

FeCoSiB계 아몰퍼스 자성박막의 자기-임피던스 효과

신용진* · 소대화* · 김현욱* · 김대주* · 서강수**

*명지대학교 공과대학 전기전자공학부

**생산기술연구원, 산업기술교육센터

Magneto-Impedance Effect of FeCoSiB Amorphous Magnetic Films

Yong-Jin Shin*, Dae-Hwa Soh*, Hyen-Ug Kim*, Dae-ju Kim* and Kang-Soo Seo**

*Dept. of Electric & Electronic Engineering, Myong-ji University, Yongin, 449-728

**Korea Institute of Industrial Technology, Training Center, Seoul, 153-023

(1997년 6월 25일 받음, 1998년 1월 16일 최종수정본 받음.)

초 록 본 논문은 FeCoSiB계 아몰퍼스 자성박막의 주파수에 따른 자기 임피던스(MI) 효과에 관하여 조사한 것이다. 영자왜를 갖는 아몰퍼스 자성박막은 고주파 스파터링법에 의하여 제작하였으며, 자체중 열처리를 행하였다.

제작된 자성박막에 직접 외부자계를 인가했을 때, 자성박막의 양단간의 전압진폭은 120[MHz]에서 약 76.2%의 변화를 보였으며, 임피던스는 2.1%/Oe의 변화가 나타났다. 따라서, 제작한 자성박막은 센서소자로서의 가능성을 갖고 있음을 확인하였다.

Abstract In this paper, we investigate the magneto-impedance(MI) effect of the FeCoSiB amorphous magnetic films. The amorphous magnetic film having near zero magnetostriction is fabricated by using the sputtering method, and then annealed in magnetic field.

When the external magnetic field is directly applied to the fabricated film, the voltage amplitude between both side of the magnetic film varies about 76.2% at 120[MHz] and the impedance varies about 2.1%/Oe. Thus, we find that the fabricated magnetic film has the characteristics of good sensor element.

1. 서 론

자성박막은 1955년에 Blois가 Fe-Ni중착막에 관해서 컴퓨터 메모리(Computer Memory)에의 유용성을 제안한 이래, 많은 연구자에 의해서 연구가 되어 왔다. 그런데 그 대다수가 Fe-Ni를 주로한 퍼말로이(permalloy)에 관한 것이었으며, 응용으로서는 메모리소자를 목적으로 한 것이 많았다. 최근에 이르러서는 광자기메모리용의 MnBi막이나 MnAlGe, EuO자기바블용의 자기가아넷(garnet)막 등 흥미 있는 것이 발표되고 있는데, 이들은 퍼말로이 박막에 관해서 얻어진 기술을 바탕으로 하여 발전된 것이다.¹⁾

아몰퍼스금속은 고강인, 고경도, 및 고탄성이면서, 전기 저항율이 높고, 초전도성을 가지며, 결정자기이방성이 존재하지 않는 고투자율의 연자성재료이다. 그리고 저철손이고, 자왜가 현저하다는 등의 여러 가지의 특성을 가지고 있다. 이들 성질은 고밀도기록을 할 수 있는 메모리재료, 저손실을 실현할 수 있는 트랜스재료, 고성능자기헤드 등의 응용 연구가 활발히 진행되어, 그 일부가 이미 실용화 되어 있다.²⁾

아몰퍼스합금의 제작법으로는 진공증착법, 화학기상반응법, 도금법, 액체급냉법 및 스파터(sputter)법 등이 있으며, 분말, 와이어, 박대 및 박막 등의 형상으로서 제작되고 있다.³⁾

한편, 아몰퍼스 재료는 최근 자기저항(MR) 효과와 자기 임피던스(MI) 효과 등에 관한 연구가 활발해지면서, 각종 고감도 자기센서로서의 우수성이 발표되고 있다.^{4~9)}

따라서, 본 연구에서는 위치제어를 위한 정밀계측 자기센서 개발을 위하여 영자왜재에 가까운 $Fe_{52}Co_{73.8}Si_{2.0}B_{19.0}$ 의 아몰퍼스 박막을 제작하고, 자체중 열처리를 행한 후, 그 자기 임피던스(MI) 효과를 조사연구한 후, 센서소자로서의 가능성을 확인한 것이다.

