

Mn-Ir/Ni-Fe/buffer/Si 다층박막에서 하지층에 따른 교환이방성 및 거대자기저항에 대한 연구

윤성용, 노재철, 전동민, 박준혁, 서수정, 이확주*

성균관대학교 금속공학과, 수원, 440-746

*한국 표준과학 연구원, 대전, 305-600

(1999년 6월 18일 접수)

A study on the exchange anisotropy and the giant magnetoresistance of Mn-Ir/Ni-Fe/buffer/Si with various buffer layers

Seong-Yong Yoon, Jae-Chul Ro, Dong-Min Jeon, Joun-Hyuk Park, Su-Jeong Suh and Hwak-Joo Lee*

Department of Metallurgical Engineering, SungKyunKwan University, Suwon 440-746, Korea

*Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon 305-600, Korea

(Received June 18, 1999)

요 약 본 실험에서는 D.C magnetron sputtering을 사용하여 Mn-Ir/Ni-Fe/buffer/Si 다층박막의 교환결합 자계와 보자력에 영향을 주는 인자를 미세구조의 관점에서 분석하였다. (111) 우선방위에 상관없이 모든 시편에서 155 Oe 이상의 교환결합 자계가 발생하였다. Mn-Ir/Ni-Fe의 계면에서 Mn-Ir의 결정립 크기와 계면 거칠기가 Mn-Ir/Ni-Fe 다층박막의 교환결합 자계와 보자력에 가장 많은 영향을 주는 것을 알 수 있었다. Mn-Ir/Ni-Fe/Cu/Ni-Fe/buffer/Si spin-valve 다층박막에서 각 층의 두께와 하지층에 따른 자기저항비와 coupling field를 분석하였다. Mn-Ir(10 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/Cu(2 nm)/Ni-Fe(6 nm)/Ta (5 nm)/Si에서 최대 자기저항비가 발생하였다. 강자성체의 결정립 크기가 거대자기저항비에 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 그리고 계면 거칠기와 강자성체의 결정립 크기가 coupling field에 많은 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

Abstract The purpose of this research was to find out what is the dominant factor determining the H_{ex} and the H_c of Mn-Ir/Ni-Fe multilayers with different buffer layers. Regardless of (111) texture of Mn-Ir layer, all samples showed over the H_{ex} of 155 Oe. We found out the H_{ex} and the H_c of Mn-Ir/Ni-Fe multilayers depend on interface morphology and grain size of Mn-Ir layer at the interface between Mn-Ir and Ni-Fe layers. The dependence of magnetoresistance ratio and coupling field on the thickness of ferromagnetic layer, thickness of Cu layer and different buffer layers have been studied. Maximum magnetoresistance ratio appeared for the sample Ta(5 nm)/Mn-Ir(10 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/Cu(2 nm)/Ni-Fe(6 nm)/Ta(5 nm)/Si. Magnetoresistance ratio may be related to grain size of ferromagnetic layer. Coupling field may be related to the roughness and the grain size of ferromagnetic layer in the spin-valve multilayers.

1. 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 GMR 헤드에 사용되고 있다. 본 실험에서는 반강자성체로 실용화되고있는 Fe-Mn[2]에 비하여 높은 비저항, 내식성, 내열성, 높은 교환결합 자계 등의 우수한 특성을 가지고

있어 Fe-Mn을 대체할 수 있는 Mn-Ir[3, 4, 5]을 반강자성체로 사용하여 반강자성체/강자성체 계면에서 발생하는 교환결합 자계에 대하여 연구하였다. Mn-Ir/Ni-Fe의 교환결합 자계와 보자력에 영향을 주는 인자로서 우선 방위[6], Mn-Ir의 결정립 크기[7] 등이 발표되고 있으나 아직 그 정확한 인자를 규명하지 못하고 있는 실정이다. 본 실험에서는 여러 하지층을 사용하여 Mn-Ir/Ni-Fe의 교환결합 자계에 영향을 주는 인자를 연구하였다. 또한, 실제 head 소자로 쓰이는 Mn-Ir/Ni-Fe/Cu/Ni-Fe/buffer/Si spin-valve 다층박막을 증착하여 각 층의 두께와 하지층에 따른 거대

자기저항비(Magnetoresistance ratio: MR %)와 coupling field에 대하여 연구하였다.

