

CoZrNb막을 이용한 MI센서 제작 및 특성

허진¹, 김영학², 신광호³, 사공건¹
동아대학교¹, 부경대학교², 경성대학교³

Fabrication and Properties of MI Sensor using CoZrNb films

J. Hur¹, Y. H. Kim², K. H. Shin³, G. Sa-Gong¹
Dong-a Uni.¹, Pukyong Uni.², Kyung-sung Uni.³

Abstract

MI(Magneto-Impedance) sensor which is made by thin films has significantly high detecting sensitivity in weak magnetic field. It also has a merit to be able to build in the low power system. Its structure is simple, which makes it easier to prepare a miniature.

In this study, its magnetic permeability and anisotropy field(H_k) as a function of a thickness of sputtered amorphous CoZrNb films with zero-magnetostriction and soft magnetic property are investigated. In order to make a uniaxial anisotropy, film was subjected to the post annealing in a static magnetic field with 1KOe intensity at 250, 300, and 320°C respectively for 2 hours. Magnetic properties of film are measured by using a MH loop tracer. Its magnetic permeability of a film is measured over the frequency range 1 MHz to 750MHz. And, it was examined on the permeability and impedance to design the MI sensor which acts at 50MHz by thickening a CoZrNb film relatively, and fabricated the MI sensor which acts at the 50MHz.

Key Words : Anisotropy, Permeability, MI(Magneto-Impedance) Sensor, Skin effect

1. 서론

자성체에 고주파 전류를 흘리면서 직류외부 자계를 인가하면 투자율의 변화가 급격히 나타나고 표피효과(Skin effect)에 의해 임피던스가 변화하게 된다. 이것을 자기임피던스효과(MagnetoImpedance Effect, MI)라 한다[1]. 양단에 발생하는 전압을 자계로 환산함으로써 자계의 검출이 가능하게 되는데 이러한 현상을 이용하여 자계를 검출하는 소자를 자기 임피던스 센서라고 한다.

강자성체에 고주파전류를 흘려줄 때 임피던스가 외부자계에 의존한다는 것은 약60년 전부터 알려진 현상이다[2]. 1980년대 부터 이 현상에 대한 공학적 응용연구가 수행되기 시작하면서 비교적 짧은 역사를 가짐에도 불구하고 현재에는 차세대의 고감도 자계센서로서 각광을 받으며 세계적으로 폭 넓게 연구가 수행되고 있다[3]. 이러한 MI센서는 감도가

높고, 구조가 간단하여 소형화가 용이하고, 낮은 소비전력의 시스템을 구성할 수 있는 장점을 가지고 있다. MI센서의 경우 센서의 감도는 자성체의 연자성에 의해 민감하게 변하게 되므로 열처리를 통한 연자성의 개선과 이방성자계의 제어는 중요한 과제라고 볼 수 있다[4].

특히 와이어나 리본과 같은 벌크재료의 MI센서는 비교적 낮은 주파수에서 구동되는 특징이 있지만 센서 제작이 매우 까다로운 반면 박막의 경우는 미세 가공기술을 이용함으로써 형상의 자유도를 높이고 소형화가 가능하나 박막이라는 특징 때문에 구동주파수가 매우 높아진다.

따라서 본 논문에서는 형상의 자유도를 높이면서 비교적 낮은 주파수에서 구동하는 MI소자의 제작을 위해 우수한 연자성 박막을 제조하고 낮은 구동주파수를 가지는 MI소자용 박막 조건을 설계하였다. 또한 포토리소그래피를 통하여 MI소자를 제작

하고 비교적 낮은 주파수에서 MI효과가 나타나는 소자를 제작하였다.

2. 실험 방법

2.1 시편제조

시편의 제조는 자왜가 거의 없는 비정질 연자성 박막을 제조하기 위해 CoZrNb의 타겟으로부터 기판을 수냉시켜 RF 스퍼터링 법으로 제작하였다. 제작된 막의 크기는 지름이 18mm인 원형이며, 두께는 각각 2 μ m, 5 μ m, 10 μ m이었다. 표 1은 스퍼터링 조건을 나타내고 있다.