2. 실험 방법

1. 박막의 제작

아몰퍼스 박막은 마그네트론 스파터장치(ANELVA, SPF-332H)를 사용하여 제작하였다.

스파터링할 때의 주파수는 13.56[MHz]이었고, 챔버 내의 가스는 고순도의 Ar가스(순도 99.995%)를 사용하였다. 그리고, 타겟의 조성은 영자왜재에 가까운 $Fe_{52}Co_{73.8}Si_{2.0}B_{19.0}$ 를 사용하였으며, 18×18[mm] 크기의 유리관상에 두께 1~4[μm], 직경 14[mm·φ]의 원형으로 시료를 제작하였다. 스파터링 시간은 20[min]과 30[min]으로 일정하게 하였다. 그리고 예비 스파터는 15[min] 이상, Ar가스 주입점의 챔버(chamber) 진공도는 2×10^{-6} [Torr] 이하로 하고, 입력전력은 400[W]로 일정하게 하여 스파터링을 하였다. 표 1은 본 연구에서 제작한 박막시료의 스파터링 조

Table 1. Sputtering conditions for thin film fabrication.

contents	conditions
Vacuum	$1.8 \sim 2.2 \times 10^{-6}$ [Torr]
RF power	150~450 [W]
Pre-sputtering	5~10 [min]
Main-sputtering	1~20 [min]
Temperature	18~24 [°C]
Ar gas pressure	5.8~6.8 [mTorr]

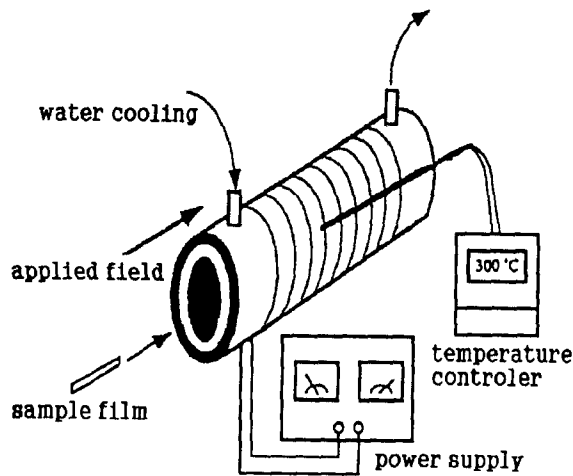


Fig. 1. Configuration of magnetic field annealing furnace.

전이다.

그리고, 박막제작시 내부에 가해지는 응력을 완화하고, 또, 자기이방성을 유도하기 위해서, 약 150 [Oe]의 자계중에서, 결정화온도 ($T_c = 350^\circ\text{C}$)를 넘지 않는 범위 내인 280 °C에서 열처리를 행하였다. 그림 1은 자계중 열처리로의 개략도를 나타낸 것이다.

2. 측정방법

그림 2는 자기 임피던스(MI) 효과를 측정하기 위한 개략도를 나타낸 것으로서, 고주파원을 이용하여 전류 i_{ac} 를 박막시료에 흘리고, 열처리시 자계의 인가방향으로 자계 H_{ex} 를 인가하여 박막양단간에 걸리는 전압 e 의 진폭 E_f 를 오실로스코프(HP-54600B, 100MHz)로 측정한다. 임피던스의 크기 $|Z| = E_f/I$ 를 구하였다. 그리고, 임피던스의 변화율은 다음 식⁹⁾으로부터 구하였다.

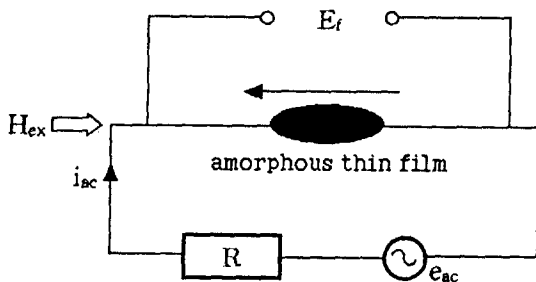


Fig. 2. Measuring circuit for MI effect.

