

Tb/Fe 다층박막의 자기 및 자기광 특성*

이장로 · 장현숙 · 김미양

숙명여자대학교 물리학과, 서울 140-742

이 용 호

전북대학교 물리학과, 전주 560-756

손 봉 균

한국표준과학연구원, 기초과학지원센터, 서울 135-280

(1992년 5월 29일 받음)

기판회전 테이블이 부착된 DC, RF-magnetron sputtering 장치로 유리기판 위에 제작한 1000 Å 정도의 8.8 Å Tb/X Å Fe (X = 5.4~11.0) 다층박막에 관하여 시료진동형 자기계와 타원편광 분석장치를 사용하여 자화, 수직자기이방성, Kerr 회전각의 Fe층 두께와 열처리온도 의존성이 연구되었다. Fe층 두께가 7.8 Å 기점으로하여 자화용이축의 전이가 나타나기 시작하여 6.4 Å 일때 수직자기이방성을 나타낸다. 실험치로부터 계산한 Fe와 Tb층의 경계면 수직이방성 에너지 $K_s = -0.38 \text{ erg/cm}^2$ 이고, Fe층만의 체적수직이방성 에너지 $K_v = -8.50 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 이다. Polar Kerr 회전각은 Fe층 두께 7.8 Å에서 극대값 $2\theta_k = 1.22^\circ$ 를 갖는다.

I. 서 론

근래 희토류-천이금속(RE-TM)박막 중에서 Tb/Fe 박막은 자기광 및 수직자기기록과 관련하여 높은 수직이방성(에너지), 큰 Kerr 회전각 때문에 관심의 대상이 되고 있다[1-4]. 최근 S. Honda등[5]이 원소의 두께비가 1:1로 제작된 Tb/Fe와 Dy/Fe 변조다층 박막 (compositionally modulated multilayer films)에 관하여 자성의 주기두께길이(2중층의 두께)(periodic thickness length)의존성 및 자기이방성에 대하여 연구한 바에 의하면 Dy/Fe 박막의 자화는 주기두께길이에 비선형적으로 변하나, Tb/Fe 경우는 주기두께길이가 짧아짐에 따라 포화자화가 선형적으로 감소하고 수직이방성은 표면이방성(surface anisotropy)으로 말미암아 주기두께길이에 역비례하여 증가한다고 보고하였다. 또, D. J. Sellmyer등[6]은 변조조성 박막 Fe/Nd, Z. S. Shan등

[7]은 변조조성 박막 Fe/Nd, Fe/Dy을 sputtering 방법으로 각각 제작하고 Fe와 RE의 각각의 두께 변화에 따른 자기특성을 조사하였다. 이 연구에서는 수직이방성에 관한 두께 영역을 결정하고, 경계면에서 생기는 표면이방성 에너지와 체적이방성 에너지를 측정하였다. 본 연구에서는 DC 및 RF sputtering 방법으로 제작한 두께가 1000 Å 정도의 Tb/Fe 다층조성 변조박막에 관하여 Tb 두께를 8.8 Å로 고정하고 Fe 층의 두께와 열처리 온도 변화에 따르는 자화, 자기이방성, Kerr 회전각을 측정하여 자기 및 자기광학적 성질을 조사해 보았다.

II. 시료제작

진공증착장치(Leybold 제 L 560형)를 사용하여 진공도 2×10^{-6} Torr로 진공배기 시킨후 고순도 Ar gas를 주입하여 Ar 진공도 5×10^{-3} Torr에서 기판 온도를 100 °C로 유지한 유리기판 위에 Fe를 DC-sputtering, Tb를 RF-sputtering시켜 약 1000 Å 정도의 8.8 Å Tb/X Å Fe (X = 5.4, 6.1, 6.4, 6.7, 7.4, 7.8, 9, 10, 11)

* 본 연구는 1991년도 교육부 3차 5개년 기초과학 특성화 연구비 (BSRI 91 - 213)의 지원에 의한 것임.

조성변조 다층박막을 제작하였다. 표시된 각층의 두께는 증착할 때의 증착률에 기준한 값이다. 여기에서 Tb층의 두께를 8.8Å로 고정시킨 것은 예비실험을 통하여 Tb층과 Fe층의 두께를 각각 5~20 Å으로 변화시키면서 제작한 시료중에서 수직자기이방성이 큰 시료의 Tb층 두께에 근거한 것이다.

