

## NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막에서 극-초박막 Mn 삽입에 의한 교환결합세기와 열적 안정성 향상

김보경 · 이진용 · 함상희 · 이상석\* · 황도근

컴퓨터전자물리학과 상지대학교, 강원도 원주시 우산동 660번지, 220-702

(2003년 2월 13일 받음, 2003년 3월 25일 최종수정본 받음)

Mn층 삽입에 의한 NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막에서 열처리에 따른 교환결합세기의 변화를 조사하였다. Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[Fe<sub>53</sub>Mn<sub>47</sub>(1.25 Å)/Mn(0 Å, 0.11 Å, 0.3 Å)]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) 다층박막을 이온빔 증착 스퍼터링법으로 제작하였다. 삽입한 Mn 층 두께가 0 Å, 9 Å, 그리고 24 Å인 다층박막에 대해 조사된 fcc 결정조직의 x-선 회절세기의 비인 NiFe(111)/FeMn(111) 값은 각각 0.65, 0.90, 그리고 1.5이었다. Mn이 삽입되지 않은 시료인 경우, 열처리 온도 300 °C에서 상부 NiFe층의 교환결합세기는 260 Oe로 유지한 후 350 °C에서 사라졌다. Mn 삽입층의 두께가 0.11 Å, 0.3 Å인 두께의 시료에 대해, 300 °C에서 상부 NiFe층의 교환결합세기는 각각 310 Oe와 180 Oe로 유지한 후 400 °C에서 모두 사라졌다. 한편 하부 NiFe층의 교환결합세기는 250 °C까지 100 Oe에서 70 Oe로 감소하는 동일한 경향을 보여 주었고, 300 °C 이상부터는 증가하는 경향이 관찰되었다. 다층박막 내에 빨빨이 산란하여 이동하는 Mn 원자의 확산은 주로 결정 조직의 결합이 생성되고 치밀도가 약한 상부 NiFe 층에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 극 초박막 형태로 Mn 원자층의 삽입에 의한 NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막에서 교환결합세기와 열적 안정성 향상을 보여 주었다.

**주제어 :** NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막, Mn층 삽입, 교환결합세기, 열적안정성

### I. 서 론

Mr. 합금형태의 여러 가지 반강자성체 물질로서 FeMn, IrMn, PtMn, NiMn 등은 열처리 전과 후에 교환결합세기를 300 Oe 정도 쉽게 얻을 수 있다[1, 2]. IrMn, PtMn, NiMn에 비해 FeMn로 하여 개발한 스핀밸브나 터널링 접합 소자는 열적 안정성의 한계로 인하여 자기센서로서 실용화 하기에 큰 문제점을 가지고 있다. 그러므로 높은 Neel온도를 갖는 새로운 반강자성체 물질을 개발하여 300 °C 이상의 blocking 온도를 갖는 스핀밸브 박막 개발이 절실히 요구된다. 특히 반강자성체 FeMn, IrMn과 강자성체 CoFe, NiFe는 Mn이 계면의 이웃층으로 확산이 왕성하므로 자성층의 종류에 따라 교환결합세기의 변화에 심각한 영향을 주게 된다[3, 4]. 더욱이 열처리시에 일어나는 Mn 확산 정도는 GMR(giant magnetoresistance) 스핀밸브 박막 혹은 TMR(tunneling magnetoresistance) 박막에서 이웃층의 계면 손상과 터널 배리어 산화층으로 선호적인 Mn 원자의 이동을 통해 터널링 자기 수송 특성을 완화 내지 손상시키는 중요한 요인으로 밝혀져 있다[5]. 열처리 전과 후에 따른 자기적 특성의 변화가 비교적 큰 FeMn에서 Mn 성분비 따른 γ상 fcc 결정성 및 교환결합세기의 변화를 상세히 관찰함으로써 Mn 확산에 의한 반자성층의 Mn 결핍 또는 상변화를 극초 박막 Mn층 삽입으로 보상효과를 이용하여 교환결합세기 강화 및 열적안정성을 향상시킨 새로운 반강자성

체를 개발할 가능성이 있게 된다.

본 연구에서는 열적안정성과 교환결합세기가 향상된 최적의 반강자성체 FeMn 박막을 얻기 위해 기존의 합금형태의 FeMn와 극초 Mn 박막 삽입으로 다층박막 형태를 이온빔 증착(ion beam deposition; IBD)법으로 증착하였다. 상하부층에 NiFe 박막이 있는 다층박막 [FeMn/Mn]<sub>80</sub>을 진공 열처리를 통해 얻은 교환결합세기와 열적안정성의 향상 특성을 조사하였다.

