

CoZrNb막의 주파수에 따른 임피던스의 변화

Impedance of CoZrNb Film as a Function of Frequency

허진*, 김영학**, 신광호***, 박경일*, 사공건*
(J. Hur*, Y. H. Kim**, K. H. Shin***, K.I. Park*, G. Sa-Gong*)

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 excellent 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. Anisotropy field(H_k) of film is measured by using a MH loop tracer. Its magnetic permeability of a film is measured over the frequency range from 1 MHz to 750MHz.

It has shown that the magnetic permeability of amorphous CoZrNb film is decreased due to the skin effect with increasing a thickness of the CoZrNb film, and hence its driving frequency is lowered. And, it was examined on the permeability and impedance to fabricate the MI sensor which acts at a low frequency by thickening a CoZrNb film relatively.

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 자벽이동을 이용하는 벌크재료의 투자율 발생과는 차이가 있다. 특히 박막 내에 자화용이방향과 곤란방향이 존재하는 경우는 자화방향에 따라 투자율은 크게 달라진다.

특히 자성체에 고주파 전류를 흘려주면서 직류 바이어스 자계를 인가하면 이 직류 외부자계에 대해 투자율의 변화가 급격히 나타나고 표피효과(Skin

effect)에 의해 임피던스가 변화하게 된다. 이 때 시료의 양단에 걸리는 고주파 전류에 따른 전압의 크기가 외부에서 인가되는 자계에 따라 변화하는 현상을 자기 임피던스효과 (Magneto-Impedance Effect, MI)라 한다. 여기서 발생하는 전압을 자계로 환산함으로써 자계의 검출이 가능하게 되는 데 이러한 현상을 이용하여 자계를 검출하는 소자를 자기 임피던스 센서라고 한다[1].

외부자계에 대한 임피던스의 민감한 변화를 나타내게 하기 위해서는 외부자계에 대하여 투자율이 민감하게 변화하는 연자성이 우수한 재료가 요구된다. $Co_{85}Zr_{12}Nb_3$ 박막은 자벽이 극히 적은 조성의 아몰퍼스 자성체로 자벽의 움직임을 방해하는 결정입계가 존재하지 않으며, 연자성 저하의 원인이 되는 결정 자기이방성이 존재하지 않으므로 이상적인 연자성체라고 할 수 있고, 비선형성이 극히 작은 우수한 MI 센서용 재료라고 할 수 있다[2].

본 논문에서는 RF스퍼터링법으로 아몰퍼스 상태

* : 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부
Eail : jin7235@mnnow.net Fax: 051-200-7743
** : 부경대학교 전기·제어계측공학부
*** : 경성대학교 정보과학부

의 CoZrNb막을 제작하였고, 자장 중 열처리를 통하여 연자성을 개선하였으며 일축이방성을 부여하였다. 제작된 시편에 대해 투자율의 주파수 의존성을 측정하고 주파수에 따른 임피던스의 변화를 검토한 후 자기 임피던스 소자로서의 응용가능성을 검토해 보았다.

2. 실험방법 및 측정

시편의 제조는 CoZrNb의 타겟으로부터 아몰퍼스 박막을 만들기 위해 기관을 수냉시켜 RF 스퍼터링 방법으로 제작하였다. 스퍼터링 하기 전 챔버 안의 진공도는 7×10^{-7} Torr 이하에서 챔버 안의 수분 등을 제거하기 위하여 40분간 Baking을 하고 2시간 이상 식혔다. 챔버 안을 충분히 식힌 후 냉각수공급장치를 가동시켜 기관의 온도를 낮추었다. 스퍼터조건은 투입전력이 150W, Ar gas압은 1×10^{-3} Torr, 시간은 32분, 80분, 160분으로 변화시켰다. 제작된 막의 크기는 지름이 18mm인 원형이며, 두께는 각각 $2\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$ 이었다.

일반적으로 재료의 자기적 특성은 결정학적 방향에 따라 다르다. 결정 내에는 자화가 쉽게 되는 우선방향이 있으며 각 결정학적 방향에 따라 자화시키는 데 필요한 에너지 값이 다르다. 이러한 성질을 이방성이라 하고, 결정 내의 자화되기 쉬운 방향이 아닌 다른 방향으로 자화시키기 위해서는 잉여 에너지가 필요하며 이를 자기이방성 에너지라고 한다.

