

## Mn-Ir/Ni-Fe 교환결합형 다층박막의 미세구조 및 열적특성

윤성용 · 전동민 · 김장현 · 서수정  
성균관대학교 신소재 공학과, 수원시, 440-746

노재철  
삼성전기, 수원시, 442-743

이학주  
한국표준과학 연구소, 대전, 305-600

(2000년 8월 2일 받음, 2000년 10월 20일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 D.C 마그네트론 스퍼터링을 사용하여 Mn-Ir/Ni-Fe 교환결합형 다층박막의 하지층 및 적층구조에 따른 자기적 특성 및 열적 특성을 미세구조의 관점에서 연구하였다. 교환결합자계( $H_{ex}$ )와 Blocking Temperature( $T_b$ )는 Mn-Ir/Ni-Fe 계면에서의 반강자성체의 결정립 크기에 의존하는 것을 알 수 있었다. 또한 Mn-Ir/Ni-Fe 교환결합형 다층박막에서 (111) 우선방위의 발생으로 인하여  $H_{ex}$ 가 증가됨을 알 수 있었다.  $H_{ex}$ 가 발생하는 Mn-Ir/Ni-Fe 다층박막은 Mn-Ir 층에 전위가 생성되어 grain-to-grain epitaxy 관계가 이루어지는 것을 알 수 있었다.

### I. 서 론

최근 고밀도 자기기록매체의 재생소자나, 자기센서로서 거대자기저항(GMR)소자[1]가 큰 관심을 받고 있다. 그 중에서 반강자성체/강자성체의 계면에서 발생하는 교환결합 특성을 이용하는 스핀밸브형 거대자기저항소자는 높은 민감도에 의하여 컴퓨터 하드디스크 드라이브의 핵심 부품인 GMR헤드에 사용되고 있다. GMR head는 작동중 가해지는 고밀도 센서 전류에 의한 주울열에 의한 열적손상 및 ESD(Electrostatic Discharge) 발생에 의해 열적, 자기적 손상[2]을 입게 된다. 따라서 높은  $T_b$  (blocking temperature)을 가지고 있어서 head 작동 온도(100~150 °C)에서도 높은 교환결합자계값을 나타낼 수 있는 소자가 요구된다. 한편 교환결합 특성을 나타내는 NiMn/Ni-Fe[3], FeMn/Ni-Fe[4]이층박막의 계면에서 grain-to-grain epitaxy가 발생한다는 연구결과들이 있다. 또한 우리의 이전 연구 논문결과에서 교환결합 특성을 나타내는 Mn-Ir/Ni-Fe 교환결합 다층박막의 계면에서는 grain-to-grain epitaxy관계가 발생한다고 발표하였다[5, 6]. 따라서 본 연구에서는 반강자성체로 우수한 특성을 가지고 있는 Mn-Ir를 사용하여 하지층 및 적층순서에 따른 자기적 특성 및 열적 특성을 미세구조의 관점에서 고찰하려 한다.

### II. 실험 방법

D.C magnetron sputter법을 사용하여 Ni-Fe/Mn-Ir/하지층/Si 다층 박막을 제작하였다. 이때 기판은 Si(100)을 사용하였다. Mn-Ir의 조성은 Mn target위에 Ir chip의 개수를 조절하여 Mn-19 at%Ir로 고정하였으며 Ni-Fe는 Ni-19 wt%Fe 합금 target을 사용하였다. 초기진공도는  $7.0 \times 10^{-7}$  Torr 이하로 유지하였으며 기판의 온도는 상온으로 유지하였다. 증착시 Ar pressure는 4 mTorr로 고정하였으며 이방화를 위하여 300 Oe의 자장을 시편 표면에 평행한 방향으로 인가하였다. 각 층의 증착 속도는 0.1~0.35 nm/s로 하였다.  $H_{ex}$ 와  $T_b$  (blocking temperature)를 측정할 때는 진동시료자력계(Vibrating Sample Magnetometer : VSM)를 이용하여 분석하였다. 그림 1에  $T_b$  측정 실험 방법을 나타내었다. 그림 1(a)는 열처리동안 외부에서 가해주는 자장 방향을 나타낸 그림이다. 원하는 온도에서 시편의 자화용이 방향(증착중 시편표면에 인가한 자장 방향)에 평행한 방향으로 그 온도에서 상온으로 냉각 시에는 시편의 자화용이 방향의 반대 방향으로 시편에 자장을 인가하였다[7]. 그림 1(b)는 pulsed technique를 사용한 열처리 방법을 나타내는 그림이다. 일정한 온도를 40분간 유지하면서 자화용이 방향에 평행한 방향으로 200 Oe의 자장을 가한 후 상온으로 온도를 감소시키는 동안 자화용이