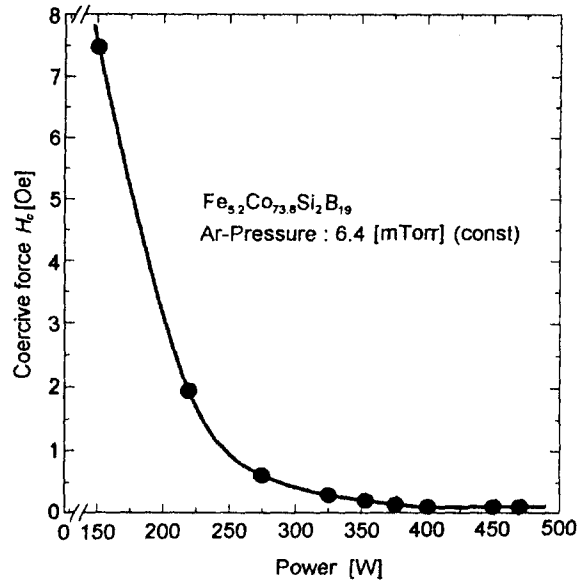


Fig. 3. Relation of input power vs. coercive force.

$$\frac{\Delta Z_{H_c}}{Z_{H_c(0)}} = \frac{Z_{H_c} - Z_{H_c(0)}}{Z_{H_c(0)}}$$

여기서, Z_{H_c} 는 외부자계를 인가했을 때의 임피던스, $Z_{H_c(0)}$ 는 외부자계를 인가하지 않았을 때의 임피던스이다.

3. 실험 및 결과

그림 3은 Ar가스의 압력을 6.4 [mTorr]로 일정하게 유지했을 때의 입력전압과 보자력과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 입력전력 200 [W] 전후에서 보자력 H_c 가 급격히 감소하였으며, 즉, 그 이상의 입력에서는 그 감소가 미약하고 거의 안정 상태를 유지하였다. 이것은 낮은 전력에서는 Ar분자의 가속이 충분하지 못하여, 타겟의 구성원소가 균일하게 스퍼터되지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

그리고, 아몰퍼스 자성체의 보자력 H_c 는 0.1 [Oe]이하로서 작기때문에,¹¹⁾ 그림 3으로부터 알 수 있는 바와 같이, Ar가스압력 6.4 [mTorr]에서의 박막의 제작조건은 입력전력 400~470 [W]라는 사실을 알 수 있으며, 가장 낮은 보자력은 입력전력 400 [W]에서 약 0.084 [Oe]이었다.

그림 4는 열처리한 시료에 흘린 각각의 전류에 대한 임피던스 변화율 $\Delta|Z|/|Z|$ 와 주파수 f 와의 관계를 나타낸 것이다. 시료의 두께는 4 [μm]이고, 외부자계는 10 [Oe]를 인가하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 1 [MHz] 이하에서는 임피던스 변화율이 작고, 거의변화가 없으나, 그 이상에서부터 10 [MHz]까지 약 21%로 급격히 상승하다가 10 [MHz]를 기점으로 급격히 감소하였다. 임피던스 변화율의 급격한 증가는 표피효과에 의한 것으로 생각되며, 10 [MHz]부터의 감소는 고주파영역에서의 투자율의 감소에 의한 것으로 생각된다.¹⁰⁾

그림 5는 열처리한 시료에 직접 전류를 흘리고, 외부자계

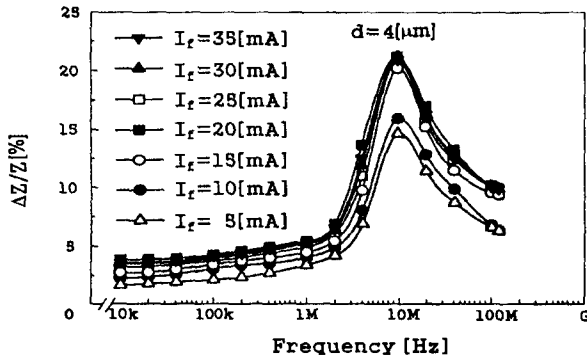


Fig. 4. Frequency dependence of MI on the current ($H_{ex} = 10$ [Oe]).

