

# 박막 자기저항 소자 제작 및 출력의 인가자장 각도 의존성

민복기, 이원재, 정순중, 송재성  
한국전기연구원

## Fabrication of Thin Film Magnetoresistive Device and the Dependency of Applied Manetic Field Direction

Bok-Ki Min, Won-Jae Lee, Soon-Jong Jeong, Jae-Sung Song  
Korea Electrotechnology Research Institute

### Abstract

The output characteristics of thin film NiO/NiFe bilayered magnetoresistive device have been measured as a function of the direction of external magnetic field. Each layer was fabricated by rf magnetron sputtering method, and especially, the under layer, NiO, was fabricated under the in-situ magnetic field of about 1000Oe. The magnetoresistive devices were designed with the angle of 45 degree between the direction of current of the device pattern and the induces magnetic field in the NiO film layer. The output of the devices had a good linearity when the devices were placed on the external magnetic field perpendicular to induced field direction and also 45 degree with the currenr path direction.

**Key Words** : NiFe, Magnetoresistance, MR, Linearity, Antiferromagnetic, Wheatstone bridge

### 1. 서 론

일반적으로 어떠한 소자가 센서로서 사용되기 위해서는 먼저 외부의 어떠한 입력값에 대하여 그 출력이 선형성을 갖거나 또는 적어도 어떠한 수학적 인 식으로 표현 가능한 것이어야 함과 동시에 온도, 습도, 압력 등의 외부 환경 요인에 의한 변화가 없거나 또는 예측 가능하여야 한다. 더불어 그 출력 값이 클수록, 그리고 선형성이 좋을수록 정밀한 센서로서의 구성이 가능해진다.

본 연구에서 다루는 강자성체 NiFe 합금의 경우 자기저항 변화율이 최대 2% 정도인 것으로 보고 되고 있다. 또한 박막의 형태로 제작되는 소자에 있어서는 외부 입력, 예를 들면 인가전압 또는 전류의 크기 또한 한계가 있을 수밖에 없다.

따라서 MR 소자를 센서로 이용하기 위해서는 출력을 얻기 위하여 인가하는 전류(또는 전압)의 크

기를 고려하면서 출력 또한 고려한, 적절한 크기 및 형상의 소자 설계가 요구되며, 더불어 스퍼터링에 의해 제조된 박막으로부터 설계된 형상으로 정확하게 소자를 제작하기 위한 미세 가공 기술 또한 필요로 한다.

본 논문에서는 자기저항소자의 센서로서의 활용을 위한 선형성 부여의 한 방법으로서 하지층에 반강자성체층을 두고, 그 하지층이 가지고 있는 자화 방향에 대하여 소자 패턴에 흐르는 전류의 방향 및 측정시의 외부 자기장의 방향과의 상호 관계에 따른 자기저항의 변화에 대하여 언급하고자 하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1. 박막 제조

박막은 rf sputtering법으로 제조하였다. 기판은

(100) Si wafer를 사용하였으며, 먼저 그림 1에 나타난 바와 같이 NiO 박막을 500Å의 두께로 증착한 후 이어서 NiFe 박막을 400Å의 두께로 제작하였다. 증착전력(sputter power)은 100W, 증착 가스(Ar) 압력은 3 mtorr로 하였으며, 증착시간으로 두께를 조절하였다. Si wafer 기판은 21 mm × 10.5 mm로 절단된 것을 사용하였는데, 기판 holder에 자석을 마주보도록 부착한 상태에서 그 사이에 기판을 위치시키는 방법으로 in-situ field deposition을 하였다. 이에 대한 개략도를 그림 2에 나타내었다.