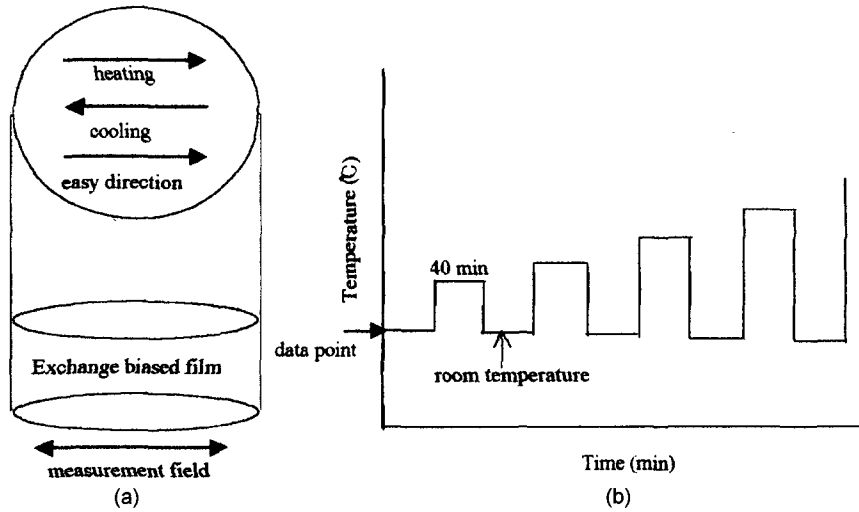


Fig. 1. Schematics of thermal magnetic stability test. (a) Applied field direction during heating and cooling for thermal test, (b) Thermal test by using pulsed technique

방향의 반대 방향으로 40 분간 200 Oe의 자장을 가한 후  $H_{ex}$ 를 측정하여  $T_b$ 을 구하였다. 열처리 시편은 산화를 방지하기 위해서 보호층으로 Ta 또는 Ti를 사용하였다. 우선 방위와 미세구조는  $\text{CuK}\alpha_1$ 선을 사용하는 XRD(X-ray Diffractometer)와 300 kV의 투과전자현미경(Transmission Electron Microscopy : TEM)을 이용하였다. 조성분석은 RBS(Rutherford Back-scattering Spectrometer)와 EPMA(Electron Probe Microscopy Analyser)를 이용하였다.

### III. 실험결과

#### 3.1. 자기적 특성

Table I에 하지층 및 적층순서에 따른 교환결합자계(Exchange Biased Field :  $H_{ex}$ )와 계면에서의 교환결합 상수(Interfacial Exchange Coupling Constant :  $J_k$ )를 표기하였다.

일반적으로  $J_k$ 의 크기는 다음의 식으로 정의 할 수 있다[8].

$$J_k = H_{ex} \cdot M_s \cdot t \quad (1)$$

( $M_s$ : 강자성체의 포화 자화값,  $t$ : 강자성체의 두께)

Top 구조(강자성체 위에 반강자성체가 증착되는 경우)에서의  $H_{ex}$  및  $J_k$ 가 Bottom 구조(반강자성체 위에 강자성체가 증착되는 경우)에 비해 5배 이상 크며 Top 구조에서도 하지층에 따라  $H_{ex}$  및  $J_k$ 의 차이가 발생함을 알 수 있었다.  $J_k$ 의 크기 및 이에 따른  $H_{ex}$ 는 반강자성체와 강자성체의 계면에서 발생하는 현상이므로 우선방위, 반강자성체의 결정립 크기, 계면 섞임, 계면에서의 epitaxy 관계 등이 그 크기에 영향을 줄 것이다.

