

CoFeSiBNi 아몰퍼스 합금의 소자 크기에 대한 자기-임피던스 효과 관찰

박병규^{**}, 황성우^{**}, 문성욱^{*}
한국과학기술연구원^{*}, 고려대학교^{**}

Magneto-Impedance Effect of CoFeSiBNi Amorphous Magnetic Films according to the size

Byung-kyu Park^{**}, Sung-woo Hwang^{**}, Sung Moon^{*}
KIST^{*}, KOREA University^{**}

Abstract : Soft ferromagnetic materials are very useful for many sensors using magnetic materials with high permeability, low coercivity and low hysteresis loss. Among them, FeCoSiBNi amorphous magnetic films show us a good impedance change(about 3.05%/Oe, at 12MHz) by the exterior magnetic field in this experiment. These are produced by rapid solidification from the melt and the material is ejected in a jet from a nozzle and quenched in a stream of liquid. After that, we make them a shape of wire with different sizes of width. Thus, we can find that the impedance change (122.16%, at 12MHz) is occurred and the fabricated magnetic wire has the characteristics of good sensor element.

Key Words : MI effect, soft magnetic, amorphous magnetic film, magnetic sensor, skin effect, Annealing

1. 서 론

연자성체에 고주파 전류를 통전시키고 외부로부터 변화하는 자계를 가해주면, 자성체의 표피효과(Skin effect)에 의해 외부 자계에 따른 임피던스의 변화가 일어나게 되는데 이를 MI(magneto-impedance) 효과라 한다.[1]

이러한 현상은 약 60년 전부터 알려졌다으며, 1980년대 후반 Shimada 연구 그룹은 이러한 연자성체에서의 외부자계의 인가에 의한 고주파의 저항변화가 약 400%/Oe에 도달할 것을 이론적으로 증명하였고, 1992년 Mohri 교수가 이 현상에 MI effect 라는 명칭을 붙여, 이를 고감도 자기 센서의 개발에 응용하면서부터 전세계적으로 연구가 확산되었다.[2]

최근까지 센서에 응용될 수 있는 자성 물질에 대한 연구는 활발히 이루어져 왔으며, 그중 아몰퍼스 자성재료는 고투자율로 인한 고감도 자기 검출 실현과 소형화가 가능하고, 낮은 전력소모율을 가지며, 빠른 응답 속도를 낼 수 있는 등의 센서로서의 응용에 좋은 특성을 가진 것으로 알려져 왔다.[8,9]

본 논문에서는 FeCoSiBNi, 합금을 급냉하여 아몰퍼스 박판형태로 제작한 자성재료를 와이어 수준으로 width 가 각각 다르게 얇게 가공한 뒤, 연자성체 자성와이어의 폭 크기, 즉 단면적 크기의 변화에 따른 외부 자계 변화에 의한 임피던스 변화를 알아보고자 하였다.

2. 실험

1) 시료제작 및 임피던스 측정방법

CoFeSiBNi, FeCoSiBCr 아몰퍼스 합금 박판은 급속냉각 기술의 한 종류인 melt-spinning 방식을 이용하여 제작되었다.

용융된 합금을 노즐을 통하여 분사시키면, 박판 형태의 합금이 형성되어 롤에 의해 액상으로 흐르는 냉각 물질(물)에 들어간다. 이때 결정화에 필요한 시간을 주지 않고 급냉이 이루어지면 아몰퍼스 형태의 연자성 합금이 만들어진다.

완성된 합금 박판을 Fig 2 와 같이 직사각형의 단면을 가진 와이어 형태로 두께(t:20um), 길이(L:20mm), 폭(w)을 30, 50, 100, 200, 300um로 달리하여 가공하였다.

시료를 helmholtz coil 사이에 놓고 helmholtz coil에 DC 전류를 흘려 센서소자의 길이 방향과 평행하게 자장을 발생시켰으며, 전류의 양을 조절하여 발생 자장의 크기를 변화시키면서, 임피던스의 변화를 관찰하였다.