Fig.1은 시료제작에 사용한 sputtering 장치이며 sputtering에 사용한 target로서 Fe는 99.9 %의 Rare 사 고순도 기판을 90 mmφ로 가공하여 사용하였고, Tb는 Leybold제 순도 99.99 % 완제품을 사용하였다. 기판의 각 증발원 노출시간은 기판이 놓인 회전 테이블의 회전 속도를 제어하여 조정하였고, 증착율은 박막두께 조절기 (Inficon제 XTC 및 IC/4 plus형)를 사용하여 1~5 Å/s 영역에서 변화시켰으며, Tb/Fe 혼합을 방지하기 위하여 Al 호일로 칸막이를 설치하였다. 산화방지를 위하여 SiO를 200Å 두께로 증착하였다. Spectroscopic ellipsometry를 사용하여 Tb/Fe 다층 조성박막의 조성비에 따른 Δ 와 ψ 의 파장 의존성을 측정하여 조성비를 이미알고 있는 기준치와 비교함으로써 측정된 시료의 조성비는 증착률로 조절한 두께에 의한 조성비 범위내에 있는 것으로 확인되었다. 여기서 Δ 와 ψ 는 입사광이 시료면에서 반사할 때 P성분과 S성분의 위상차와 진폭비이다. 제작된 시료의 열처리 온도 변화를 조사하기 위하여 진공도 1×10^{-3} Torr을 유지하는 진공전기로를 사용하여 100 °C, 200 °C, 300 °C에서 각각 2시간씩 열처리 하였다.

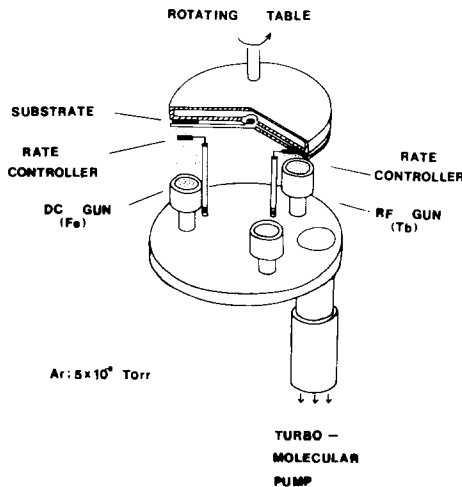


Fig.1. Schematic diagram of a sputtering apparatus.

III. 실험결과 및 고찰

1. X선 회절실험

제작한 시료의 결정상태를 확인하기 위하여 X선 회절 장치 (Rigaku 제 D/maxIII A형)를 사용하였다. Fig.2는 8.8 Å Tb/7.8 Å Fe 조성박막에 대하여 가속전압 25 kV, 가속전류 20 mA일때의 CuK α 선을 사용하여 측정된 회절상이다. 측정각도의 2 θ 범위는 2~70°이며 continuous scanning mode를 사용하였고, DS(Divergence Slit)는 0.15 mm, SS(Scatter Slit)는 1°, scanning speed는 4°/min으로 하였다. 제작한 전시료가 Fig.2와 비슷한 회절상을 갖는 것으로 보아 비정질 상태임을 나타내었다. 300 °C까지 열처리 한 후에도 별다른 peak는 발견되지 않았다. S. Honda등[2]°의 Dy/Fe 다층박막 실험에서도 주기두께길이가 감소하여 40 Å 이하에서는 peak가 사라지게 되고 결정상에서 비정질상으로 변하는 것으로 보고된 바 있으나 low angle X-ray diffraction에 의한 관측은 시도해 봐야 할 과제로 남는다.

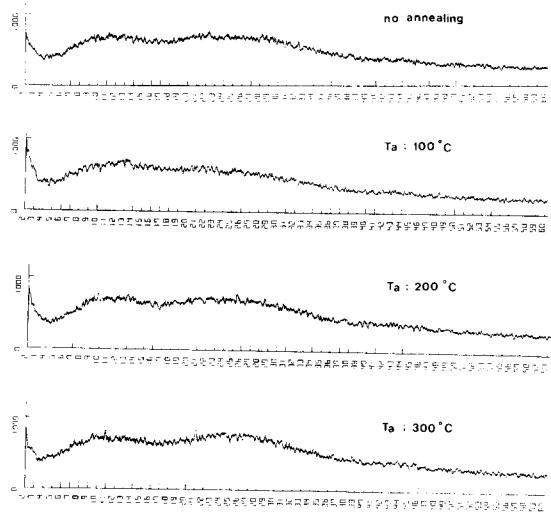


Fig. 2. X-ray diffraction patterns for 8.8Å Tb/7.8Å Fe films.

