

Bottom형 IrMn 스핀밸브 박막의 열적안정성과 높은 교환결합력

황재연 · 김미양 · 이장로 *

숙명여자대학교 물리학과, 서울 용산구 청파동 2가, 140-742

(2002년 3월 29일 받음, 2002년 4월 18일 최종수정본 받음)

속박층 (pinning layer) IrMn를 사용한 Ta/NiFe/IrMn/CoFe/Cu/CoFe/NiFe/Ta 구조의 스핀밸브 박막 (SV; spin valve)을 산화층이 코팅된 Si(111) 기판에 dc 마그네트론 스퍼터링 방법으로 상온에서 제작하였다. 이 SV에 대하여 교환결합자기장 (H_{ex} ; exchange coupling field), 자기저항 (MR; magnetoresistance)비 및 보자력 (H_c ; coercivity)의 열처리 순환수와 온도 의존성을 조사하였다. 증착조건과 후열처리 조건을 최적화 함으로써 MR비 3.6%, 피속박층의 H_{ex} 1180 Oe를 얻었다. H_{ex} 는 열처리 순환횟수가 2 이후에 일정한 값을 유지하여 열적으로 안정성을 갖는 것을 확인하였다. H_{ex} 는 240 °C까지는 600 Oe를 유지하다가 점점 감소하여 270 °C에 0이 되었다.

주제어 : 열처리 순환횟수, 반강자성, 교환결합자기장, IrMn 스핀밸브 박막

I. 서 론

고밀도 자기기록용[1-3] SV 거대자기저항(GMR; giant magnetoresistance) 헤드에 사용하기 위한 피속박층의 열적 안정성[1, 4]과 재현성을 얻기 위하여 다양한 종류의 반강자성 (AFM; antiferromagnetic) 물질이 연구되고 있다. IrMn이 NiMn[1, 5] 및 PtMn과 같은 AFM 박막보다 작은 두께에서도 높은 H_{ex} 를 나타내기 때문에 피속박층 CoFe에 교환결합된 IrMn(80 Å)이 narrow gap head에 적합하다는 것이 보고되고 있다[2, 6].

본 연구에서는 AFM 속박층 Ir₂₂Mn₇₈ 및 피속박층 Co₇₅Fe₂₅를 사용하여 dc 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제작한 Ta/NiFe/IrMn/CoFe/Cu/CoFe/NiFe/Ta 구조의 바닥층 SV를 제작하고 열처리 순환횟수가 자기저항 및 구조 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 실험방법

dc 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 Ta₄₅/NiFe₂₀/Ir₂₂Mn₇₈100/Co₇₅Fe₂₅12/Cu₃₀/Co₇₅Fe₂₅20/NiFe₃₀/Ta₄₅ (in Å) 구조를 갖는 GMR/SV 박막을, 열산화층 1 μm을 갖는 Si(111) 기판에 100 Oe의 자기장을 걸어준 상태에서 상온에서 제작하였다. 시료제작 장치의 기본 진공도는 2.2×10⁻⁸ Torr 이하이고 아르곤 가스(순도 99.9995%)의 압력은 2 mTorr를 유지하였으며 증착율은 0.5~1.0 Å/s로 하였다. 결정구조 해석은 Cu Kα선을 사용하는 X선 회절장치를 사용

하였다.

AFM IrMn층과 피속박층 CoFe층 사이에 높은 H_{ex} 을 유도하기 위하여 진공도 8×10⁻⁷ Torr 속에서 자기장 1050 Oe를 걸어준 상태에서 시료를 반복적으로 열처리하는 일련의 열처리 순환이 이루어졌다. 열처리 조건은 온도-시간 프로그램용 열처리 조절장치를 사용하여 250 °C까지 상승시간 1시간, 유지시간 1시간, 상온까지 냉각 1시간으로 하였다. SV 박막의 MR 곡선, 자화곡선 측정 및 표면분석은 4탐침법, 시료 진동형 자기계 (VSM) 및 원자력현미경(AFM)을 사용하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 제작한 시료 Ta₄₅/NiFe₂₀/IrMn100/CoFe(*t*)/Cu₃₀/CoFe₂₀/NiFe₃₀/Ta₄₅ (in Å) 구조를 갖는 SV에 대한 MR

