 위치는 거의 변화가 없지만 세기 (peak intensity)는 줄고 반치폭이 늘어남이 관찰되었는데 이는 공극 (void)이 증가하고 뒤에서 논의되듯이 <111> 성장방향이 기판 수직선에서 벗어나기 때문이다.

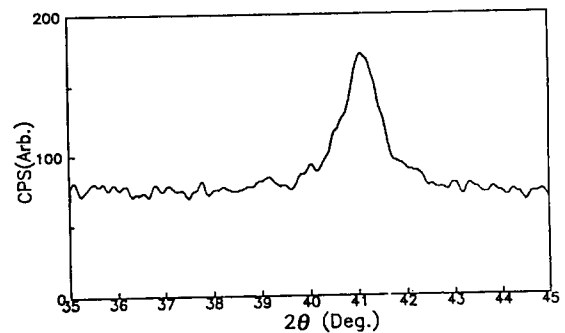


Fig. 2. High-angle x-ray diffraction pattern of (4-Å Co/9.2-Å Pt)<sub>23</sub> prepared at incidence angle α = 0°.

#### 2. 자기적 성질

입사각의 변화에 따른 시료의 포화자화값 M<sub>s</sub>의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 포

화자화값  $M_s$ 가 입사각이 커짐에 따라 작아짐을 알 수 있다. 이 결과는 입사각이 커질수록 self-shadowing 효과

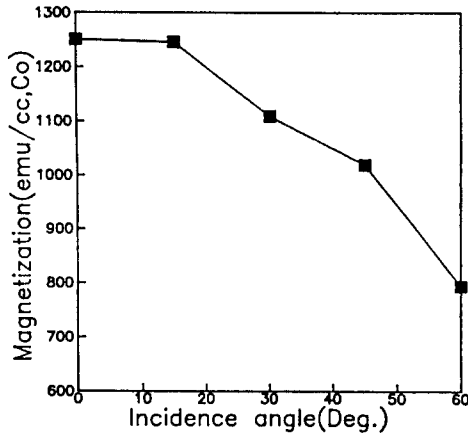


Fig. 3. Dependence of the saturation magnetization  $M_s$  on the incidence angle for  $(4\text{-}\text{\AA}\text{ Co}/9.2\text{-}\text{\AA}\text{ Pt})_{23}$ .

과에 의해 결정입자들 (crystallites) 사이에 공극이 많이 생겨서 박막의 밀도가 작아지기 때문으로 사려된다. 이것은 S. -C. Shin[16]이 TbFe, TbFeCo 합금 박막을 경사입사하여 제작할 때 박막의 밀도가 입사각이 증가함에 따라 줄어드는 것은, 입사각이 커질수록 self-shadowing 효과가 커져서 성긴 부분 (porous region)이 늘어나기 때문이라고 밝힌 것에서도 알 수 있다.

한편 Fig. 4는 여러가지 입사각으로 만든 시료들의 torque curve이다.

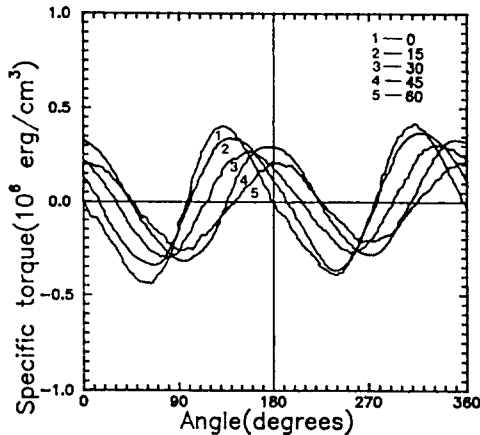


Fig. 4. Variation of the torque curve with the incidence angle for  $(4\text{-}\text{\AA}\text{ Co}/9.2\text{-}\text{\AA}\text{ Pt})_{23}$ .

이 결과에 따르면 입사각이 커질수록 specific torque가 작아지고 일사분면에서 torque가 0인 각  $\phi_0$ 가 0°이었

다가 점차 커지는 것을 볼 수 있다. 여기에서  $\phi_0$ 가 점차 커지는 것은 자화용이축이 기판 수직선에 대해 기울어지는 것을 의미한다.