2. 실험 방법

D.C magnetron sputter법을 사용하여 교환결합형 다층 박막인 Mn-Ir/Ni-Fe/buffer/Si과 spin-valve형 다층 박막인 Mn-Ir/Ni-Fe/Cu/Ni-Fe/buffer/Si을 증착하였다. 이때 기판은 Si (100)을 사용하였다. Mn-Ir의 조성은 Mn target 위에 Ir chip의 갯수를 조절하여 Mn-19 at%Ir로 고정하였으며 Ni-Fe는 Ni-19 wt%Fe 합금 target을 사용하였다. 초기진공도는 1.0×10^{-6} 이하로 유지하였으며 기판의 온도는 상온으로 유지하였다. 증착시 Ar 압력은 4 mTorr 로 고정하였으며 이방화를 위하여 300 Oe의 자장을 시편에 평행한 방향으로 인가하였다. 각 층의 증착 속도는 0.1~0.35 nm/s로 하였다. 교환결합 자계(Exchange biased field: H_{ex})는 진동시료자력계 (Vibrating Sample Magnetometer: VSM)을 이용하여 분석하였다. 자기저항비는 four-point method를 이용하였고 측정시 자화 용이축에 수직한 방향으로 전류를 가하고 자화 용이축에 평행한 방향으로 자장을 가하였다. 우선 방위와 미세구조는 CuK α 선을 사용하는 XRD(X-ray Diffractometer)와 300 KV의 투과전자현미경 (Transmission Electron Microscopy: TEM)을 이용하였다. Mn-Ir의 조성은 RBS(Rutherford Back-scattering Spectrometry)와 EPMA (Electron Probe Microscopy Analysis)을 이용하여 확인 하였다. 계면 거칠기는 AFM (Atomic Force Microscopy)으로 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 교환결합 다층박막에서의 자기적 특성

강자성체와 반강자성체의 계면에서의 교환결합 작용에 의하여 이력 곡선이 원점에서 이동하는 현상이 발생한다. 이렇게 원점에서 이동된 정도를 H_{ex} 라 하고 반강자성체와 접하고 있는 강자성체의 보자력을 H_c 라 정의한다.

앞선 실험[8]에서 H_{ex} 는 Mn-Ir의 두께가 4 nm 이상이 되면 발생하며 15~30 nm 두께에서 안정적인 값이 나타났다. 한편 H_c 는 4~10 nm 까지 감소하며 그 이상의 두께에서는 안정적인 값이 나타났다. 이와 같은 결과를 바탕으로 Mn-Ir의 두께를 Mn-Ir의 작은 두께 변화에 의해 영향을 받지 않는 두께인 20 nm로 고정하였다.

Fig. 1은 Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/buffer(5 nm)/Si의 하지층에 따른 자화곡선이다. Ti, Zr, Ta을 하지층으로

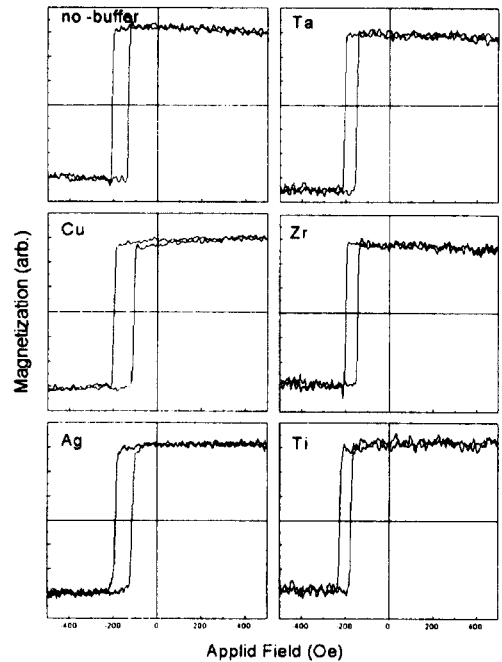


Fig. 1. Magnetization Curve of Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/buffer (5 nm)/Si.

사용한 경우에는 H_{ex} 가 175~190 Oe, H_c 는 30~38 Oe 정도로 나타났으며 Cu, Ag 또는 하지층을 사용하지 않는 경우에는 H_{ex} 가 155~165 Oe, H_c 는 45~55 Oe 정도로 나타났다. Ti, Zr, Ta을 하지층으로 사용한 경우에는 Cu, Ag을 하지층으로 사용한 경우 또는 하지층을 사용하지 않는 경우에 비하여 높은 H_{ex} 와 낮은 H_c 를 나타내고 있다. 이러한 현상을 우선방위, 계면 거칠기, 계면에서의 Mn-Ir의 결정립 크기의 3가지 관점에서 해석해 보았다.