#### 3.2. 열적 특성

그림 2는 온도에 따른 Mn-Ir/Ni-Fe 교환결합형 다층박막의  $H_{ex}/H_{ex(initial)}$ 를 나타내는 그림이다. 외부자장 방향에 따라 연자성체인 Ni-Fe는 빠르게 반응하며 Mn-Ir역시 온도에 따라 외부자장에 반응한다. 따라서  $T_b$  이상의 온도에서는 교환이방성 박막의 강자성체 결합의 방향이 바뀌게

Table I. The variations of  $H_{ex}$  and  $J_k$  as a function of buffer layer materials and stacking sequence

structure	stacking sequence	$H_{ex}$ (Oe)	$J_k$ (erg/cm <sup>2</sup> )
Top	Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Si	150	0.117
	Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Cu(5 nm)/Si	160	0.125
	Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Ta(5 nm)/Si	188	0.147
	Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Cr(5 nm)/Si	173	0.135
Bottom	Ni-Fe(10 nm)/Mn-Ir(20 nm)/Cu(5 nm)/Si	33	0.026

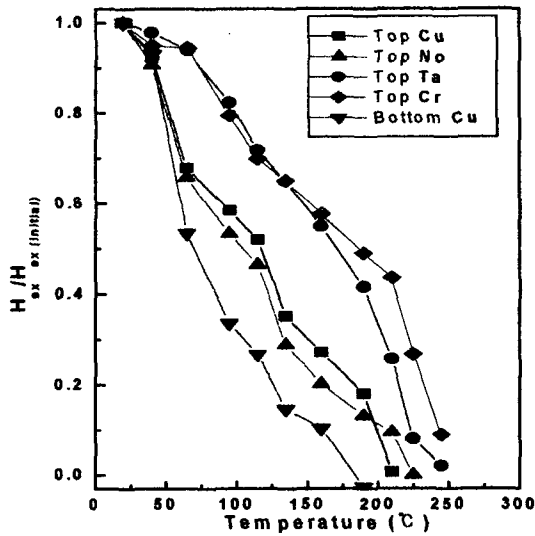


Fig. 2. Temperature dependence on  $H_{ex}/H_{ex}$  initial for Mn-Ir/Ni-Fe exchange biased film.

된다. 외부자장에 의해 강자성체 결합의 방향이 바뀌는 정도를 온도의 함수로 표기한 것이 그림 2이다. Top 구조에서는 Cr, Ta, Cu를 하지층으로 사용한 시편과 하지층을 사용하지 않은 시편, Bottom 구조에서는 Cu를 하지층으로 사용한 시편으로  $T_b$  ( $H_{ex}$ 가 사라지는 온도)를 측정하였다. Top구조에서 Cr을 하지층으로 사용한 경우 250°C 이상, Ta를 하지층으로 사용한 경우 245°C, Cu를 하지층으로 사용한 경우에는 220°C, 하지층을 사용하지 않은 경우 230°C의  $T_b$ 를 가지고 있었으며 Bottom 구조는 180°C의  $T_b$ 를 가지고 있었다. 열처리 실험결과로 다음의 두 가지 뚜렷한 사실을 알 수 있었다. 첫 번째로 높은  $H_{ex}$  값을 가지고 있는 시편들이 높은  $T_b$  값을 나타내었다. 두 번째로 온도에 따른 곡선의 모양이  $T_b$ 가 높아질수록 오목한 모양에서 볼록한 모양으로 변화하였다. 이는 Top구조에서 온도 상승에 따라서  $H_{ex}$ 의 감소 폭이 작음을 의미한다. Soeya 등[4]은 NiO/Ni-Fe 이층박막, C. Tsang 등[9]은 Ni-Fe/Fe-Mn 이층박막에서 exchange path의 개념을 정의

