Al/Tb-Fe-Co다층박막의 자기적 이방특성

Magnetic Anisotropy of Al/Tb-Fe-Co Multilayer Thin Films

김명한*·문정탁*·신웅식*·임기조**
(Myung-Han Kim·Jeong-Tak Moon·Ung-Shik Shin·Ki-Jo Lim)

요 약

일련의 Al/Tb-Fe-Co다층박막막 시편이 DC마그네트론 스퍼터링에 의해 제조되었다. 이 박막들은 (xA/yB)n의 형태이고, 여기서 x와 y는 각각 Al 및 Tb-Fe-Co박막의 두께를 나타내고, n은 각 박막의 수를 나타낸다. 각 박막의 두께는 2~40nm이다. Al과 Tb-Fe-Co박막의 두께변화에 따른 다층박막의 자기적 성질이 vibrating sample magnetometry(VSM)에 의해 측정되었다. 이들 다층박막은 동일한 스퍼터링조건에서 제조되고 수평 자기적 이방성 특성을 보이고 있는 단층Tb-Fe-Co박막을 기준시편으로 하여 자기적 성질이 비교되었다. 다층박막 시스템에서는 현저한 계면 또는 박막두께의 효과가 발견되었으며, 이들 효과에 의해 단층박막의 수평자기체가 다층박막에서는 강한 수직자기체로 변화되는 것을 알 수 있고, 또한 Al과 Tb-Fe-Co합금 경계구역에 스퍼터링에 따른 약 2nm두께의 dead layer가 존재함이 입증 되었다.

ABSTRACT

A series of periodic multilayer Al/Tb-Fe-Co thin films have been prepared by dc magnetron sputtering. The films are of the form (xA/yB)n, where x and y are the thicknesses of the A and b layers, respectively, and n is number of bilayer units. Individual layers are from 2~40nm thick. The magnetic properties of the films have been measured as a function of Al and Tb-Fe-Co layer thicknesses by vibrating sample magnetometry(VSM). An homogeneous thin film of the Tb-Fe-Co alloy was grown under identical sputtering condition as a reference and found to have in-plane easy magnetization. Pronounced interfacial and/or thickness effect have been found in the multilayer system. These include evidence for a "dead layer" in the interface regions (~2nm thick) and reversal of the direction of easy magnetization from in-plane (in the homogeneous thin film samples) to strongly perpendicular in the multilayer configuration.

*충북대학교 금속공학과
**충북대학교 전기공학과

1. 서 론

비정질 Tb-Fe-Co합금박막은 수직 자기광학 기록매체로서 크게 주목을 받아왔다.[1~3] 최근에는 Tb/Fe다층박막[4]과 Tb-Fe합금박막에서 자기적이방성에 미치는 응력의 영향도 연구되어 왔다.[5] 그러나, 각 박막층의 두께변화와 각 박막층과 층사이의 반응으로 인한 효과에 대해서는 지금까지 별로 주의를 끌지 못했었다. 본 연구에서는 Tb-Fe-Co합금과 순알루미늄을 주기적으로 반복 스퍼터링하여 다층 Al/Tb-Fe-Co 다층박막을 제조했으며, 이때 비자성인 순알루미늄 1층의 두께는 2~10nm이었다. Tb-Fe-Co합금박막은 순알루미늄박막 두께를 고정시킨후 40nm에서 2nm까지 두께를 감소시켜 가며 제조했으며, 총 합금박막의 두께는 자기적특성을 쉽게 조사할 수 있도록 충분히 두껍게(~800Å)하였다. 본 연구를 통해 다층박막 시스템에서 박막층과 층사이의 자기적상호작용, 자기적이방성에 미치는 합금박막층의 두께변화와 박막의 자기적 특성에 미치는 Al과 Tb-Fe-Co박막계면에서의 원자들의 상호혼합 역활이 잘 평가될 수 있었다.

