

Si(001)/NiO(300 Å)/NiFe계 휘스톤 브리지형 자기저항소자

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

이원재*, 민복기*, 송재성*

(Won Jae Lee, Bok Ki Min, Jae Sung Song)

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(300 Å)/NiFe bilayers. Angular dependence of MR profiles was measured in Si(001)/NiO(300 Å)/NiFe(450 Å) 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(300 Å)/NiFe(450 Å) was shown in the range of about ± 50 Oe.

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

1. 서 론

퍼멀로이(Ni₈₁B₁₉)로 이루어진 박막은 자화방향과 전류방향사이의 각도에 의존하는 이방성 자기저항(Angular magnetoresistance, AMR)효과를 갖는다. 그래서, NiFe는 약자장 하에서 각도, 위치 등을 알 수 있는 고성능 자기센서로 사용되고 있다[1]. 이러한 MR 센서의 구조의 출력신호를 선형화하는 방법으로는 대부분 soft나 hard 자성 박막에 의한 바이어스를 이용하는 것과 NiFe 자성막 윗층에 자화방향과 45° 방향을 이루는 전극층(barber pole 형)을 형성시키는 것이 있다. 이와 같은 구조를 이용하여 적절한 선폭, 길이, 두께를 선정하여 단소자와 휘스톤 브리지형태의 소자를 제작, 자기검출용 센서로서 사용하고 있다.

한편, 또 하나의 선형화 방법은 FM(ferromagnetic)과 AF(antiferromagnetic) 층을 이루어진 구조에서, 교환결합바이어스를 생성시킴으로서 전술한 두가지방법 즉, soft 나 hard 자성층을 이용한 것과 barber pole 전극을 이용한 것과 유사한 선형화효과를 기대할 수 있다. 그래서, 일자형의 단소자에 대한 전류방향, 바이어스방향, 외부자장방향을 고려한 AMR(angular magnetoresistance) 및 PHE(planar Hall effect)에 대한 연구는 어느 정도 진행되어 왔으며[2], 자기검출용 센서로서의 가능성 또한 제시하고 있다. 하지만, 단소자패턴과 휘스톤브리지형태에 대한 연구는 미미한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 Si(001)/NiO(300 Å)/NiFe(450 Å) 박막구조의 FM과 AF층을 이용하여, 고저항형 단소자를 구성하였다. 또한, 출력신호를 향상시키고, 온도변화(thermal perturbation)를 배제할 수 있는 장점을 갖는 휘스톤 브리지형태의 자기검출용 센서를 포토리소그라피공정을 이용하여 제작하였다. 이때, 단소자와 휘스톤 브리지에서, 전류 및 외부자장사이의 각도에 따른

* 전자기소자연구그룹

(경남 창원시 성주동 28-1, 한국전기연구원

Fax: 055-280-1590

E-mail : wjlee@keri.re.kr)

자기저항변화와 단자구 모델을 근거로 하여 MR 특성을 분석하였다.

2. 이론

2.1 단자구 모델

그림 1은 반강자성층/강자성층으로 이루어진 박막 구조의 단자구 모델[3]에 근거한, 회전자화의 자성벡터와 전류방향을 표시한 좌표계이다.

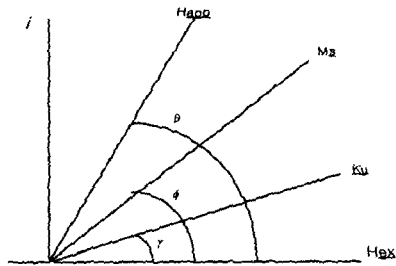


Fig. 1. Coordinate between current direction and magnetic vectors in FM/AF magnetic layers, using single domain model.

H_{ex} 는 반강자성층으로 인한 상호교환결합장(exchange coupling field)이고, γ 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 자성벡터사이의 관련성은 다음과같이 수식적으로 표현할 수 있다.

박막의 자기에너지밀도 E 는

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

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 각도에 바뀔에 따라 변화한다.