2. 자기 특성실험

Fig.3은 제작한 8.8Å Tb / XÅ Fe 다층조성 박막에 관하여 시료진동형 자기계 (PAR제 153형)를 사용하여 실온에서 박막면에 수직 및 수평방향으로 18 kOe자장을

결어 주었을 때의 수직 및 수평자기이력곡선을 관찰한 결과이다. 시료진동형 자기계 측정시 표준시료로서 nickel 시료를 사용하였고, 자장방향과 수평 및 수직 방향으로 끼울 수 있는 시료진동형 자기계 측정용 박막시료 끼우개를 제작하여 사용하였다. 특히 Fe층의 두께 $d_{Fe} = 6.4 \text{ \AA}$ 인 시료는 수직 자기이력곡선의 경우가 수평 자기이력곡선에 비하여 포화자화는 거의 비슷하지만 각형은 더 좋았고, 보자력도 2.5배 컸으며 포화시키는 데 필요한 자장은 1/2로 감소하여 7.6 kOe가 되었다. 겉보기 자기이방성 에너지(apparent anisotropy) K_u' 은 자화방향이 박막면의 평행방향과 수직방향일 때의 수평자화 자기이력곡선과 수직자화 자기이력곡선 사이의 면적차로서 정의되

며 진성자기이방성 에너지(intrinsic anisotropy) K_u 와 $K_u = K_u' + 2\pi\sigma_s^2$ ($\sigma_s > \sigma_1$ 인 경우), $K_u = K_u' - 2\pi\sigma_s^2$ ($\sigma_s < \sigma_1$ 인 경우) 로 관련된다. 시료의 포화자화 σ_s 와 자기 이방성 에너지 K_u' 의 Fe층 두께의존성을 열처리 온도별로 개략적으로 나타낸 것이 Fig.4이고 열처리를 얇은 경우와 열처리 효과가 뚜렷한 200 °C의 경우를 비교해서 Fig. 5에 나타내었다.

포화자화는 d_{Fe} 가 6.7 Å 일때 까지는 두께가 증가함에 따라 커진다. 이 영역에서는 Tb와 Fe가 준자성결합(Ferrimagnetism coupling)을 함으로서 Fe성분의 자화가 시료의 자화를 지배하기 때문으로 생각된다. $d_{Fe} = 7.8 \text{ \AA}$ 에서는 $d_{Fe} = 7.3 \text{ \AA}$ 인 경우보다 자화가 더 작은 것으로 나타나 Fe층의 두께 8Å 주위에서 자화변덕(kink)이 생긴다. $d_{Fe} = 8 \text{ \AA}$ 을 지나서는 Fe두께 증가에 따라 포화자화는 증가하였다. 이것은 Fe층이 두꺼워짐에 따라 Fe층이 결정화 되려는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 실험영역 밖이지만 Fe층 두께 변화에 따르는 자화곡선의 경향으로보아 d_{Fe} 가 5 Å 이하로 더 얇아지면 이 영역에서 자기보상점(compensation point)을 가질 것으로 예상되어 포화자화 $\sigma_s < 0$ 의 값을 가질 것으로 추정된다. 이 영역에서는 Tb성분 자화가 우세하여 Fe층 두께 증가에 따라 σ_s 가 감소하는 경향을 보일것으로 생각된다.

