

스퍼터링 압력에 따른 CoSm/Cr 자성 박막의 Magnetic Switching Volumes

정순영 · 김성봉

경상대학교 자연과학대학 기초과학부 물리전공 및 기초과학 연구소
경남 진주시 가좌동 900번지, 660-701

(2000년 7월 21일 받음, 2000년 9월 8일 최종수정본 받음)

Cr을 하지층으로 사용한 CoSm 박막은 고기록밀도 수평 자기기록 매체로 가능성이 커 이에 대한 관심이 집중되고 있다. 본 연구에서는 dc 마그네트론 스퍼터링법으로 제작한 CoSm 박막의 자기적 성질의 Ar 가스 스퍼터링 압력 의존성을 조사하였다. 특히 고기록밀도 자기기록 매체에서 magnetic switching volume V^* 은 자기기록 매체에 기록된 정보의 열적 안정성, 자화반전 및 잡음을 이해하는데 중요한 자료가 된다. 따라서 본 연구에서는 동일 조건에서 제작한 하지층 Cr 위에 스퍼터링 압력을 달리하여 자성층 CoSm을 성장시켜 switching volume의 스퍼터링 압력 의존성을 규명하도록 하였다. 연구 결과 switching volume은 스퍼터링 압력이 증가할수록 감소하며, 그 크기는 $9.0\sim 5.2 \times 10^{-18} \text{ cm}^3$ 범위 내에 있었다. Switching volume V^* 를 이용하여 계산한 switching 단위의 크기는 22 nm 보다 작으며, 이 크기는 고기록밀도 수평 자기기록 매체의 열적 안정성에 대한 Sharrock 조건을 만족한다.

I. 서 론

자기기록 매체는 정보화 시대에 각종 정보를 기록하고 재생하는데 가장 많이 사용되고 있는 기록 매체로서 고기록밀도화를 향한 연구가 끊임없이 진행되어 괄목할만한 성과를 거두고 있다[1].

차세대 고기록밀도 수평 자기기록 매체란 기록밀도가 1~10 Gb/in² 정도인 기록 매체로서 bit 크기가 수백 nm되는 것을 의미한다. 차세대 고기록밀도 자기기록 매체로서의 가능성이 큰 자성 재료로는 CoCr(Pt)Ta[2], CoPt[3], SmFeSiC[4] 및 CoSm[5-7] 박막인 것으로 알려져 있으며, 이들 중 CoSm 박막이 최근까지 가장 주된 연구의 대상이 되고 있다.

Co 합금 박막의 경우 하지층으로 Cr을 주로 사용하는 데, 그 이유는 Cr 층이 육방밀집구조 Co 합금의 면과 거의 같은 커닝기를 보이므로 육각형 Co 합금의 c 축이 면내로 배향하는 것을 향상시킬 수 있기 때문이다[8]. 또한 CoSm 박막의 경우 자성층의 구조는 하지층의 구조를 그대로 이어 받는 것으로 밝혀져 하지층의 제작조건에 따른 CoSm 박막의 자성에 관한 연구가 주로 많이 이루어지고 있다[9, 10].

고기록밀도 수평 자기기록 매체가 될 조건으로는 보자력(H_c)이 2.5~4.5 kOe, 잔류 자화와 시료 두께의 곱($M_r t$)이 0.35~1 memu/cm², 보자력 각형 비가 0.6~0.8 정도이고, 높은 자기이방성(K_u)을 가져야 하며, grain의 크기가

7~10 nm이고 grain 사이에 상호작용이 없어야 한다고 Murdock이 제안하였다[11]. Magnetic switching (activation) volume(V^*)과 물리적인 grain(V)을 측정할 다음 이들을 비교하여 물리적인 grains 사이의 상호작용 세기 정도를 판단하고 있으며, 특히 V^* 은 자화반전의 크기를 결정하는 중요한 요소이므로 물리적인 grain 크기에 비하여 고기록밀도 자기기록 매체에 기록된 정보의 열적 안정성과 정보의 입·출력 속도 및 잡음 등을 평가하고 자화반전을 이해하는데 있어 매우 중요한 자료가 된다[3].

