

CoSm/Cr 박막의 자성층 두께에 따른 자기역전부피

정순영* · 김현수

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

(2001년 10월 15일 받음, 2001년 12월 3일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 dc 마그네트론 스퍼터링법으로 CoSm 박막을 제작하여 자기적 성질의 자성층 두께 의존성을 조사하였다. 고밀도 자기기록 매체의 여러 가지 성질 중 자기역전부피는 자기기록 매체에 저장된 정보의 열적 안정성, 자화반전 기구 및 잡음을 이해하는 데 매우 중요한 자료가 된다. 따라서 자기화 감쇄의 시간 의존성과 직류 demagnetization remanence 곡선 측정결과로부터 각각 점성계수와 비가역 자화율을 구한 다음 최대 점성계수 및 비가역 자화율을 이용하여 최대 자기역전부피의 두께 의존성을 조사하였다. 자기역전부피와 보자력은 CoSm의 두께가 48 nm와 24 nm에서 각각 최대를 보이다가 오히려 감소하였으나 자기이방성은 계속 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 현상은 자성층의 두께가 증가함에 따라 결정립 또는 nanocrystallites 사이의 자기적 교환 상호작용이 증가하기 때문인 것으로 해석된다.

주제어 : CoSm 박막, 자기점성계수, 비가역자화율, 자기역전부피

I. 서 론

천이금속-희토류금속 합금 자성박막은 자기기록 매체나 각종 감응소자 등 여러 분야에 높은 응용성을 가지고 있는데, 그 중에서도 CoSm 자성 박막은 향후 고밀도 수평 자기기록 매체로서 이용 가능성이 큰 것으로 판단되어 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[1, 2]. 기록밀도가 1~10 Gb/in² 정도이고 bit 크기가 수백 nm되는 것을 의미하는 고밀도 수평 자기기록 매체로서의 가능성이 큰 자성 재료로는 CoCrPt(X=X=Ta, B)[3-5], CoPr[6], SmFeSiC [7] 및 CoSm[8-10] 박막인 것으로 알려져 있으며, 이들 중 CoSm 박막이 최근까지 가장 주된 연구의 대상이 되고 있다.

CoSm을 비롯한 Co계 합금 박막의 경우 하지층으로 Cr을 주로 사용하는 데, 그 이유는 Cr층이 육방밀집구조 Co계 합금의 면과 거의 같은 커쌍기를 보이므로 육각형 Co계 합금의 c 축이 면 내로 배향하는 것을 향상시킬 수 있고[11], 자성층이 하지층의 구조를 그대로 이어 받는 것으로 밝혀져 하지층의 제작조건인 스퍼터링 압력 및 두께에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다[12, 13]. 특히 Velu et.al의 연구에서는 CoSm/Cr 박막의 보자력은 Cr과 CoSm층의 제작조건인 스퍼터링 압력, 온도 등에 크게 의존하며, 이 의존성은 시료의 미세구조가 주된 원인인 것으로 보고하였다[14].

따라서 본 연구에서는 스퍼터링 압력 및 두께를 일정하게 유지한 상태로 제작한 하지층 Cr 위에 스퍼터링 압력은 변화시키지 않고 자성층 두께만을 달리하여 제작한 CoSm/Cr 박막에 대한 자기역전부피(magnetic switching volume : V*)의 자성층 두께 의존성에 대해 조사하도록 한다. 순수 과학과 응용면에서도 중요한 물리량인 V*은 자화반전의 크기와 기구를 설명할 수 있을 뿐만아니라 고밀도 자기기록 매체에 기록된 정보의 열적 안정성과 정보의 입·출력 속도 및 잡음 등을 평가하는 데 있어 매우 중요한 자료가 된다[6]. 시료별 V*는 자기화 감쇄의 시간 의존성으로부터 구한 자기점성계수(magnetic viscosity coefficient : S)와 직류 demagnetization remanence 곡선으로부터 구한 비가역 자화율(irreversible magnetic susceptibility : $\chi_{sub\ irr}$)를 이용하여 구할 것이다.

