

## CoZrNb막을 이용한 MI센서 소자의 제작 및 특성

### Fabrication and Properties of MI Sensor Device using CoZrNb Films

허진<sup>1</sup>, 김영학<sup>2</sup>, 신광호<sup>3</sup>, 사공건<sup>1,a</sup>  
(J. Hur<sup>1</sup>, Y. H. Kim<sup>2</sup>, K. H. Shin<sup>3</sup>, and G. Sa-Gong<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

Magneto-Impedance(MI) sensor is a highly sensitive sensor, which was able to detect a weak geomagnetic field. It also has a merit to be able to build in the low power system.

In this study, their magnetic permeability and anisotropy field( $H_k$ ) as a function of some different 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 films are measured by using a M-H loop tracer. Magnetic permeability of a film is measured over the frequency range from 1 MHz to 750MHz. By thickening a CoZrNb film relatively, magnetic permeability and impedance are examine to design the MI sensor which drives at 50MHz, and thereof fabricated the MI sensor which drives at the 50MHz.

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

#### 1. 서론

연자성 박막으로 제작되는 기능성소자는 자계, 압력, 온도, 변위와 같은 소자외부의 물리적 변화를 박막의 투자율 변화로 계측하는 것이 대부분이다. 박막은 두께가 얇아 자화방향이 거의 박막면과 평행하며 자화과정은 거의 회전자화에 의해 이루어지므로 투자율 발생은 자력이동을 이용하는 벌크재료의 투자율 발생과는 차이가 있다. 특히 박막 내에 자화용이방향과 곤란방향이 존재하는 경우는 자화방향에 따라 투자율은 크게 달라진다.

특히 자성체에 고주파 전류를 흘리면서 직류외부 자계를 인가하면 투자율의 변화가 급격히 나타나

고 표피효과(Skin effect)에 의해 임피던스가 변화하게 된다. 이것을 자기임피던스효과(Magneto-impedance Effect, MI)라 한다[1]. 양단에 발생하는 전압을 자계로 환산함으로써 자계의 검출이 가능하게 되는 데 이러한 현상을 이용하여 자계를 검출하는 소자를 자기 임피던스 센서라고 한다.

강자성체에 고주파전류를 흘려줄 때 임피던스가 외부자계에 의존한다는 것은 약 60년 전부터 알려진 현상이다. 1980년대부터 이 현상에 대한 공학적 응용연구가 수행되기 시작하면서 비교적 짧은 역사를 가짐에도 불구하고 현재에는 차세대 고감도 자계센서로서 각광을 받으며 세계적으로 폭넓게 연구가 수행되고 있다[2]. 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[3].

특히 와이어나 리본과 같은 벌크재료의 MI센서

1 : 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부  
(부산시 사하구 하단 2동 840,  
Fax : 051-200-7743

a : Corresponding Author : gsagong@donga.ac.kr)

2 : 부경대학교 전기공학과

3 : 경성대학교 멀티미디어공학과

2003년 2월 11일 접수, 2003년 3월 20일 1차 심사완료,

2003년 6월 30일 2차 심사완료, 2003년 8월 4일 최종 심사완료

는 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[4-6].

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 비교적 낮은 주파수에서 MI효과가 나타나는 MI소자를 제작하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시편제조

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

표 1. RF 스퍼터링 조건.

Table 1. RF Sputtering conditions.

RF SPUTTERING	
Target	Co <sub>84.85</sub> Nb <sub>12</sub> Zr <sub>3.15</sub>
Power	150 W
Ar gas press	1 mTorr
Substrate	Slide glass
Temperature	14 °C (cooling water)
Thickness	2, 5, 10 μm

### 2.2 자장 중 열처리 및 측정

일반적으로 아몰퍼스 자성체는 제작 직후 재료에 포함되는 스트레스나 이방성의 분산으로 인하여 최적의 연자성이 얻어 지지 않는 경우가 많다. 아몰퍼스 자성체의 우수한 연자성 특성을 얻기 위한 방법으로, 자왜가 거의 나타나지 않는 조성을 선택하는 방법과 정자계 중에서의 열처리를 통하여 연자성을 개선하고 자기이방성을 유도하는 방법 등이 사용될 수 있다[7,8].