Z. S. Shan등[8]은 자신들이 개발한 미시자성모델 해석을 통하여 자화변덕을 설명하였다. 조성변조 다층박막의 성분은 원자분포가 박막법선 방향을 따라 조성되었으므로 다층박막의 자성층 두께의존성을 박막법선 방향으로의 조성변조분포와 그들의 준자성 결합을 이용하여 설명 가능하다는 것이다. Fig.6은 8.8Å Tb/7.8Å Fe의 미시자성모델에 의한 Fe원자분율(atomic fraction)과 자화를 나타낸다. 이 모델에 의하면 Tb영역에서는 σ_{Tb}

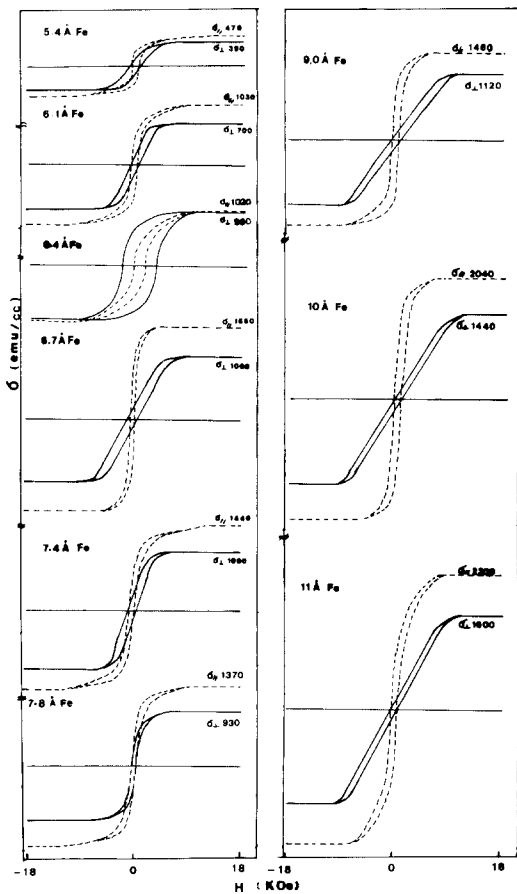


Fig. 3. Hysteresis loops at 300 K for 8.8Å Tb/XÅ Fe series. In this and subsequent figures the layer thicknesses are nominal values based on measurement of sputtering rate.

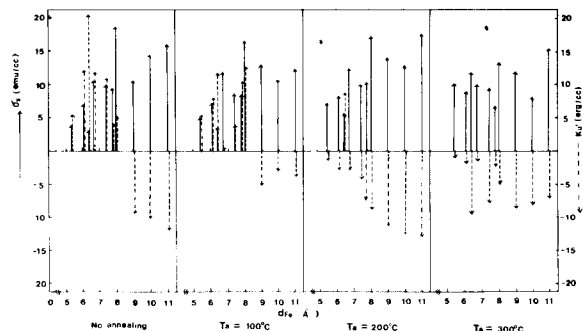


Fig. 4. Magnetization and perpendicular anisotropy as a function of Fe sublayer and annealing temperature.

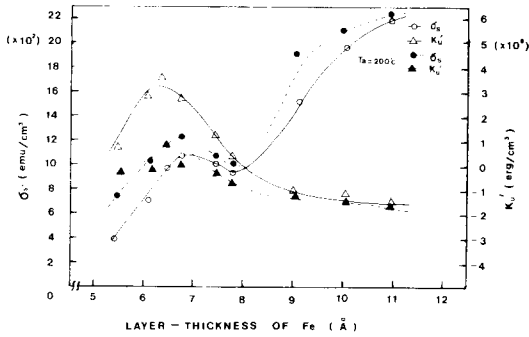


Fig. 5. Fe sublayer-thickness dependence of apparent anisotropy K_v' and magnetization σ_s for 8.8Å Tb/XÅ Fe at 300 K.

지배, Fe영역에서는 σ_{Fe} 지배를 따르는데 Fe계곡이 존재하고 결과적으로 Fe중앙영역에 σ_s 계곡이 생긴다는 것이다. 이것은 Fe원자분율이 1에 가깝고 비정질 Fe가 자기적으로 무질서하기때문에 그런 것으로 설명하고 있다. 따라서 $d_{Fe} = 8\text{Å}$ 주위에서 자화번도의 존재이유가 설명될 수 있다.