2. 실험방법 및 재료

$(xAl/yTb_{20}FeCo_8)_n$형태의 일련의 다층박막이 DC마그네트론 스퍼터링에 의해 제조되었다. 본 실험에서는 스퍼터링기계(VAC-TEC250)내에 20cm직경의 순알루미늄 target(99.9%)과 $Tb_{20}FeCo_8$ 성분의 mosaic target을 동시에 장치한 후 chamber내부의 carousel을 회전시켜 Corning glass 7059 기판을 각각의 target전면에 교대로 위치토록 한 후 소정시간 스퍼터링에 의해 자기광학 기록매체와 알루미늄 박막으로 이루어진 다층박막을 제조하였다. 상기 다층박막의 형태에서 x와 y는 각각 순알루미늄과 Tb-Fe-Co합금층의 두께(nm)를 나타내고, n은 이 다층박막에서의 알루미늄과 Tb-Fe-Co의 총 층수를 나타낸다. 그러므로 다층박막의 총 두께는 n(x+y)가 된다. 본 실험에서는 순 알루미늄의 두께(x)를 4, 7 또는 10nm로 변화시켰으며 Tb-Fe-Co합금의 두께(y)를 2, 4, 6, 8, 10, 20 또는 40nm로 변화시켜 다층박막을 제조했다. 그러나 총 Tb-Fe-Co합금의 두께(ny)는 일정하게 (~800Å)유지되도록 하였다. $Tb_{20}FeCo_8$ 박막제조를 위한 target은 99.9%순도이상의 Fe, Tb, Co박판을 가지고 면적비로 그 조성이 $Tb_{20}FeCo_8$이 되도록 제조했다. 증착조건은 0.3A current, −100V bias voltage, 10mT Ar pressure이었으며, 스퍼터링 가스로서 아르곤가스를 chamber내에 유입시키기전 background pressure는 1×10^{-5}torr이었다. 박막두께는 surface profiler를 사용하여 측정되었으며, 증착속도는 Al의 경우 1nm/sec였고, Tb-Fe-Co합금의 경우 2nm/sec이었다. Al과 Tb-Fe-Co합금층이 교대로 규칙적으로 배열되었나의 여부는 XRD(Schlag XDS 2000 diffractometer)에 의해 조사되었다. 상온에서 다층박막층의 자기적성질은 vibration sample magnetometer(digital measurement system VSM model 880)에 의해 측정되었으며 이때 가해진 자기장은 10KOe이었다.

3. 결과 및 토론

표 1에서 VSM에 의해 측정된 다층박막 시편들의 easy magnetization방향이 나타나 있다. 여기에는 기준시편으로 Al박막층이 없는 80nm두께의 순수한 단층 Tb-Fe-Co 박막시편이 나타나 있다. 이 박막은 다층 박막에서 Tb-Fe-Co박막층을 제조하기 위해 사용된 것과 같은 스퍼터링 조건을 사용하여 제조되었다. 이 단층의 Tb-Fe-Co 합금박막은 주어진 스퍼터링 조건에서 강한 수평자기적 이방성을 보이고 있다. 여기서 기판에 수평한 easy magnetization은 '∥'로 표시되고, 수직인 경우는 '⊥'로 표시되어 있다. x=20nm의 가장 얇은 Tb-Fe-Co층의 경우 강자성 및 자기적 이방성특성이 둘다 약함을 보인다. 그러나 x=10nm의 박막에서는 명백하게 수직자기체를 보여주고 있다. Tb-Fe-Co층의 두께를 증가하면(결과적으로는 Al층의 수를 감소시키는 것이 된다.) 다층박막시편은 easy magnetization박막이 박막의 면에 수직임을 보인다. 그러나 Tb-Fe-Co층의 두께가 40nm에 도달되면, 다시 수평자기체를 보여 주고 있다. 그림 1은 균질한 단층 Tb-Fe-Co합금박막(80nm)(a)과 Al/Tb-Fe-Co 다층박막(b-d)에 대한 전형적인 자기이력곡선을 보여주고 있다. 박막면과 수평방향으로 자기장을 가해서 얻은 자기이력곡선은 점선으로 표시되었다. 균질한 단층박막(a)의 경우 easy magnetization방향이 박막면과 평행하나 반면에 모든 다층박막(b, c와 d)의 경우는 박막면과 수직임을 보여주고 있다. 그림 1에 나타나 있지않은 다른 모든 다층박막시편의 자기이력거동은 이력곡선의 세부적인 형상에는 다소 차이가 있지만 일반적으로 그림 1에 나타난 결

