

'ULTRA-SOFT' 자성박막

삼성전기, 종합연구소
수석연구원, 정 인 섭

'ULTRA-SOFT' MAGNETIC THIN FILMS

Samsung Electro-Mechanics, R&D Center
In-Seop Jeong

1. 서론

자성적으로 soft한 비정질 박막은 고밀도 자기기록/재생에 사용되는 박막헤드(inductive 형과 magnetoresistive 형)의 yoke 재료로서, sendust 박막 또는 Co계 합금박막이 주로 이용된다.[1] 이들 박막은 자기투자율과 전기저항이 커야하며, 화학적으로 또 열적으로 안정해야한다. 특히 bias field 나 주파수에 따른 자기투자율 변화특성은 연자성박막의 고밀도 자기기록에의 적용 가능성과 자계분포의 변화를 이해하는데 큰 도움이 된다. 자기기록헤드에서는 약 10-100MHz 정도의 공진 주파수(resonant frequency)가 필요하며, 이를 위해서는 연자성 재료의 자기이방성은 1 Oe 이하가 되어야 한다. 본 연구에서는 sputtering을 이용한 Co계 연자성 박막을 제조하여 회전자장 열처리(RFA)를 함으로써, 연자성 박막의 특징인 높은 자기투자율 및 1 Oe 이하의 자기이방성을 갖도록 하였으며, 이들 비정질 연자성 박막의 자기투자율 변화특성 측정으로부터 기존에 볼 수 없었던 'ultra-soft'한 성질을 발견하였다. 이러한 자기적 특성으로부터 추정된 ultra-soft 박막의 자계분포 변화를 nanometer 크기의 박막구조, [2,3] spin의 overdamping, spin 사이의 exchange interaction과 magnetostatic interaction 등을 이용하여 해석하였다.[4,5]

2. 실험방법

RF diode type sputter에서 2rpm으로 회전하는 기판위에 순수 cobalt와 boron target을 co-sputter 함으로써 300nm 두께의 compositionally modulated structure(CMS)를 갖는 $Co_{61}B_{39}$ 비정질 박막을 제조하였다. 기판 bias는 -60V 가해졌고 Ar 기체 압력은 5mTorr 였다. 회전자장 열처리는 1×10^{-4} Torr 정도의 진공속에서 행해졌으며, 275°C의 온도와 1.8kOe의 평면자장이 걸린 상태에서 30분간 유지되었다. 보자력, 자기이방성 및 잔류자속은 B-H loop tracer에서 측정되었으며, 자기 투자율 변화특성은 swept frequency permeameter[6]을 이용하여 측정되었다. 박막의 구조를 관찰하기 위한 TEM 시편은 carbon 박막이 입혀진 Cu-grid 위에 직접 $Co_{61}B_{39}$ 박막을 성막하고 동일한 조건에서 회전자장 열처리 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

비정질 $Co_{61}B_{39}$ 박막은 회전자장 열처리 함에 따라, 크게 세가지의 특이한 성질은 나타냄을 알 수 있었다. 첫째 회전자장 열처리된 $Co_{61}B_{39}$ 박막은 표1에서 보이는 바와 같이 자기적으로 매우 soft 한 특성을 보이며, 특히 0.85의 M_r/M_s 값은 박막이 수직이방성 성분을 가지고 있음을 나타낸다.

Table 1. Magnetic parameters of amorphous $Co_{61}B_{39}$ films with 300nm in thickness before and after RFA.

	H_c (Oe)	H_k (Oe)	$4\pi M_s$ (G)	$4\pi M_r$ (G)	M_r/M_s
As-deposited	0.66	9.46	5131	5098	0.99
RFA annealed	0.15	0.80	5760	4901	0.85

둘째, 회전자장 열처리된 $Co_{61}B_{39}$ 박막의 자기투자율($\chi_t(a)$: a 는 직류자계와 자화용이축 사이의 각)은 induction type의 swept frequency permeameter를 이용하여 2-200MHz 범위내에서 측정하였다. 그림 1과 같은 자기투자율의 주파수 특성은 고주파에서의 spin over-damping에 의한것으로 보이며, 자기기록에서 주로 사용되는 10MHz에서의 투자율은 약 4000 정도의 높은 값을 보인다. 위와 같은 실험결과를 Landau-Lifshitz 방정식을 이용하여 그린 곡선과 비교할때, 평면 및 수직 방향으로의 반자장 계수가 무시되고 ($D_x=D_y=D_z=0$) damping 상수 a 가 매우 클때 서로 일치함을 알 수 있다.(그림 1)[4]. 이는 최근 Bouchaud 와 Zerach의 계산에서 이론적으로 증명된바있다[7].