표 1. RF 스퍼터링 실험 조건.

RF SPUTTERING	
Target	Co _{84.85} Nb ₁₂ Zr _{3.15}
Power	150 W
Ar gas press	1 mTorr
Substrate	Slide glass
Temperature	14 $^{\circ}$ C (cooling water)
Thickness	2, 5, 10 μ m

2.2 자장 중 열처리

강자성 금속합금의 아몰퍼스상에서는 열처리를 하면 원자이동이 용이하게 되고 자화방향으로 용이축을 가지는 일축이방성을 가진다. 즉 자장 중에서 자화를 한 방향으로 포화시킨 상태로 열처리를 하면 자장방향으로 균일한 일축이방성을 가지고 방향이나 크기를 바꿀 수도 있다.

따라서 성막 시 지지계 등으로 유도되는 불필요한 이방성을 지우기 위해 시편을 30rpm으로 회전시켜 회전자장 중 진공 열처리를 하였고, 일축이방성을 부여하기 위해 시편을 고정시켜 한 방향으로 자장을 인가하여 일축 이방성을 부여하였다. 표 2는 자장 중 열처리 조건을 나타내고 있다.

이상과 같이 제작한 박막 시편을 열처리 온도와 두께에 따른 이방성 자계와 투자율을 측정하고 각각 직류자계에 따른 투자율의 변화를 측정하였다. 또한 측정된 데이터를 시뮬레이션하여 비교적 낮은 주파수에서 직류자계에 따른 임피던스의 변화를 확인하였다.

표 2. 자장 중 열처리 실험 조건.

ROTATION ANNEALING	
Temperature	320 $^{\circ}$ C
Time	2 hour
Magnetic field	1 kOe
Rotation speed	30 rpm
STATIC ANNEALING	
Temperature	250 $^{\circ}$ C, 300 $^{\circ}$ C, 320 $^{\circ}$ C
Time	2 hour
Magnetic field	1 kOe

2.3 MI소자 제작

포토리소그래피로 MI소자를 제작하기 위해 그림 1과 같은 마스크 패턴을 설계, 제작하였다.

제작한 박막 시편의 두께는 약 6 μ m이었고, 일축 이방성을 부여하기 위한 자장 중 열처리 온도는 320 $^{\circ}$ C에서 2시간동안 행하였다. 패턴 제작을 위해 스펀 코팅한 레지스터는 AZ1500을 사용하였고, 패턴 에칭은 [HCl + H₂O₂ + H₂O] 용액을 사용하여 Singl strip type의 MI소자를 제작하였다.

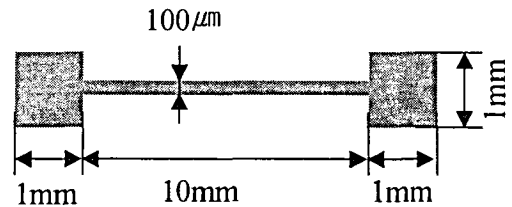


그림 1. single stripe type의 MI소자 마스크 패턴

제작된 소자를 그림 2와 같이 마이크로 스트립 선로에 부착하여 직류 외부자장에 의한 임피던스 변화를 측정하였다.

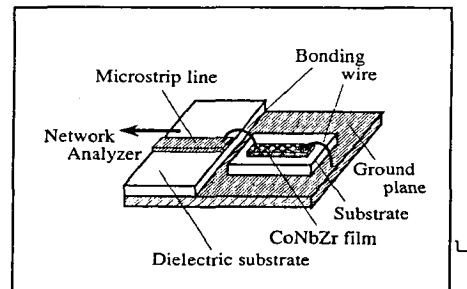
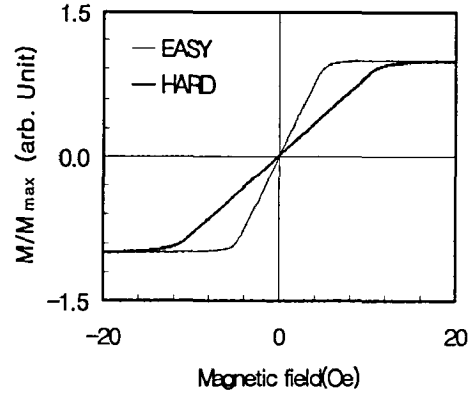


그림 2. 고주파 박막 임피던스 측정장치.