특히 강자성 금속합금의 아몰퍼스 상에서는 열처리를 할 때 원자이동이 용이하게 되며 자화방향으로 용이축을 가지는 일축이방성을 가진다. 즉 자장 중에서 자화를 한 방향으로 포화시킨 상태로 열처리를 하면 자장방향으로 균일한 일축이방성을 가지게 할 수 있다. 또 이미 가지고 있는 이방성방향이나 크기를 바꿀 수도 있다[9].

따라서 성막 시 지자계 등으로 유도되는 불필요한 이방성을 제거하기 위해 시편을 30 rpm으로 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 직류자계의 변화에 따른 투자율을 측정하였다. 또한 측정된 데이터를 시뮬레이션하여 비교적 낮은 주파수에서 직류자계의 변화에 따른 임피던스의 변화를 확인하였다[10,11].

표 2. 정자계 중 열처리 조건.

Table 2. Heat treatment conditions in a static magnetic field.

ROTATION ANNEALING	
Temperature	320 °C
Time	2 hour
Magnetic field	1 kOe
Rotation speed	30 rpm
STATIC ANNEALING	
Temperature	250°C, 300°C, 320°C
Time	2 hour
Magnetic field	1 kOe

### 2.3 MI소자 제작 및 측정

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

제작한 박막 시편의 두께는 약 5 μm이었고, 일축 이방성을 부여하기 위해서 320 °C에서 자장 중 열처리를 행하였다. 패턴 제작을 위해 스펀 코팅한 레지스터는 AZ1500을 사용하였고, 패턴 에칭은 [HCl + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O] 용액을 사용하여 Single strip type의 MI소자를 제작하였다.

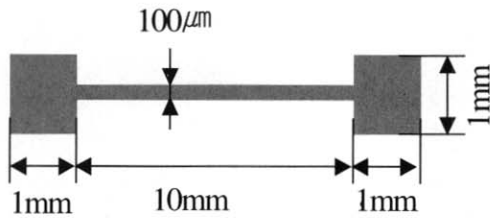


그림 1. Single stripe type의 MI소자 마스크 패턴.  
Fig. 1. Mask pattern of MI device with single stripe type.

제작된 소자를 그림 2와 같이 마이크로 스트립 선로에 부착하여 직류 외부자장의 크기에 따른 임피던스 변화를 측정하였다.

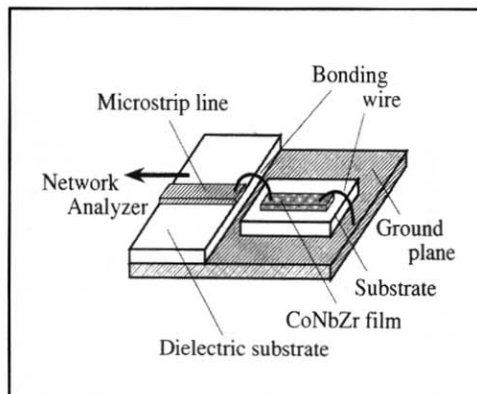


그림 2. 고주파 박막 임피던스 측정장치.  
Fig. 2. Impedance measuring set-up for thin film in high frequency application.

### 3. 실험결과 및 고찰

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

그림 3은 박막두께가 5 μm일 때 열처리 온도(250, 300, 320 °C)에 따른 M-H Loop를 나타내고 있다. 보자력은 0.1Oe 이하였고, 열처리 온도의 증가에 따라 이방성 자계( $H_k$ )가 증가되고 있음을 볼 수 있었다. 특히, 350 °C 이상의 온도에서는 박막의 결정화로 연자성이 열화되었으므로 320 °C이하 온도

에서의 측정결과만을 얻었다. 이로 부터 MI소자의 제작을 위해 자성체의 열처리는 결정화되기 전의 온도까지만 증가시켜야 함을 확인하였다[12].

