

CoZrNb막의 두께에 따른 투자율의 변화

Permeability of CoZrNb film with thickness

허 진*, 김 영학**, 신 광호***, 사공 건*

J. Hoe*, Y. H. Kim**, K. H. Shin***, 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 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 thin film with high saturation magnetostriction and excellent soft magnetic property are investigated. In order to make a uniaxial anisotropy, thin film was subjected to post annealing with a static magnetic field with 1kOe intensity at 250, 300, and 320° C for 2 hour. Anisotropy field(H_k) of thin film is measured by using MH loop tracer. Its magnetic permeability of thin film is measured over the frequency range from 1 MHz to 750MHz.

It has shown that the magnetic permeability of amorphous CoZrNb thin film is decreased due to the skin effect with increasing a thickness of CoZrNb thin film, and hence its driving frequency is lowered.

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

1. 서 론

자성체에 고주파 전류를 흘려주면서 직류 바이어스를 인가하면 이 외부자계에 대해 투자율의 변화가 급격히 나타나고 표피효과(Skin effect)에 의해 임피던스가 변화하게 된다. 이 때 시료의 양단에 걸리는 유도전압의 크기가 외부에서 인가되는 자계에 따라 변화하는 현상을 자기 임피던스효과 (Magneto-Impedance Effect, MI)라 한다[1].

외부자계에 대한 임피던스의 민감한 변화를 나타내게 하기 위해서는 외부자계에 대하여 투자율이 민감하게 변화하는 연자성이 우수한 재료가 요구된다.

박막의 $Co_{84.85}Zr_{12}Nb_{3.15}$ 는 자왜가 극히 적은 조성의 아몰퍼스 자성체로 자벽의 움직임을 방해하는 결정 입계가 존재하지 않으며, 연자성 저하의 원인이 되는 결정자기이방성이 존재하지 않으므로 이상적인 연자성체라고 할 수 있고, 비선형성이 극히 작은 우수한 MI센서용 재료라고 할 수 있다[2].

또한 MI센서의 경우 센서의 감도는 자성체의 연자성에 의해 민감하게 변하게 되므로 열처리를 통한 연자성의 개선과 이방성자계의 제어는 중요한 과제이다[3].

자성박막의 자화용이축방향으로 직류 자기여자를 하면 자화는 자기모멘트의 회전에 의해 일어나고 동시에 자화곤란축방향으로 교류여자를 걸어주면 투자율은 바이어스 자계의 증가와 함께 서서히 감소한다. 이 때 고주파에서 MI효과가 나타나지만 민감하게 나타나지는 않는다. 또한 MI센서로의 동작확인을 위하여 자화용이축 방향으로 교류여자, 자화곤란축

* : 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부

Eail : jin7235@zmail.to Fax: 051-200-7743

** : 부경대학교 전기·제어계측공학부

*** : 경성대학교 정보공학부

방향으로 직류바이어스 자계를 인가하여 투자율의 변화를 측정하게 되면 바이어스 자계가 이방성 자계 (H_k)값에서 투자율은 상당히 큰 값을 가지게 되고 표피효과에 의한 MI효과는 아주 크고 민감하게 나타난다.

본 논문에서는 박막의 두께에 따른 투자율의 변화를 살펴보기 위해 RF스퍼터로 제작한 아몰퍼스 CoZrNb박막을 열처리를 하여 일축이방성을 부여하고 각 두께에 따른 이방성자계와 투자율의 변화를 측정하였다.

