

휘스톤브리지형 MR 센서제작 및 특성

이원재, 민복기, 송재성
한국전기연구원

Wheatstone-bridge type MR sensors of Si(001)/NiO(300Å)/NiFe bilayer system

Wonjae Lee, Bokki Min, Insung Kim, Jaesung Song, Taegone Park
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

There is great interest in developing magnetoresistance(MR) sensor, using ferromagnetic, electrically non-magnetic conducting and antiferromagnetic films, especially for the use in weak magnetic fields. Here, we report single and Wheatstone-bridge type of MR sensors made in Si(001)/NiO(300Å)/NiFe bilayers. Angular dependence of MR profiles was measured in Si(001)/NiO(300Å)/NiFe(450Å) films as a function of an angle between current and applied field direction, also, linearity was determined. AMR characteristics of single MR sensors was well explained with single domain model. Good linearity in 45° Wheatstone-bridge type of MR sensors consisting of 4 single MR sensors made in Si(001)/NiO(300Å)/NiFe(450Å) was shown in the range of about $\leq \pm 5$ Oe.

Key Words : NiFe, Angular Magnetoresistance, MR, Exchange bias field, Single domain model, Wheatstone-bridge type

1. 서론

자성체를 이용한 자기저항센서에 대한 개발이 주목을 받고 있다. 특히 퍼말로이(Ni₈₁B₁₉)는 약자장범위에 사용되는 자기저항센서 재료로 사용되고 있다 [1].

현재, 위치 및 방향인식용 자기센서의 출력신호를 효과적으로 직선성을 향상하기 위하여 전도층과 자성층으로 이루어진 박막구조를 이용하는 연구가 진행되고 있다. 자기센서의 출력신호는 자성체내에 인가전류의 방향과 자성층 사이에 각도의존성의 관계에 의하여 직선성의 데이터를 얻을 수 있다. 자성체의 자화방향과 전류의 방향사이에 각도가 45° 일 때 직선화가 가능하다. 이와 같이 인가자장에 따른 출력신호의 직선화하는데 몇 가지 방법이 있다. 첫째, 자성층에 연자성 또는 강자성 인접층을 사용하여 자기활성층에 자기적 바이어스를 생성시키는 것이다. 둘째, 자성체박막 위에 전도층 막대를 일정간격으로 45° 로 배열함으로써 자성체 박막 내에 자기바이어

스를 부여하여 직선형의 출력신호를 얻을 수 있다.

NiFe/NiO 박막시스템을 이용하여 각의존성 자기저항효과와 평면홀효과에 관한 연구가 진행되어 왔지만 [2], 강자성체와 반강자성체로 이루어진 상호결합 바이어스장(exchange coupled bias field)를 이용한 자기센서제작은 활발히 진행되지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 Si(001)/NiO(300Å)/NiFe(450Å) 구조의 자기센서를 이용하여 자기저항의 각의존성을 측정하고 단자구모형을 이용하여 인가자장에 따른 자기저항의 변화를 시뮬레이션하고 나아가, 열적요동(thermal perturbation)을 줄이고, 출력신호를 향상시키기 위하여 wheatstone bridge 형의 센서배열을 하여 센서의 전자기적 특성을 연구하였다.

2. 이론

2.1 단자구모형

그림1은 반강자성층/강자성층으로 이루어진 박막

구조의 단자구 모델[3]에 근거한, 회전자화의 자성벡터와 전류방향을 표시한 좌표계이다.

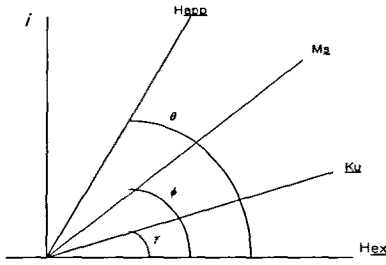


Fig. 1. Coordinate between current direction and magnetic vectors in FM/AF magnetic layers, using single domain model.

H_{ex} 는 반강자성층으로인한 상호교환결합장(exchange coupling field)이고, ν 는 결정자기용이축과 H_{ex} 사이의 각도이며, θ 는 외부자장(H_{app})과 H_{ex} 사이의 각도이다. ψ 는 H_{ex} 와 M_s 사이의 각도이고, 이는 NiFe박막 내에 각도 ψ 를 갖는 자기모멘트는 외부자장(H_{app})의 세기에 따라 H_{app} 방향으로 회전이 일어나게 된다. 이와같은 자성벡터사이에 관련성은 다음과같이 수식적으로 표현할 수 있다.

박막의 자기에너지밀도 E는

$$E = K_u \sin^2(\psi - \gamma) - H_i M_s \cos(\theta - \psi) - H_{ex} M_s \cos \psi \quad (1)$$

여기서, M_s 는 포화자화, H_i ($H_i = H_{app} - H_c$)는 내부 자기장, K_u 는 일축자기이방성상수이다.

H_{ex} 와 회전자화 방향사이의 각도 ψ 는 평형상태에서 $\partial E / \partial \psi = 0$ 일 때 구할 수 있다. 이방성 자기저항은 측정(인가)전류와 자화 방향사이의 각도가 바뀔때 따라 변화한다.