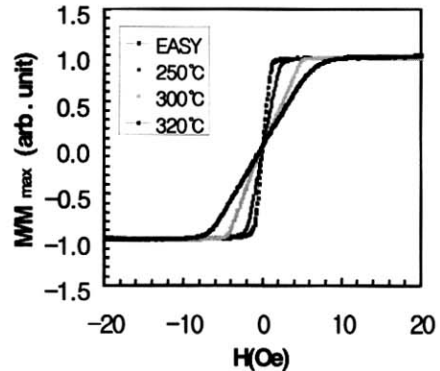
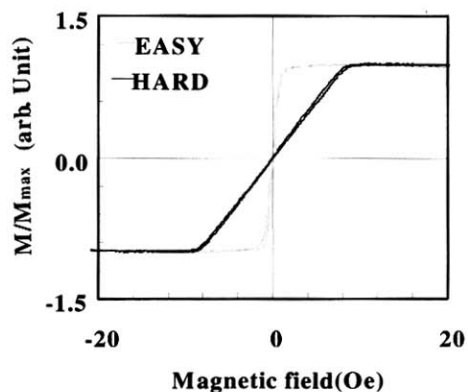


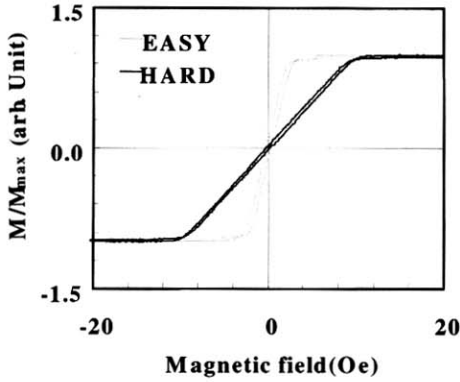
그림 3. 열처리 온도에 따른 CoZrNb 박막의 M-H Loop.

Fig. 3. Hysteresis loop of CoZrNb film with annealing temperature.

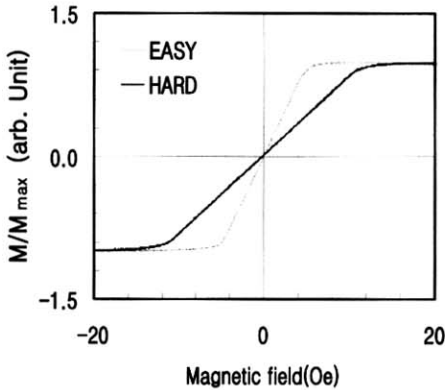
그림 4(a), (b), (c)는 두께(2,5,10 μm)를 달리하여 320 °C에서 열처리한 박막시편의 M-H Loop를 나타내고 있다. 두께가 두꺼울수록 자화곡률축의 기울기가 완만하게 되는 것, 즉 포화자계가 더욱 커지고 있는데, 이는 이들 소자 내의 반자계에 기인된 것으로 사료되며, 두께가 두꺼울수록 이방성 분산이 커지고 있음을 볼 수 있다.