자성 박막의 자기적 성질은 박막의 제작조건 즉, 하지층과 자성층의 두께, 스퍼터링 압력 등에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 동일한 조건에서 제작한 하지층 Cr 위에 스퍼터링 압력을 달리하여 자성층 CoSm을 성장시킨 CoSm/Cr 박막에 대한 switching volume의 스퍼터링 압력 의존성을 규명하고, 이 값을 Sharrock[12]이 제안한 고기록밀도 자기기록 매체 조건에 적용시켜 보도록 한다.

II. 실험 방법

자성층으로 사용될 CoSm target은 Ar가스 분위기에서 Co와 Sm 분말을 일정 비율로 각각 칭량하여 ball mixing 하였고, 이 분말을 직경 2 inch 원판 형태로 고압으로 압축시켜 진공도 10^{-6} Torr, 온도 1,100 °C에서 30분간 열처리하여 제작하였다.

실험에 사용할 시료 CoSm/Cr는, chamber를 진공도 3×10^{-7} Torr까지 배기시킨 다음 하지층과 보호층은 Ar 스퍼터링압력을 10 mTorr으로 유지시킨 상태에서 각각 90, 30 nm으로, 자성층 CoSm은 스퍼터링 압력을 5 mTorr에서 30 mTorr까지 변화시키면서 24 nm 두께로 cover glass 위에 제작하였다. 또한 dc magnetron 스퍼터링법으로 제작한 시료의 수평 및 수직 자기이력곡선은 상온에서 시료 진동형 자력계 (Vibrating Sample Magnetometer)로 측정하였다.

한편 시료의 switching volume은 인가 자기장의 sweep rate의 함수로 표현되는 보자력을 측정하여 구하는 방법과, 자화 감쇠의 시간 의존성으로부터 결정한 점성계수(viscosity coefficient: S)와 직류 demagnetization remanence 곡선을 측정하여 결정한 비가역 자화율(irreversible susceptibility: χ_{irr})을 이용하여 구하는 방법이 있다. 본 연구에서는 후자의 방법을 택하여 switching volume을 구하기로 한다. 자화 감쇠의 시간 의존성 측정은 시료가 완전히 포화될 수 있을 정도의 큰 자기장 10 kOe를 인가하여 완전히 포화시킨 다음, 포화시킨 자기장과 반대 방향의 자기장을 인가하여 500~2,000 sec까지 측정하였다. 또한 직류 demagnetization remanence 곡선은 자기장 탈자법으로 시료를 탈자시킨 후에, 시료에 자기장 5 kOe를 인가하여 측정하였다.

III. 결과 및 논의

스퍼터링 압력 5, 15, 18, 25 및 30 mTorr 하에서 제작한 5종의 CoSm/Cr 시료의 보자력은 18 mTorr에서 제작한 시료가 최대를 보였으며 압력이 증가할수록 감소하였다. 또한 포화자화 값은 낮은 스퍼터링 압력에서 제작한 시료일수록 증가하는 경향을 보였으며, 이에 대한 것은 switching volume의 스퍼터링 압력 의존성 부분에서 다루기로 한다. 모든 시료의 하지층 Cr은 동일 조건으로 제작하였으므로 보자력과 포화자화의 증감현상은 자성층 CoSm의 표면 형상 및 충전율(packing fraction)로 설명 가능하다. 특히 보자력은 자성층 CoSm을 높은 스퍼터링 압력 하에서 제작한 시료일수록 표면의 거칠기와 cluster 크기가 증가한다는 연구결과[14]로 설명될 수 있다. 따라서 보자력 및 포화자화는 하지층 뿐만 아니라 자성층의 제작 조건에도 크게 의존함을 알 수 있었다.

Fig. 1은 18 mTorr 하에서 제작한 시료의 자화 감쇠의 시간 의존성을 나타낸 것으로, 보자력과 거의 같은 크기의

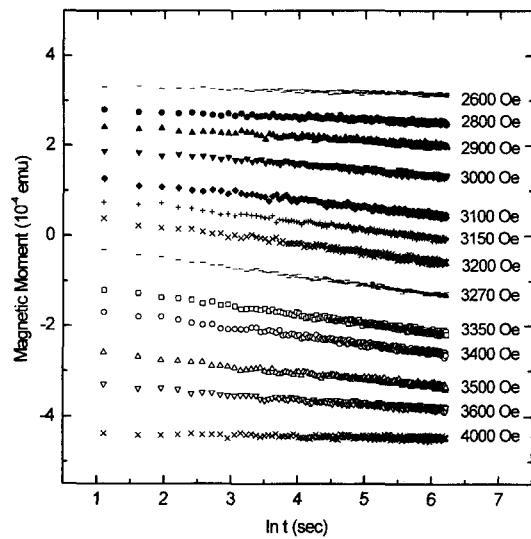


Fig. 1. Magnetic moment decay curves as a function of time. Different curves correspond to the different reversing magnetic fields.