하였으며 각각의 exchange path는 각각의  $H_{ex}$ 와  $T_b$ 를 가지고 있다는 것을 발표하였다. 또한 하지층인 Cu의 두께를 증가시켜 반강자성체의 결정립 크기를 증가시킨 Nishioka 등[10]의 실험결과를 보면 반강자성체의 결정립 크기가 크고 좁은 크기 분포를 가질 때 높은  $T_b$ 가 나타났으며 곡선의 모양이 오목한 모양에서 볼록한 모양으로 변화하였다. 한편 온도 상승에 따른 반강자성체/강자성체 계면에서의 확산을 고려해야만 한다. 박막에서의 확산기구는 결정입계 확산에 의해 일어나는 것이 대부분이다[11]. 결정립 크기가 큰 조건에서 더 높은  $T_b$ 가 발생할 것이다. 이들의 실험결과와 그림 2를 보면 exchange path는 반강자성체/강자성체 계면에서의 반강자성체의 결정립 크기와 관계가 있는 것으로 사료된다. 즉 반강자성체의 결정립 크기가 클수록 높은  $T_b$ 를 나타내며 이러한 시편들이 높은  $H_{ex}$  값을 나타냄을 알 수 있다. Top 구조에서 Cu를 하지층으로 사용한 경우가 하지층을 사용하지 않은 것의 것에 비해 높은  $H_{ex}$ 가 발생하나 작은  $T_b$ 가 발생하는 이유는 100°C 근방의 온도부터 Cu와 Ni-Fe 간의 급격한 확산이 발생하여 Ni-Fe/Mn-Ir의 계면에 영향을 주기 때문인 것으로 사료되나 그 확실한 이유를 알 수 없었다. 한편 Top 구조에서 Cr을 하지층으로 사용한 경우가 Ta를 하지층으로 사용한 경우에 비해 높은  $T_b$ 를 나타내지만 낮은  $H_{ex}$  값을 나타낸다.

Table II에 Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/buffer(5 nm)의 결정립 크기,  $H_{ex}$  그리고  $H_c$ 를 표기하였다.

Top 구조에서 하지층을 사용하지 않은 경우부터 Cu, Ta, Cr 하지층의 순서로 Mn-Ir의 결정립 크기가 증가함을 알 수 있었다. 물론 전체 막의 두께가 너무 얇고 하지층들에 의한 영향을 받기 때문에 투과전자 현미경의 평면 이미지로 정확한 결정립의 크기를 얻을 수 없으나 하지층에 따른 단면 사진 이미지와 비교하여 그 결과를 표기하였다. 하지층에 따라 결정립 크기가 증가함에 따라  $H_{ex}$ 의 크기가 증가하는 경향이 발생하였다. 다만 하지층으로 Cr을 사용한 것은 Ta를 하지층으로 사용한 것에 비하여 더 큰 결

Table II. The variations of  $H_{ex}$ ,  $H_c$  and grain size as a function of buffer layer materials

Structure	Stacking sequence	Grain Size diameter (nm)	$H_{ex}$ (Oe)	$H_c$ (Oe)
Top	Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Si	6~10	150	52
	Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Cu(5 nm)/Si	7~12	160	47
	Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Ta(5 nm)/Si	9~15	188	35
	Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Cr(5 nm)/Si	13~17	173	34
Bottom	Mn-Ir(20 nm)/Cu(5 nm)/Si	4~8	33	27