### II. 실험방법

시료들은 유리기판(코닝 #7059) 위에 [FeMn/Mn]<sub>80</sub> 초격자형 다층박막 구조를 만들기 위해 사용한 Fig. 1에서 보여준 IBD 스퍼터링 시스템을 이용하여 상온에서 제작하였다[6, 7]. IBD 시스템은 메인 챔버와 load-lock 챔버로 분리되어 있다. 메인 챔버내에 타겟 이온건과 기판 예칭용 이온건 그리고 6개의 3-인치 타겟이 장착된 초진공(ultra-high vacuum; UHV) 이온빔 증착 장치는 기본 진공도가 6×10<sup>-9</sup> Torr이었다. 사용한 이온 건은 3-cm 흑연(graphite) 그리드(grid) 크기의 카프만(Kaufmann) 소스(source) 이었다[8]. 타겟과 시편의 거리는 약 100 mm이었다. 이온 빔 생성에 필요한 아르곤 가스 분압은 0.1 mTorr로 하였고, 증착율과 증착 균일도를 결정하는 가속전압, 양극(anode)의 방전전압, 이온빔 전압 및 전류값을 각각 100 V, 35 V, 800 V, 6.0 mA로 하였다. 이 조건에서 타겟 Ta, Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>, Fe<sub>50</sub>Mn<sub>50</sub>, Mn의 증착율은 각각 0.20 Å/s.

\*Tel: (033)730-0415, E-mail: sslee@mail.sangji.ac.kr

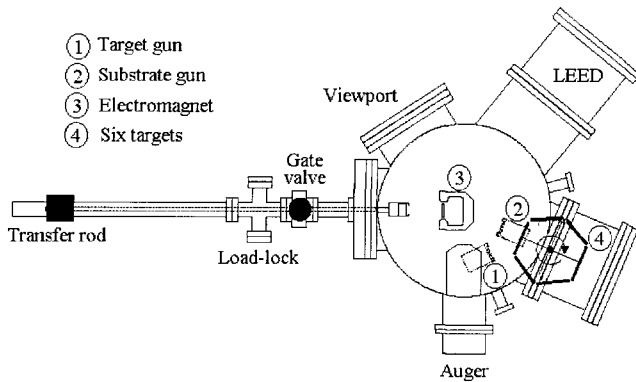


Fig. 1. Schematic configuration of ion beam sputtering deposition system.

0.32 Å/s, 0.23 Å/s, 0.13 Å/s이었다. 증착된 각각의 NiFe와 FeMn 박막을 EDAX(energy dispersive analysis spectrum)와 AFM(atomic force microscope)로 분석하여 증착된 성분비와 표면거칠기를 조사하였다. 특히 NiFe은 타겟 원자성분비인 80:20와 거의 일치하는 고순도 박막으로 나타났으며, 또한 표면거칠기는 1.0 Å 이내로 양호하였다. 반면에 사용된 FeMn 타겟과 증착된 박막의 원자성분비는 각각 50:50과 42:58로서 뿔뿔이 흩어진 Mn 원자 진행으로 인한 Fe 보다 낮은 etch rate와 sputter yield로 상온에서 증착한 것이 타겟 원자성분비와 차이가 났다[9]. 모든 자성체 시료는 증착시 자기장 500 Oe 크기를 갖는 영구자석을 이용하여 용이축(easy-axis)과 곤란축(hard-axis)이 분리된 일축 이방성을 유도하였다. 초격자형 다층박막인 [FeMn/Mn]<sub>80</sub>에서 독립된 FeMn층과 극 초

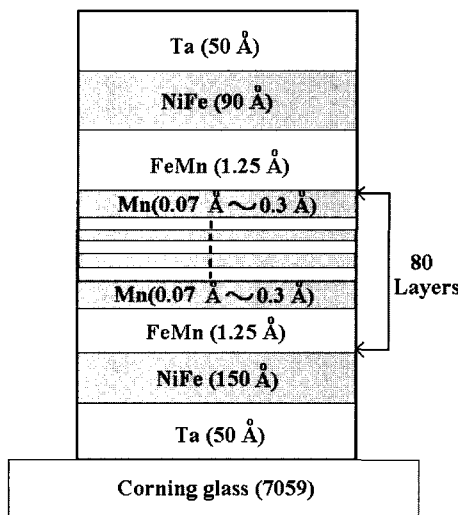


Fig. 2. Schematic structure of a glass/Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[FeMn(1.25 Å)/Mn(t)]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)Ta(50 Å) films. The inserted ultra-thin Mn layers have six different thicknesses such as: 0.0 Å, 0.07 Å, 0.11 Å, 0.15 Å, 0.22 Å, and 0.30 Å.