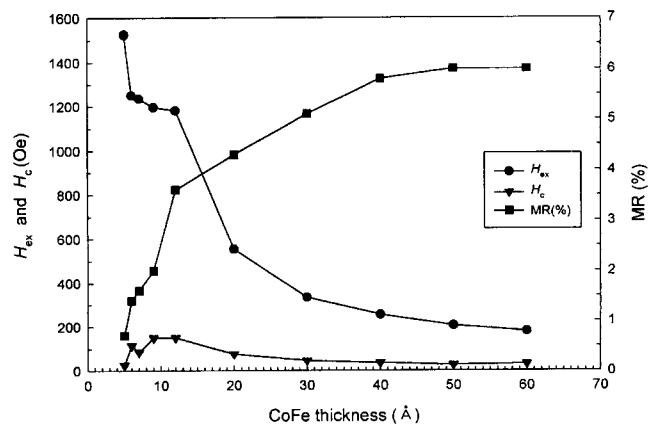


Fig. 1. CoFe thickness dependence of H_{ex} , H_c and MR for Ta₄₅/NiFe₂₀/IrMn100/CoFe(*t*)/Cu₃₀/CoFe₂₀/NiFe₃₀/Ta₄₅ (in Å).

*Tel: (02)710-9404, E-mail: jrrhee@sookmyung.ac.kr

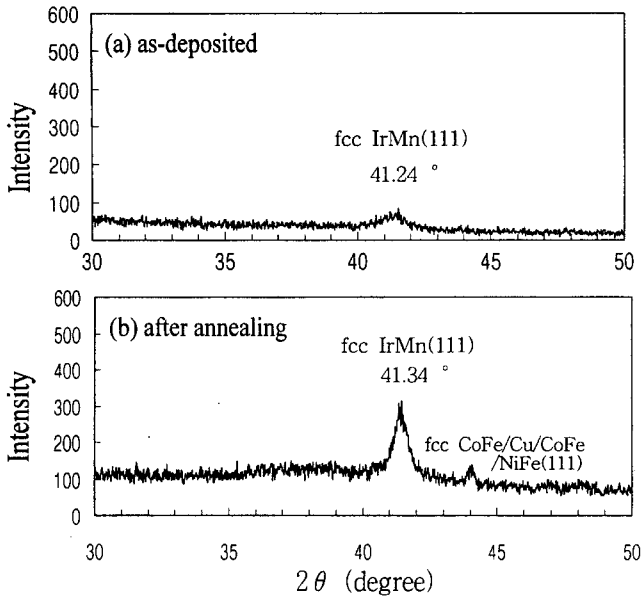


Fig. 2. X-ray diffraction scan patterns for the IrMn pinned SV film of (a) as-deposited and (b) after the second thermal annealing.

비, H_{ex} 및 H_c 의 피속박층 CoFe 두께 의존성을 나타낸다. MR비는 CoFe 두께에 따라 증가하나 H_{ex} 는 감소하는 경향을 나타낸다. 이제부터는 MR비 3.6%, H_{ex} 1180 Oe인 CoFe 두께가 10 Å인 시료에 대한 특성 조사를 하기로 한다. 여기서 H_{ex} 가 CoFe 두께 증가에 따라 감소하는 것은 T. Linn 등[7]의 계면 교환결합에너지 J 와 포화자화도 M_s 의 관계식 $H_{ex}=J/(M_s t)$ 에 의한 H_{ex} 가 피속박자성층 t 에 역비례하는 경향과 일치함을 알 수 있다.

Fig. 2(a)와 (b)는 열처리 순환횟수가 2인 시료 Ta45/NiFe 20/IrMn100/CoFe12/Cu30CoFe20/NiFe30/Ta45 (in Å)의 열처리 전후의 X선 회절 패턴을 보여준다. Fig. 2(a)의 피크는 약하지만 Fig. 2(b)는 Cu와 CoFe(111)의 기여를 비롯한 NiFe(111)의 약한 피크까지 첨가된 것으로 보이는 fcc로 정렬된 IrMn(111) 피크를 나타내고 있다.

이것으로부터 제작한 시료를 열처리함으로써 강력한 AFM IrMn이 만들어지고, 또 IrMn과 CoFe층 사이에 높은 교환결합력의 생성을 예견할 수 있다. Fig. 3(a), (b)는 열처리 전후의 AFM 현미경으로 측정된 이 SV의 표면 거칠기를 보여준다. 제작된 시료의 상온에서 증착의 결과에 기인하는 낮은 원자 이동도 때문에 표면은 거칠지만, 2시간 동안의 진공 열처리 후에는 rms 거칠기 (R_{rms})는 2.25 Å에서 1.03 Å로 감소되었다.