Fig. 2는 하지층에 따른 X선 회절 실험 결과이다. Ti, Ta, Zr을 하지층으로 사용하였을 경우에는 Mn-Ir과 Ni-Fe의 (111)면의 회절선이 41.5° 와 44° 부근에서 뚜렷이 나타나고 있었다. Ti, Ta, Zr을 하지층으로 얇게 사용하면 기판에 상관없이 nano-crystal이나 비정질로 되며 그 위에 Ni-Fe가 증착되면 (111)방향으로 낮은 계면 에너지가 발생하여 (111) 우선방위가 발생한다[9]. 이로 인해서 Mn-Ir (111) 우선방위가 생성됨을 알 수 있었다. 그리고 Cu, Ag을 하지층으로 사용하였을 경우와 하지층을 사용하지 않은 경우에는 (111) 우선방위가 생성되지 않음을 XRD 회절시험을 통해 알 수 있었다. 일본 Hitachi 그룹의 연구 결과 [6, 10]를 보면 (111) 우선방위가 발생해야만 Mn-Ir/Ni-Fe 다층박막에서 H_{ex} 가 발생한다고 하였다. 하지만 Fig. 1에서 알 수 있듯이 우선방위가 발생하지 않는 Cu, Ag을 하지층으로 사용하거나 하지층을 사용하지 않은 경우 모두

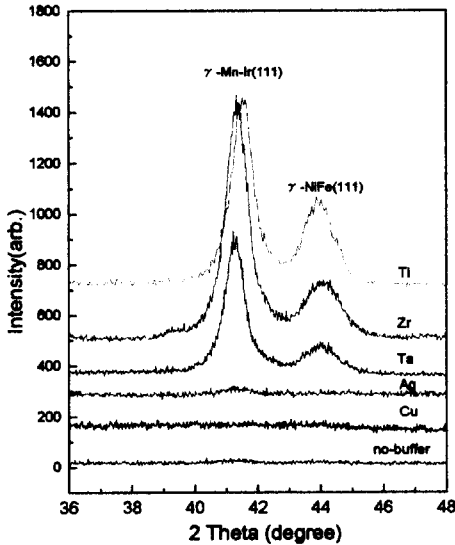


Fig. 2. XRD data of Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/buffer (5 nm)/Si.

155 Oe 이상의 H_{ex} 가 발생하였음을 알 수 있었다. 그러므로 Mn-Ir/Ni-Fe 다층박막에서 우선방위는 H_{ex} 의 발생에 직접적인 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

Table 1는 하지층에 따른 계면 거칠기 결과이다. AFM 분석결과는 표면의 거칠기를 분석하는 것이지만 그 밑에 있는 하지층의 거칠기를 상부층이 이어 받으므로 계면 거칠기라 할 수 있다. Cu는 초기 성장시 섬성장 경향이 강하므로 가장 큰 계면 거칠기를 나타내는 것으로 사료된다. Ta, Zr과 같이 Si 기판 위에 증착시 비정질[11]이 되는 경향이 강한 물질인 경우에는 계면 거칠기가 작아짐을 알 수 있었다.

Cu을 하지층으로 사용한 것과 하지층을 사용하지 않는 경우의 H_c 가 그 외의 시편의 H_c 에 비하여 15~17 Oe 크을 알 수 있었다. 즉 계면 거칠기가 더 거친 시편들의 H_c 가 더 큰 것을 뚜렷이 알 수 있었다. 이와 같이 계면 거칠기가 큰 시편들은 거친 계면에서 많은 자유자극들이 발생하여 계면 거칠기가 작은 경우에 비하여 더 강한 국부 자장이 발생할 것이며 이런 국부 자장에 의하여 강자성체의 자유로운 자화 반전이 억제되므로 H_c 의 증가가 발생하

는 것으로 사료된다.

Cu을 하지층으로 사용한 것이 하지층을 사용하지 않은 것에 비해 H_{ex} 가 조금 더 크지만 그 차이가 그리 크지 않았다. 그리고 계면 거칠기가 작은 Ta을 하지층으로 사용한 경우가 Cu을 하지층으로 사용한 경우에 비해서 H_{ex} 가 크므로 계면 거칠기와 H_{ex} 가 어떠한 관계가 있는지 정확히 알 수는 없었다.