Mn층들은 각각 셔터와 개방시간을 정하여 증착하는 동안 다른 타겟의 성분이 혼합을 차단하였으며, 각층의 두께는 증착율을 고정한 상태에서 타겟 회전판과 개방시간을 통하여 조절하였다[10]. 본 실험에서 제작한 glass/Ta/NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막 구조를 Fig. 2에서 나타내었다.

모든 박막 시료는 열처리 효과 후 열적 안정성을 조사 위하여 3×10<sup>-6</sup>Torr, 1 kOe 하에서 진공 열처리를 하였다. 열처리 조건은 원하는 온도까지 상승시간 30분 고정 온도에서 머무르는 시간은 2시간으로 하였으며 상온까지 하강 시간은 30분으로 고정하였다. 열처리 전후 시료의 결정세기 관찰은 x선 회절기로 하였으며, 교환결합세기(exchange coupling field; H<sub>ex</sub>)와 보자력(coercivity; H<sub>c</sub>)은 VSM(vibrating sample magnetometer)과 상온에서 측정된 4단자 자기저항 측정 시스템으로 얻은 M-H 히스테리시스 곡선이나 AMR(anisotropy magnetoresistance) 곡선으로부터 각각 결정하였다.

### III. 실험결과 및 분석

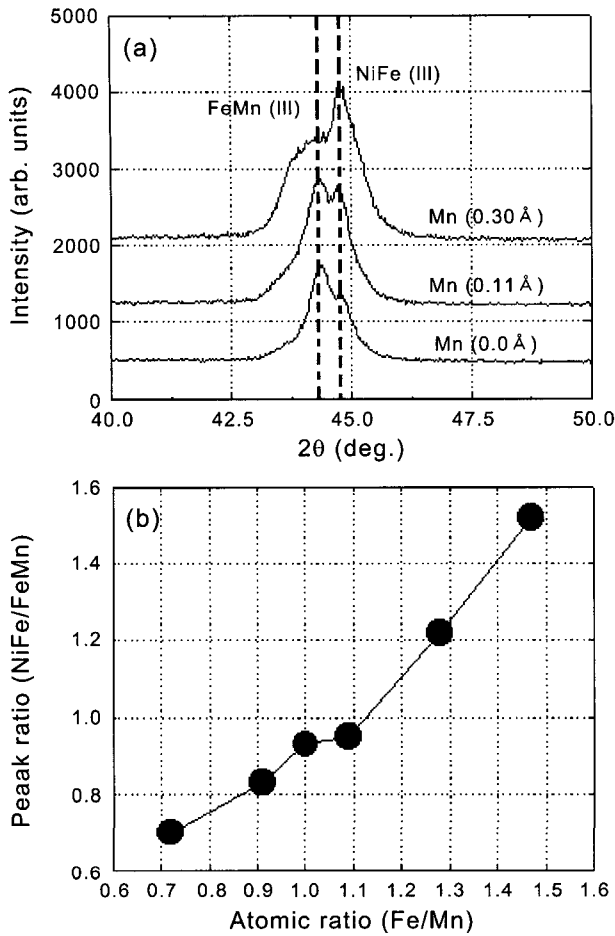
#### 3.1. FeMn 원자 조성비의 변화와 [FeMn/Mn]<sub>80</sub> 다층박막의 결정구조

먼저 [FeMn/Mn]<sub>80</sub> 초격자형 다층박막에서 극-초박막 Mn 삽입에 의한 FeMn 합금 박막을 EDAX 조사된 원자 조성비와 4단자 법으로 측정한 표면저항(R<sub>s</sub>) 값들을 Table I에 나타내었다. Mn이 0.11 Å일 때 50:50으로 나타났고, 0.30 Å일 때는 60:40으로 나타났다. 또한 Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) 다층박막에 대한 R<sub>s</sub> 값들은 Mn이 0.0 Å일 때 43.95 Ω에서 Mn이 0.11 Å일 때 41.90 Ω으로 최저값을 갖다가 0.30 Å일 때 42.19 Ω으로 증가하는 특이한 현상을 보여 주었다. 이러한 현상은 Fe:Mn의 원자조성비가 50:50로 될 때 가장 안정된 단위격자 당 fcc 구조를 띠면서 Mn 원자 결핍과 과잉에 의한 확산도의 정도 차이 때문임으로 사료된다.