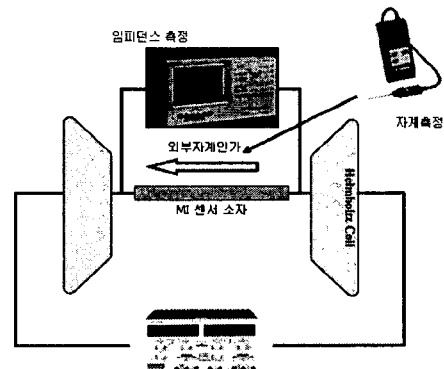


Fig 1. 측정 장치 구성

측정 장치 구성은 Fig 1 과 같이 하였으며 임피던스 측정은 Agilent 사의 4294A impedance analyzer 를 사용하여 측정하였다.

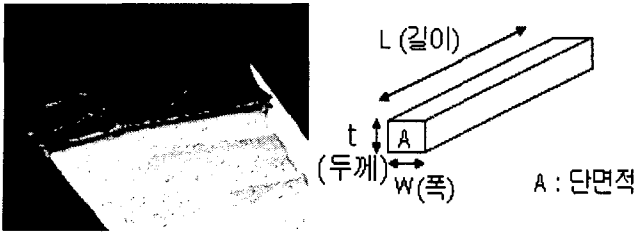


Fig 2. 와이어의 사진과 형태

2) 통전 전류의 주파수에 대한 임피던스 변화 측정

Fig 2 의 사진과 같은 형태로 가공한 소자(w = 50um, t = 20um, L = 20mm)에 대해 올려주는 통전 전류의 주파수를 변화시키면서, 외부 인가 자기장(Hex) 이 각각 0일 때와 10 Oe 일 때의 임피던스 값을 측정하였다.

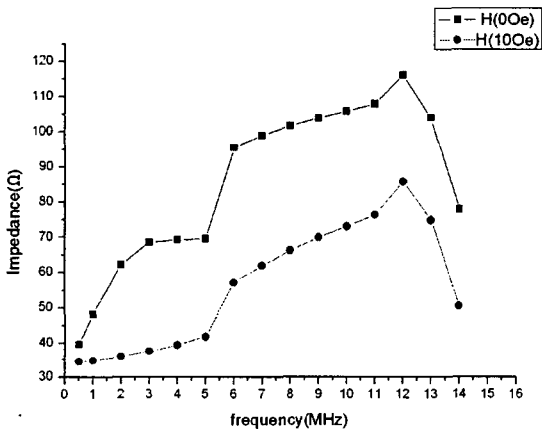


Fig 3. 주파수 변화에 따른 FeCoSiBNi 의 임피던스 변화

3) 와이어 크기에 따른 임피던스 변화 측정

w = 30, 50, 100, 200, 300um 가 되도록 소자를 제작하여, 양단에서 임피던스를 측정, 시료의 단면 크기(A)에 따른 임피던스 변화의 차이를 관찰하고자 하였다.

이때, 측정 주파수(f)는 12MHz 이며, impedance analyzer 의 공급 전압은 500mV이다.

GMI(%)는 측정된 임피던스를 토대로 다음과 같은 공식에 의해 계산하여 산출하였다.

$$GMI(\%) = \left| \frac{Z(H) - Z(H_{max})}{Z(H_{max})} \right| \times 100 \quad (1)$$

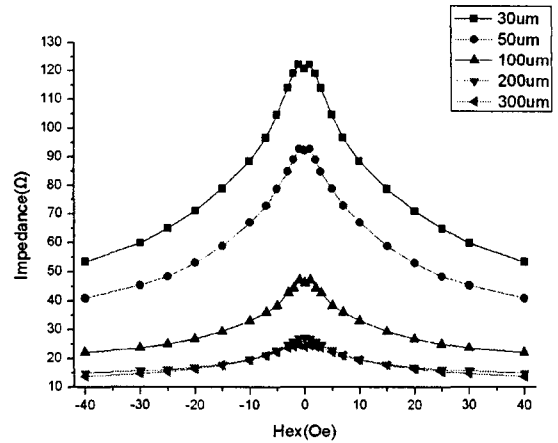


Fig 5. Hex 에 대한 FeCoSiBNi 의 w 변화에 따른 임피던스 변화 (f = 12MHz)

