

스퍼터링 가스내 수소첨가에 의한 NiFe/FeMn의 교환결합력 향상에 관한 연구

박병준 · 이성래* · 김성훈 · 김영근
고려대학교 공과대학 재료금속공학부
서울특별시 성북구 안암동 5가 1번지, 136-701

(2001년 7월 19일 받음, 2001년 8월 20일 최종수정본 받음)

스퍼터 증착시 수소 첨가가 NiFe/FeMn의 교환결합 자계(H_{ex})에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. Si(100)/Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/FeMn(250 Å)/Ta(50 Å)의 경우는 하지층 NiFe 증착시 수소 첨가량이 8%에서 H_{ex} 과 H_c 최적 특성을 보였다. Si(100)/Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(70 Å)/Ta(50 Å) 시편에서 FeMn 증착 시에는 5% 수소 혼합개스에서 H_{ex} 가 148 Oe로서 최적 특성을 보였다. 이는 수소 첨가에 의해 하지층 NiFe의 (111) 우선배향성 향상, 결정립 크기의 증가 및 응력이 감소하였으며 그에 따라 FeMn의 (111) 우선 배향성 및 결정립의 크기가 증가한 결과이다.

주제어 : 교환결합력, 우선배향성, 스퍼터증착, NiFe/FeMn 이층막

I. 서 론

스핀밸브 센서의 기본 구조는 자화반전이 자유로운 강자성층과 반강자성체와의 교환결합에 의하여 강하게 결합되어 자화방향이 고정된 강자성층 사이에 비자성 도체 사이층이 삽입된 형태이다. 고정층과 반강자성체 간의 교환결합자계의 크기가 센서의 민감도에 지대한 영향을 미치며 이는 반강자성체의 배향성[1], 결정립 크기[2], 표면거칠기[3] 등에 의하여 좌우된다. 특히 이러한 반강자성체의 결정성 및 미세구조는 하지층의 결정성, 미세구조 및 종류에 지대한 영향을 받는다. Pakala는 Si/underlayer/IrMn/CoFe/Ta의 구조에서 하지층의 거칠기는 교환결합 자계의 증가에는 덜 민감하고, (111)우선배향성의 영향이 더 우세하다고 발표하였고[1], Driel 또한 (111)우선 배향성이 매우 중요한 인자라고 주장하였다[4]. 반면에 (111)우선 배향성보다는 계면에서의 거칠기가 교환결합자계에 영향을 미친다고 발표된 연구결과도 있다[3]. Fuke는 반강자성체 IrMn의 결정립크기의 증가에 따라서 Blocking Temperature (T_b)와 교환결합자계의 감소에 대하여 발표하였다[2]. 그러므로 하지층이 반강자성체에 미치는 영향에 관해서는 어느 요소가 지배적인가에 대해 고정된 이론은 없는 상태이며 연구자들의 실험결과에 의존하고 있지만, 분명한 것은 하지층의 배향성, 미세구조, 거칠기는 매우 중요한 요소임을 알 수가 있다.

FeMn은 상온에서의 평형구조가 상자성체인 α -FeMn

(BCC)이므로 γ -FeMn(FCC)을 안정상으로 얻기 위해 유사한 격자상수(γ -FeMn : $a = 3.63 \text{ \AA}$)를 가지는 NiFe($a = 3.57 \text{ \AA}$) 혹은 Cu($a = 3.63 \text{ \AA}$)를 하지층으로 사용하여 성장시킨다. 하지층 NiFe의 (111) 우선 배향성이 FeMn 배향성을 결정하여 교환결합자계에 지대한 영향을 끼친다[5]. Nakatani는 씨앗층재료에 따른 NiFe과 FeMn간의 교환결합자계와 우선배향성의 변화에 대해서 조사하였는데, Ta, Nb, Ti, Zr, Hf이 씨앗층 재료로 사용되었을 때, 높은 교환결합 자계를 가지면서 NiFe의 높은 (111)우선배향성을 나타내었다. 이는 NiFe layer는 대부분의 기판과 씨앗층에서 FCC의 최조밀면인 (111)과 (100) 결정립이 혼재되어 나타나지만 이들 씨앗층 위에 성장시켰을 경우 기판에 관계없이 (111) 우선배향이 발달된 것으로 관찰되었다[6].