상온에서 증착한 Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) 다층박막에 대한 x선 회절 θ-2θ 주사 무늬로부터 얻은 γ상 fcc FeMn(111)과 NiFe(111) 회절 피크의 비를 Mn층 삽입에 따른 원자조성비 의존성을 조사하였다. 그림-3(a)와 (b)에서 보여주듯이 두 회절 피크의 분리는 Mn 삽입층이 없을 때 피크비가 0.75에서 확연하게 분리되었고 Mn

Table I. Atomic percent of Fe: Mn and sheet resistance R<sub>s</sub> (Ω) changes depending on the inserted Mn layer thickness.

Inserted ultra-thin Mn thickness (Å)	0.0	0.07	0.11	0.15	0.22	0.30
Atomic % Fe:Mn	42:58	48:52	50:50	52:48	56:44	60:40
Sheet resistance R <sub>s</sub> (Ω)	43.95	42.70	41.90	41.94	41.98	42.19

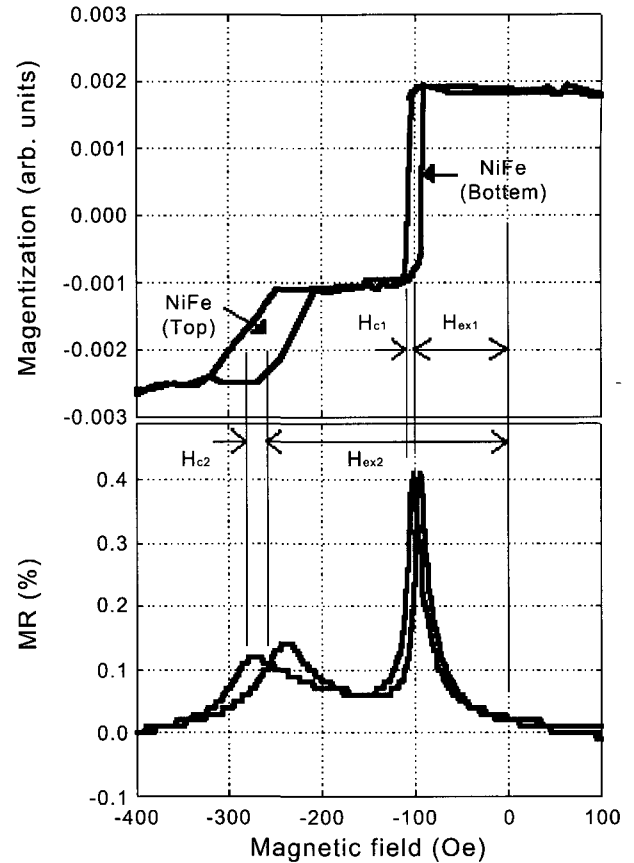


**Fig. 3.** (a) XRD patterns of the glass/Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[FeMn(1.25 Å)/Mn(t)]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) films on the three different thicknesses of Mn layers: 0.0 Å, 0.11 Å, 0.30 Å. (b) The x-ray peak ratios NiFe(111) of FeMn(111) versus atomic ratios of Fe:Mn for the glass/Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[FeMn(1.25 Å)/Mn(0.0 Å, 0.07 Å, 0.11 Å, 0.15 Å, 0.22 Å, 0.30 Å)]<sub>80</sub>/NiFe(70 Å)/Ta(50 Å) films.

층이 증가함에 따라 NiFe(111) 회절세기가 증가하여 그 피크 비가 1.6까지 증가함을 알 수 있었다. 즉, 삽입한 Mn 총 두께가 0, 9 Å, 그리고 24 Å인 다층박막에 대해 조사된 fcc 결정조직의 x-선 회절 세기 NiFe(111)/FeMn(111) 값들은 각각 0.75, 1.0, 그리고 1.6이었다. 이로서 버퍼층 Ta의 초기성장에서 생긴 NiFe(111) 결정방향 성장은 결정 조직 형태로 이루어진다는 사실을 뒷받침하고 있음을 알 수 있다. 이로서 반강자성  $\gamma$ -FeMn(111)이 FeMn/NiFe층의 교환결합력을 결정할 수 있는 가장 중요한 요인임을 확인하게 되었다.

**3.2. NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 교환결합세기**

[FeMn/Mn] 초격자형 다층구조에 하부에 Ta/NiFe층을 상부에 NiFe/Ta를 증착했을 때 Fig. 2에 도시한 다층구조 Ta/NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe/Ta 박막에 대한 그 자기적 특성으로  $H_{ex}$ 와



**Fig. 4.** (a) MH loop and (a) magnetoresistance curve for the glass-Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/FeMn(100 Å)/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) films. There are defined exchange coupling fields  $H_{1ex}$  and  $H_{2ex}$ , coercivities  $H_{1c}$  and  $H_{2c}$ , respectively.