II. 실험 방법

자성층으로 사용될 Co₄₂Sm target은 Ar가스 분위기에서 Co와 Sm 분말을 일정 비율로 각각 칭량한 다음 ball mixing하여 직경 2 inch 원판 형태로 고압으로 압축시켜 진공도 10⁻⁶ Torr, 온도 1,100°C에서 30분간 열처리하여 제작하였으며, 하지층과 보호층으로 사용한 Cr은 순도 99.9%인 제품을 구입하여 사용하였다.

시료 CoSm/Cr는 dc 마그네트론 스퍼터링법으로 chamber의 진공도를 3×10⁻⁷ Torr까지 배기시킨 후 하지층과 보호층은 Ar 스퍼터링 압력을 10 mTorr로 유지시킨

*Tel: (055)751-5933, E-mail: syjeong@nongae.gsnu.ac.kr

상태에서 각각 90, 30 nm의 두께로, 자성층 CoSm은 스퍼터링 압력을 18 mTorr로 일정하게 유지시킨 상태에서 두께를 12 nm에서 96 nm까지 변화시키면서 상온에서 cover glass 위에 제작하였다. 자성층 CoSm의 증착속도와 전력은 0.14 nm/sec, 15 W이고, Cr은 0.5 nm/sec, 50 W 이었다.

시료의 자기적 성질은 시료진동형 자력계(Vibrating Sample Magnetometer)로 상온에서 측정하였다. 시료별 수평 자기이력곡선으로부터 시료의 포화 자기화, 보자력을 구하였으며, 수평 및 수직 자기이력곡선의 면적 차이로부터 자기 이방성 에너지를 결정하였다[15]. 또한 자기모멘트 감쇄의 시간 의존성 측정은 시료가 완전히 포화될 수 있을 정도의 큰 자기장 10 kOe를 가하여 포화시킨 다음 보자력 크기에 비하여 다소 높거나 낮은 역방향의 자기장을 인가하여 최대 2,000 sec 동안 측정하였다. 한편 직류 demagnetization remanence 곡선은 자기장 탈자법으로 시료를 탈자시킨 다음 자기장 5 kOe를 인가하여 측정하였다.

III. 결과 및 논의

자성층의 두께를 달리하여 제작한 4종의 CoSm/Cr 시료에 대한 수평 자기이력곡선을 측정한 결과 포화 자기화는 두께에 관계없이 거의 일정하였다. 그러나 그림 1에 나타난 것처럼 보자력은 24 nm인 시료가 최대를 보이다가 두께가 증가할수록 감소하는 반면에 수평 및 수직 자기이력곡선의 면적 차이로부터 구한 자기이방성 에너지는 오히려 크게 증가하는 경향을 보였다. 자성층 CoSm 두께에 따른 보자력 및 자기이방성 에너지의 증감 현상은 스퍼터링 압력 및 두께를 변화시키면서 제작한 시료에 대한 S.Y. Jeong *et al.*[15, 16]과 E.M.T. Velu *et al.*[14]의 연구결과로 설명될 수 있다. 이들의 원자간력 현미경(AFM) 및 고분해 투과 전자 현미경(HRTEM) 실험 결과에 의하면,

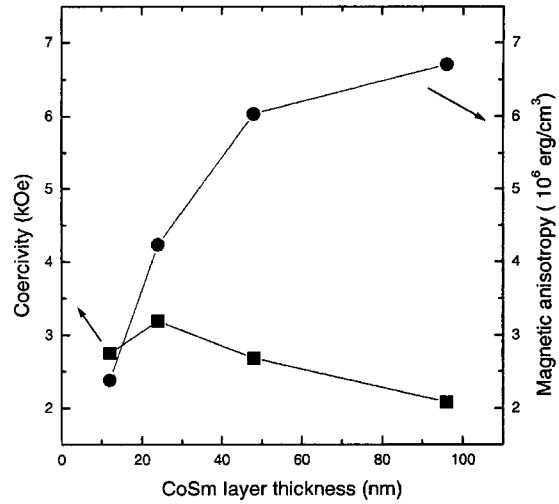


Fig. 1. CoSm layer-thickness dependence of magnetic viscosity coefficient and measured anisotropy.