II. 실험방법

아몰퍼스 박막은 $Co_{84.85}Zr_{12}Nb_{3.15}$ 의 타겟으로부터 기관을 수냉시켜 RF 스퍼터에 의해 제작하였다. 성막은 glass기판 위에 먼저 Cr을 성막하고 그 위에 CoZrNb를 성막하였다. 스퍼터조건은 Cr의 경우, 투입전력이 50W, Ar gas압이 10×10^{-3} Torr, 스퍼터링 시간은 2분이었다. 이 조건으로 제작되는 Cr의 두께는 500 Å이었다. CoZrNb의 경우는 투입전력이 150W, Ar gas압은 1×10^{-3} Torr, 시간은 32분, 80분, 160분으로 변화시켰다. 제작된 막의 크기는 지름이 18mm인 원형이며, 두께는 각각 $2\mu m$, $5\mu m$, $10\mu m$ 이었다. 이때 스퍼터 직전의 진공도는 5×10^{-7} Torr 이하였다. 성막 시 지지계 등으로 유도되는 불필요한 이방성을 지우기 위해 $320^\circ C$ 의 열처리온도에서 1kOe의 자장 중 시편을 30rpm으로 회전시켜 120분 동안 회전자장 중 진공열처리를 하였다. 일축이방성을 부여하기 위한 열처리는 1kOe의 자장 중에 시료를 고정시켜 열처리 온도를 $250^\circ C$, $300^\circ C$, $320^\circ C$ 로 변화시켰으며 이때 열처리 시간은 각 온도에서 120분으로 고정하였다.

박막의 자기특성치는 M-H loop Tracer로 자기이력곡선을 얻었으며 이 곡선으로부터 박막의 H_k 를 측정하였다. 박막의 투자율은 1MHz-750MHz의 측정범위를 가지는 투자율 측정장치[4]를 이용하여 측정하였다.

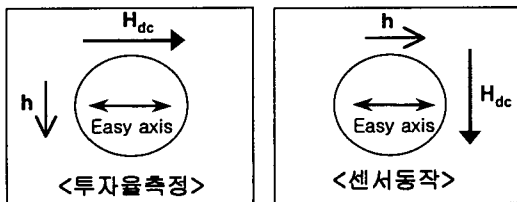
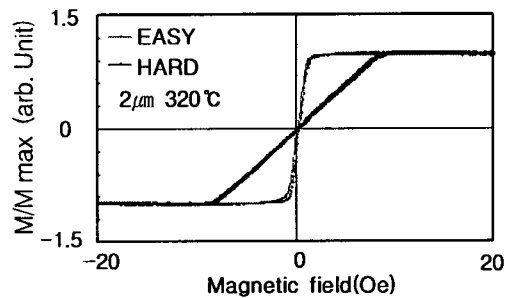


Fig. 1 Schematic presentation for measuring a permeability

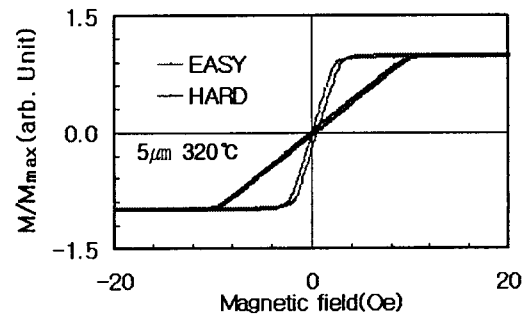
Fig. 1은 투자율 측정방법을 나타낸 개략도이다. 투자율 측정은 자화곤란측방향으로 교류여자, 자화용이측방향으로 직류바이어스를 인가하여 측정하였다. 투자율을 측정하는 이유는 측정오차 및, 반자장, 와전류에 의한 손실에 의한 투자율의 감소를 보정하기 위해 측정을 하고, MI센서의 동작을 확인하기 위해 자화용이측방향으로 교류여자, 자화곤란측방향으로 직류 바이어스를 인가하여 투자율을 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 $320^\circ C$ 의 온도에서 열처리한 막의 두께[(a) $2\mu m$, (b) $5\mu m$, (c) $10\mu m$]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.



(a)



(b)

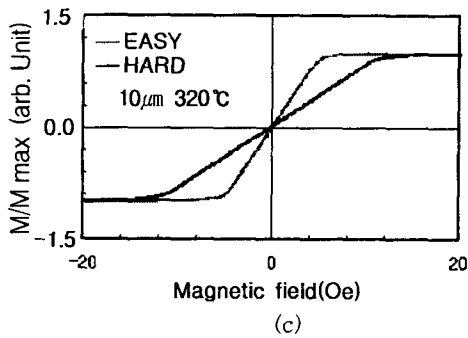


Fig. 2 Hysteresis loop of CoZrNb film by annealing.