y, Fe-Tb-Co layer thickness(nm)		2	4	6	8	10	20	40	80
n, number of bilayers		40	20	13	10	8	4	2	-
x, Al layer thickness (nm)	4	weak mixed	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	mixed	∥
	7	mixed	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	∥	
	10	⊥	⊥	⊥	mixed	⊥	⊥	∥	

표 1. Al/Tb-Fe-Co 다층박막의 easy magnetization방향.
⊥는 수직 그리고 ∥는 각각 박막에 수평방향을 나타낸다.

Table 1. Direction of easy magnetization for Al/Tb-Fe-Co multilayerd thin films.
⊥= perpendicular and ∥= parallel to the plane of the film, respectively.

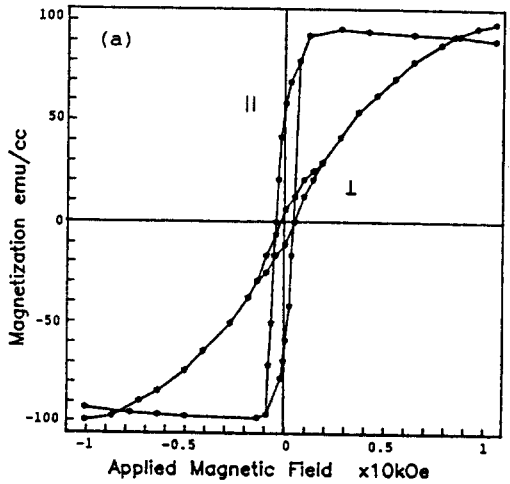


그림 1. (a) 80nm 두께의 단층 Tb-Fe-Co 합금박막의 자기이력곡선

Fig. 1.(a) Hysteresis graphs for

(a) homogeneous Tb-Fe-Co alloy thin film (80nm thick)

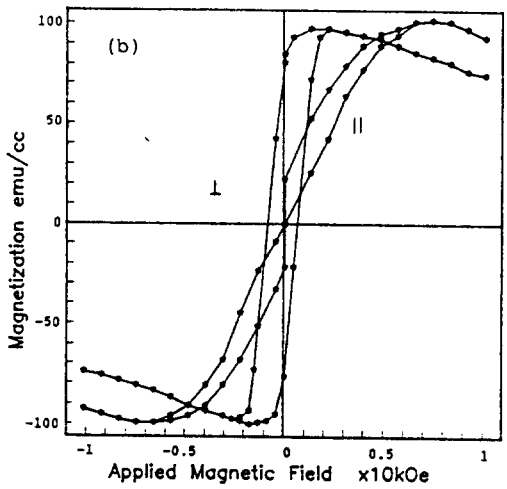


Fig. 1. Hysteresis graphs for
그림 1. (b) (4 Al/10$Tb_{20}Fe_{72}Co_8$)$_8$ 에 대한 자기이력곡선

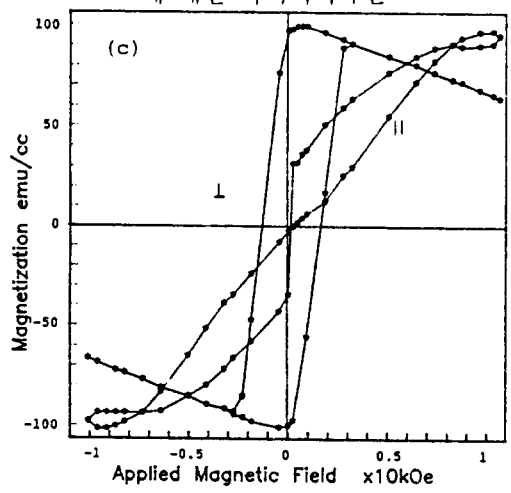


Fig. 1. Hysteresis graphs for
그림 1. (c) (4 Al/10$Tb_{20}Fe_{72}Co_8$)$_{10}$ 에 대한 자기이력곡선