이 SV 구조의 자화용이축에 평행한 방향으로 자기장을 걸어주고 2시간 열처리한 시료에 대하여 측정된 자기이력곡선이 Fig. 4(a)에 나타나 있고, 열처리 전 후에 측정된 major 및 minor MR곡선이 Fig. 4(b)와 (c)에 나타나 있다. Fig. 4(a)의 자기이력곡선에서 제 3사분면 하반기 곡선의 중심의 명확한 이동을 볼 수 있다. 또 피속박층의 H_{ex} 와 H_c 가 각각 1180 Oe 및 150 Oe임을 알 수 있다. 이것과 대응된 결과가 Fig. 4(c)의 major MR곡선에 나타나 있다. 250 °C에서 2시간 열처리한 SV 박막의 실온에서의 H_{ex} 는 열처리 전의 제작된 시료(Fig. 4(b) 참고)보다 약 2배 이상 높음을 알 수 있다.

Fig. 4(c)의 삽입그림인 minor MR곡선에서 자유층과 피속박층 사이의 층간 결합 자기장(interlayer coupling field)이 약 10 Oe이며 자유층의 보자력은 5 Oe 정도임을 알 수 있다.

SV 헤드의 동작에 중요한 인자인 피속박층이 600 Oe 이상의 자기장 변화에도 동작에 영향을 받지 않고 안정한 MR 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5은 이 SV에 대한 H_{ex} , H_c 및 MR비의 열처리 순환수 의존성을 나타낸다. 제작 즉시 H_{ex} 680 Oe와 MR비 2.7%를 보이나 열처리 순환수가 1 이후에는 H_{ex} 와 MR비가 각각 1180 Oe와 4.3%로 증가한다. 열처리 순환수가 2 이후에는 MR비가 3.6%로 감소하나 H_{ex} 와 H_c 는 1180 Oe와 150 Oe로서 안정화 상태가 된다. MR비가 감소하는 것은 층간 확산과 스핀정보 상실의 원인인 IrMn층 내의 분류전류 증가 때문인 것으로 생각된다. 그 이후 열처리가 계속되어도

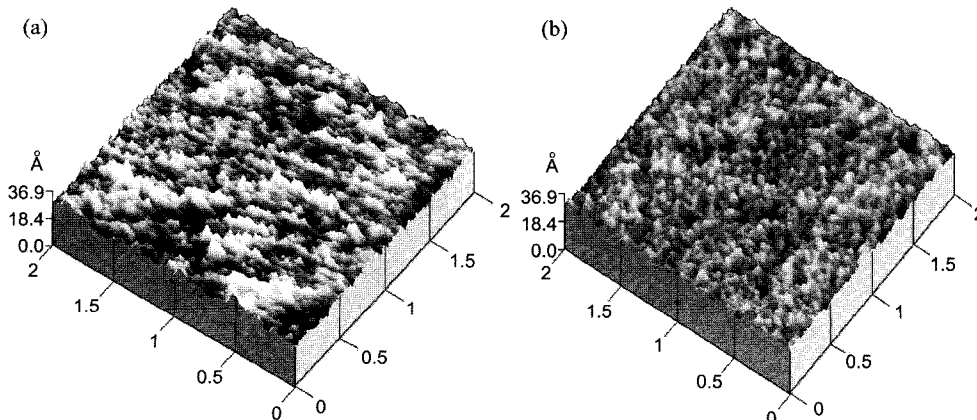


Fig. 3. SPM Topography of the IrMn pinned SV film for (a) as-deposited and (b) after second thermal annealing.