우선방위나 계면 거칠기 결과로는 Mn-Ir/Ni-Fe 다층박막의 H_{ex} 에 관하여 정확히 알 수 없었다. 따라서 Mn-Ir/Ni-Fe 계면관계와 결정립 크기를 자세히 분석하기 위하여 우선방위가 없으며 계면 거칠기가 큰 Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Si과 우선방위가 있으며 계면 거칠기가 작은 Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(5 nm)/Si의 두 가지 시편을 선택하여 HRTEM으로 미세구조를 분석하였다.

두 시편 모두 Mn-Ir/Ni-Fe 계면에서 lattice fringe가 연속적으로 연결되어 있는 것을 보아 Mn-Ir/Ni-Fe 계면에서 grain-to-grain epitaxy[12] 관계가 발생하는 것을 알 수 있었다. 교환결합은 강자성체와 반강자성체 계면에서 발생하므로 grain-to-grain epitaxy 발생에 의해서 H_{ex} 의 발생 효율이 증가 될 것으로 사료된다.

Fig. 3(a)는 Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Si의 HRTEM 단면사진이다. Ni-Fe 막은 6~8.5 nm의 결정립 크기를 가지고 있는 등축의 형상을 나타냈으며 무질서한 방위관계를 나타내고 있었으며 Mn-Ir 막은 8~11 nm의 결정립 크기를 가지고 있는 주상정 구조를 하고 있었다. Fig. 3(b)는 Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(5 nm)/Si의 HRTEM 단면사진이다. Ni-Fe 막은 높이가 대략 10 nm, 직경이 9~11 nm의 결정립 크기를 가지고 있는 주상정 구조를 나타내고 있었으며 Mn-Ir 막은 직경이 9~15 높이가 9~11.5 nm의 결정립 크기를 가지고 있는 주상정 구조를 나타내고 있었다.

Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)로 관찰한 반강자성체의 결정립 크기와 발생한 H_{ex} , H_c 을 Lin[13]의 반강자성체의 결정립 크기에 따른 다음의 가정을 적용하였다.

- ① 반강자성체의 결정립 크기가 kT/K_{AF} 보다 작으면 초상자성 특성을 나타내며 H_{ex} 와 H_c 에 기여를 하지 못한다.
- ② 반강자성체의 결정립 크기가 kT/K_{AF} 보다 크고 $J_{ex}A/K_{AF}$ 보다 작으면 H_{ex} 에는 영향을 주지 않고 H_c 에만 영향을 준다.
- ③ 반강자성체의 결정립 크기가 $J_{ex}A/K_{AF}$ 보다 크면 H_{ex} 가 발생한다.

(k: Boltzmann constant, T: temperature, A: 반강자성체/강자성체의 계면 면적, K_{AF} : 반강자성체의 이방성 상수, J_{ex} : 교환결합 상수)

Top 구조에서 Zr을 하지층으로 사용한 경우가 하지층을 사용하지 않은 경우에 비해서 Mn-Ir의 결정립의 크기가

Table 1
RMS (Root-Mean-Square) roughness with different buffer layers

stacking structure	RMS (nm)
Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Si	0.189
Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Cu(5 nm)/Si	0.267
Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(5 nm)/Si	0.135
Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Ta(5 nm)/Si	0.174

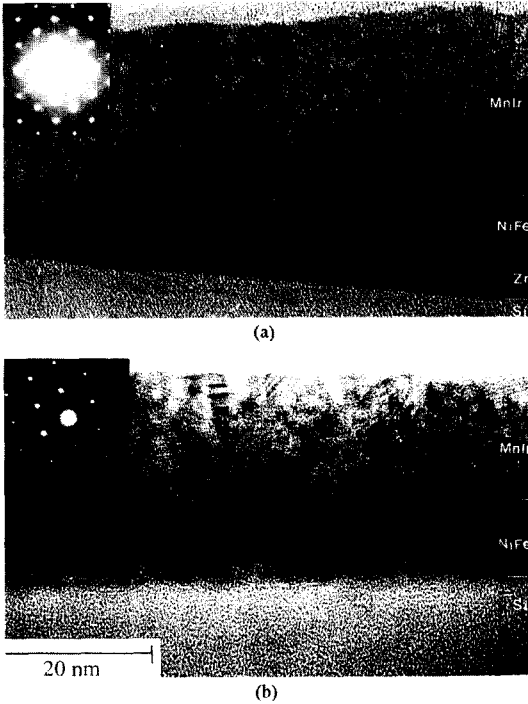


Fig. 3. (a) Cross-sectional HRTEM micrograph of Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Si. (b) Cross-sectional HRTEM micrograph of Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(5 nm)/Si.