역방향 자기장을 인가한 경우 초기에 뚜렷한 자화 감쇠 현상이 나타났다. 그러나 보자력에 비하여 다소 높거나 낮은 자기장 하에서는 초기에 뚜렷한 자화 감쇠 현상을 보이지 않아 최대 2,000 sec 동안 측정하였으며, 나머지 시료에 대한 실험 결과 또한 이와 비슷한 경향을 보였다.

자기이력 현상을 일으키는 자성체의 자화가 시간이 경과함에 따라 감쇠하는 현상은 자기모멘트의 열적 여기 때문에 일어나는 보편적인 현상으로, 각 시료별 점성계수는 자화 감쇠의 시간의존성 측정결과를 실험식 $M(H, t) = M_0(H, t_0) \pm S(H) \ln t$ 에 적용시켜 구할 수 있다. 이 식에서 M 과 M_0 는 각각 시간 t 와 t_0 에서의 자화 값을 나타내고 S 는 자기점성계수이다. 이 식을 이용하여 구한 시료별 최대 점성계수는 Fig. 2와 같다. 최대 점성계수는 시료내의 가장 다수인 에너지 장벽의 크기를 반영하는 물리량이며, 이 에너지 장벽은 외부 자기장에 의해서가 아니라 열적 요동에 의해 넘을 수 있는 것이 점성에 대한 물리적인 개념으로, 각 시료의 최대 점성계수는 각각의 보자력 영역에 존재하게 될 것이다. 따라서 Fig. 2에 표시된 것처럼 최대 자기점성계수가 위치한 자기장 영역과 수평 자기이력곡선 측정으로 얻은 보자력 값을 비교한 결과, 최대 점성계수가 나타난 자기장의 위치가 보자력보다 다소 큰 위치에서 나타났다으나 무시 가능할 정도였다.

Fig. 3은 18 mTorr 하에서 제작한 시료의 직류 demagnetization remanence 곡선 측정 결과를 $\chi_{irr} = (dM_d/dH)$

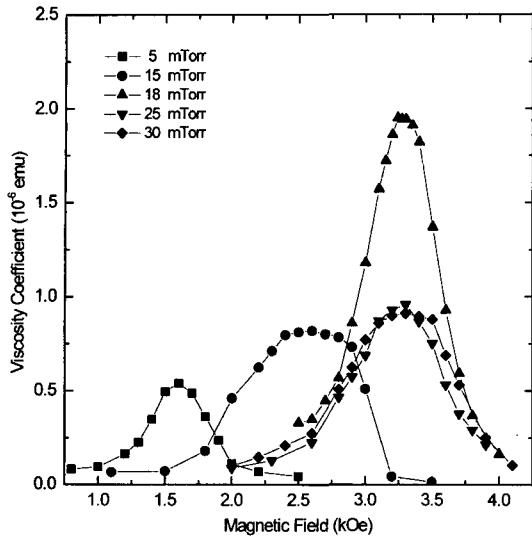


Fig. 2. Variation of magnetic viscosity coefficient as a function of reverse magnetic field at room temperature.