(a) 2 μm, 320 °C



(b) 5  $\mu\text{m}$ , 320  $^{\circ}\text{C}$

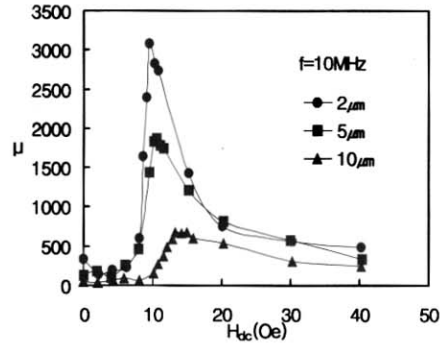


(c) 10  $\mu\text{m}$ , 320  $^{\circ}\text{C}$

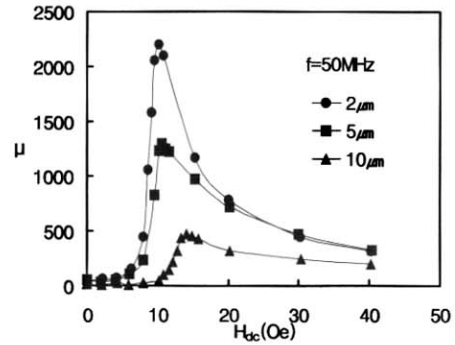
그림 4. 각종 두께(2,5,10  $\mu\text{m}$ )에 대한 320  $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리한 CoNbZr박막의 M-H Loops.

Fig. 4. M-H loops of CoNbZr films with some thickness(2,5,10  $\mu\text{m}$ ) at annealing temperature 320  $^{\circ}\text{C}$ .

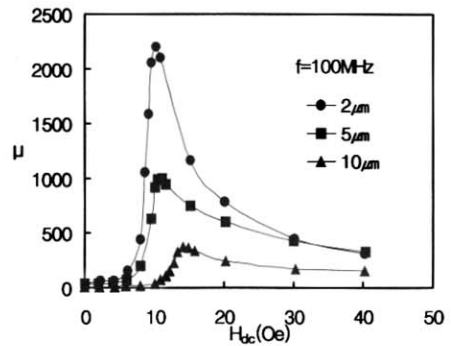
그림 5(a), (b), (c)는 비교적 낮은 각종 주파수(10, 50, 100 MHz)에서 센서 동작의 확인을 위해 적류 외부자계에 따른 투자율의 변화를 나타낸 것이다. 이때 투자율은 이방성 자계(Hk)의 값과 외부자계의 값이 거의 같은 지점에서 피크 값을 나타내고 있고 두께가 두꺼울수록 투자율의 피크값이 감소되고 있다. 이는 반자계와 표피효과에 기인된 것으로 생각된다. 또한 두께 및 주파수의 증가에 따라 투자율이 감소되고 있음을 확인할 수 있었다.



(a)  $f = 10\text{MHz}$



(b)  $f = 50\text{MHz}$



(c)  $f = 100\text{MHz}$

그림 5. CoNbZr박막의 적류 외부자계 변화에 따른 투자율.

Fig. 5. Magnetic permeability as a function of DC external field( $H_{dc}$ ) with some thickness and frequency of CoNbZr films.

식 (1)은 투자율 변화에 따른 임피던스를 나타내는 식으로, 이로부터 소자의 투자율이 변화하면 표피두께가 변화하고 따라서 임피던스가 변화하게 됨을 알 수 있다.

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{k\omega l'}{2\omega} \coth\left(\frac{kt}{2}\right) \quad (1)$$

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

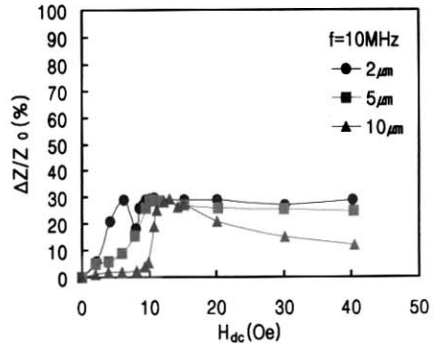
이때  $\delta$ 는 표피두께(Skin Depth), 전기저항률( $\rho$ )은  $120 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이고 폭( $w$ )은  $100 \mu\text{m}$ , 길이( $l$ )는  $10 \text{mm}$ 이다. 식 (1)에 의해 MI 소자의 직류자장에 따른 임피던스를 계산할 수 있고, 임피던스의 변화율은 식 (2)에 의해 계산하였다. 이때  $Z_m$ 은 임피던스의 최대값을 나타내고,  $Z_0$ 는 최소값을 나타낸다.