더 크음을 알 수 있었다. Zr을 하지층으로 사용한 시편에서는 Zr 하지층에 의해 평탄한 계면이 생성되고 우선방위가 발생하므로 Ni-Fe의 결정립이 크게 성장 할 것이며 Ni-Fe와 같은 결정구조를 가지고 있는 Mn-Ir이 Ni-Fe 위에 증착되면 Mn-Ir의 결정립은 크게 성장한 Ni-Fe의 결정립 크기를 이어 받아서 성장할 것이다. 이와 같이 Zr을 하지층으로 사용하면 Mn-Ir/Ni-Fe 계면에서 Mn-Ir의 결정립의 크기는 ③의 크기를 가지는 것의 비율이 높아지며 이로 인해 높은 H_{cx} 발생하는 것으로 사료된다. 하지층을 사용하지 않은 경우에는 거친 계면이 생성되고 우선방위가 발생하지 않으므로 Ni-Fe 결정립이 크게 성장하지 않을 것이며 Mn-Ir의 결정립 역시 크게 성장하지 않을 것으로 사료된다. 이와 같이 하지층을 사용하지 않은 경우에는 Mn-Ir/Ni-Fe 계면에서 Mn-Ir의 결정립의 크기는 ②의 크기를 가지는 것의 비율이 Zr을 하지층으로 사용한 경우에 비해 많을 것으로 사료된다. 따라서 하지층을 사용하지 않은 시편이 Zr을 하지층으로 사용한 것에 비해 작은 H_{cx} 와 큰 H_c 가 발생하는 것으로 사료된다.

3.2. spin-valve 다층박막에서 하지층에 자기적 특성에 대한 연구

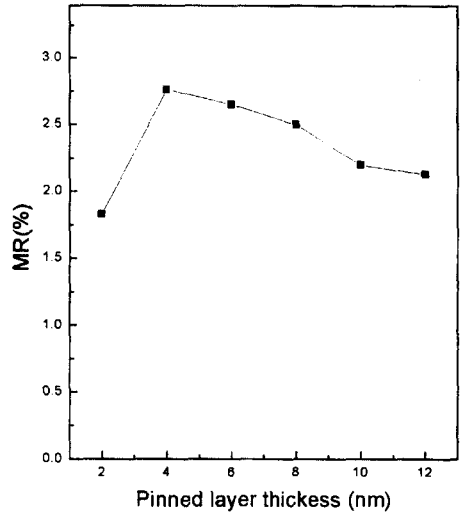


Fig. 4. The variation of MR % as a function of Ni-Fe thickness for Ta(5 nm)/Mn-Ir(10 nm)/Ni-Fe(t nm)/Cu (3.5 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/Ta(5 nm)/Si.

자기저항비는 자장이 가해지지 않을 때와 가해질 때의 spin-valve 다층박막의 저항 변화 비로 정의하며 coupling field는 비자성체를 사이에 둔 두 강자성체 계면에서의 교환결합에 의하여 반강자성체와 접하지 않는 강자성체(자유층)의 이력곡선이 원점에서 이동된 정도로 정의하였다.

Fig. 4은 반강자성체와 접하고 있는 강자성체(고정층)의 두께에 따른 자기저항비의 변화이다. 자기저항비는 고정층의 두께가 2 nm일 때 1.75%에서 4 nm일 때 2.75%로 급격하게 증가한 후 그 이상의 두께에서는 점차 감소하는 경향이 발생하였다. 2 nm 이하의 두께에서는 고정층의 두께가 매우 얇아 서로 다른 스핀 상태의 자성층을 만날 수 있는 효율이 낮으므로 낮은 자기저항비가 발생하는 것으로 사료되며 4 nm 이상의 두께에서는 고정층의 전도전자가 비자성층을 통과하여 자유층으로 전도되는 확률이 적어지게 되어 반평행한 자기적 정렬을 만날 기회가 감소하기 때문에 낮은 자기저항비가 발생하는 것으로 사료된다.