$H_c$ 를 조사하였다. FeMn층에 인접 한 두 NiFe층의 극 초MR: 박막 두께별 효과는 상부층과 하부층은 서로 그 특성이 다르게 나타난다. Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/FeMn(100 Å)/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) 다층박막에 대해 측정된 M-H 곡선과 그에 대응한 자기저항곡선이 Fig. 4(a)와 4(b)에 각각 나타내었다. 상 하부층의  $H_{1ex}$ ,  $H_{1c}$ 와  $H_{2ex}$ ,  $H_{2c}$ 를 개별적으로 각각 정의하였으며. 그 값들은 각각 108 Oe, 4.5 Oe와 290 Oe, 24.0 Oe이었다. 상부층 NiFe는 FeMn이 하부층 결정성장보다 양호함과 박막이 내포하는 결함(defect), 계면전위(dislocation), 표면거칠기의 증가 등의 요인들 때문에 보다 큰  $H_{2ex}$ ,  $H_{2c}$  값들로 나타난 것으로 사료된다.

Fig. 5에서는 상온에서 다층구조Si(100 Å)/NiFe(150 Å)/[FeMn(1.25 Å)/Mn(t)]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) 박막에 대한 삽입층 Mn 두께에 따른 상하부층 NiFe층이 [FeMn/Mn] 초격자-다층 박막사이에 얻어지는  $H_{2ex}$ 와  $H_{1ex}$ ,  $H_{2c}$ 와  $H_{1c}$ 의 Fe:Mn: 원자 조성비에 대한 의존성을 나타내었다.  $H_{1ex}$ 는 Fe:Mn의 조성비와 관계없이 거의 100 Oe로 일정하며,  $H_{1c}$ 와  $H_{2c}$ 는 각각 15 Oe와 5 Oe 정도로 변함이 없었다. 하지만  $H_{2ex}$ 는 Mn

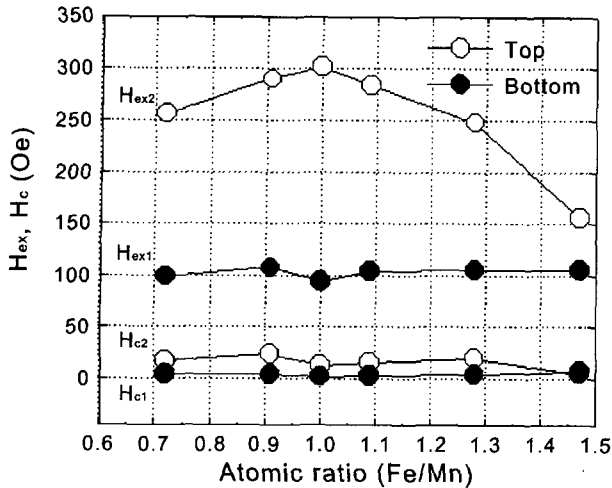


Fig. 5. Exchange coupling fields  $H_{1ex}$  and  $H_{2ex}$ , coercivities  $H_{1c}$  and  $H_{2c}$  for the glass/Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[FeMn(1.25 Å)/Mn(0.0 Å, 0.07 Å, 0.11 Å, 0.15 Å, 0.22 Å, 0.30 Å)]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)Ta(50 Å) films as a function of the atomic ratios of Fe:Mn.

층 삽입효과가 없는 0 Å인 Fe:Mn=42:58일 때 250 Oe에서 Mn = 0.03 Å인 Fe:Mn=50:50일 때 300 Oe으로 최대 값으로 증가하다가 다시 Mn = 0.3 Å인 Fe:Mn=60:40일 때 최저 값으로 150 Oe로 감소하였다. 이러한 결과로 볼 때,  $H_{1ex}$ ,  $H_{2c}$ , 와  $H_1$ 는 Mn 효과를 거의 받지 않으나  $H_{2ex}$ 는 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그러므로 뿔뿔이 흩어지는 Mn 원자들은 치밀한 바닥층에 확산을 하지 않고 보다 결합이 존재하고 결정립계(grain boundary)의 크기가 증가한 상부층으로 확산됨이 강하게 된다[11]. 한편으로 FeMn, IrMn, PtMn 등의 반강자성체가 하부에 있는 TMR 다층구조에서 하부층보다 상부층의 Mn의 확산이 큰 이유는 박막 표면쪽에 가깝게 있는 산화층으로 선호하는 Mn 원자 특성이 있어서 자성특성의 급속한 열화가 생긴다는 결과가 국내 Kim 등의 그룹에 의해 보고 되었다[12].