특히 강자성 금속합금의 무질서상 및 아몰퍼스상에서는 열처리를 할 때 원자이동이 용이하게 되면 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 이방성방향이냐 크기를 바꿀 수도 있다[3].

따라서 성막 시 지지계 등으로 유도되는 불필요한 이방성을 지우기 위해 열처리온도 320°C , 1kOe의 자장 중에서 시편을 30rpm으로 회전시켜 120분 동안 회전자장 중 진공 열처리를 하였다. 350°C 이상의 온도에서는 결정화가 생겨 원하는 아몰퍼스재료를 얻을 수가 없었다. 일축이방성을 부여하기 위한 열처리는 1kOe의 자장 중에 시료를 고정시켜 열처리 온도를 250°C , 300°C , 320°C 로 변화시켰으며 이때 열처리 시간은 각 온도에서 120분으로 고정하였다.

박막의 자기특성치는 M-H loop Tracer로 열처리 온도에 따른 자기이력곡선을 측정하였고, 박막의 투자율은 1MHz-750MHz의 측정범위를 가지는 투자율

측정장치를 이용하여 측정하였다[4]. 투자율측정 장치의 사진을 Fig. 1에 나타내었다.

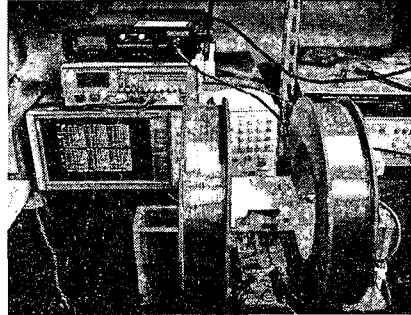
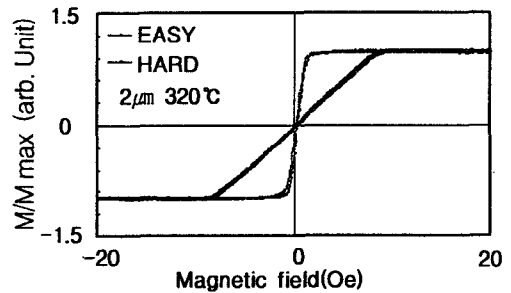


Fig. 1 Instrument for measuring a permeability.

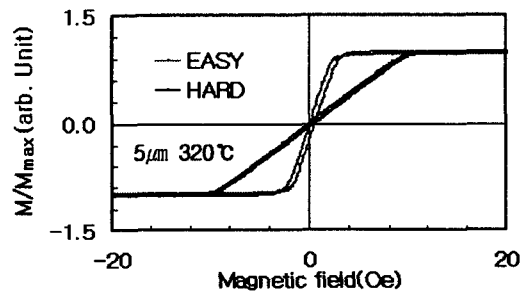
3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 320°C 의 온도에서 열처리한 막의 두께[(a) $2\mu\text{m}$, (b) $5\mu\text{m}$, (c) $10\mu\text{m}$]에 따른 Hysteresis loop를 나타낸 것이다. 회전자장 중 열처리를 행함으로써 성막 시 유도된 이방성을 제거하였으며, 시편을 고정하고 한 방향으로 자장을 인가하면서 열처리를 행함으로써 일축이방성 부여가 가능함을 알 수 있었다.

이때의 이방성 자장(H_k)는 $2\mu\text{m}$ 일 때 7.2Oe, $5\mu\text{m}$ 일 때 7.0Oe, $10\mu\text{m}$ 일 때 6.8Oe, 만큼 증가되었다.



(a) $2\mu\text{m}$



(b) $5\mu\text{m}$

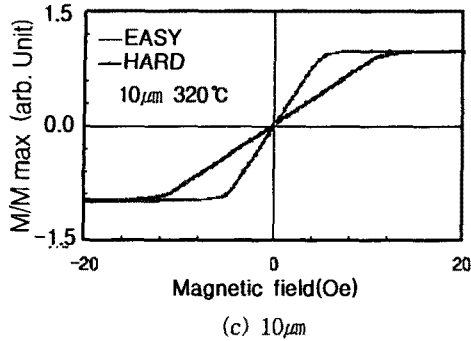


Fig. 2 Hysteresis loop of CoZrNb film by annealing.

