

## NiFe 박막의 증착온도에 따른 MR 특성

### Magnetoresistance changes of sputtered NiFe thin films with deposition temperatures

이원재\*, 백성관\*, 민복기\*, 송재성\*  
W.J.Lee, S.K.Baek, B.K.Min, J.S.Song

#### Abstract

Magnetoresistance changes of NiFe thin films were investigated as a function of deposition temperature. DC magnetron sputtering was employed to fabricate Ta/NiFe(t)/Ta thin films on Si(001) substrates with in-situ field or with no-field. The thickness(t) of NiFe films was a range of 4 to 15nm. Substrate temperature was a range of 30 to 400°C. MR measurement was carried out as a function of angle  $\theta$ , between external field and current direction.

MR ratio increased with increasing substrate temperature, also, max. MR ratio was observed in samples deposited at 300°C. With increasing upto 400°C, MR ratio was rapidly decreased in the case of thinner NiFe films. In non-field deposited NiFe films, both angle  $\theta=0, 90^\circ$ , there was no significant change in MR curves. However, MR curves of in-situ field deposited NiFe films were different in both angles  $\theta=0$  and  $90^\circ$

**Key Words(중요용어)** : NiFe, Angular Magnetoresistance, MR, Substrate Temperature, Thickness dependence, Magnetic Anisotropy.

#### 1. 서 론

최근, 정보화사회가 발전함에 따라 전기전자기기, 사무기기 등이 사용되는 각종 분야에 있어 정보를 컴퓨터를 통해서 직접 입력하는 수단으로서 각종 센서의 중요성이 대두되고 있다. 그 중에서 자기센서는 전류, 위치, 변위, 속도, 가속도, 온도, 방향 등을 자계로 변환시키고 최종적으로 전기신호로 바꾸게 된다. 여기서 자기소자는 원리와 구조에 있어 비교적 단순하기 때문에 널리 사용되고 있다[1].

자기센서에 의한 검출자계는  $10^{-4} \sim 10$  (A/m)의 범위에 속한다. 종래부터 사용되고 있는 것은 InSb, CoNi 합금이지만 온도특성이 우수한 NiFe계열이 현재 사용되고 있다. NiFe 합금은 CoNi 합금에 비하여 MR비는 낮지만, 자기이력(hysteresis) 특성이 우

수하며, 고투자율을 가지고 있다[2]. 이로 인하여, NiFe 박막이 사용되어오고 있는데 지속적인 고민감도를 갖게하고, 다양한 자기적 응용성을 부여하기 위하여 극박의 형태를 요구하고 있다. 그래서, 비저항과 자기저항에 영향을 주는 극박막 제조온도, 두께, 자장중 증착 등의 제조조건에 따른 특성을 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는  $Ni_{81}Fe_{19}$  합금을 이용하여  $Ni_{81}Fe_{19}$  박막을 자기센서 소자로 적용하기 위해 Ta target과 함께 자왜가 없는 조성인  $Ni_{81}Fe_{19}$  (wt%)의 타겟트를 사용하여 DC 마그네트론 스퍼터링 증착법으로 자장중에서 Si(001) 위에  $Ni_{81}Fe_{19}$  박막을 제조하여 기판온도와 박막두께에 따른 자기저항 특성을 연구하였다.

#### 2. 실험 방법

DC 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여

\* : 한국전기연구소 박형전기소자 T.F.T  
(창원시 성주동 28-1, Fax: 0551-280-1590)