Fig. 5는 자유층의 두께에 따른 자기저항비의 변화이다. 자유층의 두께가 7.5 nm일 때 가장 높은 2.7%의 자기저항비가 발생하였으며 그 이상의 두께에서는 점차 감소하였다. 7.5 nm 이상의 두께에서 자기저항비가 감소하는 현상은 두꺼운 자성층으로 전류새어흐름(shunting effect) 효과가 크기 때문인 것으로 사료된다. 자유층에 비하여 고정층의 두께 변화에 의하여 자기저항비의 변화가 크음을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 고정층이 자유층 위에 존재하므로 전류 흐름에 의해서 더 많은 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 6는 Cu 두께에 따른 자기저항비와 coupling field

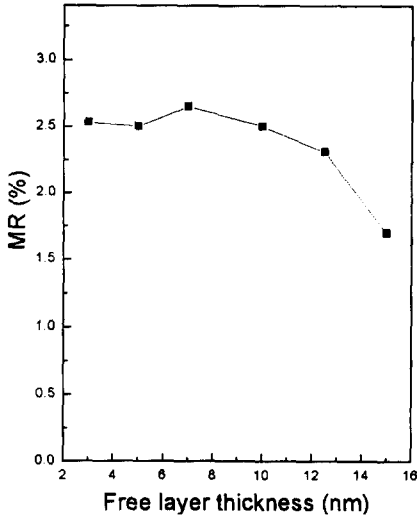


Fig. 5. The variation of MR % as a function of Ni-Fe thickness for Ta(5 nm)/Mn-Ir(10 nm)/Ni-Fe(6 nm)/Cu(3.5 nm)/Ni-Fe(t nm)/Ta(5 nm)/Si.

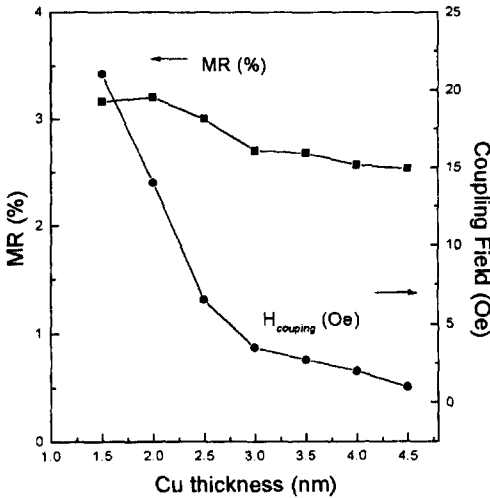


Fig. 6. The variation of MR % and coupling field as a function of the thickness of Cu layer for Ta(5 nm)/Mn-Ir(10 nm)/Ni-Fe(6 nm)/Cu(t nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/Ta(5 nm)/Si.

의 변화이다. Cu 두께가 2 nm일 때 가장 높은 자기저항 비인 3.1%가 발생하였다. 2~3 nm의 Cu 두께에서는 자기저항비가 약간 감소하며 그 이상의 두께에서는 2.7%의 일정한 값을 나타내었다. coupling field는 Cu 두께가 두꺼워 지면서 점차 감소하는 경향이 발생하였다. Cu 두께가 얇으면 외부자장에 따라서 두 강자성체의 회전이 동시에 일어나는 경향이 발생하므로 GMR 효과가 일어나는 것이 아니라 AMR(Anisotropic Magnetoresistance) 효과

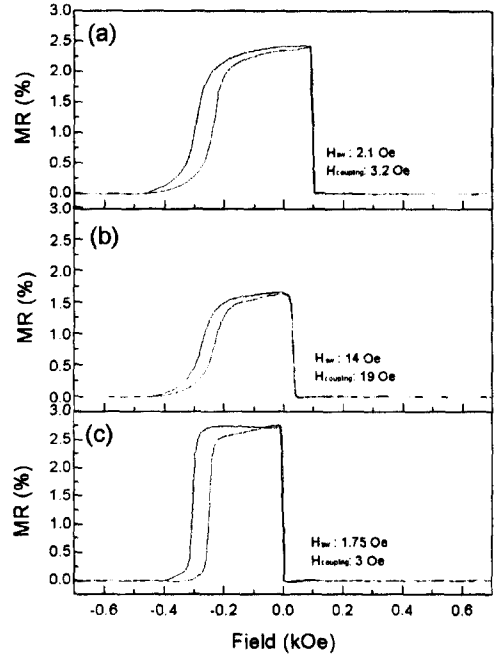


Fig. 7. Magnetoresistance curve of Ta(5 nm)/Mn-Ir(10 nm)/Ni-Fe(6 nm)/Cu(3.5 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/buffer(5 nm)/Si. (a) no-buffer layer (b) Cu buffer layer (c) Ta buffer layer.