다층박막이 단일자화용이축을 가진 고유이방성 (intrinsic anisotropy)을 가졌다고 가정하면 S. -C. Shin 등의 결과[19, 20]를 이용하여 자화용이축 방향(easy axis orientation)과 고유이방성에너지를 계산할 수 있다. 즉

$$K_u^2 = K_s^2 + \tau_p^2 + 2K_s \tau_p \cos(2\phi_0) \quad (1)$$

$$\delta = \phi_0 - (1/2)\tan^{-1}\left(\frac{K_s \sin(2\phi_0)}{K_s \cos(2\phi_0) + \tau_p}\right) \quad (2)$$

인데 여기서

$$K_s = 2\pi M_s^2$$

$$\tau_p = \text{Co만의 부피에 대한 specific torque}$$

$$\phi_0 = 1 \text{ 사분면에서 torque가 0인 각}$$

$$K_u = \text{1st order만 고려한 이방성에너지}$$

$$\delta = \text{자화용이축과 기판 수직선사이의 각}$$

이다. 이 식에 따라 각 입사각에 대하여  $K_u$ ,  $\delta$ 를 계산하여 Table I에 나타내었다.

Table I. Magnetic parameters of  $(4\text{-}\text{\AA}\text{ Co}/9.2\text{-}\text{\AA}\text{ Pt})_{23}$ , prepared at oblique incidence.

$\alpha$ (°)	$K_s$ ( $10^6 \text{ dyn} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$ )	$\phi_0$ (°)	$K_s$ ( $10^6 \text{ erg} / \text{cm}^2$ )	$K_u$ ( $10^6 \text{ erg} / \text{cm}^2$ )	$\delta$ (°)
0	1.7	0.0	9.8	11.5	0.0
15	1.5	8.2	9.7	11.2	1.1
30	1.2	20.0	7.7	8.8	2.6
45	1.2	41.5	6.5	6.8	5.1
60	0.7	45.0	4.0	4.0	4.9

Table I에서 알 수 있듯이 입사각이 커질수록  $\tau_p$ ,  $K_s$ ,  $K_u$ 가 작아지며 는 점차 커진다. (Table I에서  $\tau_p$ ,  $K_s$ ,  $K_u$ 는 Co만의 부피에 대한 값이며, Fig. 4는 Co, Pt의 부피에 대한 것이다.) 따라서 입사각이 커짐에 따라  $\delta$ 가 커지는 것으로부터 자화용이축이 기판 수직선에 대해 기울어짐을 알 수 있으며 Fig. 4와 부합한다. 주목할만한 현상은 입사각  $\alpha$ 가 60°인 경우에도 수평자성이 되지 않는 것이다. 이 현상은 박막의 구조적인 면을 고려하여 다룰 필요가 있다. Z. G. Li[18]등은 기판에 도달하는 원자의 에너지가 작은 Xe-스퍼터링이나 전자빔증착인 경우 표면

확산이 작아서 박막의 초기성장모드가 island-like mode 이며 주상경계가 뚜렷하여 <111> 집합조직형성 (texturing)이 우수하며, Co/Pt 다층박막의 수직 자기 이방성에는 뚜렷한 계면과 <111> 집합조직이 필수적임을 보고하였다. 한편 증착된 원자의 mobility가 작을때 self-shadowing 효과에 의해 주상구조가 생기는데, 입사선속이 기판 수직선에 대하여 기울어져 입사하면 주상은 기판 수직선에 대해 기울어져 성장하며 이때 주상의 성장방향각  $\beta$ 와 입사선속의 입사각  $\alpha$ 사이에는 tangent rule ( $\tan \alpha = 2 \tan \beta$ , 단  $\alpha, \beta$ 는 기판 수직선에 대한 각)이 성립한다고 알려져 있다[17]. 본 시료도 주상구조의 성장방향각이 tangent rule과 일치함을 확인하였다. 예로 입사각  $\alpha$ 가 60°로 증착된 두께 2000 Å인 시료의 단면 SEM사진 Fig. 5를 보면 주상의 성장방향은 41°로서 tangent rule과 일치함을 알 수 있다.