3. 결과 및 고찰

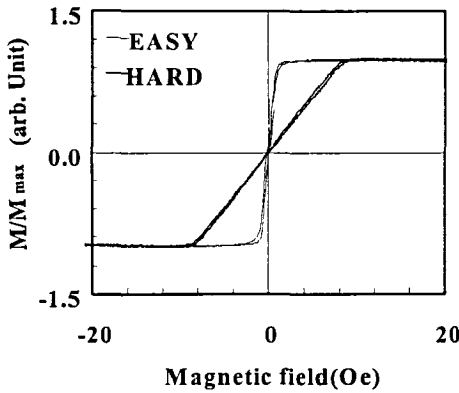
MI센서의 감도는 자성체의 연자성에 의해 민감하게 변화하므로 열처리를 통한 이방성 제어는 매우 중요하다.

그림 3은 320℃의 온도에서 열처리한 M-H Loop를 나타내고 있다. 보자력은 0.10e 이하였고, 열처리 온도의 증가에 따라 각각의 박막 시편들의 이방성 자계(H_k)는 증가되었다. 특히 350℃ 이상의 온도에서의 열처리는 박막의 결정화로 연자성이 열화되었기 때문에 320℃의 온도까지 측정을 하였으며, MI소자의 제작을 위해 자성체의 열처리는 결정화 되기 전의 온도까지 증가 시켜야 한다는 결론을 도출하였다.



(c) 10 μ m, 320℃

그림 3. 320℃ 열처리 따른 M-H Loop.



(a) 2 μ m, 320℃

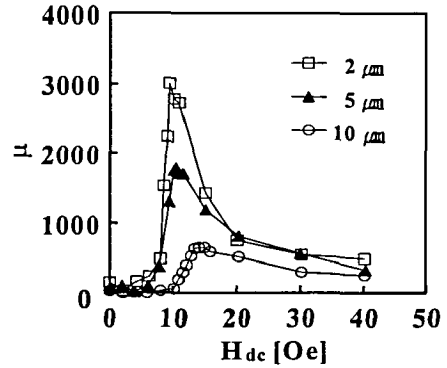


그림 4. 직류 외부자계에 따른 투자율 (50MHz).

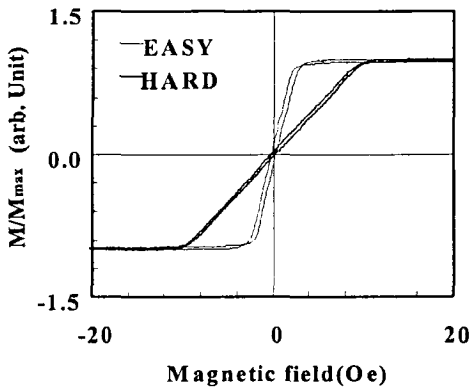
그림 4는 50MHz에서 센서 동작의 확인을 위해 직류 외부자계에 따른 투자율의 변화를 나타낸 것이다. 두께가 두꺼울수록 피크값은 감소하고 있는 경향을 나타내고 있다.

식(1)은 투자율 변화에 따른 임피던스를 나타내는 식이고, 식(1)로부터 소자의 투자율이 변화하면 표피두께가 변화하고 따라서 임피던스가 변화하게 된다.