본 연구에서는 Ar/수소 혼합 개스를 사용하여 하지층인 NiFe과 반강자성체인 FeMn을 증착할 때 결정성, 미세구조 및 표면구조에 미치는 효과와 그에 따르는 교환결합자계와의 관계를 분석하는데 목적이 있다.

II. 실험방법

2.1. 시편제작

시편은 4 타겟을 가진 RF 마그네트론 스퍼터 장치를 사용하여 Si(100)/Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/FeMn(250 Å)/Ta(50 Å) 및 Ta(50 Å)/NiFe(70 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Ta(50 Å)/Si(100) 구조로 시편을 제작하였다. 증착 전 진공도는 5×10^{-7} Torr 이하로 유지하였고 스퍼터링 가

*Tel: 3290-3270, E-mail: kumetsrl@korea.ac.kr

스로는 순도 99.999 %의 Ar과 99.9 %의 H₂를 이용하였다. 타겟트는 순도 99.95 %의 Ta, NiFe(81:19 wt.%) 및 FeMn(50:50 at.%)을 이용하였다. 증착시의 분압은 2 mTorr로 일정하게 유지하였고, Ar 유량은 10 SCCM으로, Ar/H₂ 혼합 개스는 Ar 10 SCCM을 기준으로 6-15 %로 변화시켰다. 기판으로는 Si(100) 웨이퍼를 이용하였고, 시편의 크기는 1 cm×1 cm로 하였다.

2.2. 구조 및 자기적 특성분석

제작된 시편의 자기적 성질 즉 교환결합력(H_{ex}), 보자력(H_c), 포화자화(M_s)을 분석하기 위해서 VSM(Vibrating Sample Magnetometer, Lake Shore 7300)을 이용해 상온에서 측정하였다. 결정 및 표면구조 분석을 위해 XRD(X-ray diffraction) 및 AFM(Atomic Force Microscope, PSI Autoprobe M5)을 사용하였다. 그리고 막 내부의 응력측정은 Tencor사의 P-1(Stress measurement)를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1과 2는 Ta(50 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Ta(50 Å)/Si(100) 시편의 NiFe층을 증착할 때 수소첨가량의 변화에 따른 M-H 곡선, 교환결합자계(H_{ex}) 및 보자력(H_c)의 변화를 보여준다. 수소 첨가량이 8 %일 때 최대 H_{ex}을 보이고 10 %로 증가되면 감소하고 있다. 반면에 H_c는 8 % 수소 첨가시 최소값을 보이며 그 이상 첨가시 증가하고 있다.

이러한 변화의 원인을 파악하기 위하여 구조 분석을 행하였다. Fig. 3은 Ta(50 Å)/NiFe(100 Å) 시편과 Ta(50 Å)/NiFe(100 Å)/FeMn 시편에서 하층 NiFe를 증착할 때, 수소첨가량에 따른 XRD 회절상의 변화를 비교한 것이다. NiFe(111) 피이크는 수소 첨가량이 증가함에 따라서 점차 증가하여 8 %에서 가장 강도가 높게 발달하고 수소 첨가량이 10 %가 되었을 때는 다시 현저히 감소하고 있다(Fig. 3(a)). 그 위에 FeMn을 입힌 시편에서도 FeMn(111) 피이크의 변화가 동일한 경향을 보인다. 8 %의 수소 첨가시 Ta/NiFe 구조에서 NiFe층의 (111) 우선배향과 결정립의 크기가 가장 크게 발달되었고 따라서 그 위에 성장한 FeMn도 동일한 결과를 가져왔다. 따라서 Fig. 1과 2에서 수소 8 % 첨가시 최대 H_{ex} 및 최소 H_c를 보이는 이유는 NiFe 및 FeMn 결정립의 성장과 배향성 발달에 기인한다. Ta층위에 하층으로 사용된 NiFe의 (111) 우