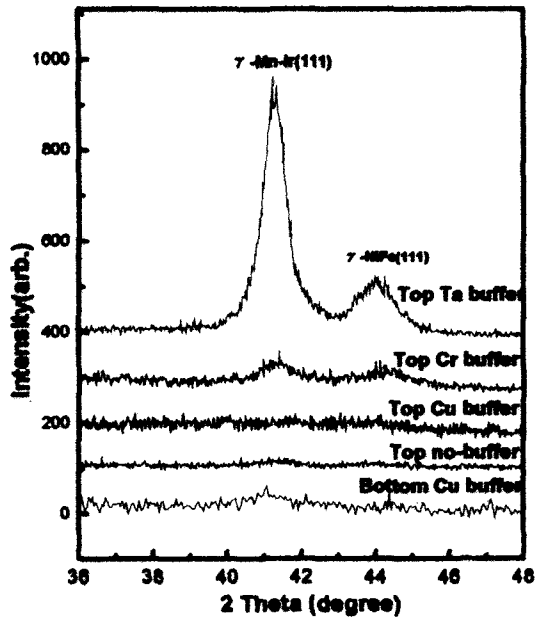


Fig. 3. XRD data of Mn-Ir/Ni-Fe exchange biased multilayers.

정립 크기를 가지고 있지만 있지만 15 Oe 가량 낮은  $H_{ex}$ 가 발생하였다.

### 3.3. 미세구조 고찰

그림 3는 하지층 및 적층순서에 따른 Mn-Ir/Ni-Fe 교환 결합형 다층박막의 XRD 결과이다. Top구조에서 Ta을 하지층으로 사용한 경우에는 41°와 44° 부근에서 뚜렷한 Mn-Ir(111)면과 Ni-Fe(111)면의 회절선이 발생한다. Ta을 하지층으로 사용한 경우에는 Ni-Fe(111)면위에서 Mn-Ir(111)면이 epitaxy하게 성장하는 것을 의미한다[12]. Bragg 법칙을 사용하여 Ni-Fe와 Mn-Ir의 면간거리를 계산하여 0.205 nm와 0.273 nm의 값을 얻었다. 한편 Top 구조에서 Cr을 하지층으로 사용한 경우에는 회절선의 강도가 매우 작아 (111) 우선방위를 가지고 있다고 볼 수 없으나 Mn-Ir과 Ni-Fe의 결정립이 크게 성장하므로 미약하나 회절선의 강도가 발생하였다고 생각 할 수 있으며 이는 그림 2의 결과와도 일치한다. 그 외 Top 구조와 Bottom 구조에서는 (111)우선방위가 발생하지 않았다.

그림 4는 Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Cr(5 nm)/Si의 HRTEM 결과이다. HRTEM 분석으로 Mn-Ir과 Ni-Fe간의 계면 미세구조를 알 수 있었다.

Cr층과 Ni-Fe층은 Z-contrast 차이가 작아서 그림에서 두 층간의 경계가 구별이 잘 되지 않는다. Ni-Fe층과

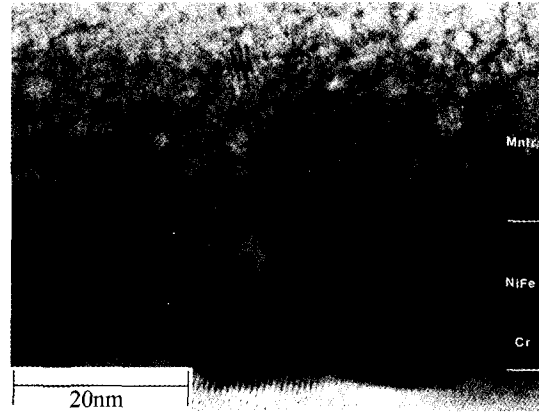


Fig. 4. Cross-sectional HRTEM micrograph of Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Cr(5 nm)/Si multilayers.

Mn-Ir층의 lattice fringe가 연결되어 있는 것이 관찰된다. 이것은 우리의 이전 논문 결과에서도 볼 수 있었다. 두 층간에 epitaxy관계가 성립하기 위해서는 격자상수 불일치도(lattice mismatch :  $f$ )값이 매우 중요하다.

