

마이크로 자기탄성스트레인센서의 고감도화

Improvement of Sensitivity in Micro Magnetoelastic Strain Sensors

신광호*, 허진**, 최현일**, 김영학***, 사공건**

(K.H. Shin*, J. Hur**, H.I. Choi**, Y.H. Kim***, G. Sa-Gong**)

Abstract

Recently we have reported that the meander-patterned amorphous FeCoSiB films exhibit large change in their high frequency impedance by applying a strain, suggesting that the films are very attractive for making of a highly sensitive strain sensor elements. In this study, the effect of anisotropy on a change in the impedance of sputtered amorphous film patterns was investigated in the frequency range from 1MHz to 1GHz. As a function of applied strains, the high frequency impedance was extremely changed in the case of film patterns with transverse anisotropy due to excellent magnetomechanical coupling properties. As a summary, the maximum figure of merit F has measured about 2600 in the case of transverse anisotropy, and about 500 in the case of longitudinal anisotropy at 500 MHz. These values of F are approximately more than 1000 times higher than that of a conventional metal strain gauge ($F \approx 2$) and more than 10 times higher than that of a semiconductor gauge ($F \approx 200$).

Key Words : Magnetoelastic strain sensor, Anisotropy, High frequency, Figure of merit

1. 서 론

최근, 미소가공한 철계의 고자왜 아몰퍼스박막 패턴의 고주파임피던스가 스트레인에 의해 민감하게 변화한다는 결과와 이 효과를 이용하여 구성된 마이크로 자기탄성 스트레인센서(Micro Magneto-elastic Strain Sensor)가 반도체스트레인센서에 비하여 10배이상의 고감도특성을 나타낸다는 결과가

Shin 등에 의해 보고되고 있다[1-5]. 자기탄성 스트레인센서는 자기기계결합계수(Magneto-mechanical coupling factor)가 큰 아몰퍼스박막에 스트레인이 가해지면 자화(Magnetization)상태의 변화, 즉 투자율의 변화가 일어나고, 이 때 고주파의 전류를 통전시키면 표피효과(Skin effect)가 투자율에 의존하여 나타나므로 스트레인에 의존하는 출력전압을 얻을 수 있다는 기구(Mechanism)를 이용하는 센서이다. 자기탄성 스트레인센서는, 자왜가 커고 연자성이 우수한 박막의 자화가 자기탄성결합(Magneto-elastic coupling)을 통하여 스트레인에 민감하게 변화하는 현상을 이용하는 것이므로, 박막의 자기이방성(Magnetic anisotropy)상태는 센서의 특성상 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 1MHz에서 1GHz까지의 주파수영역에서 아몰퍼스박막의 고주파임피던스를 박막의 자기이방성상태에 따라서 분석함으로써, 자기이방성이 센서의 스트레인감도에

* : 경성대학교 정보과학부
(부산시 대연동 110-1 경성대학교 정보과학부,
전화 : 051-620-4353, Fax: 051-620-4352,
E-mail : khshin@star.kyungsung.ac.kr)

** : 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부

*** : 부경대학교 전기전자계측공학부

미치는 영향에 대하여 검토하였다.

II. 실험방법

본 연구에서는 $(\text{Fe}_{90}\text{Co}_{10})_{78}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ 의 조성을 가지는 철계 아몰퍼스 자성박막을 이용하였다. 박막은 RF스파터링을 이용하여 0.2mm 두께의 실리콘기판에 5 μm 두께로 성막하였고, 성막시 발생한 잔류응력과 자기이방성을 해소하기 위해서 500Oe의 회전자계(60rpm)중에서 350 $^{\circ}\text{C}$ 로 1시간동안 열처리하였다. 박막은 자기이방성평가용으로 포토리소그래피와 이온밀링을 이용하여 길이 3mm, 폭 200 μm 의 패턴으로 미소가공하였고, 센서특성평가용으로 길이 3mm, 폭 200 μm , 7 turn의 미안더패턴으로 미소가공하였다. 센서특성평가용으로 미안더패턴을 채택한 것은 이 구조에서 소자의 인덕턴스/임피던스의 절대치가 작아 지므로 상대적인 변화량, 즉 스트레인에 대한 효과가 크게 나타나기 때문이다. 박막을 미소가공한 후, 박막은 이방성을 부여하기 위해서 500Oe의 정자계중에서 열처리하였다.