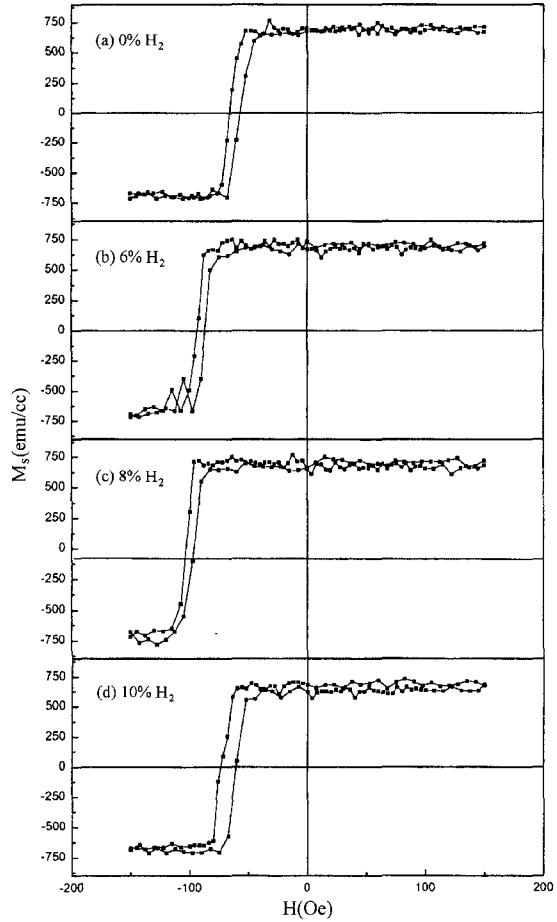


Fig. 1. The variation of magnetization curves of Ta(50 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Ta(50 Å)/Si(100). NiFe layer was deposited at (a) 0 (b) 6 (c) 8 (d) 10 % hydrogen in sputtering gas(Ar).

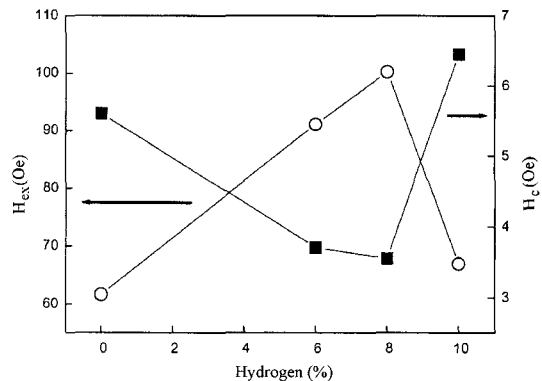


Fig. 2. The coercive field(H_c) and exchange coupling field(H_{ex}) of the Ta(50 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Ta(50 Å)/Si(100). NiFe layer was deposited at (a) 0 (b) 6 (c) 8 (d) 10 % hydrogen in sputtering gas(Ar).

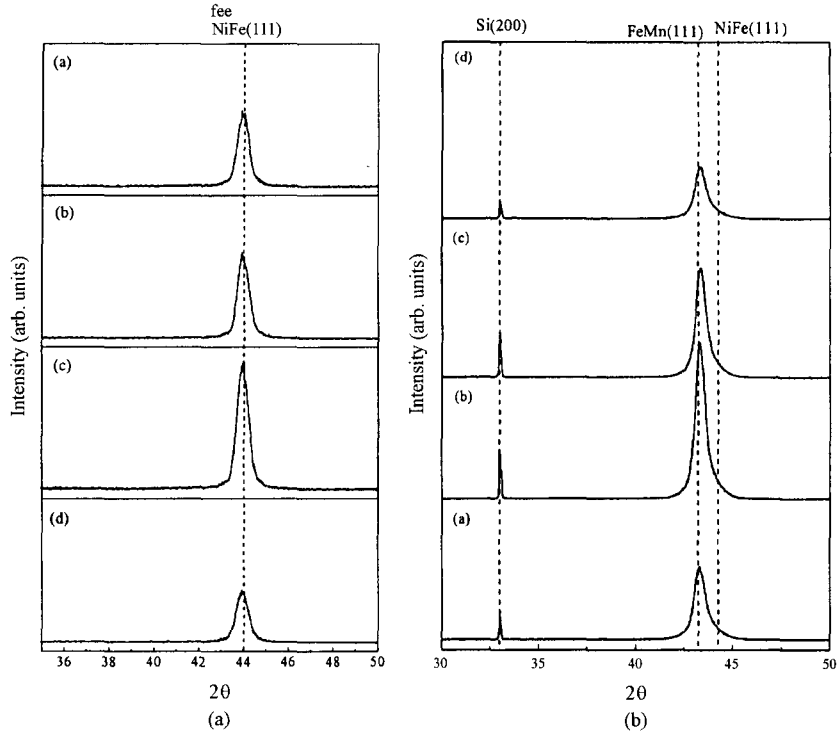


Fig. 3. a). The XRD patterns of (a) Si(100)/Ta(50 Å)/NiFe(100 Å) and (b) Si(100)/Ta(50 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Ta(50 Å). NiFe layer deposited various hydrogen content in sputtering gas(Ar).