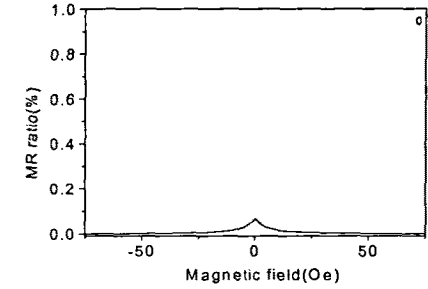
각도 ψ 에 따른 자기 저항비 MR(%)은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$MR(H_i, \theta)(\%) = \frac{\Delta R}{R_{\perp}} \sin^2 \psi(H, \theta) \quad (2)$$

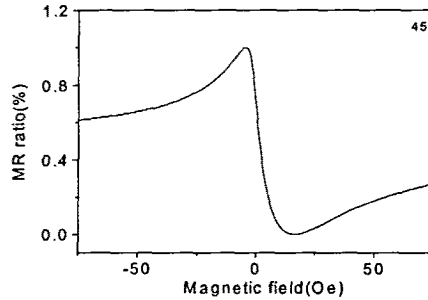
여기서 $\Delta R = R_{\parallel} - R_{\perp}$ 이며, R_{\parallel} 과 R_{\perp} 는 전류방향에 대하여 외부자장의 방향이 수평 및 수직인 경우의 저항 값이다.

2.2 계산에 의한 각도에 따른 MR특성

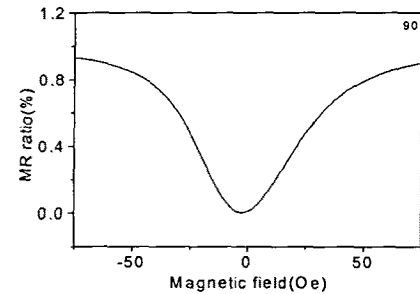
그림 2는 단자구 모델을 근거로 한 식(1)과 식(2)으로부터 전류방향과 외부자장 사이의 각도에 따른 MR곡선의 형상특성만을 전형적인 MR형상을 구하기 위하여 trial and error 방식으로 구한 결과이다.



a)



b)



c)

Fig. 2. Calculated MR profiles of Si(001)/NiO(300 Å)/NiFe(450 Å) single pattern as a function of angle of external magnetic field from current direction. a) $\theta=0^\circ$, b) $\theta=45^\circ$, c) $\theta=90^\circ$

본 그림에서는 $\theta=0$ 에 대한 MR 곡선은 외부자장을 -75 Oe 에서 +75 Oe 까지 가할 때 얻을 수 있는 MR 곡선을 표시하였다. $\theta=0^\circ$ 인 경우, MR비의 변화는 0에서 γ 까지 자기 모멘트 각의 회전으로 인하여 발생하며, 자장변화에 따른 MR비의 값은 최소치를 나타낸다. $\theta=45^\circ$ 인 경우에는 외부자장이 zero field 근방인 구간에서 선형성이 나타난다. $\theta=90^\circ$ 에 대한 곡선은 자기 끈란축에 해당되는 것인데, 외부자장이 zero field 근처에 대해 MR 곡선에서 거의 대칭적 거동을 보여주고 있다.

3. 실험방법

NiO박막은 Si(001)위에 RF-마그네트론 스퍼터링 하였다. Ar분압은 0.5mTorr였으며 NiFe(t)은 t=450 Å을 NiO 위에 증착하여 NiO(300Å)/NiFe(t)박막을 제조하였다. NiFe박막의 두께는 a-step을 사용하여 보정하였다. 박막증착 중 영구자석(약1kOe)을 이용하여 일축 이방성을 박막의 표면에 인가하여 상호교환 바이어스장을 형성하게 하였다. 그리고 증착된 박막은 포토리소그래피하여 단소자와 휘스톤브리지형상의 패턴을 제작하였다. MR비 ($\Delta R/R_s$)는 4단자법에 의하여 외부자장 ± 100 Oe 내에서 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 휘스톤 브리지형 소자설계

단소자 4개로 구성된 휘스톤브리지형 자기소자를 그림3과 같이 설계하여 NiFe/NiO/Si로 이루어진 자기소자를 제작하였다.

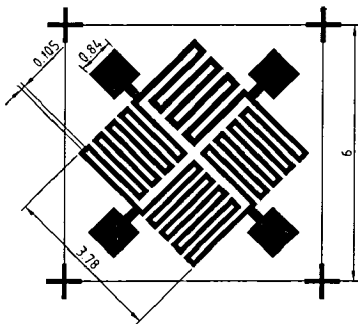
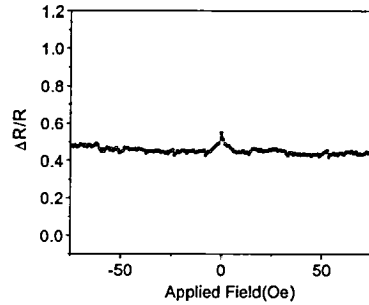


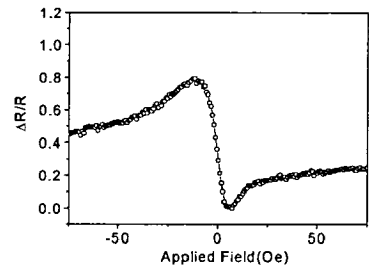
Fig.3. Schematic design of Wheatstone bridge consisting of four single MR sensors.