Ta/NiFe(t)/Ta 박막을 제조하였다. 이때, Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> (wt%)의 조성을 갖는 직경 4" 합금 타겟트를 챔버 내에 장착하였고, 기판온도 (001) 방향으로 배향된 Si-wafer를 사용하였다. 초기 진공도는  $3 \times 10^{-6}$  torr 이하로 하고, Ar 분압을  $1 \times 10^{-3}$  torr 로 일정하게 유지한 상태에서 4, 6, 10, 15 nm 정도의 두께로 Ta/NiFe/Ta을 증착하였다. 1kOe의 자장 하에서 증착온도 30, 200, 300, 400°C로 변화시켜 각각 증착하였다. 증착박막의 전자기적 특성을 자기저항 측정 (magnetoresistance measurement, MR)장비를 이용하여 전류 방향과 외부 자장 사이의 각도  $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 에 따라 자기저항 곡선을 조사하였다(그림 1 참고). 이때, 측정전류와 자화방향이 평행할 때 전기저항은  $R_{\parallel}$ 로 표시하고, 수직인 경우  $R_{\perp}$ 라고 정의한다. 따라서, 비저항  $\rho_{\parallel}$ 은 외부자장과 측정전류사이의 각  $\theta = 90^\circ$ 로,  $\rho_{\perp}$ 은  $\theta = 0^\circ$ 로 시편을 놓은 경우이다. 또한, x-선 회절분석기(x-ray diffractometer, CuK $\alpha$ )로 열처리 온도에 따른 박막의 결정구조를 분석하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 증착시 기판의 온도에 따른 결정구조특성

그림 4는 기판온도에 따른 Ta/Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>(10nm)/Ta 박막의 XRD 분석한 결과이다.

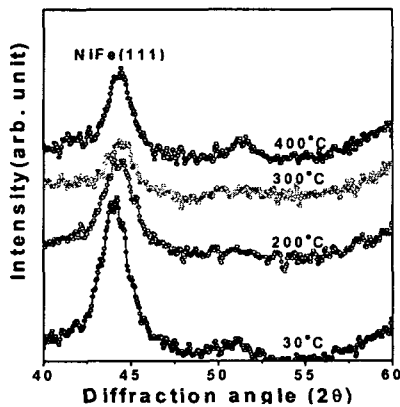


Fig. 1 XRD patterns of Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> thin films deposited with magnetic field as a function of in-situ deposition temperature

As-deposited Ta/Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>(10nm)/Ta 박막의 주피크 (111)가  $2\theta = 44.276$  근방에서 나타났다. 회절선 (111)의 강도가 다른 회절면 (200)에 비해 큰 것으로

보아 박막이 성장할 때 기판에 평행하게 FCC구조의 조밀면(111)을 따라 우선 증착 되었음을 알 수 있다. 그 이유는 에너지 관점에서 증착 동안에 에너지가 낮은 면 즉, FCC 구조의 broken bond 수가 적은 면을 따라 박막성장이 일어나게 되는 데 Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>의 경우는 결정구조의 조밀면이 (111)면이므로 이면을 중심으로 우선배향(preferred orientation)이 일어났기 때문이다. 그리고, NiFe(111) 회절면과 (200)면의 강도비를  $I_{200}/I_{111}$  라 하면 강도비( $I_{200}/I_{111}$ )가 기판온도를 상온에서 400°C로 증가시킴으로써 약 0.1에서 0.3으로 증가하였다. 이는 Ta와 NiFe 계면 거칠기가 증가했음을 의미한다.

#### 3.2. 증착시 기판의 온도에 따른 MR의 의존성

그림2는 Ta/Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>/Ta 합금 박막의 증착중 기판온도에 따른 MR(%)비를 나타낸다.

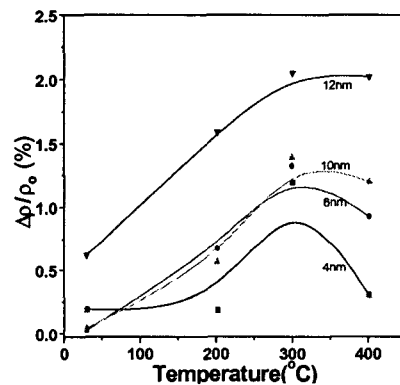


Fig. 2 Magnetoresistivity ratio of Ta(5nm)/Ni-Fe(t)/Ta(5nm) thin films deposited on Si(001) substrates with magnetic field

MR(%)비 ( $[\Delta\rho/\rho_0] \times 100$ )는 기판온도가 증가함에 따라 대체적으로 증가하였다. 증착온도가 300°C인 경우 최대의 MR비를 나타내었고, 400°C에서는 MR비가 포화하거나 감소하였다. 그 이유는 박막 내에 존재하는 결함인 공공, 입계 면적이 감소하였을 것으로 판단된다. 그리고, 두께가 얇을수록 기판온도 증가에 따른 MR비 변화폭의 증가현상이 크게 나타났는데 이와 같은 현상은 박막이 얇을수록 결정결함 감소에 의한 MR비의 증가에 기여하여 기판온도 300°C에서 최대의 MR비를 나타낸 것으로 판단된다.