### 3.3. NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막의 열처리 효과와 열적 안정성

각 시료들의 열처리 효과에 대한 열적안정성을 관찰하기 위해  $3 \times 10^{-6}$  Torr 진공도에서 1 kOe하에서 2시간씩 머무른 후 상온에서 자기저항곡선을 측정하였다. 우선 온도 350 °C에서 열처리 한 후 얻은 NiFe/[FeMn/Mn(0.0 Å, 0.11 Å, 0.3 Å)]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막에 대한 AMR 곡선을 Fig. 6에 나타내었다. Mn이 삽입되지 않은 시료인 경우는 상부층의 교환결합력이 상쇄되었으며 하부층의 교환결합세기가 150 Oe로 크게 증가하였다. 이것은 FeMn 층에 있는 Mn 원자들의 계면 확산도가 점점 증가하여 하부층까지 그 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 그러나 Mn층 삽입이 증가함으로 해서 열처리 온도

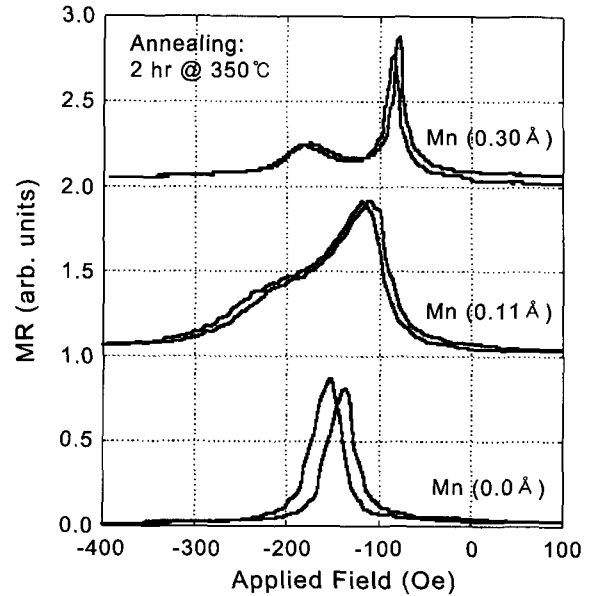
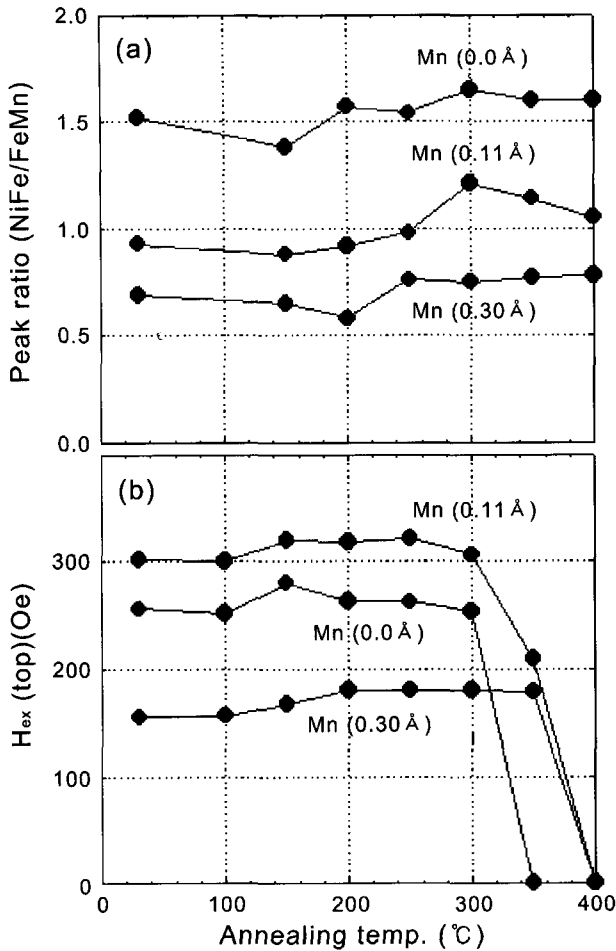


Fig. 6. Magnetoresistance curves for the glass/Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[FeMn(1.25 Å)/Mn(0.0 Å, 0.11 Å, 0.30 Å)]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)Ta(50 Å) films measured by room temperature after annealing treatment. The annealing conditions are the staying time of 2 hrs, annealing temperature of 350 °C, and vacuum pressure of  $3 \times 10^{-6}$  Torr.