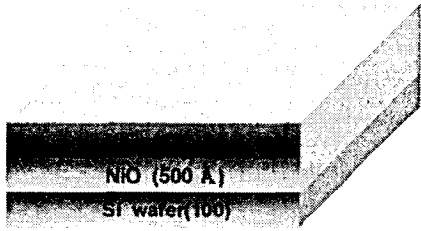


그림 1. MR 소자용 박막 증착 모식도

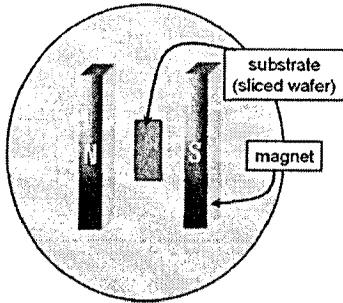


그림 2. In-Situ magnetic field하에서의 박막 증착 방법 개략

## 2.2. 소자 설계

외부 자기장의 변화에 의해 그 전기저항이 변하는 자기저항재료는 단지 자기장의 변화량 그 자체만을 감지할 수 있을 뿐, 자장의 극성을 알 수는 없다. 또한 본 연구에서 다루는 강자성체 박막 자기저항재료는 외부 온도의 변화에 따라서 저항의 변화가 발생하는 것은 피할 수 없다. 따라서 이러한 결점을 극복하기 위하여 4개의 MR 소자를 고도의 대칭적인 Wheatstone bridge 형태로 배치함으로써 민감도나 또는 offset 등에 미치는 온도의 영향을 제거하는 방

법을 취하고 있다.

그림 3에 일반적인 Wheatstone bridge 회로도를 나타내었다. 여기서 출력  $V_g$ 는 다음과 같은 식으로 주어진다. 즉,

$$V_g = V_{AB} - V_{AD} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V_{in}$$

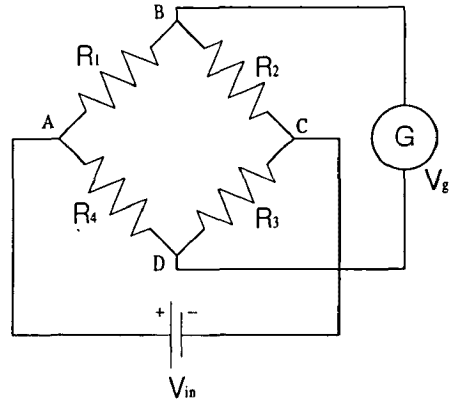


그림 3. Wheatstone bridge 구성도

그림 4에 이상적으로 만들어진, 같은 저항값을 갖는 4개의 같은 저항값을 갖는 MR 소자를 Wheatstone bridge 회로 구성 방식에 의하면서 대칭적으로 배열한 상태를 모식적으로 나타내었다. 더불어 외부 자기장이 가해지는 상황을 가상하여 함께 표시하였다. 여기서도 각각의 MR 소자는 여전히 온도에 따라 저항이 변화하지만 그 비율이 모두 같으므로 bridge의 출력에 있어서의 net drift는 영(zero)이 된다.

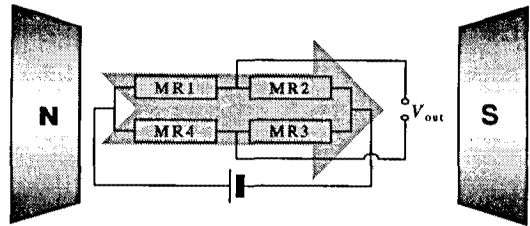


그림 4. 같은 저항값을 갖는 MR 소자의 Wheatstone bridge형 구성 개념

한편, 앞서 언급한 바와 같이 MR 소자에 있어서 외부자장 변화에 따른 저항의 변화는 그 자기장

의 방향, 인가전류의 방향 및 자성 박막의 자화용이축 방향 등에 따라 다르게 나타난다. 그림 5에 소자 양단에 전극이 구성된 것과 barber pole 형태의 전극이 구성된 MR 소자를 각각 나타내었다. 이때 인가전류 방향 및 자화용이축 방향은 소자의 길이방향이고, 외부자기장은 이에 수직방향으로 인가되고 있다고 하면, 일반 전극에서 나타나는 parabolic 형태의 출력을 barber pole 형태의 전극을 구성함으로써 그 선형 구간을 이동시키면서 동시에 선형성을 향상시켜 실용성을 확보할 수 있다. 따라서 일반적으로 많은 연구자들이 이러한 기법을 적용하고 있다. 이 출력의 변화 형태를 그림 6에 도식적으로 표현하였다.