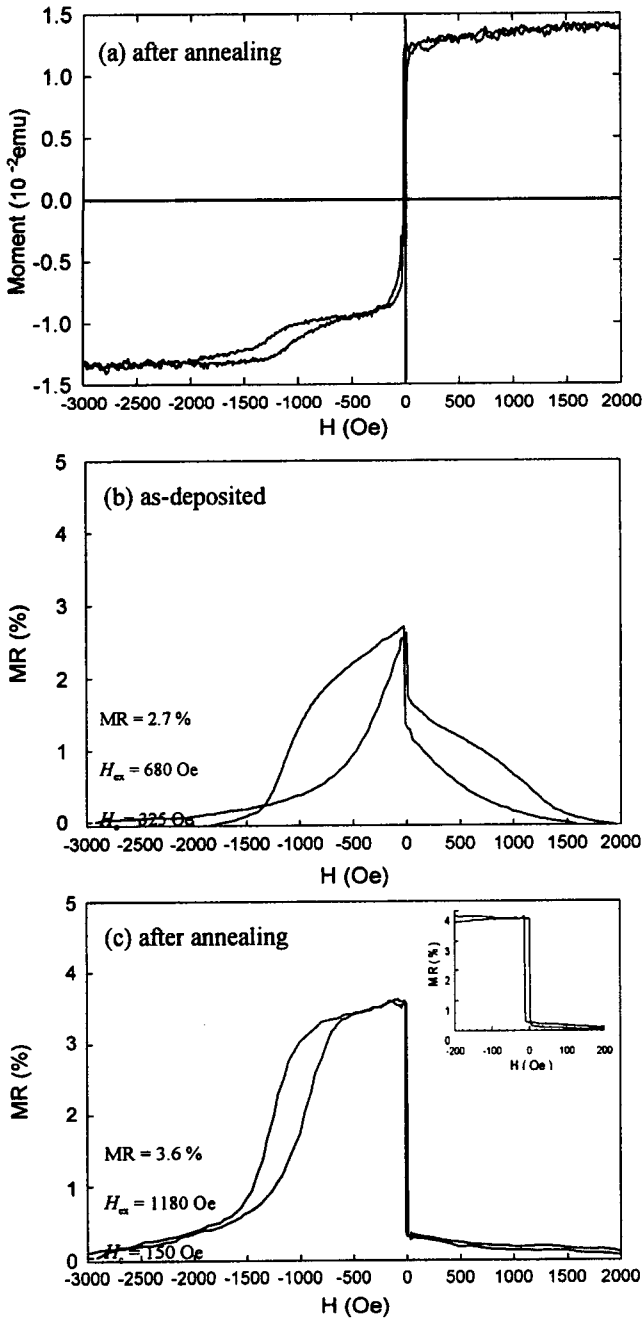


Fig. 4. (a) Magnetization curves of after second thermal annealing for the IrMn pinned SV film. (b) and (c) are major MR curves of the SV before and after second thermal annealing, respectively. The inset graph of the (c) shows minor MR curve.

MR비와 H_c 는 거의 일정을 유지한다. 특히 H_{ex} 는 열처리 순환횟수 2 이후에 안정화되어 이 SV는 높은 열적 안정성을 갖는 것으로 생각된다.

SV 읽어내기 헤드의 응용을 위하여 H_{ex} 는 300 Oe 이상이어야 하고, H_{ex} , H_c 및 MR비는 소자제작시 200 °C 온도, 그리고 소자 동작시 정자기적 반전 혹은 감지전류로 인하여 발

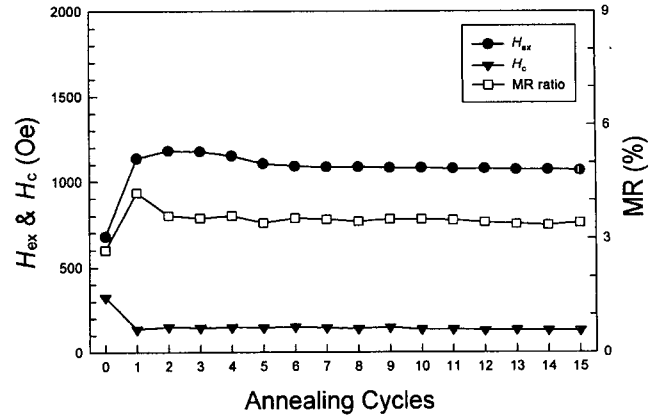


Fig. 5. Annealing cycle dependence of H_{ex} , H_c and MR ratio for the IrMn pinned SV film.

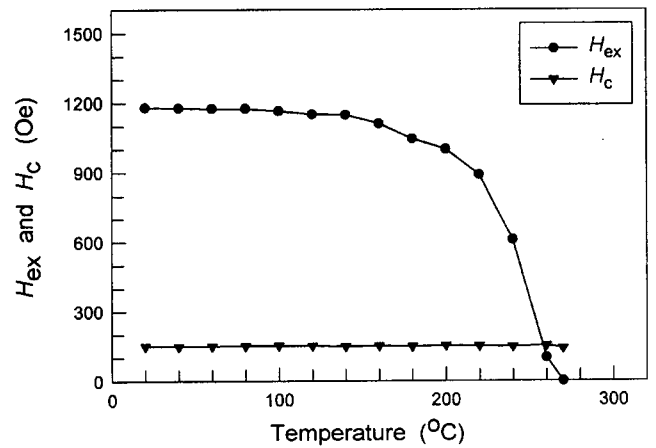


Fig. 6. Temperature dependence of the H_{ex} and H_c for the pinned layer.