셋째, 자기투자율에 대한 bias field 특성은 그림 2와 같은 이전에는 볼 수 없었던 특이한 결과를 보였다. 즉 전형적인 연자성체의 $\chi_t(0)$ 의 곡선은 그림 2의 C와 D 곡선과 같이 H_c 에서 불연속적이고 비가역적이거나, 본실험에서 사용된 ultra-soft 박막은 $\chi_t(\pi/2)$ 곡선과 동일하게 $\chi_t(0)$ 곡선도 연속적이고 가역적으로 나타났다.(그림 2의 A와 B 곡선) 이는 ultra-soft 박막에서는 dc-bias field가 어느쪽으로 가해지던 동일한 spin 반응을 보인다는 것을 나타내주는 것이며, 거의 완전히 등방성인(isotropic)

성질을 가지고 있음을 보여준다.

이상의 실험결과로부터 밝혀진 $\text{Co}_{61}\text{B}_{39}$ 비정질 박막의 ultra-soft한 성질을 그림 3에 보여지는 vortex 형태의 자화분포로 설명된다. Vortex의 경우 평면 반자장계수는 vortex 사이 계면에서의 flux closure에 의해, 수직 반자장계수는 vortex 중심에서의 flux reversal에 의해 각각 무시된다. 또한 vortex 사이의 magnetostatic, 그리고 exchange interaction energy가 무시될 정도로 작고 vortex 고유이방성이 random하므로 1 Oe 이하의 미소한 자기 이방성을 보인다. 그러나 vortex 고유이방성의 변화(local fluctuation)는 0.8 Oe의 평균값보다 훨씬 크기때문에 damping 상수가 커지는 것으로 보여진다.

이상과 같이 vortex의 자화분포는 ultra-soft한 박막의 세가지 특성을 모두 만족시키며, 실험적으로 제조된 ultra-soft 박막의 특성을 이론적으로 설명할 수 있었다.

- [1] C.D.Mee and E.D.Daniel, Magnetic Recording, Vol.1
- [2] A.P.Valanju, I.S.Jeong, D.Kim and R.M.Walser, J. Appl. Phys. 64, 5443 (1988).
- [3] I.S.Jeong, Proc. 1st Korea-Japan Joint Symposium on Dry Process Technology on New Materials, Oct. 1990, Seoul, Korea
- [4] I.S.Jeong and R.M.Walser, IEEE Trans. Magn. MAG-25, 3366 (1989).
- [5] I.S.Jeong, A.P.Valanju and R.M.Walser, J. Appl. Phys. 64, 5679 (1988).
- [6] C.A.Grimes, P.Trouilloud and R.M.Walser, IEEE Trans. Magn. MAG-24, 603 (1988).
- [7] J.P.Bouchad and P.G.Zerah, J. Appl. Phys. 68, 3783 (1990).

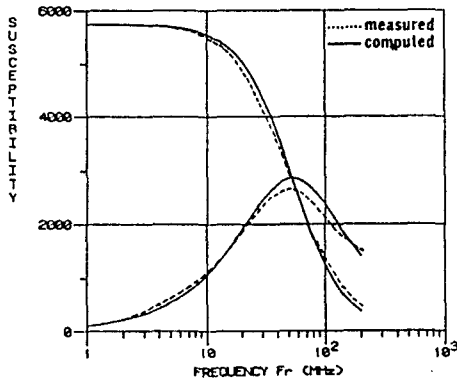


Fig.1. Susceptibility spectra $\chi_t(\pi/2)$ computed from the equation of motion with $\alpha=20$ and $D_x=D_y=D_z=0$ ($4\pi M_s=5400$ G, $H_{eff}=0.94$ Oe) and measured with a ultra-soft $\text{Co}_{61}\text{B}_{39}$ amorphous thin film.

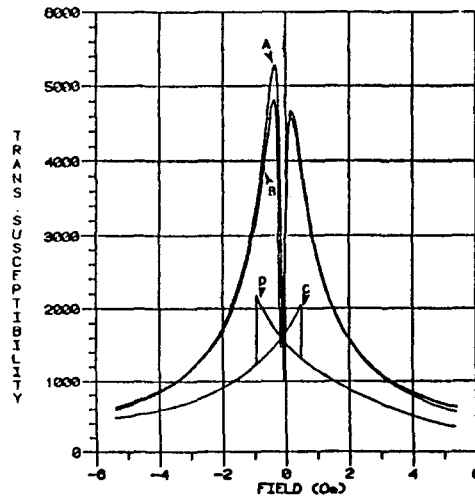


Fig.2. Susceptibility spectra $\chi_t(0)$ measured with dc bias field for a constant ac field amplitude(1.257mOe) and frequency(10 MHz) of a ultra-soft $\text{Co}_{61}\text{B}_{39}$ amorphous film (curves A and B) and a typical soft $\text{Co}_{61}\text{B}_{39}$ amorphous film (curves C and D). Curves A and C for increasing field and curves B and D for decreasing field.



Fig.3. Proposed two-dimensional array of magnetization distributions in the ultra-soft film with nanometer scale heterogeneous structures.