Fig. 3에 열처리 온도 및 두께변화에 따른 이방성 자장(H_k)을 나타내었다. $2\mu\text{m}$ 일 때 열처리온도의 증가 (250°C , 300°C , 320°C)에 따라 H_k 는 1.50e , 4.60e , 7.20e 만큼 증가되었다. $5\mu\text{m}$ 일 때 열처리온도의 증가에 따라 1.30e , 4.80e , 7.00e 로 증가되었으며 $10\mu\text{m}$ 일 때 0.80e , 4.70e , 6.80e , 만큼 증가되었다.

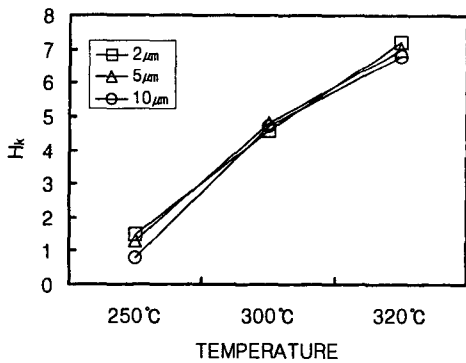
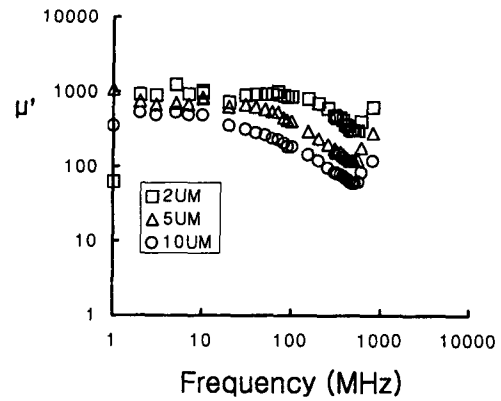
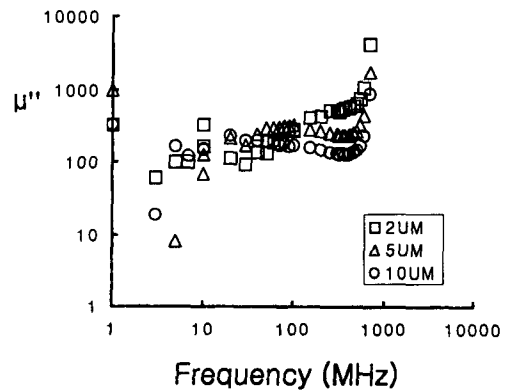


Fig. 3 Anisotropy field(H_k) with annealing temperature and thickness..

320°C 의 열처리 온도에서 두께에 따른 투자율의 주파수 의존성을 Fig. 4에 나타내고 있다. Fig. 4(a)는 투자율(μ')의 실수부를 나타내고 Fig. 4(b)는 투자율의 허수부(μ'')를 나타낸다. 표피효과에 의해 투자율(μ')은 두께가 두꺼울수록 감소되었으며 이는 주파수가 높아질수록 급히 감소됨을 볼 수 있다. 투자율의 허수부(μ'')는 박막시료의 와전류 손실 및 반자장 등에 의한 손실분을 나타낸다.



(a)



(b)

Fig. 4 Frequency dependence of the permeability of CoZrNb film with thickness.

Fig. 5은 열처리 온도 및 두께에 따른 투자율의 변화를 나타내었다. $2\mu\text{m}$ 일 때 열처리온도의 증가(250°C , 300°C , 320°C)에 따라 투자율(μ')은 1903 , 1161 , 944 만큼 감소되었다. $5\mu\text{m}$ 일 때 열처리온도의 증가에 따라 1273 , 961 , 934 로 감소되었으며 $10\mu\text{m}$ 일 때 622 , 513 , 509 만큼 감소되었다. 이는 열처리온도의 증가와 함께 이방성 자장이 증가하면서 투자율이 감소된 것으로 생각된다.