400°C로 증가함에 따라 박막이 얇아질수록 MR비의 변화폭이 급격히 낮아졌다. 이와 같은 현상은 NiFe층의 두께가 얇아질수록 박막 내에서의 결함(vacancy, void, grain boundary)에 의하여 전도전자의 산란에 영향을 주는 효과에 NiFe와 Ta사이의 계면에서 전도전자의 surface scattering 영향이 가중된다. 이로 인하여, 전도전자의 흐름을 방해하여 MR비를 감소시키는 것으로 판단된다[3].

### 3.3. 외부 자기장 변화에 따른 MR곡선의 변화 1) 무자장중 박막을 증착한 경우

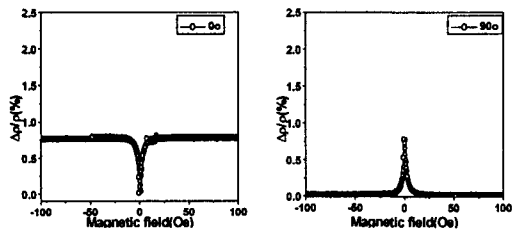


Fig. 3 Angular dependence of magnetoresistance of Ni-Fe(t=20nm) thin films deposited on Si(001) substrates without magnetic field.

그림 3은 박막 형성 중 자기 이방성을 가하지 않은 경우 Si(001)/NiFe<sub>20nm</sub> 박막에서의 전류 방향과 외부 자장 사이의 각도( $\theta$ )변화에 따른 전형적인 자기저항 곡선을 나타냈다.  $\theta=0^\circ$ ,  $90^\circ$ 인 경우 모두, 일정한 MR비의 변화폭을 나타내었다.  $\theta=0^\circ$ 와  $90^\circ$ 에 따른 MR비가 낮아지는 현상은 나타나지 않으며, 포화 자장값은 약100e 정도였다.

이와 같은 결과들은 자성 박막의 격자와 자유 전자의 스핀 사이의 상호작용에 의한 스핀-궤도 결합(spin-orbital coupling)에 의하여 설명할 수 있는데 [4,5], s 전자가 전자 궤도 평면에서 움직일 때 격자의 진동이나 결합에 의하여 발생하는 섭동 에너지의 영향 하에서 전도전자인 s 전자가 d 상태로 도약할 수 있는 가능성이 상당히 적다. 하지만, 자화 방향의 수직인 전자궤도에는 약간의 홀이 존재하므로 전도전자인 s 전자는 자화 방향에 수직보다는 수평 방향으로 움직일 때 더욱 쉽게 붙잡히게 된다. 그러므로 저항은 외부 자장에 대하여 수평 방향으로 전류를 흘려 보내는 경우, 수직 방향보다 크게 된다. 즉,  $\rho_{\parallel} \geq \rho_{\perp}$ 이다. 자기 이방성을 가하지 않은 Si(001)/NiFe<sub>20nm</sub> 박막은 표면의 자기 구역 모양이

무질서하게 발생한다. 전류 방향으로 평행하게 외부 자장을 가하면 자기 구역들의 자화 방향이 전류방향으로 정렬하기 때문에 수평 방향의 자구가 증가하면서 전체 저항은 증가하게 된다. 결국 외부 자장의 증가에 따라 자기 저항이 증가하는 곡선을 이룬다. 반대로 전류의 방향과 외부 자장의 방향이 수직하게 되면 외부 자장의 증가에 따라 전체 저항 값이 감소한다.