350 °C에서도 전형적인 AMR 모양이 변하지 않고 안정한 상태로 유지하고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 7는 3가지 시료에 대해 열처리 온도에 따른 결정조직과 교환결합세기의 변화를 관찰한 결과이다. 삽입한 Mn 층 두께가 0 Å, 9 Å, 그리고 24 Å인 다층박막에 대해 조사된 fcc 결정조직의 x-선 회절 세기 NiFe(111)/FeMn(111) 값은 각각 0.65, 0.90, 그리고 1.5이었으며 열처리 후에도 400 °C까지 0.75, 1.20, 그리고 1.60 증가한 값을 유지 하고 있었다. 이것은 Mn 확산효과에 의한 Mn 결핍으로 인한 반강자성체 FeMn의  $\gamma$ 상 (111)의 손상에 영향을 주고 있다고 사료된다. 반면에 300 °C에서 상부 NiFe층의 교환결합세기는 260 Oe로 유지한 후 350 °C에서 사라졌다. 극 초박막 Mn 삽입층의 두께가 0.11 Å, 0.3 Å인 두개의 시료에 대해, 열처리 온도 300 °C에서 상부 NiFe층의 교환결합세기는 각각 310 Oe와 180 Oe로 유지한 후 350 °C에서 215 Oe와 180 Oe의 값으로 줄어들 다가 400 °C에서 모두 사라졌다. 한편 하부 NiFe층의 교환결합세기는 250 °C까지 100 Oe에서 70 Oe로 감소하는 동일한 경향을 보여 주었고, 300 °C 이상부터는 증가하는 경향이 관찰되었다. 그리고 상 하부 NiFe층의 보자력의 크기는 대략 5 Oe에서 10 Oe 정도에서 조금 변화였다. 이러한 결과로 뿔뿔이 산란하는 정도가 강한 Mn 원자는 주로 결정 조직의 결합이 생성되고 치밀도가 약해 날갈 경계로 빠른 Mn 확산 이동 효과가 상부 NiFe층의 자성특성의 저하에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 그러므로 반강자성체 FeMn에 Mn 확



**Fig. 7.** Annealing effects of (a) the x-ray peak ratios of NiFe(111)/FeMn(111) and (b)  $H_{1ex}$  and  $H_{2ex}$ ,  $H_{1c}$  and  $H_{2c}$  for the glass/Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[FeMn(1.25 Å)/Mn(0.0 Å, 0.11 Å, 0.30 Å)]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) films.

산으로 인한 결핍을 극 초박막 Mn 원자층의 삽입에 의한 보상으로 NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막에서 교환결합세기와 열적 안정성 향상을 얻을 수 있었다.

#### IV. 결 론

극 초박막 Mn 삽입에 의한 NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막에서 열처리에 따른 교환결합세기의 변화를 조사하였다. Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[Fe<sub>53</sub>Mn<sub>47</sub>(1.25 Å)/Mn(0 Å, 0.11 Å, 0.3 Å)]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) 다층박막을 이온빔 스퍼터링법으로 제작하였다. 삽입한 Mn 총 두께가 0 Å, 9 Å, 그리고 24 Å인 시료에 대해 조사된 fcc 결정조직의 x-선 회절 세기 NiFe(111)/FeMn(111) 값은 각각 0.65, 0.90, 그리고 1.5 이었다. Mn이 삽입되지 않은 시료인 경우, 열처리 온도 300 °C