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

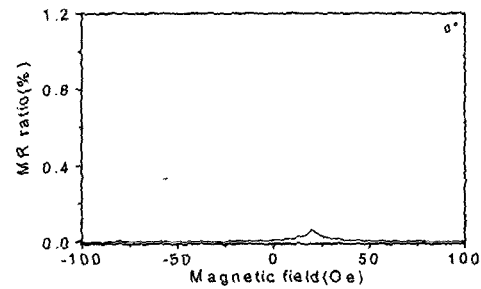
$$MR(H_i, \theta)(\%) = \frac{\Delta R}{R_{\perp}} \sin^2 \Psi(H, \theta) \quad (2)$$

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

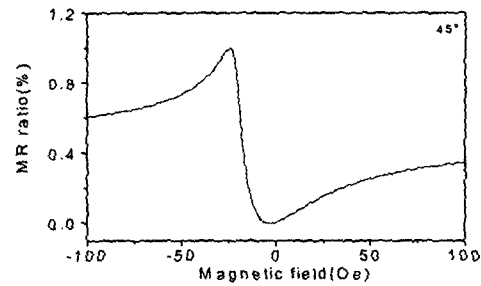
저항 값이다.

2.2 계산에 의한 각도에 따른 MR특성

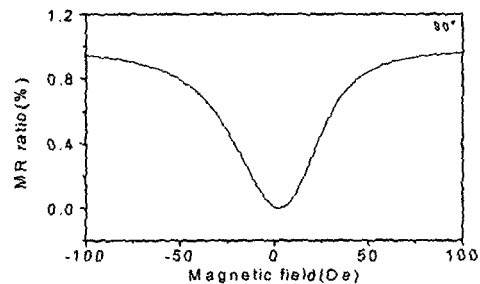
그림 2는 단자구 모델을 근거로 한 식(1)과 식(2)으로부터 전류방향과 외부자장 사이의 각도에 따른 MR곡선의 형상특성만을 전형적인 MR형상을 구하기 위하여 trial and error 방식으로 구한 결과이다.



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 $\theta=0^\circ$ 에 대한 MR 곡선은 외부자장을 -100 Oe 에서 +100 Oe 까지 가할 때 얻을 수 있는 MR 곡선을 표시하였다. $\theta=0^\circ$ 인 경우, MR비의 변화는 0에서 ν 까지 자기 모멘트 각의 회전에 의하여 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 공란축에 해당되는 것인데, 외부자장이 zero field 근처에 대해 MR 곡선에서 거의 대칭적 거동을 보여주고 있다.

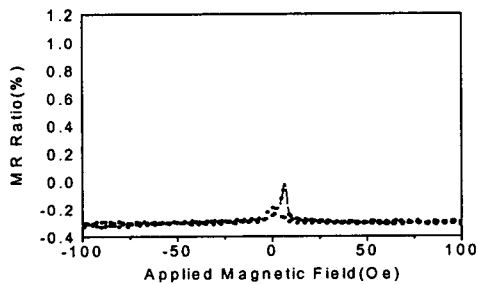
3. 실험방법

NiO박막은 Si(001)위에 RF-마그네트론 스퍼터링하였다. Ar분압은 0.5mTorr였으며 NiFe(t)은 $t=450 \text{ \AA}$ 을 NiO 위에 증착하여 NiO(300Å)/NiFe(t)박막을 제조하였다. NiFe박막의 두께는 α -step을 사용하여 보정하였다. 박막증착중 영구자석(약1kOe)을 이용하여 일축 이방성을 박막의 표면에 인가하여 상호교환 바이어스장을 형성하게 하였다. 그리고 증착된 박막은 포토리소그래피하여 단소자와 휘스톤브리지 형상의 패턴을 제작하였다. MR비 ($\Delta R/R_s$)는 4단자법에 의하여 외부자장 $\pm 100 \text{ Oe}$ 내에서 측정하였다.