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{kpl}{2\omega} \coth\left(\frac{kt}{2}\right) \quad \text{식(1)}$$

$$k = \frac{1+j}{\delta}, \quad \delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega}} \mu$$

이때 δ 는 표피두께(Skin Depth), 전기저항률(ρ)은 $120\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이고 폭(w)은 $100\mu\text{m}$, 길이(l)는 10mm 이다. 식 (1)에 의해 MI 소자의 직류자장에 따른



(b) 5 μ m, 320℃

임피던스를 계산할 수 있고, 임피던스의 변화율은 식(2)에 의해 계산하였다. 이때 Z_m 은 임피던스의 최대값을 나타내고, Z_0 는 최소값을 나타낸다.

$$\Delta Z = Z_m - Z_0$$

$$\Delta Z / Z_0 (\%) = \Delta Z / Z_0 \times 100 \quad \text{식(2)}$$

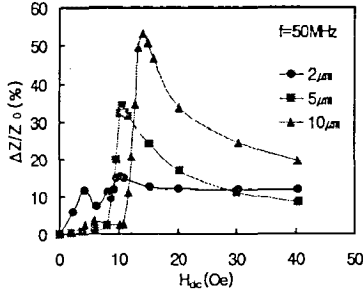


그림 5. 직류 외부자계에 따른 임피던스 변화율.

Fig. 5는 직류외부자계에 따라 50MHz에서 임피던스의 변화율을 나타낸 것이다. 10 μ m일 때 50%의 변화율을 가짐을 알 수 있었고, 결과로부터 두께를 두껍게 함으로써 비교적 낮은 구동 주파수에서도 MI센서로 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

MI소자를 제작하여 임피던스를 측정 한 결과를 그림 6, 그림 7에 나타내었다. 임피던스는 약 20 Ω 에서 28 Ω 까지 변화하였으며 50%정도의 임피던스 변화율을 가지는 MI효과를 확인할 수 있었다. 또한 막의 두께, 열처리온도 등을 조정하고, MI소자의 패턴 설계를 잘 구상하면 낮은 구동주파수에서도 고감도의 MI센서의 제작이 가능 할 것이다.

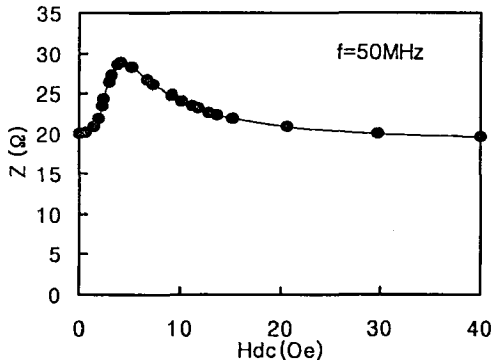


그림 6. 직류 외부자계에 따른 임피던스변화.

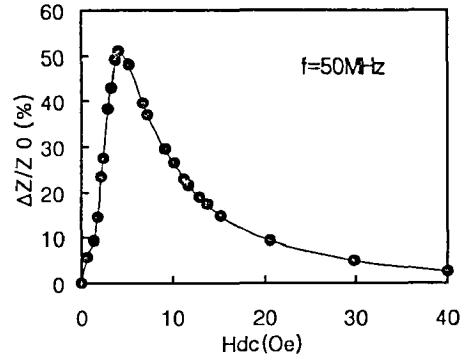


그림 7. 직류 외부자계에 따른 임피던스 변화율.

4. 결 론

50MHz의 구동주파수에서 동작하는 박막형 MI센서의 제작조건을 설계하고, 포토리소그래피를 통해 MI소자를 제작하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 자장 중 열처리온도의 증가를 통해 우수한 MI센서용 박막 자성체를 제조할 수 있었다.
2. 비교적 낮은 구동주파수를 가지는 박막형 MI센서의 제작은 두께를 두껍게 조정함으로써 가능함을 알 수 있었다.
3. 50MHz의 구동주파수에서 임피던스 변화율이 약 50%정도 변화하는 MI센서를 제작하였다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정, 부산광역시 지원 지역협력연구센터인 동의대학교 전자세라믹스연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

[1] L.V. Panina, and K. Mohri, Appl. Phys. Lett., 65, 1189(1994)
 [2] E. P. Harrison, G. L. Turney, H. Rowe, and H. Gollop, Proc. Roy. Soc., 157, 172(1937)
 [3] K. Mohri, T. Kohzawa, K. Kawashma, H. Yoshida and L. V. Panina, IEEE. Trans. Magn., 28, 3150(1992)
 [4] W. Ku, F. Ge, and J. Zhu, J. Appl. Phys., 28(10), 5050(1997)