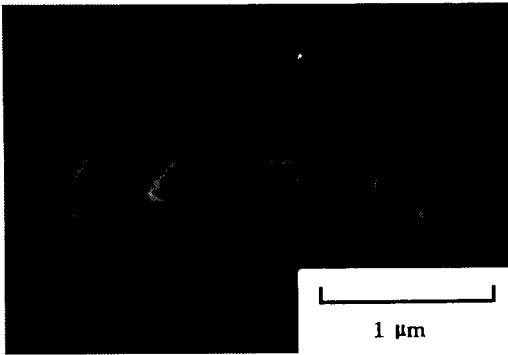


Fig. 5. Cross-sectional scanning electron micrograph of (4-Å Co/9.2-Å Pt)<sub>152</sub> with  $\alpha = 60^\circ$ .

흥미로운 결과는 주상의 성장방향과 <111> 결정방향 일치하지 않는 것이다. Fig. 6은 입사각  $\alpha$ 가 60°이고 두께가 2000 Å인 시료의 기판 수직선에 대한 x-ray rocking curve이다. 이 결과에 따르면 박막의 성장방향이 기판 수

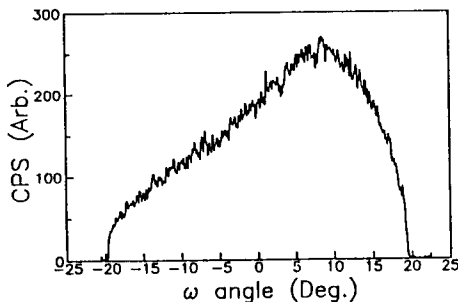


Fig. 6. XRD rocking curve of fcc <111> texture for (4-Å Co/9.2-Å Pt)<sub>152</sub> with  $\alpha = 60^\circ$ .

직선에서 8.5° 벗어나 있다. 이러한 결과는 45° 입사각으로 전자빔 증착한 두께 1.4 μm인 Fe 단층막에 대한 K. Hara 등의 실험에서도 보고 되었다[21].

수직자성이 존재하려면 수직자기이방성이 면내자화를 지향하는 형상자기 이방성보다 커야하는데 Table I에 의하면  $K_s$ 는 입사각이 커지면 작아지며  $K_u$ 보다 항상 작다. 이것은 이미 언급했듯이 박막의 밀도 감소에 기인한 포화자화값  $M_s$ 의 감소 때문이다. 이러한 결과는 TbFe 합금 박막에 대한 경사입사 실험 결과 [16, 22]와 비교할 때 대단히 흥미롭다. 이 경우에는 입사각이 커져 박막의 조직이 성겨(porous)지면 Tb이 산화되어서 "effective" Tb의 양이 줄어들면서 합금의 조성이 보상점 조성에서 벗어나게 되어 포화자화값이 커졌다. 그 결과 형상이방성이 입사각의 증가에 따라 급격히 커져서 입사각이 60°에서 제작된 시료의 경우 형상 이방성 에너지  $K_s$ 가 고유이방성에너지  $K_u$ 보다 커져서 수평자성을 보였다. Co/Pt 다층박막에서는 sublayer를 구성하는 Co, Pt 모두 산화에 강하고 강자성을 나타내는 기구가 회토-천이 금속 합금 박막과 다르므로 입사각이 커져 박막이 성겨져도 포화자화값  $M_s$ 가 커지지 않는다. 따라서 동일한 경사입사라 해도 Co/Pt 다층박막과 TbFe 합금박막은 강자성의 기구, 구성원소의 산화 경향성, 수직자기이방성의 원인이 다르므로 서로 다른 결과를 나타내게 된다. Fig. 4에서 입사각  $\alpha = 45^\circ$ 의 specific torque가  $\alpha = 30^\circ$  보다 큰 이유는 현재 그 원인을 조사중이다.

### 3. 자기광학적 성질

입사각의 변화가 시료의 자기광학적 성질에 미치는 영향을 조사하기 위해 polar Kerr 이력곡선을 633 nm에서 측정하였다. Fig. 7은 여러 입사각  $\alpha = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 에서 만든 시료의 Kerr 이력곡선을 나타낸다. 우선 Kerr angle을 보면  $\alpha = 30^\circ$ 까지는 조금씩 커지는 것은 박막의 조직이 성겨져서 굴절율이 작아짐에 따른 자기광학효과의 증대와 관련있으며[23] 30°부터 작아지는 것은 포화자화값의 감소때문이다. 또 직각도도 입사각이 커질수록 작아짐을 알 수 있는데 그 이유는 이 다층박막의 구조분석에서 언급했듯이 계면의 거칠기가 증가하여 계면 이방성이 작아져서 수직이방성이 작아지기 때문이다. 보자력의 크기도 조금씩 작아지는데 이것은 보자력과 수직이방성에너지가 상관되어 있고[24], 전 절에서 언급했듯이 수직이방성에너지가 작아지기 때문이다. 한편 이력곡선의 모양을 보면 자화용이축이  $\alpha = 15^\circ$ 까지는 큰 변화가 없다가 30°이후 부터는 기판 수직선에 대해 기울어짐을 알 수 있다. 자화용이축이 박막면내에 존재하는 경우 이