과와 일치한다. 본 실험결과 나타난 바와 같이 다층박막에서 자기적이방성이 변화하는 것이 순전히 Tb-Fe-Co합금박막층의 두께변화에만 기인하는지는 확실치 않다. 이러한 변화 이외에 원자들간의 상호확산 및

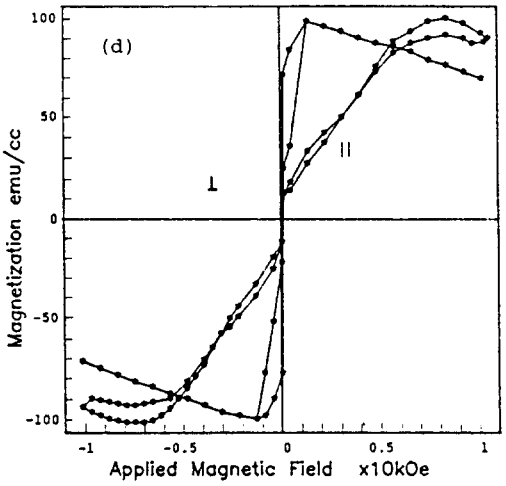


Fig. 1. Hysteresis graphs for
그림 1. (d) (4 Al/10$Tb_{20}Fe_{72}$72Co_8)$_{13}$ 에 대한 자기이력곡선

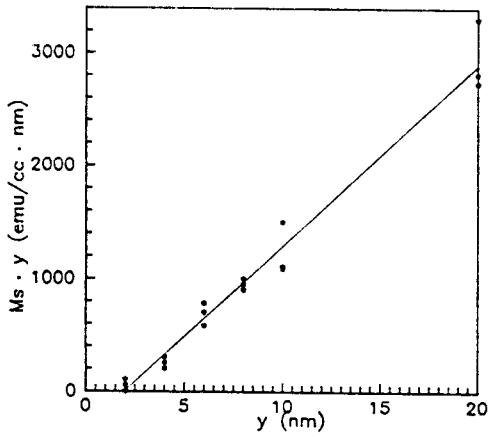


그림 2. Al/Tb-Fe-Co다층박막에서 포화자화 Ms(emu/cc) × Tb-Fe-Co층의 두께 y(nm) 대 y에 대한 그래프

Fig. 2. Saturation magnetization, Ms (emu/cc), times the Tb-Fe-Co layer thickness, y(nm), versus y for Al/Tb-Fe-Co multilayer thin films.

산화등의 결함등이 다층박막에서의 자기적 이방성 변화에 기여하리라[6] 사려된다.