Table 2

MR % and coupling field with buffer layers

Buffer materials	MR %	Coupling field
No-buffer	2.4	3.2
Cu buffer	1.5	19
Ta buffer	2.7	3

가 발생하여 자기저항비가 낮은 것으로 사료된다. 또한 Cu 두께가 두꺼워지면 Cu 층으로 불필요한 전류가 흐르는 전류새어흐름이 발생하여 자기저항비가 감소하는 것으로 사료된다. 비자성체 사이의 두 강자성체 사이의 교환결합 작용에 의해서 coupling field가 발생하므로 coupling field와 Cu 두께 사이에는 반비례 관계가 성립함을 알 수 있었다.

Fig. 7은 하지층에 따른 자기저항곡선이며, Table 2는 하지층에 따른 자기저항비와 coupling field를 나타낸 표이다.

Ta를 하지층으로 사용하였을 때 가장 높은 자기저항비와 낮은 coupling field가 발생함을 알 수 있다. 하지층에 따른 특성차이를 미세구조의 관점으로 비교 분석하기 위하여 Ni-Fe(6 nm)/Cu(3.5 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/buffer(5 nm)/Si를 AFM과 TEM으로 분석을 하였다.

Fig. 8는 하지층에 따른 TEM 평면사진이며, Table 3은 하지층에 따른 고정층의 결정립 크기와 제면 거칠기를 나타낸 표이다.

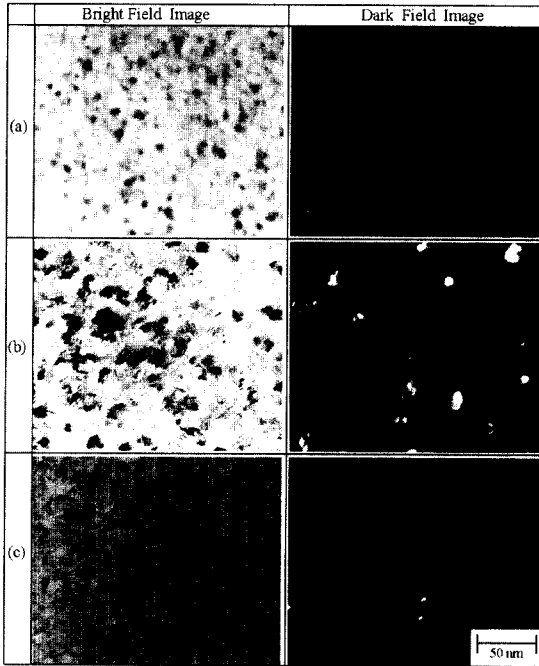


Fig. 8. The plain view TEM microstructure of Ni-Fe(6 nm)/Cu(3.5 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/buffer(5 nm)/Si. (a) no-buffer layer (b) Ta buffer layer (c) Cu buffer layer.

Table 3
RMS roughness and grain size with buffer layers

Stacking structure	RMS (nm)	Grain Size (nm)
Ni-Fe(6 nm)/Cu(3.5 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/Si	0.16	3~6
Ni-Fe(6 nm)/Cu(3.5 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/Cu(5 nm)/Si	0.2	6~10
Ni-Fe(6 nm)/Cu(3.5 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/Ta(5 nm)/Si	0.11	16~24

Ta을 하지층으로 사용한 경우에는 작은 계면 거칠기를 나타냈으며 큰 결정립들이 존재하였다. Cu을 하지층으로 사용한 경우에는 가장 거친 계면 거칠기를 나타냈으며 하지층을 사용하지 않은 경우에 비해 1~3 nm 큰 결정립들이 존재하였다. Neel model을 바탕으로한 Kools의 연구 결과[14]에 의하면 막의 울퉁불퉁한 계면에 의해 자기 쌍극자(magnetic dipoles)가 발생하여 고정층과 자유층의 결합이 발생한다. spin-valve 구조에서 이러한 결합은 비자성체를 사이에 둔 고정층과 자유층의 접촉에 의해 발생하므로 ferromagnetic coupling이라 할 수 있으며 coupling 상수 J 는 결정립 크기에 반비례하고 계면 거칠기의 제곱에 비례한다.