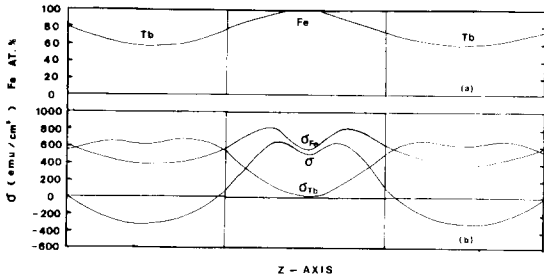


Fig. 6. The distribution of Fe atoms (a) and magnetization (b) along the film normal for 8.8 Å Tb/7.8Å Fe sample.

Fe층의 두께 $d_{Fe} = 6.4\text{Å}$ 일때 극대치 $K_v' = 3.64 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 을 가지며, $d_{Fe} > 7.4\text{Å}$ 일 때 $K_v' < 0$ 이고, $d_{Fe} < 7.4\text{Å}$ 일 때 $K_v' > 0$ 을 나타낸다. 즉 d_{Fe} 의 감소에 따라 수직이방성이 생기는 것을 암시한다. Fe층 두께가 얇은시료는 성분원자들이 이방성 분포를 만들어서 수직이방성을 생기게 하는 것으로 생각된다. 따라서 K_v' 이 $d_{Fe} < 7.4\text{Å}$ 일때 음(-)에서 양(+)으로 변함에

따라 자화용이축이 박막면에 평행한 방향에서 수직인 방향으로 전이하고 있음을 나타낸다. $d_{Fe} = 6.4\text{Å}$ 인 경우는 분명히 자화용이축이 박막면에 수직인 방향을 나타내며 수직이방성을 갖는 것을 알수 있다. 200 °C에서 2시간 열처리한 시료의 경우는 열처리 않은 시료에 비하여 포화자화는 전반적으로 증가하고 수직 자기이방성 K_v' 은 감소하는 경향을 나타낸다.

P. F. Carcia 등이 사용한 공식[9] $\lambda K_v' = -(2K_s + K_v d_{Fe} + 2\pi M_v^2 d_{Fe})$ 을 이용하여 실험 측정치로부터 Tb와 Fe층 경계면에서 생기는 표면 수직이방성 에너지 (surface anisotropy energy) K_s 와 Fe층만의 체적 수직이방성 에너지 K_v 을 계산할 수 있다. 여기에서 M_v 는 Fe의 포화자화, d_{Fe} 는 Fe층 두께, λ 는 Fe와 Tb층의 두께를 합한 주기두께 길이, K_v' 는 Tb/Fe의 자기이방성 에너지이다. K_v , K_v' 가 음(-)의 값이면 면내 자화용이축을 벗어나려는 성향을 의미한다. Fig.7은 수직 자기이방성 K_v' 과 주기두께 길이 λ 와의 곱의 Fe층 두께 의존성을 나타낸다. Fe층 두께가 6.4Å 보다 작은 영역에서는 K_v' 은 Fe층 두께가 감소함에 따라 감소한다. 그 이유는 Fe층 두께가 원자직경의 약 2배보다 작아지면 Tb가 Fe층 속으로 상당한 mixing이 일어나서 분명했던 Tb/Fe경계층이 사라지기 때문으로 생각된다. 여기에서 알 수 있는 것은 수직용이축으로의 전이가 $d_{Fe} < 8\text{Å}$ 로부터 생기며 $d_{Fe} = 0$ 일때 직선의 교차점으로 부터 경계에서의 표면 수직이 방성 에너지 $K_s = -0.38 \text{ erg/cm}^2$ 이 얻어져 박막면에 수직인 자화를 유지하려는 경향을 가짐을 알 수 있다. Fe의 덩어리 포화자화 $M_v = 1717 \text{ emu/cm}^3$ 을 감안하면 Fe층만의 체적 수직이방성에너지 $K_v = -0.85 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 를 구할 수 있고 이 결과로 Fe층의 면내 형상이방성을 감소해 주는 역할을 하는 것으로 볼 수 있다. 이 값이 Fe덩어리의 $K_v = 4.8 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 보다 큰 것은 자기변형효과 (magnetostrictive effects)[10]에 의한 것으로 생각된다.

200 °C에서 2시간 열처리한 경우에는 $K_s = -0.03 \text{ erg/cm}^2$ 로 감소하였으며 $K_v = -1.68 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ 가 되었다. 결과적으로 열처리 (annealing)에 의한 수직이방성의 소실현상은 열적구조이완에 따른 spin방향의 random화에 의한 것으로 생각된다.