생하는 200~250 °C 온도에 영향을 받아서는 안된다[7, 8]. 따라서 H_{ex} 와 H_c 의 온도 의존성은 아주 중요하다. Fig. 5는 앞에서 2시간 열처리한 시료에 대한 H_{ex} 와 H_c 의 온도 의존성을 나타내주는 그림으로 H_{ex} 는 140 °C까지는 1180 Oe 정도로 일정한 값을 유지하다가 점점 감소하여 270 °C에서 0으로 떨어진다. H_c 의 값은 전 측정범위 내에서 일정한 값 150 Oe를 유지한다.

피속박층 CoFe로 교환결합한 AFM IrMn SV는 blocking 온도 270 °C를 보이며, MR비 3.6%, H_{ex} 1180 Oe를 갖는다. H_{ex} 는 NiMn과 같은 후열처리를 통한 AFM을 이용한 SV의 경우보다 더 높은 값이다.

IV. 결 론

dc 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제작한 Si/Ta45/NiFe20/Ir₂₂Mn₇₈100/Co₇₅Fe₂₅12/Cu30/Co₇₅Fe₂₅20/NiFe30/Ta45(in Å) 박막을 자기장 1050 Oe 내에서 250 °C에서 2시간 열처리한

SV는 MR비 3.6 %, H_{ex} 1180 Oe 및 H_c 150 Oe를 보인다. 이 SV 구조는 250 °C 또는 그 이상의 온도에서의 열처리에 견디어 낸다. 이 SV의 속박자기장은 140 °C까지는 일정한 값을 유지하다가 점차 감소하여 270 °C에서는 0으로 감소한다. 피속박층의 H_c 는 270 °C까지는 150 Oe로 일정하게 유지된다.

이러한 결과는 높은 열적 안정성을 갖는 GMR/SV 센서의 응용을 위하여, 계속되는 피속박층과 자유자성층의 두께 최적화 실험을 통하여 MR비 향상의 가능성 여지를 제시한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 특정연구기반 확충사업 연구비 (M10022010001-01G050600110)의 지원에 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] S. Mao., S. Gangopadhyaym, N. Amin, and E. Murdock, Appl. Phys. Lett., **69**, 3593 (1996).
- [2] H. N. Fuke, K. Saito, Y. Kamiguchi, H. Iwasaki, and M. Sahashi, J. Appl. Phys., **81**, 4004 (1997).
- [3] P. A. A. van der Heijden, T. F. M. M. Maas, W. J. M. de Jonge, J. C. S. Kools, F. Roozeboom, and P. J. van der Zaag, Appl. Phys. Lett., **72**, 492(1998).
- [4] K. L. Choi, K. M. Kim, N. I. Lee, M. Y. Kim, J. R. Rhee, S. S. Lee, D. G. Hwang, and C. M. Park, IEEE Trans. Magn., **35**(5), 2943(1999).
- [5] B. Y. Wong, C. Mitsumata, S. Prakash, D. E. Laughlin, and T. Kobayashi, IEEE Trans. Magn., **32**, 3425(1996).
- [6] H. N. Fuke, K. saito, M. Yoshikawa, H. Iwasaki, and M. Sahashi, Appl. Phys. Lett., **75**(23), 3680(1999).
- [7] T. Linn, C. Tsang, R. E. Fonta, and J. K. Howard, IEEE Trans. Magn. **MAG-31**, 2585(1995).

Thermal Stability and High Exchange Coupling Field of Bottom Type IrMn-Pinned Spin Valve

J. Y. Hwang, M. Y. Kim and J. R. Rhee*

Dept. of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea

(Received 29 March 2002, in final form 18 April 2002)

IrMn pinned spin valve (SV) films with stacks of Ta/NiFe/IrMn/CoFe/Cu/CoFe/NiFe/Ta were prepared by dc sputtering onto thermally oxidized Si (111) substrates at room temperature under a magnetic field of about 100 Oe. The annealing cycle number and temperature dependence of exchange coupling field (H_{ex}), magnetoresistance (MR) ratio, and coercivity (H_c) were investigated. By optimizing the process of deposition and post thermal annealing condition, we obtained the IrMn based SV films with MR ratio of 3.6 %, H_{ex} of 1180 Oe for the pinned layer. The H_{ex} is stabilized after the second annealing cycle and it is thought that this SV reveals high thermal stability. The H_{ex} maintained its strength of 600 Oe in operation up to 240 °C and decreased monotonically to zero at 270 °C.

Key words: Annealing Cycle Number, Antiferromagnetic, Exchange Coupling Field, IrMn Pinned Spin Valve Film