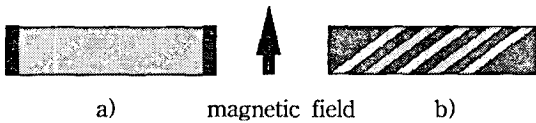


그림 5. MR 소자. a)양단전극, b) barber pole 전극

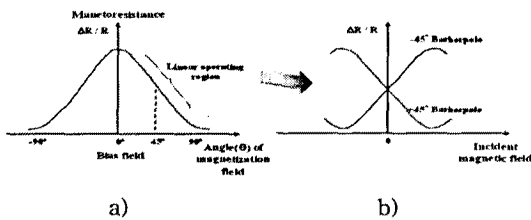


그림 6. MR 소자의 전극 형태에 따른 출력 곡선의 변화 a)양단 전극, b) barber pole 전극

그러나 이러한 barber pole 전극을 형성하는 데에는 몇 가지 단점이 있다. 즉, 후술하겠지만 제조 공정 상에 있어서 기존 MR 박막 위에 전극(주로 Cu 사용) 박막의 패터를 형성하기 위해서는 lift-off 방법을 사용하여야 하나, 이 방법은 매우 까다로우며, 전극 패터의 폭 또는 간격이 작아질수록 그 어려움은 더하다. 또한 자기저항 박막 위에 전극 패터가 형성됨으로써 자기저항을 일으키는 자성박막의 유효면적(또는 길이)이 줄어들게 된다. 따라서 본 연구에서는 출력의 선형화 방법으로서 barber pole 전극을 형성하는 대신 그 원리상 크게 다르지 않으면서도 같은 효과를 낼 수 있는 형태로 박막을 제조하고 소자 패터를 형성하고자 하였다. 즉, 기판에 반강자성체 박막층을 먼저 형성하고 그 위에 강자성체

자기저항재료 박막을 형성한 후 상부층(자기저항재료 박막)만 photolithography로 패터를 형성하는 것이다. 좀 더 상세히 설명하면, 위의 '박막제조' 항에서 밝힌 바와 같이 반강자성체 박막층(본 연구에서는 NiO, 500Å)을 형성할 때에 그림 2에 나타난 바와 같이 일방향 자장 하에서 박막을 형성하였다. 그 위에 형성된 자기저항 박막을 패터닝 할 때에 그 길이 방향(결국은 전류 방향)이 하부 NiO층의 자화 방향과 45 deg(또는 135 deg)의 각도를 이루도록 함으로써 barber pole 전극에 의한 효과와 같은 효과를 얻고자 하였다. 이의 일례를 도식화하여 그림 7에 나타내었다.

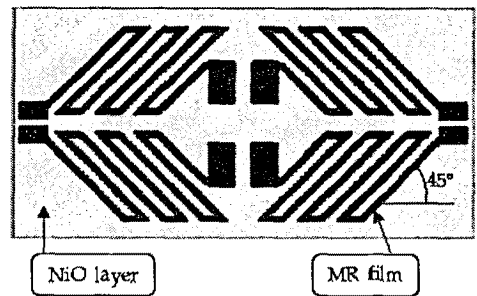


그림 7. 하부 반강자성 박막의 자화방향과 45°를 이루는 MR 소자 패터 개념도

본 연구에서는 이에 근거하여 각각 그림 8과 같이 3가지의 소자를 설계, 제작하였다. 각 소자는 모두 휘스톤브리지 형태로 설계되었으며, 제작시 하부의 NiO 층에 부여된 자장 방향에 대하여 패터가 45°가 되도록 하였다.