D. J. Sellmyer 등[11]이 mead-field model [12]을 써서 RE/TM nanoscale 조성변조 다층박막의 수직이방성 에너지를 구함으로서 RE원자가 궤도각운동량을 갖는 경우에 (Gd는 제외) Tb, Dy와 Fe, Co다층박막의 수직 이방성의 주원인은 스핀-궤도 상호작용[13-14]에 의한

RE 단일이온이 만드는 표면 수직이방성임을 밝힌 바 있다. 이 표면 수직이방성은 경계면에서 원자의 이방성분포가 고려되어야 하는 즉 RE의 그 자체 RE와 TM에 인접한 원자들과의 상호작용이 고려되어야 하는 이방성이다. 또 S. Honda[5]등은 K_s 는 Fe층의 이방성 에너지이므로 RE 성분은 거의 의존하지 않으며 K_s 는 RE 성분

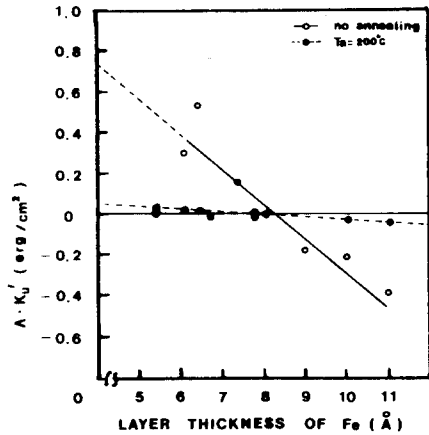


Fig. 7. Perpendicular anisotropy K_u' multiplied by the bilayer thickness λ vs the Fe-layer thickness.

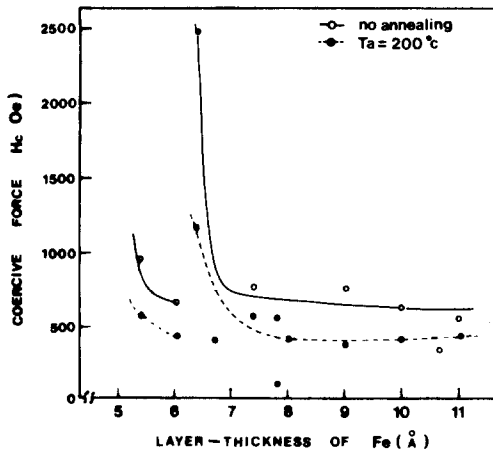


Fig. 8. Perpendicular coercivity H_c for 8.8Å/6.4Å Fe films.

과 온도에 많이 의존하며 RE의 자화상태를 반영하고 RE 자기모멘트와 더불어 증가한다고 보고 하였다. 따라서 계속적인 연구가 이루어져 적절한 미시모델이 개발되어야 할 과제이나 증경계면에서는 RE의 단일 이온이 만드는 이방성이 K_s 내의 주역할을 담당하는 요인으로 추정 가능하다는 것이다.

Fig. 8은 수직 보자력의 Fe층 두께의존성을 표시한 그림이다. $d_{Fe} = 6.4\text{Å}$ 에서 극대치 2500 Oe를 가지며 열처리한 경우에는 전반적으로 Fe층 두께에 걸쳐 감소하는 경향을 나타낸다.

3. 자기광학 특성실험

제작한 다층박막의 극(polar) 및 종(longitudinal) Kerr 효과를 관찰하기 위하여 편광해석장치 (Gaetner제 119X형)을 사용하였다. 회전각을 정확히 측정하기 위하여 Faraday cell을 제작하여 Kerr 회전각의 신호를 변조하는 편광변조방법을 채용하였다. Faraday cell은 양 끝을 직경 4cm의 광학유리로 막은 길이 15cm의 증류수 (Verdet constant = 0.2×10^{-3} deg/Oe cm)가 채워진 유리원통으로 그 주위에 직경 1mm의 coil로 감아 300 Hz, 2A의 전류를 흘려 광의 진행방향으로 시간에 따라 변하는 자장을 생기게 하여 cell을 통과하는 타원편광의 주축을 시간에 따라 회전하게 한 장치이다.