320°C의 열처리 온도에서 두께에 따른 투자율의 주파수의존성을 Fig. 3에 나타내고 있다. 표피효과에 의해 투자율(μ')은 두께가 두꺼울수록 감소되었으며 이는 주파수가 높아질수록 급히 감소됨을 볼 수 있다.

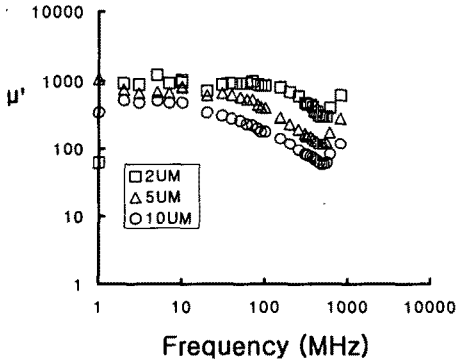


Fig. 3 Frequency dependence of a permeability of CoZrNb film with a thickness.

Fig. 4는 센서 동작의 확인을 위해 직류바이어스 인가 시 두께에 따른 투자율의 변화를 나타낸 것이다. 투자율 값은 이방성 자계(H_k)의 값과 외부자장의 값이 거의 같은 자장의 크기를 가질 때 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 H_k 값에서 자성체의 자기모멘트가 외부 자장방향으로 자기포화 상태가 되므로 투자율 역시 최대값을 가지는 것으로 사료된다.

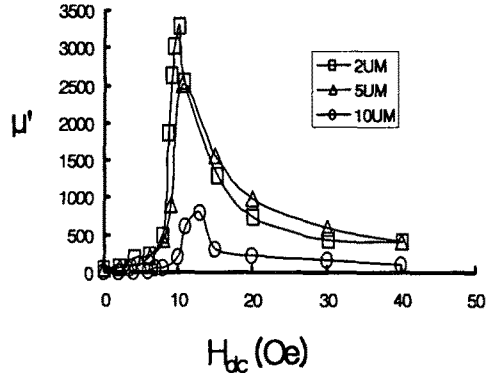


Fig. 4 Permeability of CoZrNb film with external field(H_{dc}).

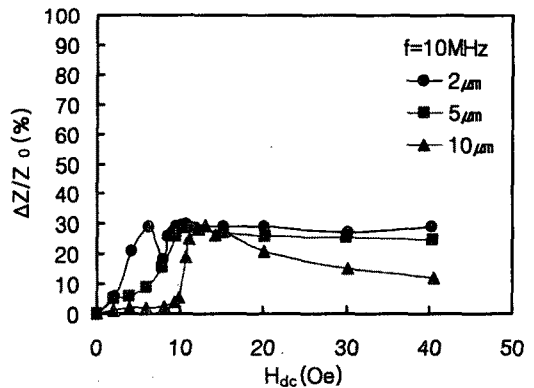
직류자장에 따른 임피던스는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 이때 시편의 전기 저항율(ρ)은 $120 \mu \Omega \cdot \text{cm}$ 이고 폭(w)은 $100 \mu\text{m}$, 길이(l)는 10mm , 함수 $F(H_{dc})$ 는 직류자장 H_{dc} 에 의해 변화하는 투자율의 함수를 나타낸다.

$$Z_i = \frac{\rho l}{\omega t} \cdot F(H_{dc}) \quad \text{식(1)}$$

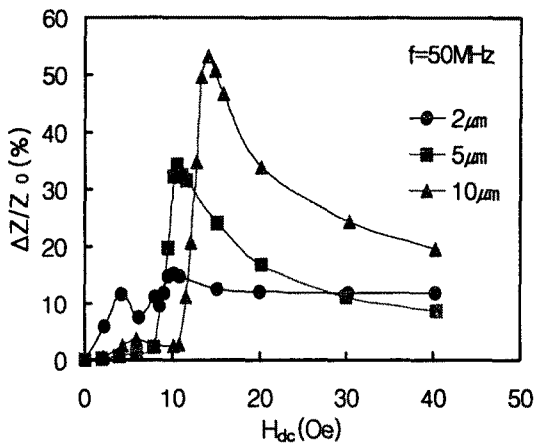
식(1)에 의해 MI 소자의 직류자장에 따른 임피던스를 계산할 수 있고, 이때 비교적 낮은 주파수에서 임피던스의 변화를 확인하기 위해서 식(2)에 의해 계산하였다. 이때 Z_m 은 임피던스의 최대값을 나타내고, Z_0 는 최소값을 나타낸다.