$f$ 는 다음의 (2)식으로 정의 할 수 있다[13].

$$f = \frac{(a-b)}{a} \quad (2)$$

여기에서  $a$ 와  $b$ 는 각각 위층과 아래층의 변형이 발생하지 않은 격자상수 값이다.

그림 3의 Ta을 하지층으로 사용한 XRD 결과로 구한 Ni-Fe(111)면과 Mn-Ir(111)면의 격자상수는 0.355 nm와 0.3764 nm이다. 우선방위가 발생한 시편과 우선방위가 발생하지 않은 시편의 Mn-Ir과 Ni-Fe의 격자상수 값이 같지 않지만 그 차이가 그리 크지 않을 것이며 각각의 격자상수 값은 bulk의 격자상수 값과 그 차이가 매우 작았다. 따라서 식 (2)을 이용하여  $f$ 를 구하면 -0.056이며 백분율로 나타내면 5.6% 이다. 막의 두께가 증가하면서 총 탄성변형 에너지가 증가하게 된다. 이 때 임계두께(critical thickness :  $h_c$ ) 이상이 되면 두 층간의 계면에서 전위가 생성되는 것이 에너지 적으로 안정하다[14].  $h_c$ 는 식 (3)으로 정의 할 수 있다[13].

$$h_c = \frac{b}{8\pi f \cos \alpha} \left[ \frac{1 - \nu \cos^2 \beta}{1 + \nu} \right] \ln \left( \frac{4h_c}{b} \right) \quad (3)$$

( $b$ : misfit dislocation Burger's vector,  $\beta$ 와  $\alpha$ : Burger's vector와 두 층의 계면에 존재하는 면내의 전위선이 이루는 각도, Burger's vector와 전위선의 수직 방향이 이루는 각도,  $\nu$ : poisson's ratio)

$h_c$ 을 구하기 위하여 식 (3)에  $f$ 의 절대값인 0.056,  $b$ 는 0.3764 nm(Mn-Ir의 격자상수),  $\alpha = \beta = 60^\circ$  (fcc의 경우),  $v$ 에 Mn의 포외송비 값인 0.24를 대입하면  $h_c$ 는 약 0.92 nm임을 알 수 있었다. Mn-Ir과 Ni-Fe는 같은 결정구조를 가지고 있으며 격자상수 불일치도  $f$  값이 작으며 Mn-Ir층의 두께는  $h_c$ 보다 매우 두껍기 때문에 Mn-Ir층과 Ni-Fe층의 계면에서 Mn-Ir층에 전위가 생성되어 grain-to-grain epitaxy가 발생하는 것으로 사료된다.

#### IV. 논 의

$Lin$ 은 반강자성체의 결정립 크기(VAF)와  $H_{ex}$ 와의 관계를 다음과 같이 설명하였다[8].

$$I. V_{AF} < \frac{kT}{K_{AF}}$$

( $k$ : Boltzmann constant,  $T$ : 절대온도,  $V_{AF}$ : 반강자성체의 결정립 부피  $K_{AF}$ : 반강자성체의 자기이방성 상수)

반강자성체의 에너지가  $K_{AF}V_{AF}$  보다 작기 때문에 초상자성 거동을 하며 그 결과  $H_{ex}$ 와  $H_c$  (coercivity force)는 발생하지 않는다.

$$II. \frac{kT}{K_{AF}} < V_{AF} < \frac{J_k A_i}{K_{AF}}$$

( $J_k$ : 교환결합상수,  $A_i$ : 강자성체와 반강자성체가 접하는 면적)

교환결합 에너지( $J_k A_i$ )보다 자기이방성 에너지가 작기 때문에  $H_{ex}$ 는 발생하지 않지만  $H_c$ 의 증가에 기여한다.

$$III. V_{AF} > \frac{J_k A_i}{K_{AF}}$$

결정립의 자기이방성 에너지가 교환결합에너지보다 크므로 반강자성체의 스핀은 강자성체의 스핀이 회전하더라도 반전되지 않으므로  $H_{ex}$ 의 증가에 기여한다.