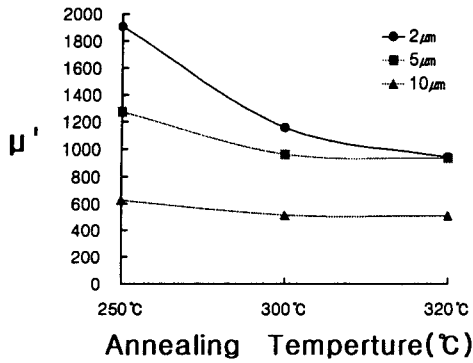


Fig. 5 Permeability of CoZrNb film with annealing temperature.

Fig. 6은 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.

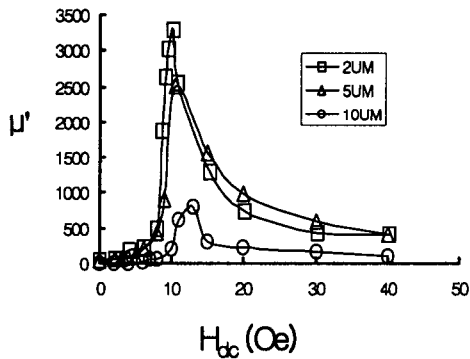


Fig. 6 Permeability of CoZrNb film with external field(H_{dc}).

Fig. 7은 열처리 온도에 따른 $\frac{\Delta\mu}{\Delta H}|_{max}$ 를 계산한 값을 두께별로 나타내었다. 열처리온도의 증가에 따라 $\frac{\Delta\mu}{\Delta H}|_{max}$ 는 증가되었으며 열처리온도 320°C에서 가장 좋은 특성을 나타내었다. 박막의 두께가 2μm일 때 944, 5μm일 때 934, 10μm에서는 509의 값을 나타내었다. 두께가 두꺼울수록 $\frac{\Delta\mu}{\Delta H}|_{max}$ 은 감소되었다. 표피효과에 의한 MI효과가 나타나고 있어 낮은 구동주파수에서 MI센서로 동작시킬 수 있을 것으로 기대된다.

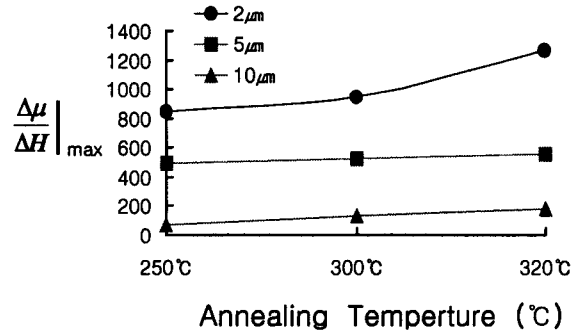


Fig. 7 $\Delta\mu / \Delta H$ with annealing temperature.

IV. 결 론

낮은 구동주파수에서 구동되는 MI센서의 제작을 목표로 이방성 아몰퍼스 CoZrNb막의 두께에 따른 투자율의 변화를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 표피 효과에 의해 투자율(μ')은 두께가 두꺼울수록 감소되었으며, 주파수가 높아질수록 급히 감소되었다.
2. 센서동작 확인 시 $\frac{\Delta\mu}{\Delta H}|_{max}$ 는 열처리온도의 증가와 함께 증가되었으며 320°C의 열처리온도에서 가장 좋은 특성을 나타내었다. 박막의 두께가 2μm일 때 944, 5μm일 때 934, 10μm에서는 509의 값을 나타내었다.
3. 두께가 두꺼울수록 표피효과에 의한 MI효과가 감소되고 있어, 낮은 구동주파수에서 MI센서로 동작되기 위해서는 더 많은 연구가 지속되어야 할 것이다.

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)