$$\Delta Z = Z_m - Z_0 \quad \text{식(2)}$$

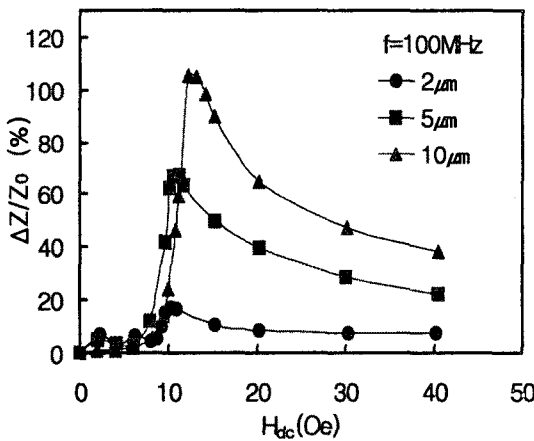
$$\Delta Z / Z_0 (\%) = \Delta Z / Z_0 \times 100$$



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



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



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

Fig. 5 $\Delta Z/Z_0(\%)$ of CoNbZr film with external field(H_{dc}).

Fig. 5는 직류외부자장에 따라 10MHz, 50MHz, 100MHz에서 임피던스의 변화율 ($\Delta Z/Z_0(\%)$)을 나타낸 것이다. $10\mu\text{m}$ 일 때 가장 큰 변화율을 나타내고 있다.

Fig. 5(a)는 구동 주파수가 10MHz일 경우이며, 임피던스 변화율은 $2\mu\text{m}$ 일 때 13%, $5\mu\text{m}$ 일 때 29%, $10\mu\text{m}$ 일 때 30%를 나타내었다. Fig. 5(b)에서는 구동 주파수가 50MHz일 경우인데, 임피던스 변화율이 $2\mu\text{m}$ 일 때 15%, $5\mu\text{m}$ 일 때 34%, $10\mu\text{m}$ 일 때 53%를 나타내었다. Fig. 5(c)가 구동주파수가 100MHz일 때 임피던스의 변화율을 나타낸 것이다. $2\mu\text{m}$ 일 때 임피던스 변화율은 17%이고, $5\mu\text{m}$ 일 때 67%, $10\mu\text{m}$ 일 때 105%를 나타내었다. 따라서 두께가 두꺼울수록 비교

적 낮은 주파수에서도 표피효과에 의한 MI효과가 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이들 결과로부터 두께를 두껍게 함으로써 비교적 낮은 구동 주파수에서도 MI센서로 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서 아몰퍼스 CoZrNb후막을 이용하여 비교적 낮은 구동주파수에서 동작하는 MI센서를 제작하기 위해 박막재료의 장점은 충분히 살리면서 두께를 두껍게 하여 투자율과 임피던스특성을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 투자율은 두께가 두꺼워 짐에 따라 감소하였고, 주파수가 높아질수록 급히 감소되는 경향을 나타내었다.
2. 직류자장에 따른 투자율 변화의 최대값은 증가 되었으나, 두께를 두껍게 할 수록 감소되었다.
3. 센서동작 확인 시 주파수 10MHz, 50MHz, 100MHz에서 두께가 두꺼워질수록 외부자장에 따른 임피던스변화율이 커지는 것을 알 수 있었다.
4. 비교적 낮은 구동주파수에서 MI센서로 사용하기 위하여 CoZrNb 막의 두께를 두껍게 함으로써 응용 가능성을 알 수 있었다.

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

참고 문헌

- [1] L.V. Panina, and K. Mohri, *Appl. Phys. Lett.*, 65, 1189(1994)
- [2] M. Kikuchi, H. Fujimori, Y. Obi, and T. Matsumoto : *Jpn. J. Appl. Phys.*, 13, 1077(1974)
- [3] W. Ku, F. Ge, and J. Zhu, *J. Appl. Phys.*, 28(10), 5050(1997)
- [4] M. Yamaguchi, S. Yabukami and K. I. Arai, *IEEE Trans. Mag.*, 33, 3619(1997)