자성층의 두께가 얇은 시료는 자기적으로 잘 고립된 CoSm 결정립이 원주형구조로 이루어진 반면, 두께가 두꺼워질수록 결정립 사이의 빈공간(voids)이 채워지고 결정립 덩어리(cluster)가 형성되므로 원주형 구조가 사라진다고 설명하고 있다. 따라서 보자력의 감소 및 자기이방성 에너지의 증가 원인은 자성층이 두꺼워질수록 결정립 사이에 강력한 자기적 교환 상호작용이 일어나고, 얇은 CoSm 박막에 비하여 두꺼운 자성 박막에서 자기모멘트가 면 내에 더 잘 정렬하기 때문인 것으로 판단된다. 그림 2는 자성층의 두께별 수평 및 수직 자기이력곡선을 나타낸 것으로, 자성층의 두께가 두꺼울수록 수직 자기이력곡선의 폭이 좁아지고 자기장 축에 점점 기울어지는 경향을 발견할 수 있다. 이 그림으로부터 자성층의 두께가 증가할수록 자기모멘트는 면 내로 더 잘 배위할 뿐만아니라 또한 자기이방성 에너지의 증가 현상이 쉽게 설명된다.

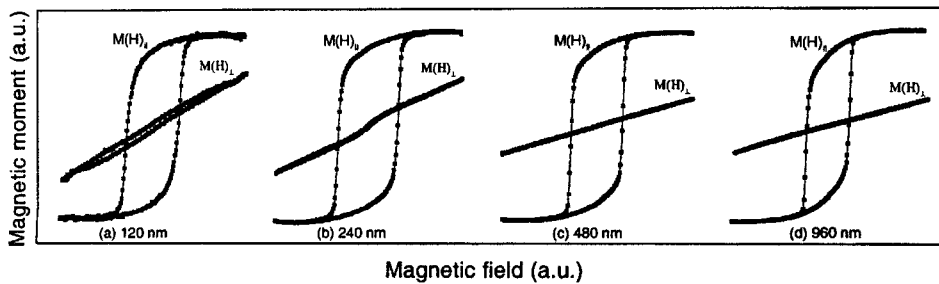


Fig. 2. Hysteresis loops at 300 K for different CoSm layer-thickness samples.

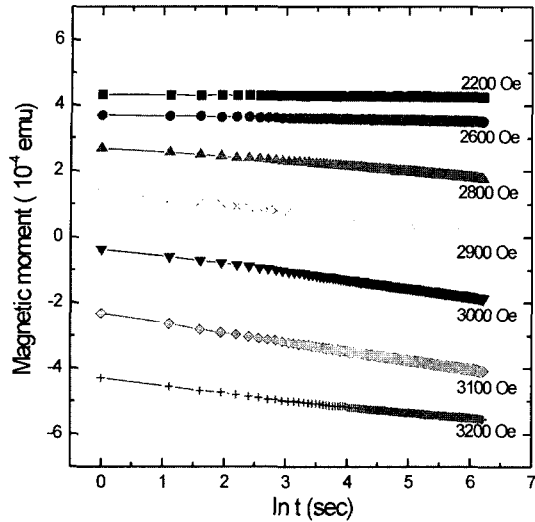


Fig. 3. Magnetic moment decay curves as a function of time. Different curves correspond to the different reversing magnetic fields.

자기이력 현상을 나타내는 강자성체의 자기화가 시간 의존성을 보인다는 사실은 잘 알려진 현상이다. 다시 말해 강자성체에 자기장을 인가한 뒤 자기장을 제거한 경우라도 자기화는 시간이 경과함에 따라 계속 변하는 데, 이 거동의 주된 원인은 이방성 에너지 장벽을 능가하는 열적으로 여기된 자기화의 천이에 기인됨을 R. Street와 J.C. Woolley는 설명하고 있다[17]. 자기이력곡선에서 자기화는 가역적인 성분과 비가역적인 성분으로 구성되어 있으며, 가역적인 자기화는 비가역적인 자기화에 비하여 시간 의존성의 기여도가 낮다. 비가역적인 자기화는 적당한 조건하에서 관계식 $M(H, t) = M_o(H, t_o) \pm S(H) \ln t$ 에 따라 변한다는 사실이 실험적으로 밝혀졌다. 여기서 M 과 M_o 는 각각 시간 t 와 t_o 에서의 자기화 값을 나타내고, S 는 자기점성계수이다.