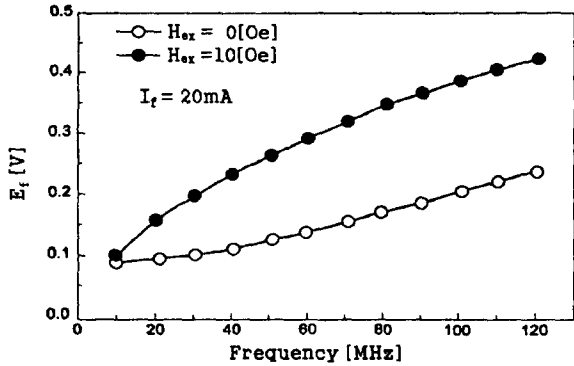


Fig. 5. Change of E_f by frequencies.

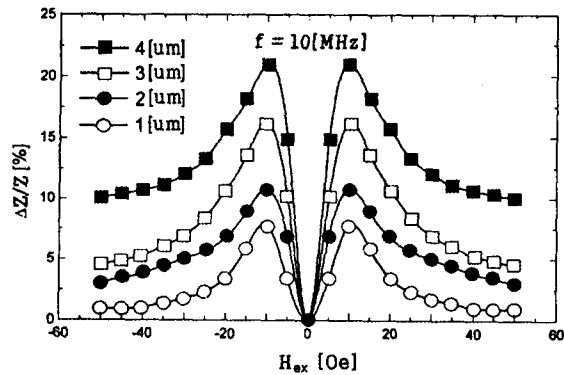


Fig. 6. Relation of impedance changing rate to magnetic field H_{ex} .

H_{ex} 를 가하지 않았을 때와 10 [Oe]를 인가했을 때의 박막 양단에 발생하는 전압진폭 E_f 와 주파수 f 와의 관계를 나타낸 것이며, I_f 는 20 [mA]로 하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, E_f 는 주파수의 상승에 따라 증가하였으며, 입력전류 120 [MHz]에서는 약 76.2%의 변화가 나타났다. 이는 고주파 자계에 의한 자화벡터의 회전이 급격히 발생하여, 투자율이 커지기 때문인 것으로 생각된다.

그림 6은 시료박막의 MI효과, 즉, $(\Delta |Z| / |Z| - H_{ex})$ 특성을 나타낸 것으로서, 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이, $|Z|$ 는 인가자계 H_{ex} 와 함께 증가하다가 감소하는,

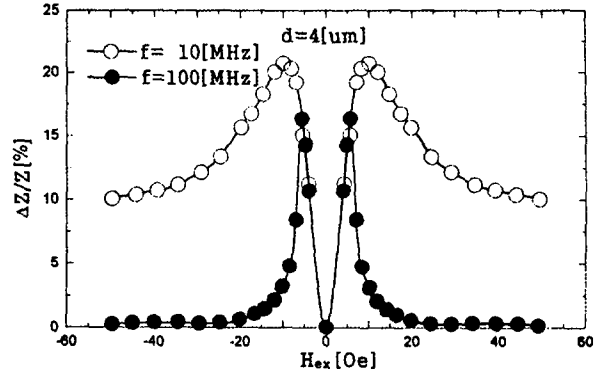


Fig. 7. Relation of $\Delta Z/Z - H_{ex}$ ($I_f = 20$ [mA]).

