

Co계 아몰퍼스리본을 이용하여 제작한 미안더패턴의 고주파 임피던스특성

신광호*

경성대학교 멀티미디어공학과, 부산시 남구 대연동 110-1

박경일 · 사공건

동아대학교 전기전자컴퓨터공학부, 부산시 사하구 하단동 840

송재연 · 김영학

부경대학교 전기공학과, 부산시 남구 용당동 산 100

(2003년 5월 19일 받음, 2003년 6월 17일 최종수정본 받음)

연자성이 우수한 Co계 아몰퍼스리본을 리소그래피와 에칭을 통하여 미안더타입(meander type)의 미소패턴으로 가공하고, 표피 효과가 현저하게 나타나는 300 kHz~1 GHz의 주파수영역에서 고주파임피던스, 저항, 인덕턴스에 미치는 외부자기장의 영향을 조사하였다. 제작한 아몰퍼스리본의 미안더패턴은 자기장중 열처리를 통하여 폭방향으로 자기용이축이 유도되어 있었으며, 패턴의 길이방향으로 인가된 외부자기장에 대하여 민감한 임피던스의 변화를 나타내었다. 임피던스는 약 13 Oe 부근의 인가자기장에서 최대값을 나타내었으며, 50 MHz에서 11 Oe의 인가 자기장에 대하여 약 210%의 임피던스 변화율을 나타내었다.

주제어 : 아몰퍼스리본, 미안더패턴, 자기임피던스효과, 자기장센서

I. 서 론

연자성체(soft magnetic materials)에 고주파 전류를 통전 시키면, 자성체의 표피효과(skin effect)와 인덕턴스의 변화에 의해 임피던스의 자기장 의존성이 나타나게 된다. 이것은 외부에서 인가된 자기장에 의해서 재료의 투자율이 변화하기 때문인데, 표피효과가 재료의 투자율에 의존하므로 외부자기장에 의존하는 전기저항의 변화가 나타나며, 투자율의 변화에 의해 직접적으로 인덕턴스의 변화가 나타나기 때문이다. 이러한 현상을 이용하여 자기장을 검출하는 소자를 자기임피던스(magneto-Impedance; MI)센서라고 한다[1, 2]. MI 센서는 비교적 짧은 역사를 가짐에도 불구하고 현재에는 차세대 고 감도 자기장센서로서 각광을 받으면서 전세계적으로 폭 넓게 연구가 수행되고 있다. 그 이유로는, 자기장에 대한 높은 감도와 분해능을 가지며, 구조가 간단하고 소형화가 용이하며, 저소비전력의 시스템을 구성할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문이다. MI 센서는 주로 연자성이 우수한 아몰퍼스 자성체를 이용하여 구성되고 있으며, 벌크재료인 리본[6, 7]과 와이어[3-5]는 물론 박막형태[8-10]의 재료를 이용하여서 제작할 수 있다. 이러한 재료들을 이용하여 실용적인 센서를 구성하기 위해서는, 재료의 자기적인 특성을 최적화시키는 것과 동시에 센서로서 구동하기에 적합한 형상을 가져야 한다. 적당

한 인가전압을 가할 수 있게 하기 위해서 그에 맞는 초기 임피던스값을 가질 필요가 있으며, 센서시스템을 고려한 소형화도 동반되어야 하는 것이다. 예를 들어, 초기임피던스가 작으면 큰 전류의 통전으로 인한 주열(Joule heating)발생이 문제가 될 수 있기 때문에, 인가전압이 제한되고 결국 감도가 낮아지게 된다. 따라서, 인가전압 및 목표 감도에 적당한 크기를 가진 초기임피던스를 가진 센서소자를 제작하여야 한다. 그러나, 아몰퍼스리본을 사용하는 경우에는, 센서패턴의 크기가 커질 우려가 있다. 아몰퍼스리본으로 구성된 센서패턴에 적당한 초기임피던스를 부여함과 동시에 소형화에 적합한 방법으로, 본 연구에서는 미안더타입으로 아몰퍼스리본을 미소 가공하여 자기장센서를 구현하고 있다. 미안더타입의 패턴을 사용할 경우, 센서의 소형화와 센서구동에 적합한 초기임피던스를 동시에 확보할 수 있을 뿐 아니라, 패턴을 구성하는 각 스트립간의 상호인덕턴스가 음(-)의 값을 가지게 되므로, 임피던스를 구성하는 인덕턴스/리액턴스의 초기치를 작게하는 역할을 하게 된다. 이는 센서 임피던스변화율에 있어서 몹셈으로 작용하는 임피던스를 작게하여 변화율을 크게 하는 역할을 하게 되는 장점을 가지게 한다.

본 논문에서는 소형 자기장센서를 구현하기 위하여, 포토리소그래피와 에칭공정을 통하여 Co계 아몰퍼스리본의 미안더패턴을 제작하고, 인가자기장에 따르는 임피던스 Z 와 임피던스의 구성요소인 저항 R , 인덕턴스 L 를 측정·평가함으로써 센서패턴의 고주파 특성을 조사한 결과를 보고한다.