식에 적용시켜 구한 비가역 자화율을 나타낸 것이다. 최대 비가역 자화율의 위치는 최대 점성계수가 나타난 자기장의 위치와 거의 일치하였다. 이와 같은 현상은 최대 점성계수와 마찬가지로 최대 비가역 자화율 또한 시료내의 다수인 에너지 장벽을 반영하기 때문인데, 이 결과는 milling 법으로 제작한 SmCo₅ nanoparticles에 대한 실험에서 자기 점성계수와 비가역 자화율의 자기장 의존성이 동일하

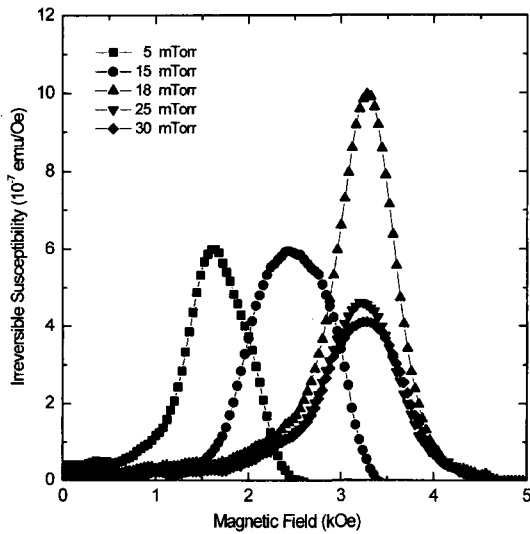


Fig. 3. Variation of irreversible susceptibility as a function of reverse magnetic field at room temperature.

다는 Majetch 등의 연구결과[13]로 잘 설명된다.

점성계수와 비가역 자화율과의 관계는 $H_f = (S/\chi_{irr}) = (k_B T / V^* M_s)$ 으로 표현되며 H_f 는 요동장(fluctuation field), M_s 는 포화자화, k_B 는 Boltzmann 상수 그리고 T 는 절대온도이다. 이 식을 이용하여 얻은 시료별 switching volume V^* 과 수평 자기이력 곡선으로부터 구한 보자력을 Fig. 4에 나타내었다. 이 그림에 의하면 switching volume V^* 은 낮은 스퍼터링 압력에서 제작한 시료가 높은 압력에서 제작한 시료에 비하여 더 크며, 18 mTorr 이상에서는 거의 일정한 경향을 보였다. 또한, 보자력의 경우는 18 mTorr 하에서 제작한 시료가 최대 보자력을 보이다가 다소 감소하기 시작하였다. 한편 grains 사이의 교환 및 정자기적 상호작용에 관한 E.M.T. Velu의 연구결과[14]에 의하면, 하지층 Cr이 없거나 하지층의 두께가 얇은 시료일수록 grains 사이의 자기적 상호작용의 척도인 delta-M이 크고 보자력이 감소하므로, Cr이 grains를 자기적으로 decoupling 시키는 것으로 해석하고 있다. 또한 스퍼터링 압력이 낮고 두께가 두꺼운 자성막일수록 큰 V^* 을 보이는 원인을 높은 충진율로 인한 큰 자기적 상호작용에 기인된다는 E.W. Singleton 등의 연구결과[14, 15]에서 설명하고 있으며, 본 연구결과도 거의 같은 경향을 보이고 있다. 따라서 낮은 스퍼터링 압력 하에서 제작한 시료일수록 switching volume V^* 이 큰 원인은 물리적인 grains이나 nanocrystallites 사이의 강한 자기적 상호작용으로 인하여 함께 반전을 일으키기 때문인 것으로 판단된다. 또한 V^* 이 큰 시료일수록 강한 상호작용으로 인하여 낮은 보자력을 보

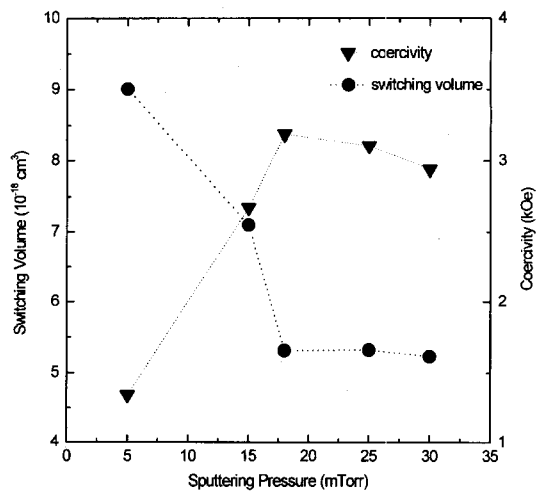


Fig. 4. Dependence of switching volume and coercivity on the Ar sputtering pressure of CoSm magnetic layer.