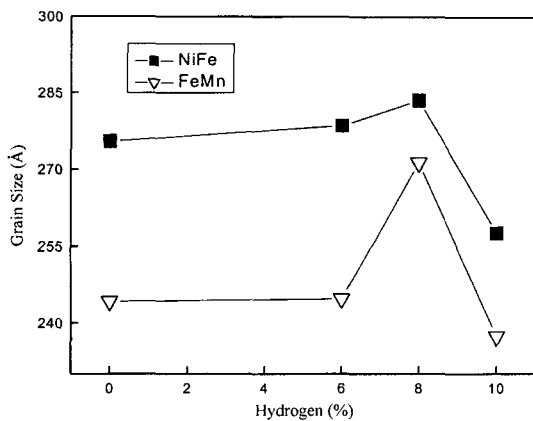


Fig. 4. Grain size variation of NiFe and FeMn layer as a function of hydrogen content in sputtering gas(Ar).

선 배향성이 향상될수록 NiFe과 FeMn간의 교환결합력도 증가한다고 알려져 있다[6]. Fig. 4는 NiFe과 FeMn의 수소첨가량에 따른 결정립 크기의 변화를 나타낸 것이다. XRD 피이크의 FWHM(Full Width Half Maximum)값을 이용하여 Scherrer 방정식으로 계산하였다. 수소첨가 8%

일 때 FeMn의 결정립 크기가 가장 크다. 반강자성체의 결정립의 크기가 $J_k A / K$ (J_k : 계면 교환결합에너지, A : 계면적, K : 자기이방성 상수)의 값보다 커지게 되면 반강자성체의 sublattice가 cluster내의 스핀을 강하게 구속시켜 교환결합력을 증가시키고 결정립의 크기가 $J_k A / K$ 보다 적을 경우에는 반강자성체가 초상자성 거동을 하므로서 교환결합력이 감소되는 것으로 판단된다[7].

수소 개스의 첨가는 이온화된 개스의 에너지를 감소시킴으로써 스퍼터 원자의 에너지 감소시키고 성장하는 박막내의 아르곤 가스 개입 감소에 의한 입사원자(adatom)의 표면 이동도 증가로 인해서 표면평활도의 개선, 결정립의 성장 및 균일한 표면을 갖는 박막을 얻을 수 있다[8]. 그러나 수소 첨가량이 최적 이상으로 들 터 원자의 에너지가 너무 작아지면 그 반대의 효과를 가져온다.

Fig. 5는 NiFe(60 Å)/Ta(50 Å)/Si(100) 시편의 수소첨가량에 따른 RMS 거칠기의 변화를 나타내었다. 수소첨가량이 6%까지는 큰 변화를 보이지 않지만 그 이상 첨가하면 거칠기가 감소한다. 수소 첨가량이 늘어날수록 표면 거칠기는 감소하는 경향을 보이고 있다. 수소첨가량이

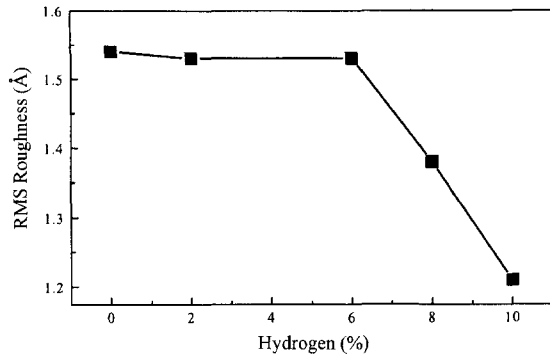


Fig. 5. RMS roughness of NiFe layer as a function of hydrogen content in sputtering gas(Ar).

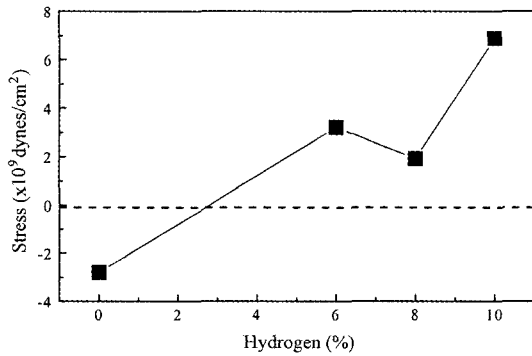


Fig. 6. Internal stress variation of NiFe layer as a function of hydrogen content in the sputtering gas(Ar).