Cu을 하지층으로 사용한 경우에는 계면 거칠기가 크

로 거친 계면에서 많은 자유 자극이 생성되고 작은 결정립 크기를 가지게 되므로 높은 coupling field가 발생하는 것으로 사료되며 Ta을 하지층으로 사용한 경우에는 Cu와 반대의 경우가 되어 낮은 coupling field가 발생하는 것으로 사료된다. 한편 Cu을 하지층으로 사용한 경우의 낮은 자기저항비는 Cu의 비저항이 낮아서 전류새어 흐름이 증가되어 나타나는 것으로 사료되며 Ta을 하지층으로 사용하면 Ni-Fe의 결정립 크기의 증가로 인해 덩어리 스핀의존 산란(bulk spin-dependent scattering)을 감소시키는 결정립계[11]의 감소와 비저항의 감소를 얻을 수 있으므로 자기저항비가 증가하는 것으로 사료된다. 하지층을 사용하지 않은 경우에는 Cu을 하지층으로 사용한 것에 비하여 계면 거칠기는 작지만 결정립 크기가 작기 때문에 coupling field와 자기저항비가 Cu, Ta을 하지층으로 사용한 경우의 중간 값을 나타내는 것으로 사료된다.

4. 결 론

4.1. 교환 결합 다층박막의 자기적 특성

우선방위에 상관없이 모든 시편에서 155 Oe 이상의 H_{ex} 가 발생함을 알 수 있었다. 하지층에 따른 TEM 단면사진과 발생한 H_{ex} 로 Mn-Ir/Ni-Fe 계면에서의 Mn-Ir의 결정립 크기에 의해 H_{ex} 가 결정됨을 알 수 있었다. 또한 계면 거칠기가 커지면 H_c 가 증가하는 것을 알 수 있었다.

4.2. spin-valve 다층박막의 자기적 특성

Ta(5 nm)/Mn-Ir(10 nm)/Ni-Fe(7.5 nm)/Cu(2 nm)/Ni-Fe(6 nm)/Ta(5 nm)/Si에서 최대 자기저항비가 발생 하였다. 자기저항비는 강자성체의 결정립 크기에 영향을 많이 받으며 coupling field는 계면 거칠기가 커질수록 증가함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] B. Diney, V.S. Sperisu, B.A. Gurney, D.R. Whilhoit and D. Mauri, Phys. Rev. B 43 (1991) 1297.
- [2] W. Folkers, J.C.S. Kools, Th. G.S.M. Rijks, R. Coefoorn, M.C. deNooijer, G.H.J. Somers, J.J.M. Ruigrok and L. Postma, IEEE Trans. Magn. 30 (1994) 3813.
- [3] Hiomi Niu Fuke, Kazuhiro Saito, Yuzo Kamiguchi, Hitoshi Iwasaki and Masashi Sahashi, J. Appl. Phys. 81 (1997) 4004.

- [4] H.N. Fuke and Y. Kamiguchi, 日本應用磁氣學會誌. 22 (1998) 58.
- [5] T. Yamaoka, M. Mekata and H. Takaki, J. Phys. Soc. Jpn. 31 (1971) 301.
- [6] K. Hoshino, R. Nakatani, H. Takaki and Y. Sugita, Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) 607.
- [7] R. Nakatani, H. Hoshoya, K. Hoshino and Y. Sugita, IEEE Trans. Magn. 33 (1997) 3682.
- [8] 노재철, 최영석, 김용성, 이경섭, 서수정, 한국자기학회지. 9권 3호 (1999) 게재 예정.
- [9] T. Dei, R. Nakatani, K. Hoshino and Y. Sugita, J. Magn. Magn. Mater. 126 (1993) 489.
- [10] R. Nakatani, Hiroyuki Hoshiya, K. Hoshino and Y. Sugita, J. Magn. Magn. Mater. 173 (1997) 321.
- [11] J.C.S. Kools, IEEE Trans. Magn. 32 (1996) 3165.
- [12] Cherngye Hwang, Roy H. Geiss and J. Kent Howard, J. Appl. Phys. 64 (1988) 6115.
- [13] Tsann Lin, Ching Thang, Robert E. Fontana and J. Kent Howard, IEEE Trans. Magn. 31 (1995) 2585.
- [14] J.C.S. Kools, Th. G.S.M. Rijks, A.E.M. De Veirman and R. Coehoorn, IEEE Trans. Magn. 31 (1995) 3918.