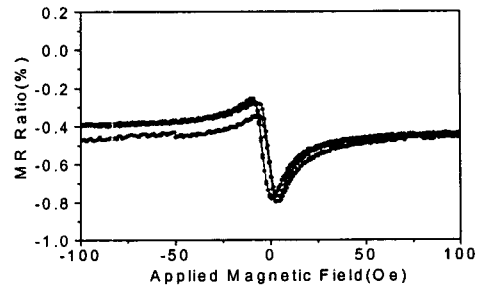
4. 실험결과 및 고찰

4.1 측정된 단소자의 MR 특성.

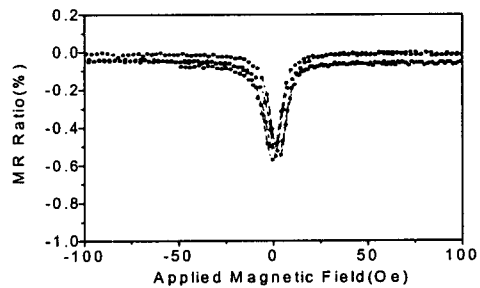
그림 3은 NiO(300Å)/NiFe(450Å)의 단소자형의 MR곡선 비이다. 단소자의 저항은 약 1.953k Ω 의 저항을 갖는 Si(001)/NiO(300Å)/NiFe(450Å) 박막으로 이루어진 소자이다.



a)



b)



c)

Fig.3. 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 $\pm 100 \text{ Oe}$ 내에서 측정하였다. $\theta=0^\circ$ 인 경우 MR곡선 전형적인 피크를 나타낸다. 양의 외부자기장 쪽으로 피크의 이동은 NiFe와 NiO층사이에 상호교환결합장(H_{ex})의 작용에 의한 것이다. 이것은 단자구론으로 설명이 잘 된다. 이때 피크의 정점사이의 간격은 $2H_c$ 이며, zero field에서 두 정점사이의 반(半)되는 점까지의 자장변화값은 H_{ex} 에 해당된다. $\theta=45^\circ$ 인 경우 약자장 영역에서 선형성이 존재하였다.

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

4.2 휘스톤 브리지의 출력특성

그림 3은 4개 단소자를 H_{ex} 와 소자의 전류의 방향사이에 45° 가 되도록 포토리소그래피하여 제작한 휘스톤 브리지 소자로부터 얻은 MR비 곡선이다.

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

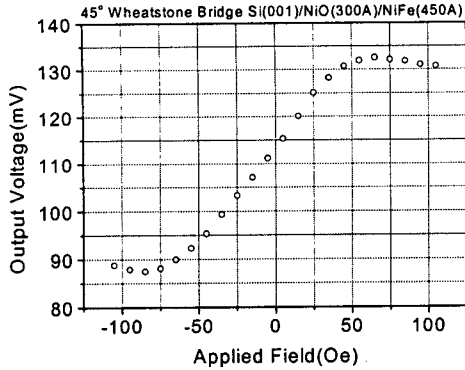


Fig.4. Output voltage of Wheatstone bridge consisting of four single MR sensors fabricated with Si(001)/NiO(300 Å)/NiFe(450 Å) as a function of applied magnetic field from current direction at $\theta=45^\circ$.

외부자장이 약 -50Oe에서 +50Oe 까지 변함에 따라 출력전압은 선형적인 거동을 보여주고 있다. 이때, 선형화가 단소자보다 크게 나타나는 것은 복소형 브리지 센서에서 대각선으로 배치한 소자의 한 그룹(R_1 과 R_4) 저항이 증가할 때 또다른 그룹(R_2 와 R_3)의 저항은 감소하게 됨으로써 브리지의 각 자기저항 단소자보다 증폭효과가 존재하기 때문에 단소자에 비하여 넓은 범위에서의 출력선형화거동을 보여주고 있다.

5. 결론

Si(001)/NiO(300 Å)/NiFe(450 Å) 박막구조를 이용하여 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 외부자장이 약 ± 50 Oe 범위까지 선형성이 우수한 출력전압을 얻을 수 있었다.