그림 3은 자성층의 두께가 480 nm인 시료에 대한 자기 모멘트 감쇄의 시간 의존성을 측정 후 이 결과를 위의 식에 적용시켜 나타낸 것이며, 나머지 시료에 대한 실험 결과 또한 이와 비슷한 경향을 보였다. 이 fitting 곡선을 이용하여 구한 시료별 점성계수는 그림 4와 같다. 최대 점성계수는 시료 내의 가장 다수인 에너지 장벽의 크기를 반영하는 물리량으로, 각 시료의 최대 점성계수는 각각의 보자력 영역에 존재하게 된다. 따라서 그림 4에 표시된 것처럼 최대 자기점성계수가 위치한 자기장 영역과 수평 자기이력곡선 측정으로 얻은 보자력 값을 비교한 결과, 최대

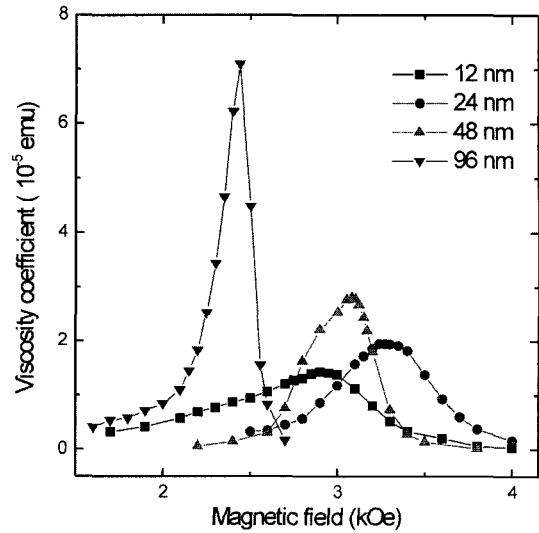


Fig. 4. Variation of magnetic viscosity coefficients as a function of reverse magnetic fields for different CoSm layer-thickness samples.

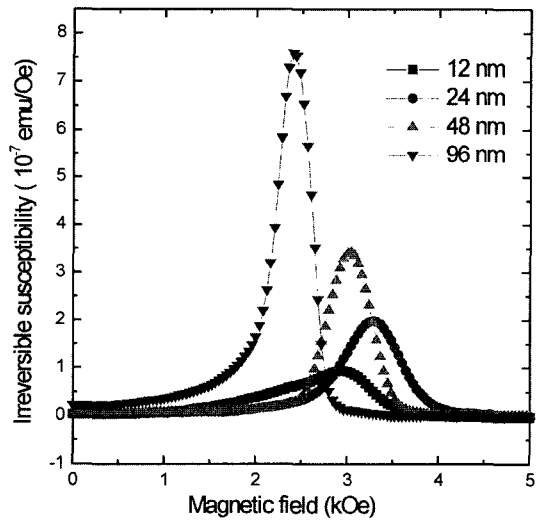


Fig. 5. Variation of irreversible susceptibilities as a function of reverse magnetic fields.

점성계수가 나타난 자기장의 위치가 보자력보다 다소 큰 위치에서 나타났으나 무시 가능할 정도였다.

그림 5는 직류 demagnetization remanence 곡선 측정 결과를 관계식 $\chi_{irr} = dM_r/dH$ 에 적용시켜 구한 비가역 자화율을 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 최대 비가역 자화율이 나타난 자기장 영역을 구하여 수평 자기이력곡선으로부터 결정한 보자력과 비교한 결과, 보자력에 비하여 다소 높았다. 그러나 최대 점성계수와 최대 비가역 자화율

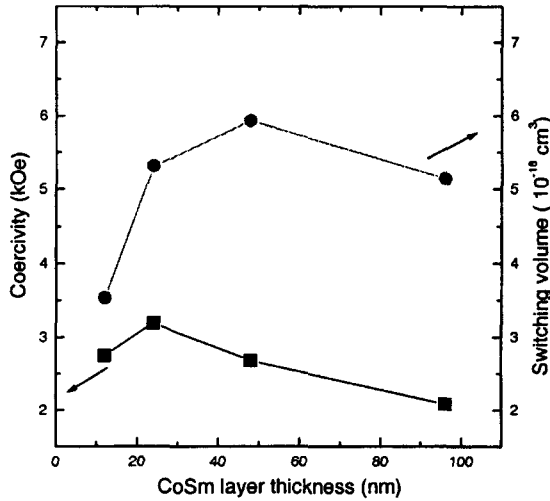


Fig. 6. CoSm layer-thickness dependence of switching volume and coercivity.