이고, V^* 이 작은 시료는 grains 또는 nanocrystallites 사이의 상호작용이 약하므로 큰 보자력을 나타내는 것으로 볼 수 있다.

시료의 switching volume V^* 가 원통형이라고 가정할 경우 CoSm 자성 박막의 두께가 원통의 높이에 해당하므로 V^* 의 직경을 구할 수 있다. 이 결과 5 mTorr 하에서 제작한 시료의 switching volume 크기는 약 22 nm이고, switching volume이 가장 작은 30 mTorr 시료는 16 nm 정도 되었다. 한편 스퍼터링 압력 및 자성층의 두께를 변화시키면서 제작한 CoSm에 대한 Z.S. Shan[16]의 연구에 의하면 두께 24 nm, 스퍼터링 압력이 각각 5, 12, 30 mTorr인 CoSm 박막의 grain 크기가 25 nm 정도이고, 자성층 두께가 두꺼울수록 grain 크기가 증가함이 밝혀졌다. 따라서 본 연구에 사용된 모든 시료의 switching volume의 크기는 Z.S. Shan이 밝힌 grain의 크기에 비하여 다소 작은 크기로 회전함을 알 수 있다.

한편 기록된 정보의 열적 안정성을 논하기 위해 Sharrock[12]의 조건 $K_u V / k_B T \geq 100$ 을 적용시켜 보았다. 여기서 V 는 grain의 크기지만 열적 안정성과 잡음은 grain이나 switching volume에 밀접하게 관련되므로 이미 결정된 switching volume을 사용하여 열적 안정성을 논하기로 한다. 열적 안정성을 논의하는데 필요한 시료의 자기이방성 상수는 주로 토크 자력계(Torque Magnetometer)를 사용하여 구하지만, 시료가 일축이방성을 가진 경우 시료진동형 자력계로 측정된 수평 및 수직 자기이력곡선 면적 차이를 이용하여 구하는 방법[17]이 있다. CoSm 자성 박막의 경우, Cr을 하지층으로 하면 육방밀집구조 CoSm의 c축이 시료의 면대로 배향됨을 D.E. Laughlin[8]가 밝혔을 뿐만 아니라 매우 큰 면 내 자기이방성을 가진다는 사실이 E.M.T. Velu[14]와 H. Hegde[18]에 의해 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 E.W. Singleton[15]과 K. Chen[19]이 CoSm 자성박막의 자기이방성 상수를 구한 것과 같은 방법인 시료진동형 자력계로 상온에서 측정된 수평 및 수직 자기이력곡선의 면적 차이를 이용하여 자기이방성 상수를 구하였다. 그 결과 자기이방성 상수 K_u 는 15 mTorr 하에서 제작한 시료가 최대를 보이다가 감소하는 경향을 보였으며, 모든 시료의 K_u 는 $4\text{--}6 \times 10^6$ (erg/cm³) 범위 내에 있었다. 따라서 각 시료의 switching volumes과 자기이방성 상수를 Sharrock 조건에 적용시킨 결과 $K_u V^* / k_B T$ 값이 약 500~970 범위 내에 있으므로 본 연구에 사용된 모든 시료는 고기록밀도 수평 자기기록 매체로서 이용 가능성이 큰 자성재료로 판단된다.