력곡선은 사라지는데[25], Fig. 7에서도 입사각이 커질수록 자화용이축이 기울어져 이력이 작아짐을 알 수 있다. 그러나  $\alpha = 60^\circ$ 에서도 여전히 이력곡선이 존재하는 것으로 보아서 자화용이축이 박막 면내에 존재하지 않고 기판 수직선에 대해서 기울어져 있음을 알 수 있으며 torque curve 측정 결과인 Fig. 4와도 부합한다.

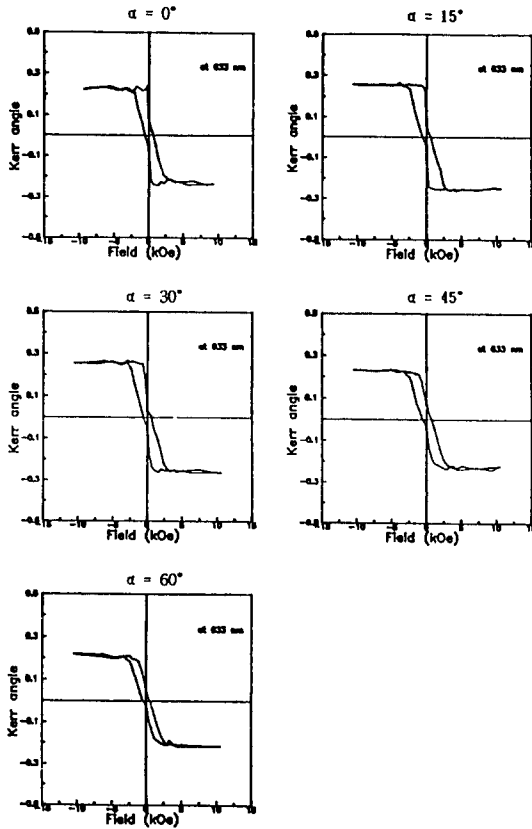


Fig. 7. Dependence of Kerr hysteresis loop on the incidence angle for  $(4\text{-}\text{\AA}\text{ Co}/9.2\text{-}\text{\AA}\text{ Pt})_{23}$ .

#### IV. 결 론

본 논문에서는 전자빔 증착  $(4\text{-}\text{\AA}\text{ Co}/9.2\text{-}\text{\AA}\text{ Pt})_{23}$  다층박막에서 증발원자의 입사방향이 시료의 자기 및 자기광학적 성질에 미치는 영향을 조사하기 위해 증발원자의 입사방향을  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 로 변화시켜서 만들었다. x-ray 회절실험 결과 증발원자의 입사각이 커져도 조성변조 다층박막의 구조가 유지되고 있으며, 수직자기 이방성에 중요한  $\langle 111 \rangle$  방향이 경사입사방향의 시료에서도 기판 수직선 가까이에 존재함을 확인하였다. 주사전자 현미경에 의한 단면사진에 따르면 tangent rule과 일치