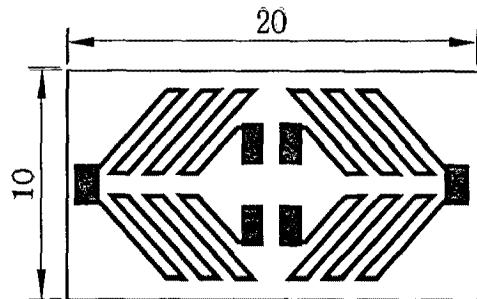


그림 8. 설계된 MR 소자 패터

### 2.3. 소자의 제작

박막은 위에서 언급한 바와 같이 NiO 층과 NiFe 층으로 이루어져 있으며, 설계된 소자의 형태로 mask를 제작하였다.

소자 제조공정은 다음과 같다. 즉, Si wafer를 기판으로 사용하여 박막을 증착하고, 그 위에 1.2 $\mu$ m 두께의 photo resist를 도포한 후 soft baking, 노광 및 hard baking을 거친 후 develop를 한다. 이것을 FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 수용액으로 식각을 하면 하부층의 NiO는 남아있는 채로 NiFe 층만 식각되어 패턴이 형성된다. 이러한 공정을 그림 9에 나타내었다.

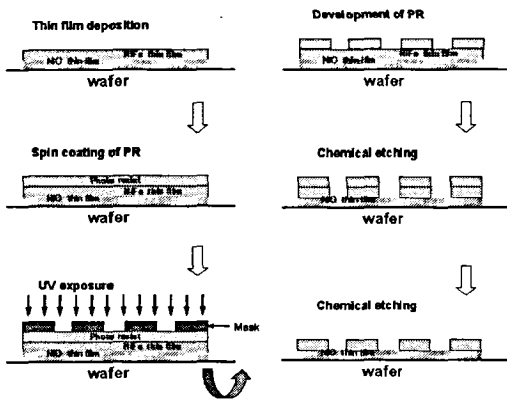


그림 9. 패턴 제조 공정도

이와 같은 공정으로 제조된 소자의 사진을 그림 10에 나타내었다.

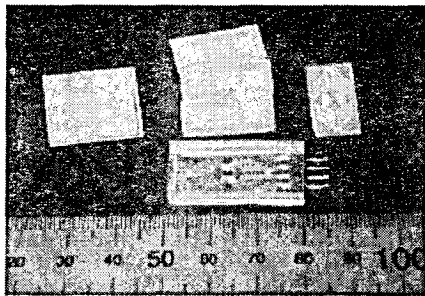


그림 10. 제작된 소자

### 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 설계, 제조된 소자(그림 8)는 브리지 회로를 구성하는 4개의 저항 성분을 가지고 있으며, 저항은 1.6 k $\Omega$ 이었다.

그림 11에 제작된 소자에 대하여 외부 자장이 인가되는 방향에 따라서 그 출력 곡선이 다르게 나타나는 상태를 측정화면으로 보였다. 앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 소자 출력의 선형성을 확보하기 위하여 자기저항 박막(NiFe)을 증착하기 전에 먼저 하부층에 반강자성체인 NiO를 in-situ field 하에서 증착하였으며, 그 위에 자기저항 박막을 증착하고 patterning 하였다. 증착시의 자장 방향과 소자 패턴(즉, 인가 전류 흐름의 방향)이 이루는 각도는 45°를 이루도록 하였으며, 견보기로는 소자의 길이 방향과 NiO 층이 같은 bias 자장의 방향과는 90°를 이루고 있다. 측정시에는 소자의 모양을 기준으로 하였으며, 그림에서 나타낸 바와 같이 외부 인가자장 방향으로 소자의 길이방향을 일치시킨 경우를 0°로 표기하였다.

그림 12에 소자의 출력 특성을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 -8G ~ +8G 범위 내에서 2% 이하의 선형성 오차를, 또  $\pm 2$ G 범위 내에서는 1% 이하의 오차를 나타내는, 매우 우수한 선형성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