$$\Delta Z = Z_m - Z_0 \quad (2)$$

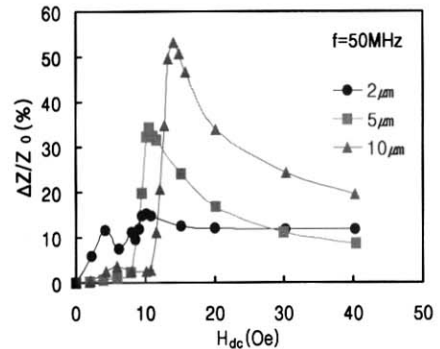
$$\Delta Z / Z_0 (\%) = \Delta Z / Z_0 \times 100$$

그림 6(a),(b),(c)는 식(1)과 식(2)에 의해 계산한 비교적 낮은 주파수(10, 50, 100MHz)에서의 직류 외부자계의 변화에 대한 임피던스의 변화율을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 투자율에서 피크값을 갖는 외부자계의 값과 임피던스의 변화율에서 피크값을 갖는 외부자계의 값이 거의 같은 값을 알 수 있었다. 또한 낮은 주파수에서 MI센서로 사용할 수 있기 위해서는 두께를 두껍게 조절하여야 함을 확인할 수 있었다.

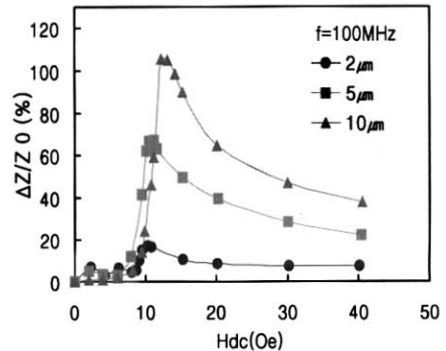
앞에서 기술한 결과를 바탕으로 하여 MI소자를 제작하여 임피던스변화율을 측정하였으며, 그 결과를 그림 7 및 그림 8에 나타내었다. 그림 7에서 두께  $5\mu\text{m}$  소자의 경우 임피던스는 약  $19\Omega$ 에서  $30\Omega$ 까지 변화하였으며, 그림 8에서는 50%정도의 임피던스 변화율을 가지는 MI효과를 확인할 수 있었다. 이때 그림 6과 비교하여 피크 값이 일치하지 않고 있는 데, 이는 임피던스 측정을 위한 소자의 부착과정에서의 저항 값의 증가에 기인된 것으로 보여지며, 이에 대해서는 더욱 연구가 수행되어야 할 것이다.



(a)  $f = 10\text{MHz}$



(b)  $f = 50\text{MHz}$



(c)  $f = 100\text{MHz}$

그림 6. 직류 외부자계 변화에 따른 임피던스 변화율.

Fig. 6. Impedance change  $\Delta Z/Z_0(\%)$  of CoNbZr films as a function of DC external field( $H_{dc}$ ) with some thickness and frequency of CoNbZr films.

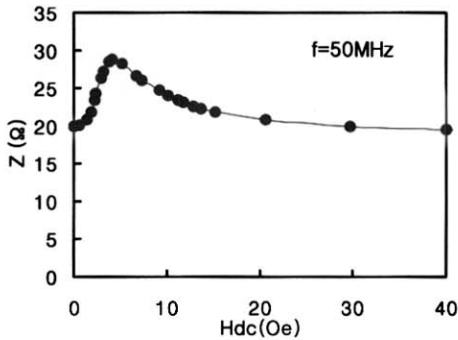


그림 7. 직류 외부자기 변화에 따른 MI소자의 임피던스.

Fig. 7. Impedance of MI device as a function of DC external magnetic field( $H_{dc}$ ).

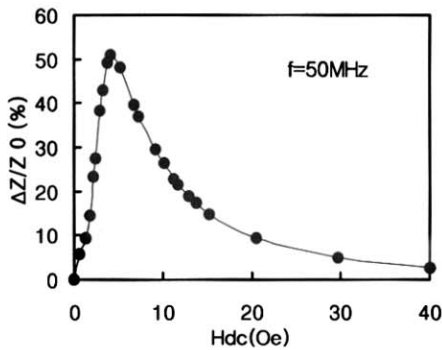


그림 8. 직류 외부자기 변화에 따른 MI소자의 임피던스 변화율.