정자계중에서의 열처리방법은 두가지로 수행하였다. 첫 번째 방법은 진공 중에서 정자계를 인가하면서 실시하였고, 두 번째 방법은 정자계를 인가함과 동시에 박막에 스트레인을 인가하여 실시하였다. 그림 1은 스트레인을 이용한 열처리에 사용한 시편홀더를 개략적으로 나타낸 것이다. 박막이 성막된 실리콘기판을, 그림 1과 같은, 시편홀더로 미소하게 굴곡(Bending)시켜서 열처리를 수행한 후, 기판을 원래의 상태로 되돌리면 박막에는 기판을 굴곡시켜서 발생한 만큼의 스트레인/스트레스가 바이어스로 인가되게 된다. 이러한 바이어스 스트레인을 이용하여 박막의 이방성을 제어할 수 있는 것이다. 기판의

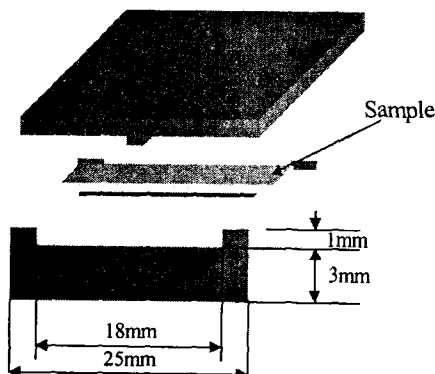


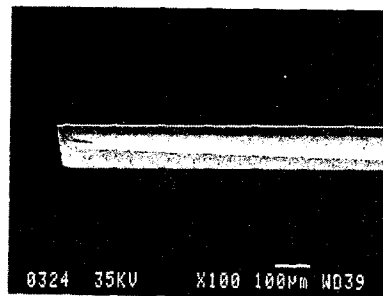
Fig. 1 Sample holder for stress annealing.

굴곡은 18mm의 기판에 대하여 50 μm 로 하였고, 이때의 스트레인은 약 600ppm이었다. 이러한 바이어스 스트레인으로 인하여 박막에는, 자기탄성결합을 통하여, 패턴의 폭방향으로 자화용이축이 유도된다. 열처리온도는 350 $^{\circ}\text{C}$, 열처리시간은 1시간이었으며, 자계의 인가방향은 박막패턴의 폭방향이었다. 열처리중 박막의 폭방향으로 자계를 인가한 것은 박막패턴의 자화용이축이 폭방향으로 정의되어 있는 경우, 가장 높은 자기기계결합특성을 나타내기 때문이다.

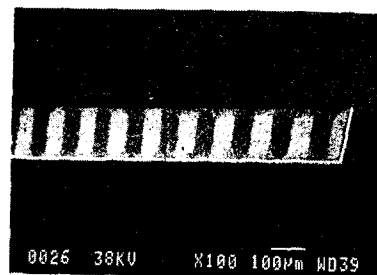
박막의 자기이방성을 확인하기 위하여 주사형 전자현미경(SEM; Scanning Electron Microscope)을 이용하여 자기도메인의 구조를 확인하였다. 스트레인에 의한 고주파임피던스의 변화는 1MHz에서 1GHz의 영역에서 Network Analyzer를 이용하여 측정하였다.

III. 측정결과

그림 2는 정자계중에서 열처리한 시편(a)과 스트레스를 이용한 열처리를 실시한 시편(b)의 도메인구조를 나타낸 것이다.



(a)



(b)

Fig. 2. Magnetic domain of patterned films annealed (a): in static magnetic field and annealed (b): with induced stress.

Fig. 2에서 알 수 있듯이, 정자계중에서 열처리를 실시한 경우 2(a)에는 박막패턴의 폭방향으로 자계를 인가하면서 열처리를 하였음에도 불구하고 길이 방향으로 자화용이축이 유도되어 있다. 이것은 박막의 두께가 비교적 두꺼우므로 패턴의 폭방향으로의 반자계가 크다는 사실과 Fe계 아몰퍼스자성체의 유도자기이방성이 작다는 것이 주된 원인이라고 판단된다. 그림 2(a)의 경우, 박막패턴의 폭방향으로 자화용이축이 정렬되어 있음을 알 수 있다. 이 경우, 자기이방성은 바이어스 스트레인에 의해 발생한 자기탄성 에너지(Magnetoelastic energy) $E_s=3/2 \epsilon E_{\lambda s}$ ($\approx 3.4 \times 10^3 \text{N/m}$)에 의해 제어되고 있다. 여기서, E 와 λs 는 각각 박막의 탄성율과 포화자왜이며, ϵ 은 기판을 굴곡시킴으로써 박막내부에 발생된 스트레인이다. 박막의 자화회전에 의해서 고주파임피던스의 변화가 나타나므로, 그림 2(b)와 같은 자기적 구조를 가지고 있는 경우에는 압축성 스트레인보다 인장성 스트레인에 의해서 보다 민감한 임피던스의 변화를 나타낼 것으로 생각된다.