하는 주상이 형성되어 있었다. 포화자화값은 입사각의 증가에 따라 박막 밀도 감소로 인해 줄어들었다. 입사각이  $60^\circ$ 가 되는 경우에도 자화용이축이 완전히 수평으로 되지 않고 기판 수직선에 대해  $5^\circ$ 로 기울어졌는데 이는 입사각이 커도  $\langle 111 \rangle$ 방향이 주상의 성장방향을 향하지 않고 기판 수직선에 가까운 방향을 향하고, 포화자화값이 줄어들어 형상이방성에너지의 기여가 수직이방성에너지의 기여보다 작기 때문이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. Hashimoto, Y. Ochiai and K. Aso, J. Appl. Phys., **67**, 4429 (1990).
- [2] S. -C. Shin and A. C. Palumbo, J. Appl. Phys., **67**, 317 (1990).
- [3] C. -J. Lin, G. L. Gorman, C. H. Lee, R. F. C. Farrow, E. E. Marinero, H. V. Do, H. Notarys and C. J. Chien, J. Mag. and Mag. Mat., **93**, 194 (1991).
- [4] S. Hashimoto and Y. Ochiai, J. Mag. and Mag. Mat., **88**, 211 (1990).
- [5] H. Ebert, S. Rugg, G. Sch tz, R. Wienke and W. B. Zeper, J. Mag. and Mag. Mat., **93**, 601 (1991).
- [6] K. H. J. Buschow, P. G. V. Engen and R. Jongebreur, J. Mag. and Mag. Mat., **38**, 1 (1983).
- [7] D. Weller, W. Reim, K. Spr rl and H. Br ndle, J. Mag. and Mag. Mat., **93**, 183 (1991).
- [8] J. S. Griffith, The Theory of Transition-Metal Ions (Cambridge at the university press, Cambridge, 1971), chap. 5.
- [9] P. F. Carcia, A. D. Meinhalt and A. Suna, Appl. Phys. Lett., **47**, 178 (1985).
- [10] H. J. G. Draaisma, W. J. M. de Jonge and F. J. A. den Rroeder, J. Mag. and Mag. Mat., **66**, 351 (1987).
- [11] P. F. Carcia, J. Appl. Phys., **63**, 5066 (1988).
- [12] S. Hashimoto, Y. Ochiai and K. Aso, J. Appl. Phys., **66**, 4909 (1989).
- [13] Y. Yafet, E. M. Gyorgy, and L. P. Walker, J. Appl. Phys., **60**, 4236 (1986).
- [14] P. Bruno, J. Appl. Phys., **64**, 3153 (1988).
- [15] W. B. Zeper, H. W. van Kesteren, B. A. J.

- Jacobs, J. H. M. Spruit and P. F. Carcia, J. Appl. Phys., **70**, 2264 (1991).
- [16] S. -C. Shin, J. Appl. Phys., **61**, 3340 (1987).
- [17] H. J. Leamy and A. G. Dirks, J. Appl. Phys., **49**, 3430 (1978).
- [18] Z. G. Li and P. F. Carcia, J. Appl. Phys., **71**, 842 (1992).
- [19] S. -C. Shin and C. -S. Kim, IEEE Trans. Mag., **27**, 4852 (1991).
- [20] 신 성 철, 민 병 철, 김 창 석, 새물리, **33**, 63 (1993).
- [21] K. Hara, H. Fujiwara, K. Okamoto and T. Hashimoto, J. Phys. Soc. Japan, **39**, 1252 (1975).
- [22] S. -C. Shin and A. K. Agarwala, J. Appl. Phys., **63**, 3645 (1988).
- [23] C. -Y. You, J. -H. Kim, and S. -C. Shin, 한국자기학회지, **4**, 32, (1994).
- [24] P. F. Carcia, S. I. Shah and W. B. Zeper, Appl. Phys. Lett., **56**, 2345 (1990).
- [25] D. Jiles, Introduction to magnetism and magnetic materials (Chapman and Hall, London, 1991), p306.

## Dependence of Magnetic and Magneto-Optic Properties on Deposition Angle in E-Beam Evaporated Co/ Pt Multilayer Films

Ki-Seok Moon, Sung-Chul Shin

*Department of Physics, KAIST*

*Taejon 305-701*

(Received 29 October 1994, in final form 28 November 1994)

We have investigated the effects of deposition angle on magnetic and magneto-optic properties in Co/Pt multilayer thin films, which were prepared by e-beam evaporation on tilted substrates, with varying tilt angle from 0° to 60°. The structure of the specimens was examined by x-ray diffractometer and scanning electron microscope, and the magnetic and magneto-optical properties were measured by VSM, torque magnetometer, and Kerr loop tracer. X-ray diffractometry revealed that all of the specimens had multilayer structure and growth orientation of column followed the tangent rule but the crystallographic orientation,  $\langle 111 \rangle$ , was slightly deviated from the substrate normal even though the deposition angle was increased up to 60°. A decrement of the magnetization and Kerr angle with the deposition angle was related with that of the film density due to increasing porosity. The perpendicular magnetic anisotropy was also decreased with increasing the deposition angle.