즉, 뚜렷한 쌍봉특성을 나타내고 있다. 보고^{3,11)}에 의하면 이방성 자계를 H_k 라고 하면, 회전자화에 의한 투자율 μ_{rot} 는 $H_{ex} < H_k$ 에서는 H_{ex} 와 함께 증가하며, $H_{ex} < H_k$ 에서 최대치를 나타내고, $H_{ex} > H_k$ 에서는 H_{ex} 와 함께 감소하게 된다. 또 자벽이동에 의한 μ_{rot} 는 H_{ex} 와 함께 단조롭게 감소하는데, $|Z|$ 의 변화는 μ_{rot} 의 변화에 대응하고 있는 것으로 생각된다. 그 원인으로서 박막 내의 자계가 고주파이기 때문에, 또는, 자구구조가 단자구상태에 가깝다는 사실을 생각할 수 있으며, $d = 4 \mu\text{m}$ 에서 가장 큰 변화율(21%)을 나타내었다.

그림 7은 여자주파수가 10 [MHz]와, 100 [MHz]일때의 외부자계와 임피던스 변화율의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 임피던스 변화율의 최대치는 여자주파수 10 [MHz]에서 나타났다. 이는 고주파영역에서의 자성박막의 고주파 손실에 의한 투자율의 저하 때문인 것으로 생각되며, 10 [MHz]에서 2.1%/Oe, 100MHz에서 1.5%/Oe의 변화율을 나타내고 있다.

4. 결 론

이상과 같이, 아몰퍼스 자성박막을 제작하여 그 자기 임피던스(MI)효과에 대하여 조사 연구한 결과를 정리하면, 다음과 같다.

- 1) 아몰퍼스 시료 박막의 가장 낮은 보자력은 입력전력 400 [W]에서 약 0.084 [Oe]이었다.
 - 2) 박막에 직접통전하면서 전류와 외부자계를 인가했을 때, 전압진폭은 120 [MHz]에서 약 76.2%의 변화를 나타내었다.
 - 3) 임피던스의 변화율은 박막두께 4 [μm], 여자주파수 10 [MHz] 및 외부자계 10 [Oe]에서 최대가 나타났으며, 그 변화율은 2.1%/Oe이었다.
- 따라서, 영자왜 아몰퍼스 자성박막의 MI소자로서의 이용 가능성을 갖추고 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 '96대학부설 연구소과제 지원에 의하여 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

1. 飯田修一 外 6名 ; 磁性薄膜工學, 丸善出版社, (1977)
2. 増本 健 外 1人 ; アモルファ스合金, アグネ, (1984)
3. 千田正勝 外 4人 ; “磁氣-인피-던스效果を用いた薄膜磁氣センサの基礎特性”, 日本應用磁氣學會誌, **19**, (1), 465 (1995)
4. 内山 剛 外 3人 ; “アモルファ스スパッタ膜の磁氣-인피-던스效果と磁氣センサ”, 電學論A, **115**, (10), 949 (1995)
5. 山崎二郎 ; “アモルファ스磁性 のセンシング機能”, 日本應用磁氣學會誌, **16**, (1), 14 (1992)
6. 毛利桂年雄 外 3人 ; “アモルファ스スパッタ膜の磁氣-인피-던스效果”, 日本應用磁氣學會誌, **19**, (2), 481 (1995)
7. K.Mohri ; “Re-entrant Magnetic Flux Reversal in Amorphous Wires”, IEEE Trans. Magn., MAG-20, 942 (1984)
8. J.Yamasaki et ; “Anisotropy Pinning of Domain Walls in a Soft Amorphous Magnetic Materials”, IEEE Trans., Magn., **27**, (4), 3678 (1991)
9. M.Takajo et ; “Mechanism of Re-entrant Flux Reversal in Fe-Si-B Amorphous Wires”, IEEE Trans., Magn., **29**, (6), 2545 (1993)
10. K.Kawashima et ; “Magneto-Inductive Effect in Tension-Annealed Amorphous Wires and MI13741 Sensors”, IEEE Trans., Magn., **29**, (6), 3168 (1993)
11. 竹澤昌晃 外 6人 ; “LC共振を利用した高感度 薄膜磁氣センサの可能性”, 日本應用磁氣學會誌, **21**, 661 (1997)