은 거의 같은 자기장 영역에 위치함을 알 수 있었는데, 이와 같은 현상은 최대 점성계수와 마찬가지로 최대 비가역 자화율 또한 시료 내의 다수인 에너지 장벽을 반영하기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 현상은 milling법으로 제작한 SmCo₅ nanoparticles에 대한 실험에서 자기 점성계수와 비가역 자화율의 자기장 의존성이 동일하다는 Majetich 등의 연구결과[18]에서도 같은 현상을 보였다.

한편 점성계수와 비가역 자화율과의 관계는 $H_f = S/\chi_{irr} = k_B T / V^* M_s$ 으로 표현되는데, 여기서 H_f 는 요동장 (fluctuation field), V^* 는 자기역전부피, M_s 는 포화 자기화, T 는 절대온도 그리고 k_B 는 Boltzmann 상수이다.

이 식을 이용하여 구한 시료별 자기역전부피 V^* 와 수평 자기이력 곡선으로부터 얻은 보자력을 그림 6에 나타내었다. 이 그림에 의하면 V^* 은 자성층의 두께가 두꺼워짐에 따라 급격히 증가하여 48 nm에서 최대를 보이다가 다소 감소하였으며, 보자력은 24 nm 두께의 시료에서 최대를 보이다가 다소 감소하는 경향을 보인다. 이와 같이 보자력과 최대 V^* 의 증감 현상은 이미 발표한 스퍼터링 압력 및 두께 의존성의 연구결과[19, 20]로부터 설명 가능하다. 그 이유는 스퍼터링 압력 12 mTorr 하에서 제작한 두께 24 nm인 시료의 경우, 시료는 쌀처럼 생긴(rice-like) 결정립이 빈공간(void)에 의해 자기적으로 잘 고립되어 있어 충전율(packing fraction)이 낮으므로 결정립 사이의 자기적 상호작용이 줄어든다. 그러나 두께가 증가함에 따라 빈공간이 자성 결정립으로 채워져 원주형 구조가 점점 사라지므로 채우기 비율이 증가하게 되어 결정립 사이의 자

기적 상호작용이 증가하게 된다. 따라서 자성층이 두꺼운 시료일수록 V^* 이 증가하는 원인은 충전율 증가 및 원주형 구조의 파괴로 결정립 사이의 강한 자기적 상호작용으로 인하여 함께 반전을 일으키기 때문인 것으로 판단된다. 또한 V^* 이 큰 시료일수록 강한 상호작용으로 인하여 낮은 보자력을 보이고, V^* 이 작은 시료는 결정립 사이의 상호작용이 약하므로 큰 보자력을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 하지층이 없거나 하지층 Cr의 두께가 얇고 자성층이 두꺼울수록 결정립 사이의 자기적 상호작용의 척도인 ΔM 이 크며, 보자력의 감소 현상은 하지층이 결정립을 자기적으로 짝풀림(decoupling) 시키거나 구조 변화에 의한 결정립 사이의 교환 및 정자기적 상호작용에 의한 것으로 해석한 E.M.T. Velu *et al.* 연구결과[14]와도 잘 일치한다.