### II) 자장중 박막을 증착한 경우

그림 3은 Si(001)/Ta(5nm)/NiFe(t)/Ta(5nm) 박막의 전류방향과 자장방향 사이에 각도( $\theta$ )변화에 따른 자기저항 곡선을 나타낸다.

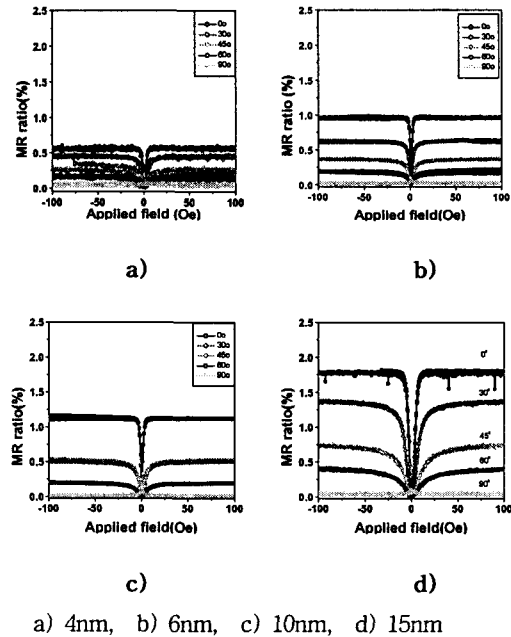


Fig. 4 Angular dependence of MR curves of Ta(5nm)/Ni-Fe(t)/Ta(5nm) thin films deposited on Si(001) substrates with variation of the film thickness, t under magnetic field.

NiFe의 두께가 증가할수록  $\theta=0^\circ$ 와  $\theta=90^\circ$ 인 경우 MR비의 변화 폭이 증가하였다. 또한, 박막의 두께 변화에 관계없이  $\theta=0^\circ$ 인 경우 저항이 외부 자장에 따라 증가하는 positive MR 곡선양상을 나타냈으며, MR변화 폭이 최대값을 보였다.  $\theta=90^\circ$ 인 경우,

외부 자장에 따라 저항이 단순하게 감소하는 전형적인 음의 자기저항(negative magnetoresistance) 곡선을 나타냈으며, MR비의 변화폭이 작아졌다.

#### 4. 결 론

DC magnetron sputtering 장치를 사용하여 증착 온도와 두께를 변화시켜 증착한 Si(001)/Ta/NiFe(t)/Ta 박막을 제조하여 자기저항 현상을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기판온도가 증가할수록 자기저항비가 증가하였고, 기판온도 300°C에서 최대의 자기저항비를 보였다.

2) 기판온도를 400°C로 증가할 경우 박막이 얇아질수록 자기 저항비의 변화폭이 크게 변하였다.

3) 무자장 중 증착된 박막의 경우  $\theta=0^\circ$  또는  $90^\circ$ 에서의 저항의 변화 폭이 비슷하였으나 자장 중 증착한 박막의 경우에는 측정각  $\theta=0^\circ$  즉 외부자계 방향과 재료 내에 부여된 이방성의 방향이  $90^\circ$  인 때가 그 반대의 경우보다 자기저항의 변화폭이 월등하였다.

#### 참고 문헌

- [1] N. Shimizu, M. Endoh, S. Kurashima, magnetic sensor and its applications, Fujitsu, 40, pp. 235-241, 1989.
- [2] Th. G. S. M. Rijks *et al*, Semiclassical calculation of the anisotropic magnetoresistance of NiFe-based thin films, wires, and multilayers, Phys. Rev. B, Vol. No.1, pp. 283-291, 1995.
- [3] J. R. Sambles, The Resistivity of Thin Metal Films-Some Critical Remarks, Thin Solid Films, Vol. 106, pp. 321-331, 1983
- [4] I. A. Campbell and A. Fert, Ferromagnetic Materials, North-Holland, vol. 3, pp. 766, 1982
- [5] B. C. Min and S. C. Shin, The Effects of Ar gas Pressure on the Magnetic and Galvano-magnetic Properties of NiFe Thin Films Prepared by dc Magnetron Sputtering, Journal of The Magnetism Society, vol. 6, No. 2, pp. 98-105, 1996