Fig. 8. Impedance change  $\Delta Z/Z_0(\%)$  of MI device with DC external field( $H_{dc}$ ) at 50 MHz frequency.

이상의 결과로부터 막의 두께, 열처리온도 등을 조정하고, MI소자의 패턴 설계를 잘 구성하면 낮은 구동주파수에서도 고감도 MI센서의 제작이 가능함을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

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

1. 자계 인가 중 열처리온도(320 ℃)를 증가함으로써 우수한 MI센서용 박막 소자를 얻을 수 있었다.
2. 비교적 낮은 구동주파수를 가지는 박막형 MI센서는 두께를 두껍게 조정함으로써 제작 가능함을 알 수 있었다.
3. 50 MHz의 구동주파수에서 임피던스 변화율이 약 50%정도 변화하는 MI센서를 제작할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구결과물은 과학기술부·한국과학재단에서 지정한 지역협력연구센터(RRC) 및 산업자원부·한국산업기술평가원에서 지정한 지역기술혁신센터(TIC)인 동의대학교 전자세라믹스센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고 문헌

- [1] L. V. Panina and K. Mohri, "Magneto-impedance effect in amorphous wires", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 65, No. 9, p. 1189, 1994.
- [2] K. Mohri, T. Kohzawa, K. Kawashma, H. Yoshida, and L. V. Panina, "Magneto-Inductive effect (MI effect) in amorphous wires" *IEEE. Trans. Magn.*, Vol. 28, No. 5, p. 3150, 1992.
- [3] S. U. Jen and Y. D. Chao, "The field-annealing effect on magnetoimpedance of a zero magnetostrictive metallic glass", *J. Appl. Phys.*, Vol. 79, No. 8, p. 6552, 1996.
- [4] R. L. Sommer and C. L. Chien, "Role of magnetic anisotropy in the magneto-impedance effect in amorphous alloys", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 67, No. 6, p. 857, 1995.
- [5] M. Takezawa, H. Kikuchi, K. Ishiyama, M. Yamaguchi, and K. I. Arai, "Micro magnetic thin-film sensor using LC resonance", *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 33, No. 5, p. 3400, 1997.
- [6] M. Takezawa, H. Kikuchi, K. Suezawa, M.

- Yamaguchi, K. Ishiyama, and K. I. Arai, "High frequency carrier type bridge-connected magnetic field sensor", IEEE Trans. Magn., Vol. 34, No. 4, p. 1321, 1998.
- [7] O. Kumoto and K. Ohya, "Amorphous FeCo-SiB alloys with zero magnetostriction", J. Appl. Phys., Vol. 52, No. 2, p. 928, 1981.
- [8] F. E. Luborsky and J. L. Walter, "Magnetic anneal anisotropy in amorphous alloys", IEEE Trans. Magn., Vol. 13, No. 2, p. 953, 1977.
- [9] R. L. Sommer, C. L. Chien, and R. Hasegawa, "Annealing and geometric effects in the magneto-impedance of amorphous  $\text{Co}_{70.4}\text{Fe}_{4.6}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$  alloys", J. Appl. Phys., Vol. 79, No. 8, p. 6117, 1996.
- [10] T. Kawazu, M. Yamaguchi, and K. I. Arai, "A new microstrip pickup coil for thin-film permeance meters", IEEE Trans. Magn., Vol. 30, No. 6, p. 4641, 1994.
- [11] M. Yamaguchi, S. Yabukami, and K. I. Arai, "A new 1 MHz-2 GHz permeance meter for metallic thin films", IEEE Trans. Magn., Vol. 33, No. 5, p. 3619, 1997.
- [12] 신용진, 소대화, 김현욱, 김대주, 서강수, "FeCosIB계 아몰피스 자성박막의 자기-임피던스 효과", 한국재료학회지, 8권, 3호, p. 252, 1998.