반강자성체인 Mn-Ir은 증착시 많은 결정 결함들이 생성되며 물질에 따라서 격자상수가 다르기 때문에 Mn-Ir 막내에 잔류응력이 발생한다. 결정립계는 물질의 결합 영역을 나타내며 이러한 결정립계에서 스핀배열의 차이가 발생한다. 반강자성체는 정자기 에너지가 없으므로 자유자극이 생성되지 않기 때문에 결정립 경계에서 스핀배열의 차이가 발생하는 것이 에너지적으로 안정하다고 생각할 수 있다. 강자성체는 두께에 비해 길이 방향이 무한히

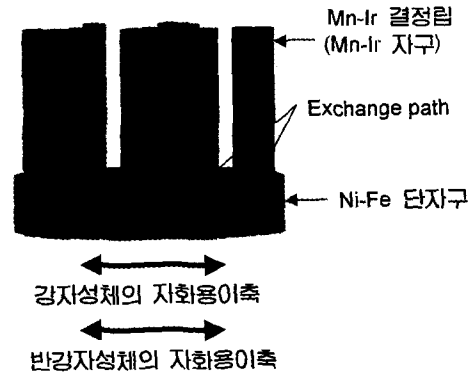


Fig. 5. The Microstructure of the Mn-Ir and the Ni-Fe film on which the explanation.

크기 때문에 반자장이 거의 없으며 Ni-Fe내의 spin들은 강하게 평행한 배열을 한다. 즉 반강자성체 막내의 결정립 경계는 자구벽이 되며 반강자성체를 다자구로 생각할 수 있으며 강자성체는 단자구로 생각할 수 있다. 이러한 개념의 모식도를 그림 5에 나타내었다[10].

그림 5에서도 알 수 있듯이  $H_{ex}$ 는 Mn-Ir의 결정립과 접하는 Ni-Fe의 계면에서의 교환결합에 의해 발생하며 이러한 각각의 쌍을 exchange path로 가정할 수 있다. 각각의 exchange path는 각각의  $J_k$  및  $T_b$  값을 가지고 있으며 이러한 exchange path들이 가지고 있는  $J_k$  및  $T_b$  값들에 의하여 시편의  $J_k$ ,  $H_{ex}$  및  $T_b$ 가 결정된다. 즉 Mn-Ir의 결정립의 크기에 따라 시편의  $J_k$ ,  $H_{ex}$  및  $T_b$ 가 결정됨을 알 수 있다. 표 1, 2 및 그림 2에서 알 수 있듯이 Bottom 구조에서는  $Lin$ 의 가정에 따른 I, II, III의 크기의 결정립이 모두 존재하므로 낮은  $H_{ex}$ ,  $T_b$  및 옴직한 모양의 분포가 발생함을 알 수 있다. 또한 Top 구조에서 하지층을 사용하지 않은 것과 Cu를 하지층으로 사용한 경우에는 II, III의 크기를 가지는 결정립들이 주로 존재하므로 Ta 및 Cr을 하지층으로 사용한 시편에 비하여 낮은  $H_{ex}$  및  $T_b$  그리고 높은  $H_c$ 가 발생함을 알 수 있다. 한편 Ta를 하지층으로 사용한 경우에는 (111) 우선방위의 발생으로 인하여 교환결합효율이 향상됨으로 Cr을 하지층으로 사용한 경우에 비해 높은  $H_{ex}$ 가 발생한 것으로 사료된다.

#### V. 결 론

Mn-Ir/Ni-Fe 교환결합형 다층박막의 하지층 및 적층구조에 따른 자기적 특성 및 열적특성을 비교한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) Bottom 구조에 비해 Top 구조의  $H_{ex}$ 가 크며 이는 Top 구조에서의 Mn-Ir/Ni-Fe 계면에서 Mn-Ir의 결정립 크기가 더 크기 때문인 것으로 사료된다.