IV. 결 론

고밀도 수평 자기기록 매체로 이용 가능성이 큰 CoSm/Cr 박막을 직류 스퍼터링법으로 제작하여, 자성층 두께에 따른 자기적 성질을 조사하였다. 보자력과 자기역전부피 (V^*)의 두께 의존성은 거의 같은 경향을 보였으나, 자기방성은 매우 다른 거동을 보였다. 이와 같은 현상은 자성층의 두께가 증가할수록 빈공간에 의해 자기적으로 잘 고립된 결정립이 사라져 채우기 비율이 증가하여 결정립 사이의 자기적 교환 상호작용이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

또한 최대 자기점성계수와 최대 비가역 자화율이 나타난 자기장의 위치는 거의 같지만, 수평 자기이력곡선으로부터 구한 보자력에 비해 다소 높았으나 무시 가능할 정도로 작았다. 따라서 최대 점성계수와 최대 비가역 자화율 모두 시료 내의 대표적인 에너지 장벽의 크기를 반영하는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Futamoto, F. Kugiya, 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] U. Kullmann, E. Koester and C. Dorsch, IEEE Trans. Magn., **MAG-20**, 420(1984).
- [3] P. Glijer, J. M. Sivertsen, and J. H. Judy, IEEE Trans. Magn. **MAG-31**, 2842(1995).
- [4] S. S. Malhotra, D. C. Stafford, B. B. Lal, C. Gao, and M.

- A. Russak, *J. Appl. Phys.*, **85**, 6157(1999).
- [5] 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).
- [6] S. S. Malhotra, Z. S. Shan, D. C. Stafford, S. H. Liou, and D. J. Sellmyer, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-32**, 4019 (1996).
- [7] 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).
- [8] S. Takei, S. Shomura, A. Morisako, M. Matsumoto, *J. Appl. Phys.*, **81**, 4674(1997).
- [9] S. Takei, Y. Otagiri, A. Morisako, M. Matsumoto, *J. Appl. Phys.*, **85**, 6145(1999).
- [10] K. Mibu, T. Nagahama, T. Shinjo, *J. Magn. Mater.*, **156**, 299(1996).
- [11] D. E. Laughlin B. Y. Wong, *IEEE Trans. Magn.* **MAG-27**, 4713(1991).
- [12] S. Takei, A. Morisako, and M. Matsumoto, *J. Appl. Phys.*, **87**, 6968(2000).
- [13] S. A. Romero, D. R. Cornejo, F. M. Rhen, A. C. Nevia, M. H. Tabacniks, and F. P. Missell, *J. Appl. Phys.*, **87**, 6965(2000).
- [14] E. M. T Velu and D. N. Lambeth, *IEEE Trans. Magn.* **MAG-28**, 3249(1992).
- [15] Z. S. Shan, Y. Liu, S. Y. Jeong, Y. B. Zhang, I. A. Al-Omari, and D. J. Sellmyer, *J. Korean Magn. Soc.*, **5**, 702 (1995).
- [16] 김상인, 김성봉, 정순영, *응용물리*, **11**, 322(1998).
- [17] R. Street and J. C. Woolley, "A study of magnetic viscosity," *Proc. Phys. Soc. Sect. A*, vol. **62**, 562-572, 1949.
- [18] S. A. Majetich and E. M. Kirkpatrick, *IEEE Trans. Magn.* **MAG-33**, 3721(1997).
- [19] E. W. Singleton, Z. S. Shan, S. Y. Jeong, and D. J. Sellmyer, *IEEE Trans. Magn.* **MAG-31**, 2743(1995).
- [20] Y. Liu, D. J. Sellmyer, B. W. Roberston, Z. S. Shan and S.H. Liou, *IEEE Trans. Magn.* **MAG-31**, 2740(1995).

Magnetic Layer Thickness Dependence on Magnetic Switching Volume of CoSm/Cr Thin Films

Soon-Young Jeong and Hyeon Soo Kim

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

(Received 15 October 2001, in final form 3 December 2001)

The magnetic switching volume is known as an important parameter to understand the magnetization reversal process, thermal stability of the written information and media noise. This parameter is influenced significantly by the microstructure of the magnetic layer as well as underlayer. Therefore, we fabricated CoSm/Cr thin films with varying magnetic layer thickness under constant sputtering by using a dc magnetic sputtering machine. The magnetic layer thickness effect on the magnetic switching volume have been studied by the means of magnetic viscosity and dc demagnetization remanence curve measurements. From these measurements, we found that the switching volumes increased with increasing the magnetic layer thickness, whereas the coercivity showed different behavior. These may be a result of the increased intergranular coupling and the larger volume fraction of the magnetic layer.

Key words : CoSm thin film, magnetic viscosity coefficient, irreversible magnetic susceptibility, magnetic switching volume