Easy magnetization방향에서 자기장이 높을 때 자화도가 감소하는 현상은 반자성체인 유리기판의 효과에 기인하며, 이러한 효과는 그림 2에 사용된 포화 자화도 계산시 고려되었다. 한 시편에 자성체와 비자성체요소를 동시에 갖고 있는 다층박막시스템에서는 포화자화도 'Ms'에 자성층 두께를 곱한 값(즉, Ms×y)을 자성체 두께y에 대해 플로트하는 것이 유용하다. 단, 여기서 Ms값은 VSM에 의해 측정된 자화도를 Tb-Fe-Co합금 체적으로 나누어 얻어졌다. 이들 데이터를 line fitting하여 얻어진 직선의 기울기는 그 층의 외관으로 나타난 자화도(apparent Ms:스퍼터링시 Al과 합금박막의 혼합에 따른 dead layer의 존재에 기인되는 자기적 성질의 저하가 고려된 자화도)에 해당된다. 합금박막의 수평축을 절단하는 y'는 y'두께만큼 자성체 효력을 상실한 경계구역의 존재를 나타낸다. 그림 2는 Al두께 x는 각각 4, 7, 10nm로 고정시키고, Tb-Fe-Co합금층의두께 y를 2, 4, 6, 8, 10, 20nm까지 변화시켜 제조된 Al/Tb-Fe-Co 다층박막시편에 대해 이러한 형태의 plot을 나타낸 결과이다. 여기서 데이터를 line fitting한 결과 apparent Ms에 해당되는 기울기, 162emu/cc,가 주어진 다층박막시편의 Tb-Fe-Co층들에 대해 계산되었다. 2nm두께의 자기적 효력을 잃어버린 소위 "dead region"이 관찰될 수 있었다. 이러한 dead layer의 두께는 본 연구에서 조사된 Al층의 두께범위(x=4~10nm)에서는 Al층의 두께에 무관하다. 이러한 비자성을 나타내는 경계구역은 박막의 성장중 경계구역에서 Al과 Tb-Fe-Co합금이 혼합되는데 기인된다고 사려된다. 계산된 apparent Ms값(1ь2emu/cc)은 S-C. N. Cheng 등에 의해 연구된[5] Tb-Fe박막에서 얻어진 Ms값과 비슷하나 본 연구에서 조사된 단층으로 Tb-Fe-Co박막의 Ms값보다는 다소 낮았다.

4. 결 론

Al/Tb-Fe-Co다층박막의 자기적성질이 VSM에 의해 ,조사되었다. 자기적이방성은 다층박막의 구조에 의해 크게 영향을 받는다. Tb-Fe-Co합금층의 두께에 따라 자화도가 감소하는 현상은 Al과 Tb-Fe-Co합금 경계층에 자기적으로 효력이 없는 2nm두께의 "dead"층이 형성되는데 기인된다.

참 고 문 헌

1) N. Sato. Y. Aoki, and S. Miyaoka : "Magneto-optical recording on Tb-Fe based thin films" ***IEEE Trans.***, Magn., MAG-20, 1022(1984)

2) F. Tanaka, Y. Nagao, and N. Imamura : "Dynamic read/write chracteristics of magneto-optical TbFeCo and DyFeCo disk" ***IEEE Trans. Magn.***, MAG-20, 1033(1984)

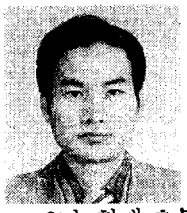
3) J. W. Lee, H-P. D. Shieh, M. H. Kryder, and D. E. Laughlin : "The effects of deposition conditions on micostructure and magnetic properties of TbFeCo" ***J. Appl. Phys.***, 63, 3624(1988)

4) K. Yamauchi, K. Habu, and N. Sato : "Magnetic structure of Tb-Fe films with an artificially layered structure" ***J. Appl. Phys.***, 64, 5748(1988)

5) S-C. N. Cheng, M. H. Kryder, and M. C. A. Mathur : "Stress related anisotropy studies in DC-magnetron sputtered TbCo and TbFe films" ***IEEE Trans. Magn.***, MAG-25, 3746(1989)

6) L. R. Sill, M. Brodsky, S. Bowen, and H. C. Hamaker : "Magnetization of very thin Ni films in eptaxial metal film sandwiches of Cu" ***J. Appl. Phys.***, 57, 3663 (1985)

(1990년 6월 26일 접수)



김명한
1950년7월2일생. 1973년 고려대학교 금속과 졸업. 198 년5월 미국 미시건대학재료과 졸업. 석사. 1984년5월 미국 위스콘신대학 금속과. 박사. 1992년 현재 충북대학교 재료공학과 부교수.

임기조
1952년5월20일생. 1973년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1977년-1981년 국방과학연구소. 1981-현재 충북대공대 전기공학과 부교수.