2) Top 구조에서 Cr을 하지층으로 사용한 경우에 가장 높은  $T_b$ 가 발생하며 이는 Mn-Ir의 결정립 크기가 다른 조건에 비하여 더 크기 때문인 것으로 사료된다.

3)  $H_{ex}$ 가 발생하는 Mn-Ir/Ni-Fe 교환결합형 다층박막은 Mn-Ir/Ni-Fe 계면에서 전위의 발생으로 인하여 grain-to-grain epitaxy 관계가 성립되는 것으로 사료된다.

4) Top 구조에서 Ta을 하지층으로 사용한 경우가 가장 높은  $H_{ex}$ 가 발생하며 이는 (111) 우 선방위에 의해  $J_k$  값이 증가되는 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구에 많은 도움을 주신 기초과학연구원 연구소의 박찬수 박사님께 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

[1] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. Metin, S. S. P. Parkin, B. A.

Gurney, P. Baumgrt, J. Appl. Phys., **69**, 4774(1991).  
 [2] A. Wallash and Y. Kim, IEEE Trans Magn., **34**, 1519 (1997).  
 [3] K. Uneyama, M. Tsunoda and M. Takahashi, IEEE Trans Magn., **33**, 3685(1997).  
 [4] S. X. Wang, W. E. Baily and C. Surgers, IEEE Trans Magn., **33**(3), 2369(1997).  
 [5] Jae-Chul Ro, Young-Suk Choi, Su-Jung Suh and Hwack-Joo Lee, IEEE Trans Magn., **35**(5), 3925(1999).  
 [6] 노재철, 윤성용, 이경섭, 김용성, 서수정, 한국자기학회지., **9**(4), 196(1999).  
 [7] Susumu Soeya, Takao Imagawa, Katsuya Mitsuoka, and Shinji Narishige, J. Appl. Phys., **76**(9), 5356(1994).  
 [8] T. Lin, C. Tsang, R. E. Fontana and J. K. Howard, IEEE Trans Magn., **31**, 2585(1995).  
 [9] C. Tsang, J. Appl. Phys., **52**, 2605(1982).  
 [10] Koichi Nishioka, Chungong Hou, Hideo Fujiwara, and Robert D. Metzger, J. Appl. Phys., **80**(8), 4528 (1996).  
 [11] Michael F. Toney, Ching Tsang and J. Kent Howard, J. Appl. Phys., **70**, 6227(1991).  
 [12] Katsumi Hoshino, Ryoichi Nakatani, Hiroyuchi Hoshiya, Yutaka Sugita and Shigeru Tsunshima, Jpn. J. Appl. Phys., **35**(2), 607(1996).  
 [13] I. Hashim and H. A. Atwater, J. Appl. Phys., **75**(10), 6516(1994).  
 [14] Milton Ohring, The Materials Science of Thin Films, Academic Press(1992), pp. 316-319.

## Microstructure and Thermal Properties of Mn-Ir/Ni-Fe Exchange Biased Multilayers

S. Y. Yoon, D. M. Jeon, J. H. Kim and S. J. Suh

Dept. of Metallurgical Eng., SungKyunKwan Univ., Suwon 440-746, Korea

J. C. Ro

Information Recording Devices Division, Samsung Eletro-Mechanics, Suwon 442-743, Korea

Hwak-Joo Lee

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon, 305-600, Korea

(Received 2 August 2000, in final form 20 October 2000)

The microstructure and thermal properties of the Mn-Ir/Ni-Fe exchange biased multi-layers with various buffer layers and stacking structures have been investigated. The  $H_{ex}$  and the  $T_b$  depend on the Mn-Ir grain size at the interface between the Mn-Ir layer and the Ni-Fe layer. The (111) preferred orientation of Mn-Ir/Ni-Fe on the  $T_a$  buffer layer may promote the values of  $J_k$  and  $H_{ex}$ . The samples which produce the Hex have the epitaxial relationship at the interface between the Mn-Ir layer and the Ni-Fe layer due to the generation of misfit dislocation.