8%일 때 표면거칠기가 1.38 Å으로 첨가하지 않았을 때 보다 10% 정도 감소하였다. 거칠기의 변화는 큰 변화로 보기는 어려우나 상기한 우선배향성 및 결정립크기와 더불어 H_{ex} 와 보자력의 변화에 영향을 끼치는 것으로 보인다. 일반적으로 NiFe과 FeMn간의 계면간의 표면거칠기 차이가 매우 많이 나는 경우, 거친 계면보다는 균질한 계면이 교환결합력이 크며 따라서 계면의 평활도가 중요한 요소이다[9].

Fig. 6은 수소 첨가량에 따른 박막 내부의 응력변화를 나타낸 것이다. 막 내부의 응력은 Tencor사의 P-1(Stress measurement)로 측정하였으며, 수소첨가량이 8%인 경우 1.92×10^9 dynes/cm²의 인장 응력으로 측정된 시편 중 절대치가 가장 0에 가까운 값을 갖으며 막 내부응력이 가장 작다[10].

Fig. 7은 FeMn층을 증착할 때 스퍼터 가스 내의 수소 첨가량의 변화에 따른 $M-H$ 곡선을 나타낸 것이다. 막의 구조는 Ta(50 Å)/NiFe(70 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Si(100)

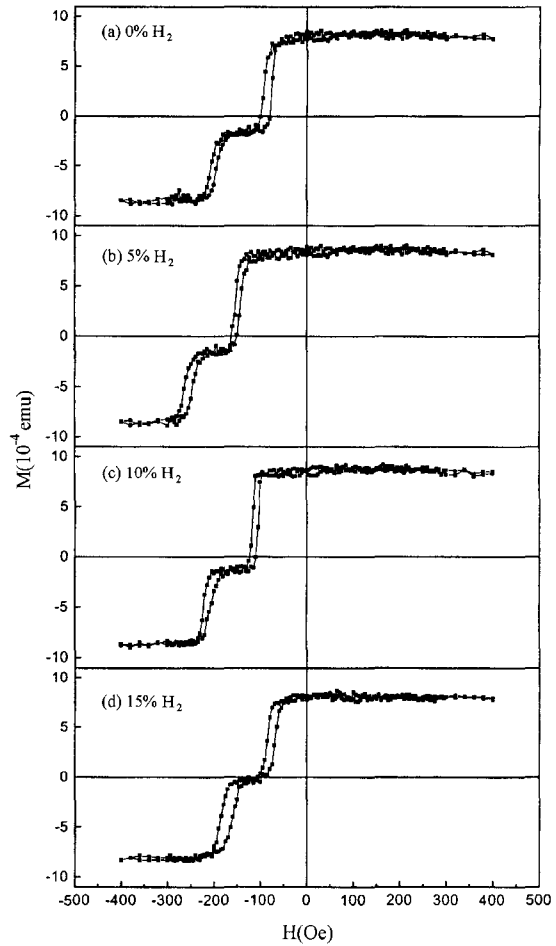


Fig. 7. The variation of magnetization curves of Ta(50 Å)/NiFe(70 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Ta(50 Å)//Si(100). FeMn layer was deposited at (a) 0 (b) 5 (c) 10 (d) 15% hydrogen in the sputtering gas(Ar).

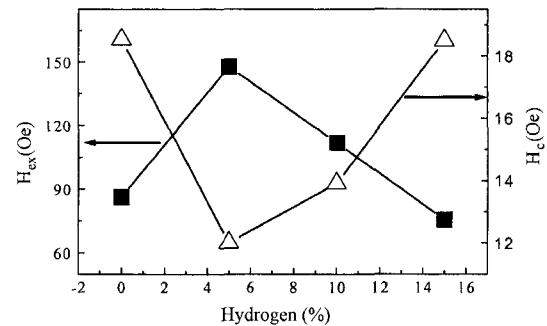


Fig. 8. The coercive and exchange coupling field of the Ta(50 Å)/NiFe(70 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Ta(50 Å)//Si(100). FeMn layer was deposited at (a) 0 (b) 5 (c) 10 (d) 15% hydrogen in the sputtering gas(Ar).