IV. 결 론

고기록밀도 수평 자기기록 매체로 이용 가능성이 큰 CoSm 박막에 대한 switching volume V^* 의 스퍼터링 압력 의존성을 조사하기 위하여 스퍼터링 압력을 5~30 mTorr까지 변화시키면서 하지층 Cr 위에 자성층 CoSm을 dc 마그네트론 스퍼터링법으로 제작하였다. 최대 점성 계수와 비가역 자화율을 이용하여 구한 switching volume은 스퍼터링 압력이 증가할수록 감소하였고, 수평 자기이력곡선을 측정하여 얻은 보자력은 증가하는 경향을 보였다. Switching volume V^* 를 이용하여 구한 switching 단위의 크기는 22 nm 보다 작았으며, 이 크기는 고기록밀도 수평 자기기록 매체의 열적 안정성에 대한 Sharrock 조건을 만족하는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Futamoto, F. Kugiyu, M. Suzuki, H. Takano, Y. Matsuda, N. Inaba, Y. Migamura, K. Akagi, T. Nakao, H. Sawaguchi, H. Fukuoka, T. Mnemoto and T. Takagaki, IEEE Trans. Magn. **MAG-27**, 5280(1991).
- [2] C. Gao, Z. S. Shan, R. Malmhall, Y. Liu, H. J. Richter, A. Barney, G. C. Rauch, D. J. Sellmyer, J. Appl. Phys. **81**, 3928(1997).
- [3] S. S. Malhotra, Z. S. Shan, D. C. Stafford, S. H. Liou, and D. J. Sellmyer, IEEE Trans. Magn., **MAG-32**, 4019(1996).
- [4] S. Y. Zhang, Z. S. Shan, Y. Liu, T. Y. Zhao, J. G. Zhao, W. S. Zhan, and D. J. Sellmyer, J. Appl. Phys. **81**, 4551(1997).
- [5] S. Takei, S. Shomura, A. Morisako, M. Matsumoto, J. Appl. Phys. **81**, 4674(1997).
- [6] S. Takei, Y. Otagiri, A. Morisako, M. Matsumoto, J. Appl. Phys. **85**, 6145(1999).
- [7] K. Mibu, T. Nagahama, T. Shinjo, J. Magn. Magn. Mater. **156**, 299(1996).
- [8] D. E. Laughlin B. Y. Wong, IEEE Trans. Magn. **MAG-27**, 4713(1991).
- [9] S. Takei, A. Morisako, and M. Matsumoto, J. Appl. Phys. **87**, 6968(2000).
- [10] S. A. Romero, D. R. Cornejo, F. M. Rhen, A. C. Nevía, M. H. Tabacniks, and F. P. Missell, J. Appl. Phys. **87**, 6965(2000).
- [11] E. S. Murdock, IEEE Trans. Magn. **MAG-28**, 3083(1992).
- [12] M. P. Sharrock, IEEE Trans. Magn. **MAG-26**, 193(1990).
- [13] S. A. Majetich and E. M. Kirkpatrick, IEEE Trans. Magn. **MAG-33**, 3721(1997).
- [14] E. M T Velu and D. N. Lambeth, IEEE Trans. Magn. **MAG-28**, 3249(1992).
- [15] E. W. Singleton, Z. S. Shan, S. Y. Jeong, and D. J.

- Sellmyer, IEEE Trans. Magn. **MAG-31**, 2743(1995).
- [16] Z. S. Shan, S. S. Malhotra, S. H. Liou, Yi Liu, M. Yu, and D. J. Sellmyer, J. Magn. Mater. **161**, 324(1996).
- [17] G. C. Hadjipanayis and G. A. Prinz, Science and Technology of Nanostructured Magnetic Materials, Plenum Pub. Corp.(1991).
- [18] H. Hegde, S. U. Jen, and F. J. Cadieu, J. Appl. Phys. **73**, 5926(1993).
- [19] K. Chen, H. Hegde, S. U. Jen, and F. J. Cadieu, J. Appl. Phys. **73**, 5923 (1993).

Sputtering Pressures Dependence on Magnetic Switching Volumes of CoSm/Cr Magnetic Thin Films

Soon-Young Jeong and Sung-Bong Kim

*Department of Physics and The Research Institute of Natural Science, Gyeongsang National University,
660-701 Gyeongnam, Chinju*

(Received 21 July 2000, in final form 8 September 2000)

CoSm thin films with a Cr underlayer have received continuous attention as a potential material for a high density longitudinal magnetic recording media. In this study the Ar gas sputtering pressure effects on the magnetic properties of CoSm thin films, which were fabricated by using a dc magnetron sputtering machine, were investigated. The magnetic switching volume is especially important parameter to understand the thermal stability of the written information, magnetization reversal process and media noise. Therefore, in this paper the effects of sputtering pressure on the magnetic switching volume of CoSm thin films grown on Cr underlayer with the same sputtering conditions was studied. As the Ar sputtering pressure during sputtering of the CoSm magnetic layer increases from 5 to 30 mTorr, the measured switching volumes decreased from 9.0 to 5.2×10^{-18} cm³. The calculated diameter of switching unit from V^* was less than 22 nm, which satisfies the Sharrock's requirement on the thermal stability of the high density longitudinal magnetic recording media.