에서 상부 NiFe층의 교환결합세기는 260 Oe로 유지한 후 350 °C에서 사라졌다. Mn 삽입층의 두께가 0.11 Å, 0.3 Å인 두개의 시료에 대해, 열처리 온도 300 °C에서 상부 NiFe층의 교환결합세기는 각각 310 Oe와 180 Oe로 유지한 후 350 °C에서 215 Oe와 180 Oe의 값으로 줄어들다가 400 °C에서 모두 사라졌다. 한편 하부 NiFe층의 교환결합세기는 250 °C까지 100 Oe에서 70 Oe로 감소하는 동일한 경향을 보여 주었고, 300 °C 이상부터는 증가하는 경향이 관찰되었다. 그리고 상하부 NiFe층의 보자력의 크기는 대략 5 Oe에서 10 Oe 정도로 조금 변하였다. 이러한 결과로 뿔뿔이 산란하는 Mn 원자의 확산은 주로 결정 조직의 결합이 생성되고 치밀도가 약한 상부 NiFe층에 영향을 주고 있었으며, Mn 원자층의 삽입로 보상된 NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe 다층박막에서 교환결합세기와 열적 안정성 향상을 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구 결과는 2002-2003 상지대학교 교내 연구과제의 지원에 의하여 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. Takiguchi, E. Nakino, and A. Okabe, *J. Appl. Phys.* **87**, 2469(2000).
- [2] R. Nakatani, M. Hoshino, S. Noguchi, and Y. Suguta, *Jpn. J. Appl. Phys.* **33**, 1333(1994).
- [3] S. W. Kim, J. H. Kim, B. K. Kim, J. K. Kim, J. R. Rhee, S. S. Lee, and D. G. Hwang, *J. Appl. Phys.* **93**, In print(2003).
- [4] J. H. Lee, H. D. Jeong, C. S. Yoon, C. K. Kim, B. G. Park, and T. D. Lee, *J. Appl. Phys.* **91**, 1432(2002).
- [5] J. H. Lee, S. J. Kim, C. S. Yoon, C. K. Kim, B. G. Park, and T. D. Lee, *J. Appl. Phys.* **92**, 6241(2002).
- [6] B. K. Kim, J. H. Kim, D. G. Hwang, S. S. Lee, *J. Kor. Mag. Soc.* **12**, 132(2002).
- [7] S. Nakagawa, K. Nishimura, Y. Shimizu, and M. Naoe, *IEEE Trans. On Magn.* **35**, 2970(1999).
- [8] H. R. Kaufman, J. J. Cuomo, and J. M. E. Harper, *J. Vac. Sci. Tech.* **21**, 725(1982).
- [9] O. Kitakami, S. Okamoto, and Y. Shimada, *J. Appl. Phys.* **79**, 6880(1996).
- [10] S. S. Lee, D. G. Hwang, and C. M. Park, *J. Mag. Mag. Mater.* **198-199**, 70(1999).
- [11] M. J. Kim, H. J. Kim, K. Y. Kim, S. H. Jang, T. Kang, *J. Mag. Mag. Mater.* **239**, 195(2002).
- [12] H. D. Jeong, J. H. Lee, C. S. Yoon, C. K. Kim, and J. H. Yu, *Appl. Surf. Sci.* **199**, 6(2002).

## Enhancement of Exchange Coupling Field and Thermal Stability by an Ultra-thin Mn Inserted layer on NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe Multilayers

Bo-Kyung Kim, Jin-Yong Lee, Sang-Hee Ham, Sang-Suk Lee\*, and Do-Guwn Hwang

*Department of Computer and Electronic Physics, Sang-Ji University, Wonju 220-702, Korea*

(Received 13 February 2003, in final form 25 March 2003)

Annealing effects of exchange bias fields ( $H_{2ex}$ (top),  $H_{1ex}$  (bottom)) on composite type NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe multilayers have been studied. Three samples with ultra-thin Mn inserted layers on glass/Ta(50 Å)/NiFe(150 Å)/[Fe<sub>53</sub>Mn<sub>47</sub> (1.25 Å)/Mn(0 Å, 0.11 Å, 0.3 Å)]<sub>80</sub>/NiFe(90 Å)/Ta(50 Å) were prepared by ion beam sputtering. The average x-ray diffraction peak ratios NiFe(111) of FeMn (111) fcc textures for the Mn inserted total thicknesses of 0 Å, 9 Å, and 24 Å were about 0.65, 0.90, and 1.5, respectively. For the sample without Mn inserted layer, the  $H_{2ex}$  of 260 Oe up to 300 °C disappeared at 350 °C. For two multilayer samples with ultra-thin Mn layers of 0.11 Å and 0.3 Å, the  $H_{2ex}$  of 310 Oe and 180 Oe up to 300 °C endured of 215 Oe and 180 Oe at 350 °C, respectively. The  $H_{ex}$  (bottom)s of three samples decreased from 100 Oe to 70 Oe up to 250 °C, while these values increased beyond 300 °C. This observation can be attributed to less diffusive path of Mn atoms in bottom NiFe than top NiFe layer. The top and bottom coercive fields slightly varied about 5 Oe~10 Oe. From these results, we could obtain the enhancement of exchange coupling intensity and thermal stability by an ultra-thin Mn inserted layer on NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe Multilayers.

**Key words :** NiFe/[FeMn/Mn]<sub>80</sub>/NiFe multilayers, Mn inserted layer, exchange coupling field, thermal stability