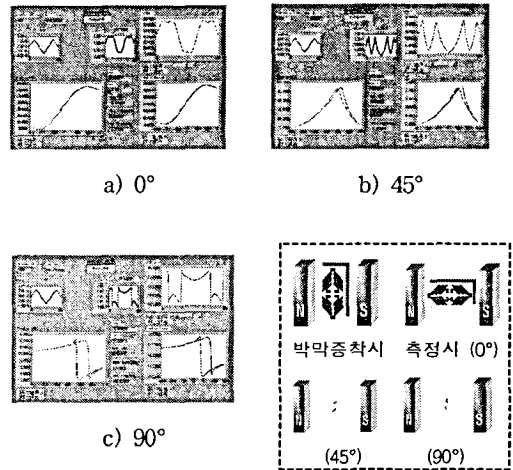
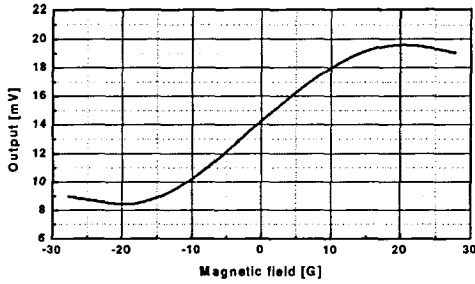
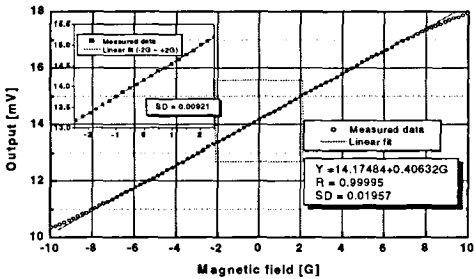


그림 11. MR 소자의 외부자장에 대한 각도에 따른

## 출력특성 측정화면



(a)



(b)

그림 12. MR 소자의 출력특성(a) 및 선형 구간 (-8G~+8G)(b).

## 4. 결론

본 연구에서는 박막을 제작하고, 자기저항 소자를 설계하였으며, 이를 근거로 미세가공기술을 이용하여 소자 패턴을 제작하고 특성 분석을 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 반강자성체 층을 자기저항 박막의 하부에 두어서 선형성을 확보하고자 하였다. 이 때 반강자성체로는 NiO를 적용하였으며, 증착 두께는 500Å로 하였고, 증착시 기판을 영구자석 사이에 배치한 상태로 박막을 제조하였다.

2) 자기저항 박막으로는 NiFe를 사용하였으며, 증착 두께는 400Å로 하였다.

3) 소자 패턴 가공은 습식식각을 이용하였으며, 이 때 식각 용액으로는 하부의 NiO 층에는 영향을 주지 않으면서 상부 자기저항 박막만 제거할 수 있

는 용액인  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  수용액을 사용하였다.

4) 저항소자는 휘스톤 브리지 형태로 구성함으로써 온도 등의 외부 영향을 배제하고자 하였으며, 외부자장에 대하여 마주보는 두 개의 part가 각각 저항의 증가와 감소가 동시에 일어남으로써 인가자장 변화에 따른 출력 변화가 일어나도록 배치하였다.

5) 본 연구에서는 궁극적으로 20mm × 10mm 크기의 소자에 대하여 특성을 측정하였으며, 하부층인 반강자성체층을 형성할 때에 부여한 자기장의 방향과 측정시 인가한 외부자장의 방향이 90°를 이루고, 전류의 방향은 그 사이의 45°를 이루는 배치에서 외부자장에 따른 출력 변화가 우수한 선형성을 나타내었다. 이 때 ±8 G 범위 내에서 선형성의 오차는 2% 이하로 계측되었다.

## 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
- [4] 이원재, 민복기, 송재성, "Si(001)/NiO(300Å)/NiFe계 휘스톤 브리지형 자기저항소자", 한국전기전자재료학회 2001하계학술대회논문집, p. 275, 2001
- [5] H. Yamamoto, T. Okuyama, and H. Dohomae, "Magnetoresistance of Multilayers with two Magnetic components", J. Magn. Magn. Mater., Vol. 99, p. 243, 1991.
- [6] B. Zhao, X. Yan, and A. B. Pakhomov, "Anisotropic magnetoresistance and planar Hall effect in magnetic metal-insulator composite films", J. Appl. Phys., Vol. 81, No. 8, p. 5527, 1997