P - Polarized (6328 Å)

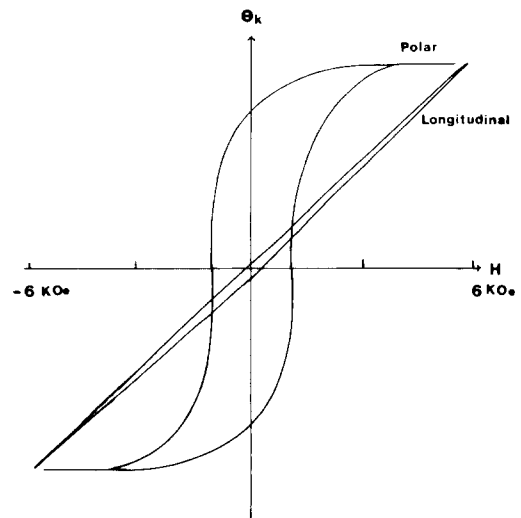


Fig. 9. Polar and longitudinal Kerr hysteresis curves for 8.8Å Tb/6.4Å Fe film.

Fig.9 는 타원편광 해석장치를 사용하여 8.8Å Tb/6.4 Å Fe박막에 대하여 P편광 파장이 6328Å 인 He-Ne laser광에 대한 극 및 종 Kerr 자기이력곡선을 측정한 것이다. 이 시료는 자화용이축이 박막면에 수직하고 수직 자기이방성을 갖는 것으로 보인다. Fig.10은 Tb/Fe 다층박막에 관한 극 Kerr 회전각 $2\theta_k$ 의 Fe층두께의존성을 나타낸 것으로 $2\theta_k$ 는 Fe층두께 증가에 따라 증가하다가 $d_{Fe} = 7.8\text{Å}$ 에서 극대값 1.22° 을 갖는다. 이 극대값을 갖는 Fe층두께부근에서 수직자화용이축의 전이가 생기는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 200 °C 열처리 한 경우는 Kerr 회전각은 전반적으로 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 Kerr 회전각이 시료의 포화자화에 직접 관련되어 나타나는 것으로 생각된다. 또 타원편광 분석장치에 의한 자기이력곡선의 관측결과와는 시료진동형 자기계에서 얻은 결과와 동일함을 확인할 수 있었다.

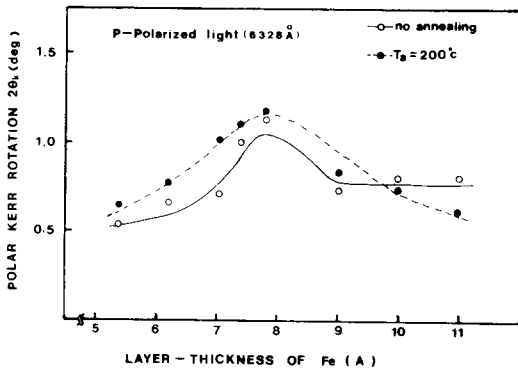


Fig. 10. Fe sublayer-thickness dependence of polar Kerr rotation angle for Tb/Fe films.

IV. 결 론

1. 제작한 8.8Å Tb/ XÅ Fe 다층박막은 X선 회절 분석에 의하면 비정질 상태를 나타낸다.
2. Spectroscopic ellipsometry 분석에 의한 시료의 조성비는 증착률로 조절된 두께에 대한 조성비 범위내에 있었다.
3. 전시료에 걸쳐 수직자화 포화자화가 수평자화 포화자화 보다 크지는 않았지만 Fe층의 두께가 6.4Å 인 시료는 수직자화 자기이력곡선이 수평자화 자기이력곡선에 비하여 포화자화는 거의 비슷하고, 각형은 더 좋으며 보자력은 2.5배 크며 포화시키는 데 필요한 자장은 1/2로

감소하였다.

4. 포화자화는 자화변덕영역을 제외하고는 Fe층두께가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타낸다.

5. Fe층 두께 8Å 부근에서의 자화변덕 현상은 미시 자성모델 해석으로 설명가능하다.

6. Fe층 두께 7.8Å 을 기점으로 하여 얇아짐에 따라 자화용이축이 면에 평행한 방향에서 수직인 방향으로의 전이가 나타나기 시작하여 6.4 Å 인 시료는 수직 자화용이축을 나타낸다.

7. 실험치로부터 계산한 Tb와 Fe층경계 표면수직이방성 에너지 $K_s = -0.58 \text{ erg/cm}^2$ 이고 Fe층만의 체적수직이방성 에너지 $K_v = -8.50 \times 10^5 \text{ erg/cm}^3$ 이다.