Ta(50 Å)/Si(100)이고, 수소 첨가량은 0 %에서 15 %까지 5 %씩 변화를 주었다. 수소 첨가량이 5 %일 때 교환결합력이 최대이었다. Fig. 8은 FeMn층 증착시에 수소 첨가량에 따른 H_{ex} 와 H_c 와의 관계이다. 수소 첨가량 5 %에서 가장 높은 148 Oe의 교환결합력과 12 Oe의 가장 낮은 보자력을 나타내었다. 그 이상 첨가 시에는 교환결합력은 감소하고 보자력은 다시 증가한다. FeMn 증착시에는 수소첨가량 5 %가 우선배향성, 결정립크기 및 계면 평활도면에서 가장 최적 첨가량이라고 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 Ta(50 Å)/NiFe(70 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Ta(50 Å)/Si(100)과 Ta(50 Å)/NiFe(70 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(60 Å)/Ta(50 Å)/Si(100)에서 NiFe 하지층 및 FeMn층을 증착할 때 수소첨가 효과에 따른 교환이방성에 미치는 원인을 구조적 관점에서 분석하였다. NiFe 하지층을 증착할 때 8 %의 수소첨가에서 최적의 특성을 보였고 FeMn 증착시에는 5 %의 수소 첨가에서 최고 149 Oe의 교환결합 자기장을 얻었다. XRD 및 AFM 측정 결과 최적 수소 첨가에 의한 H_{ex} 의 증가 및 보자력의 감소는 NiFe(111)층의 우선 배향성 향상, 결정립 성장 및 응력의 감소, 그에 따라 FeMn의 (111) 배향성과 결정립 성장이 이루어졌기 때문이다.

감사의 글

본 연구는 과학재단의 특정기초연구(2000-2-30100-009-3) 및 과학기술부의 국가지정 연구실 지원에 의해 수행된 결과의 일부이며 연구비 지원에 사의를 표하는 바이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Pakala, J. Appl. Phys. **87**(9), 6653(2000).
- [2] H. N. Fuke, Kazuhiro Saito, Masatoshi Yoshikawa, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi Appl. Phys. Lett. **75**(23), 3680(1999).
- [3] C.-M. Park, K.-I. Min, and K. H. Shin, J. Appl. Phys. **79**(8), 6228(1996).
- [4] J. van Driel, R. Coehoorn, K.-M. H. Lenssen, A. E. T. Kuiper, and F. R. de Boer, J. Appl. Phys. **85**(8), 5522(1999).
- [5] Geng Wang, Tom Yeh, Chien-Li Lin, John. M. Siverten and Jack. H. Judy, IEEE Trans. Magn., **32**, 4660(1996).
- [6] R. Nakatani, K. Hoshino, S. Noguchi, and Y. Suigita, Jpn. J. Appl. Phys., **33**, 133(1994).
- [7] J.-C. Ro , Y.-S. Choi and S.-J. Suh, IEEE Trans. Magn., **35**(5), 3925(1999).
- [8] Y. S. Shu, S. R. Lee, J. of the Korean Magnetic Society, **9**(3), 159(1999).
- [9] Alexandre M. Choukh, IEEE Trans. Magn, **33**(5), 3676(1997).
- [10] Hiroki Takahashi, Hirotohi Nagata and Haruki Kataoka, J. Appl. Phys. **75**(5), 2667(1994).

Effect of Ar/H₂ Mixed Gas Sputtering on the Exchange Coupling of NiFe/FeMn Interface

Byoung Jun Park, Seong-Rae Lee*, Sung Hoon Kim, and Young Keun Kim

Division of Materials Science and Engineering Korea University, Seoul 136-701, Korea

(Received 16 July 2001, in final form 20 August 2001)

The effect of H₂ content in Ar sputtering gas on exchange coupling field(H_{ex}) for NiFe/FeMn interface was studied. When NiFe layer of Si(100)/Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/FeMn (250 Å)/Ta (50 Å) was deposited at 8 % H₂ in sputtering gas, the maximum exchange coupling field(H_{ex}) and minimum coercivity(H_c) were obtained. When FeMn layer of Si(100)/Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/FeMn(250 Å)/NiFe(70 Å)/Ta(50 Å) was deposited at 5 % H₂ in sputtering gas, the maximum exchange coupling field(H_{ex}) of 148 Oe was obtained. The (111) preferred orientation and grain size of underlayer NiFe were increased and the internal stress was reduced by H₂ in sputtering gas. And the (111) preferred orientation and grain size of FeMn layer were also increased.

Key words : exchange coupling, preferred orientation, sputtering, NiFe/FeMn layers