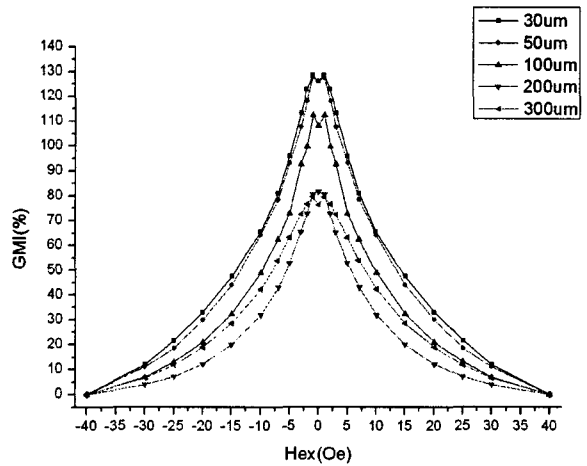


Fig 6. Hex 에 대한 FeCoSiBNi 의 w 변화에 따른 임피던스 변화율, GMI(%) (f = 12MHz)

3. 실험결과 및 검토

Fig 5, 6 에서 w, 즉 A 가 작을수록 Hex 에 의한 임피던스 변화 및 GMI(%)가 커짐을 확인할 수 있다. 이는 저항은 도체의 단면적에 반비례한다는 사실과 표피 효과와 관련이 깊다.

실험 결과에서 Hex가 0일 때, 5개의 시료중 저항은 단면적이 작을수록 높다는 것을 확인할 수 있고, 동시에 임피던스 변화는 주로 아래에 설명되는 표피 효과(skin effect)와 깊은 관련이 있다.

표피 효과는 도체에 교류가 흐를 때 도체의 중심부의 전류 밀도가 낮아져 전류가 중심으로 흐르지 않고 도체 표면에 집중되어 나타나는 현상을 말한다. 이것은 도체의 중심부일수록 쇠교 자속수가 많아지고 인덕턴스가 커져서 전류가 흐르기 힘들기 때문이다.

표피깊이는 다음의 식(2) 에서와 같이 올려주는 전류의

주파수가 커질수록 커지며 δ 로 정의된다.

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \quad (2)$$

따라서 와이어의 $A(w \times t)$ 가 작을 때가 큰 경우에 비해 전체 단면적 대비 전류가 실제로 흐르는 표피 깊이의 면적이 커서, Hex 에 의한 자화에 의해 임피던스 변화가 더욱 크게 나타난다. 실제로 지구자기나 아주 미약한 자계를 측정하는 경우에 표피 깊이를 계산하여 와이어의 단면적으로 실현하게 되면 더욱더 큰 임피던스 변화를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig 3 에서는 Hex에 의해서 변화하는 임피던스의 크기를 최대로 변화게 하는 통전 전류의 주파수를 알아내기 위한 실험이며, 가장 큰 임피던스는 12MHz에서 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 as-cast (원시료) 상태의 CoFeSiBNi 아몰퍼스 합금을 직사각형(단면)의 와이어 수준으로 가공하고, 이를 소자 형태로 제작하여 외부 자장에 의해 바뀌는 임피던스의 변화(율)를 측정하는 실험을 하였다.

최대 임피던스 변화율은 $f = 12\text{MHz}$ 이고, 소자의 크기가 $w = 30\mu\text{m}$, $t = 20\mu\text{m}$, $L = 20\text{mm}$ 일 때, 약 122.16% 였다. 이를 다시 단위 자계로 환산하면 약 3.05%/Oe 이다.

본 실험을 통해서 제작된 CoFeSiBNi 아몰퍼스 합금 와이어가 우수한 MI 센서 소재로서의 그 특성을 갖추고 있으며, 이를 자기 센서로서 응용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구를 위해 시료를 제공해주신 (주)아모텍 관계자분들께 감사의 말씀을 드립니다.

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, K. Kawashima, T. Kohzawa, H. Yoshida, and L. V. Panina, "Magneto-inductive 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] K. Mohri, Fellow, K. Bushida, M. Noda, H. Yoshida,

L. V. Panina and T. Uchiyama, "Magneto-Impedance Element" IEEE Trans. Magn., vol. 31, No. 4, (1995)

[5] 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)

[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 magneto-striction", J. Appl. Phys., Vol. 52, No. 2, p.928, (1981)

[8] 신용진, 소대화, 김현욱, 김대주, 서강수, "FeCoSiB계 아몰퍼스 자성박막의 자기-임피던스효과", 한국재료학회지 Vol.8, No.3 (1998)

[9] 허진, 김영학, 신광호, 사공건, "CoZrNb막을 이용한 MI센서 소자의 제작 및 특성" 전기전자재료학회지 Vol.17, No.1. P.52 (2004)