4.2 측정된 단소자의 MR 특성.

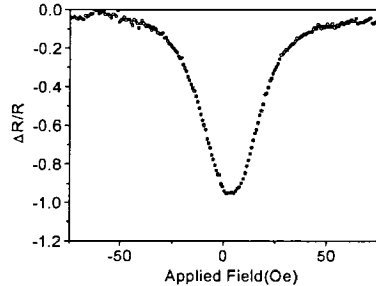
그림 4는 NiO(300Å)/NiFe(450Å)의 단소자형의 MR곡선 비이다. 단소자의 저항은 약 1.953k Ω 의 저항을 갖는 Si(001)/NiO(300Å)/NiFe(450Å) 박막으로 이루어진 소자이다.



a)



b)



c)

Fig.4. MR profiles of Si(001)/NiO(300Å)/NiFe(450Å) single pattern as a function of angle of external magnetic field from current direction. a) $\theta=0^\circ$, b) $\theta=45^\circ$, c) $\theta=90^\circ$

외부 자장과 H_{ex} 사이의 각도 변화 ($\theta=0, 45^\circ, 90^\circ$) 의존성을 외부자장 $\pm 1000\text{e}$ 내외에서 측정하였다. $\theta=0^\circ$ 인 경우 MR곡선 전형적인 피크를 나타낸다. 양의 외부자기장 쪽으로 피크의 이동은 NiFe와 NiO층 사이에 상호교환결합장(H_{ex})의 작용에 의한 것이다. 이것은 단자구론으로 설명이 잘 된다. $\theta=45^\circ$ 인 경우 약자장 영역에서 선형성이 존재하였다.

$\theta=90^\circ$ 인 경우, MR곡선은 거의 대칭적이며, 단자구론에 의해 계산된 MR 형상과 잘 일치하였다.

4.3 휘스톤 브리지의 출력특성

그림 5는 4개 단소자를 H_{ex} 와 소자의 전류의 방향 사이에 45° 가 되도록 포토리소그래피하여 제작한 휘스톤 브리지 소자로부터 얻은 MR비 곡선이다.

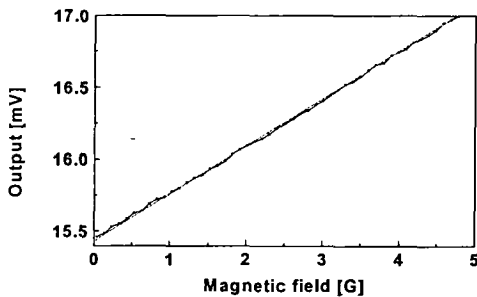


Fig.5. Output voltage of Wheastone bridge consisting of four single MR sensors fabricated with Si(001)/NiO(300Å)/NiFe(450 Å) as a function of applied magnetic field from current direction at $\theta=45^\circ$.

외부자장이 약 00e에서 +50e의 약자장 범위까지 변함에 따라 출력전압은 선형적인 거동을 보여주고 있다. 이때, 선형화가 단소자보다 크게 나타나는 것은 복소형 브리지 센서에서 대각선으로 배치한 소자의 한그룹(R_1 과 R_4) 저항이 증가할 때 또 다른 그룹(R_2 와 R_3)의 저항은 감소하게 됨으로써 브리지의 각 자기저항 단소자보다 증폭효과가 존재하기 때문에 단소자에 비하여 약자장 범위에서의 출력선형화거동을 보여주고 있다.

5. 결론

Si(001)/NiO(300Å)/NiFe(450Å) 박막구조를 이용

하여 단소자 및 휘스톤 브리지형 센서소자를 포토리소그래피 공정에 의하여 제조, 전자기특성을 측정하였다. 그리고 단자구 모델을 근거로 하여 MR 특성을 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) NiFe 단소자의 각도 θ 에 따른 MR특성은 단자구 모델에 의한 MR특성곡선과 잘 일치하였으며, 반강자성층에 의한 바이어스방향과 전류방향이 $\theta=45^\circ$ 인 경우 MR특성에 선형성이 나타났다.
- 2) NiFe 단소자 4개와 반강자성층에 의한 바이어스장과 전류방향이 $\theta=45^\circ$ 가 되도록 소자를 배치하여 제작된 휘스톤브리지형 자기소자로부터 약자장 5 Oe 범위까지 선형성이 우수한 출력전압을 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] H Hauser, G Stangl, J Hochreiter, Sensor and Actuators, 81, pp27-31, 2000
- [2] B. Dieny, J. Magn.Magn. Mater. 136, pp335, 1994
- [3] D.Y. Kim, C.G. Kim and D.G. Hwang and S.S.Lee J. Appl. Phys., 85, pp5783, 1999