그림 3은 미안더패턴으로 가공한 박막에 인가된 스트레인에 의한 임피던스의 변화를 나타낸 것으로, 박막패턴의 길이방향으로 자화용이축이 형성된 경우 3(a)와 박막패턴의 폭방향으로 자화용이축이 형성된 경우 3(b)를 비교하여 나타낸 것이다. 박막에 대한 스트레인은 박막이 성막된 기판을 마이크로미터를 이용하여 굴곡시킴으로써 인가하였다. 그림 2에서 알 수 있듯이, 특히 자화용이축을 박막패턴의 폭방향으로 유도한 경우 3(b), 500MHz의 구동주파수에서 약 400ppm의 인가 스트레인에 대하여 약 110%의 매우 민감한 임피던스변화율($\Delta Z/Z_0 = (|Z_0| - |Z_\epsilon|)/|Z_0|$; Z_ϵ 와 Z_0 는 각각 스트레인을 인가한 경우와 인가하지 않은 경우의 임피던스)을 나타내었다. 같은 양의 스트레인에 대하여 길이방향으로 자가용이축이 유도된 경우(b)에 약 25%의 임피던스 변화율을 나타내는 것을 고려하면, 박막패턴의 자기이방성을 제어함으로써 센서를 고감도화할 수 있다는 사실을 알 수 있다. 그림 3에서 나타낸 스트레인에 의한 임피던스의 변화로부터 스트레인검출에서의 성능지수(Figure of merit) F 를 산출할 수가 있다($F=(\Delta Z/Z_0)/\epsilon$). 500MHz의 구동주파수에서 성능지수를 평가한 결과, 그림 3(a)와 같이 자화용이축을 박막패턴의 길이방향으로 유도한 경우, 최대 성능지수는 약 500을 나타내었고, 그림 3(b)와 같이 박막패턴의 폭방향으로 자화용이축을 형성한 경우, 최대 성능지수는 약 2600을 나타내었다. 이 값은 고감도의 스트레인센서로 알려진 반도체 스트레인센

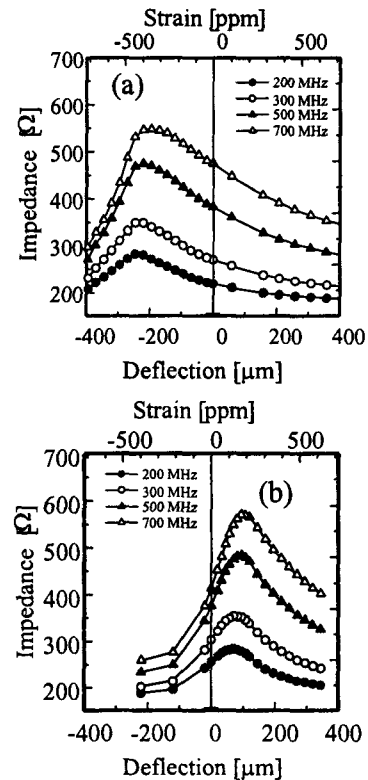


Fig. 3 Impedance change by deflection and/or strain
(a) longitudinal anisotropy,
(b) transverse anisotropy.

서에 비하여 10배이상의 높은 것으로, 자기이방성이 제어된 자기탄성 스트레인센서가 극히 높은 감도를 가진다는 사실을 증명해 준다.

IV. 결론

아몰포스 FeCoSiB 고자왜박막에 기계적인 스트레인을 인가하고, 스트레인에 의한 임피던스변화로부터 스트레인 검출능력을 나타내는 성능지수를 조사하였다.

1. 자왜박막의 스트레인 검출능력을 나타내는 성능지수는 정자계중에서 열처리를 실시하여 박막패턴의 자기이방성을 제어함으로써 센서를 고감도화할 수 있음을 확인하였다.
2. 최대 성능지수 $F=(\Delta Z/Z_0)/\epsilon$ 는 500MHz의 구동주파수에서 자화용이축을 박막패턴의 길이방향

으로 유도한 경우 약 500을 나타내었고, 박막패턴의 폭방향으로 형성한 경우, 약 2600을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] K. H. Shin, M. Inoue, and K. I. Arai, *Smart Mater. Struct.*, **9** (2000) 357.
- [2] K. H. Shin, M. Inoue, and K. I. Arai, *The Transaction of the Institute of Electrical Engineers of Japan*, **120-A**(3), (2000) 295.
- [3] K. H. Shin, M. Inoue, and K. I. Arai, *J. Appl. Phys.*, **85**(8), (1999) 5465.
- [4] K. H. Shin, M. Inoue, and K. I. Arai, *J. Magn. Soc. Japan*, **23**(4-2), (1999) 1425.
- [5] K. Imamura, K. H. Shin, M. Inoue, and K. I. Arai, *J. Magn. Soc. Japan*, **24**(4-2), (2000) 751.