8. 시료제작후 6개월이 지난 시료에 대하여 경시현상 측정결과, 측정치의 변화가 측정오차범위 내에 있음을 확인하였다.

9. 열처리 효과가 뚜렷한 200 °C 열처리 경우는 열처리 하지 않은 시료에 비하여 전반적으로 포화자화는 증가하고 보자력은 줄어드는 경향을 보이며 표면수직이방성 에너지는 감소한다.

10. 열처리에 의하여 수직이방성의 소실 현상이 나타나는 것은 열적구조이완에 따른 spin방향의 random화에 의한 것으로 생각된다.

11. 극 Kerr 회전각이 극대값을 갖는 Fe층 두께 근처에서 수직자화용이축의 전이가 생기는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다.

12. Tb/Fe 다층박막에 관한 자기구조와 수직이방성의 기원에 관한 적절한 미시모델은 개발해야 할 과제이나 Tb/Fe정계면 층의 표면이방성과 Fe층의 체적이방성과 관련한 자기변형이 수직자기이방성의 요인으로 생각될 수 있다.

13. Tb/Fe 다층박막은 자화와 수직이방성의 Fe층 두께의존성 연구에 의하여 자화와 수직이방성의 조정이 가능하며 수직 및 자기광 기록매체로서의 가능성을 가진 재료로 평가된다.

V. 참고 문헌

[1] N.Sato, J.Appl. Phys.59, 2514 (1986).
 [2] S.Honda, M.Ohkoshi and T.Kusuda, IEEE Trans. Magn.MAG-22, 1221 (1986).
 [3] S.Iwasaki, IEEE Trans. Magn. MAG-20,657 (1984).
 [4] T.Suzukii, IEEE Trans. Magn. MAG-20,675 (1984).

- [5] S.Honda, S.Nishimura and T.Kusuda, IEEE Trans. Magn. **MAG-25**, 4027 (1989).
- [6] D.J.Sellmyer, Z.R.Zhao, Z.S.Shan, and S.Nafis, J.Appl. Phys. **61**, 4323 (1987).
- [7] Z.S.Shan, S. Nafis, K.D.Aylesworth, and D.J. Sellmyer, J.Appl. Phys. **63**, 3218 (1988).
- [8] Z.S.Shan and D.J.Sellmyer, J.Appl. Phys. **6**, 5713 (1985).
- [9] P.F.Carcia, A.D.Meinhaldt, and A. Suna, Appl.Phys.Lett. **47**, 178 (1985).
- [10] B.D.Cullity, Introduction to Magnetic Materials(Addison-Wesley, Reading, MA, 1972), p. 248.
- [11] Z.S.Shan, D.J.Sellmyer, S.S.Jaswal, Y.J.Wang, and J.X.Shen, Phys. Rev. Lett. **63**, 449 (1989).
- [12] R.Hasegawa, J.Appl. Phys. **46**, 5263 (1975).
- [13] T.Mizoguchi and G.S.Cargill, J.Appl. Phys. **50**, 3570 (1979).
- [14] D.J.Sellmyer and S.Nafis, Phys. Rev. Lett. **57**, 1173 (1986).

Magnetic and Magneto-Optic Properties of Tb/Fe Multilayers

J. R. Rhee, H. S. Jang, and M. Y. Kim

Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742

Y. H. Lee

Department of Physics, Jeonbuk National University, JeonJu 560-756

P. K. Shon

Korea Basic Science Center, Korea Research Institute of Standards and Science, Seoul 135-280

(Received 29 May 1992)

Studies have been done experimentally to investigate the effects of the Fe sublayer thickness on magnetization, anisotropy, and Kerr rotation in 8.8\AA Tb/ $X\text{\AA}$ Fe ($X = 5.4\sim 11$) compositionally modulated films prepared in a multiple-gun sputtering chamber with rotating table. The ranges of Fe sublayer thickness required for perpendicular anisotropy were determined. The interface and volume anisotropy energies for Tb/Fe films were estimated. The annealing temperature dependence of magnetic and magneto-optic properties has been discussed.