*Tel: (051)620-4353, E-mail: khshin@star.ks.ac.kr

II. 실험방법

센서패턴을 제작하기 위하여, 두께 25 μm 인 코발트계 아몰퍼스리본(MetGlas2714[11])을 사용하였고, 진공 자기장 중에서 열처리하여 리본의 폭방향이 자기용이축이 되도록 유도 자기이방성을 부여하였다. 이 때, 350 $^{\circ}\text{C}$ 의 열처리온도에서 1시간동안 유지하였고, 인가 자기장은 1 kOe로 하였으며, 승온속도는 150 $^{\circ}\text{C}/\text{hr}$, 냉각속도는 100 $^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ 이었다. 열처리 후, 리본을 접착제를 사용하여 유리기판에 부착하고, 센서패턴의 폭이 500 μm , 간격 500 μm , 길이가 10 mm인 4턴의 미안더가 되도록 설계된 필름마스크와 포지티브 포토레지스트를 이용한 리소그래피공정을 통하여 레지스트패턴을 제작하고, 희석한 염산을 이용하여 에칭하였다. 미안더패턴으로 형성한 아몰퍼스리본은 유리기판으로부터 분리한 후, 미소가공 전과 동일한 조건으로 2차 열처리를 실시하였다. 이 때 자기장의 인가방향은 패턴의 폭방향이였다. 그림 1은 제작한 미안더패턴의 사진을 나타낸 것이다. 자기이방성은 열처리를 통하여 패턴의 폭방향이 자기용이축이 되도록 유도하였다.

제작한 미안더패턴은 네트워크 어네일라이저를 이용하여 반사법(reflection method)으로 측정하였으며, 외부 자기장에 대한 임피던스의 변화는 헬름홀츠코일을 이용하여 외부 자기장을 미안더패턴의 길이방향으로 인가하면서 측정하였다. 임피던스측정을 위한 네트워크어네일라이저의 출력파워는 1 dBm으로 일정하게 유지하였다. 제작한 아몰퍼스리본패턴과 네트워크어네일라이저와의 전기적인 접속은 리본의 전극과 특성임피던스가 50 Ω 으로 설계된 마이크로스트립라인을 연결하고, 마이크로스트립라인은 다시 SMA커넥트를 이용하여 네트워크어네일라이저의 신호입출력용 동축케이블로 연결하는 방법을 이용하였다. 이 때, 측정주파수는 300 kHz에서 1 GHz로 가변시

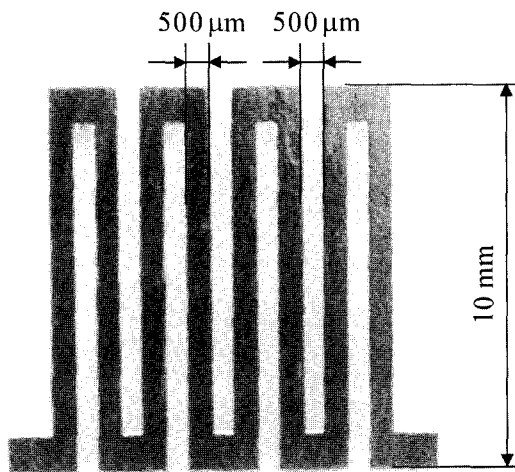


Fig. 1. Photography of the fabricated meander pattern.

키면서 측정하였고, 인가 자기장은 0~65 Oe사이에서 가변하면서 측정을 실시하였다.

III. 실험결과 및 고찰

그림 2는 제작한 미안더패턴으로 가공한 아몰퍼스리본에 있어서 임피던스 Z의 외부 자기장의존성을 나타낸 것으로, 측정주파수 1, 5, 10, 50, 100, 200 MHz에 대한 결과를 도시한 것이다. 패턴의 폭방향으로 자기용이축을 형성하였고, 외부 자기장은 리본의 길이방향으로 인가하면서 측정을 실시하였다. Z는 약 13 Oe 부근의 인가 자기장까지 증가하였으며, 그 보다 큰 인가 자기장에 대하여서는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 외부 자기장에 의한 투자율의 변화에서 기인하는 것으로 설명할 수 있다. 약 13 Oe부근의 인가 자기장에서 임피던스의 최대치를 나타내는 것은 제작한 미안더패턴의 유도 자기이방성과 패턴의 형상에서 기인하는 형상자기이방성에 의해서 약 13 Oe의 외부 자기장이 인가되었을 때 투자율이 최대가 되기 때문이다.

열처리를 통한 자기이방성제어에 의해서, 외부 자기장을 인가하기 전 리본패턴의 평균자화방위(자화용이축)는 폭방향이였다. 또한 본 실험에서의 측정주파수(300 kHz이상)가 주로 자기모멘트의 회전에 의해서 자화가 일어나고 전류에 의해서 발생하는 자기장의 방향은 폭방향이였다. 따라서, 자화곡률축 방향, 즉 패턴의 길이방향으로 Z의 최대변화를 나타내기 전(~13 Oe)까지의 외부 자기장을 인가하면 폭방향의 자기이방성에너지가 감소하는 효과로 인하여 투자율이 증가하게 되고, 이에 의해서 포피효과를 통하여 투자율에 의존하는 Z가 증가하는

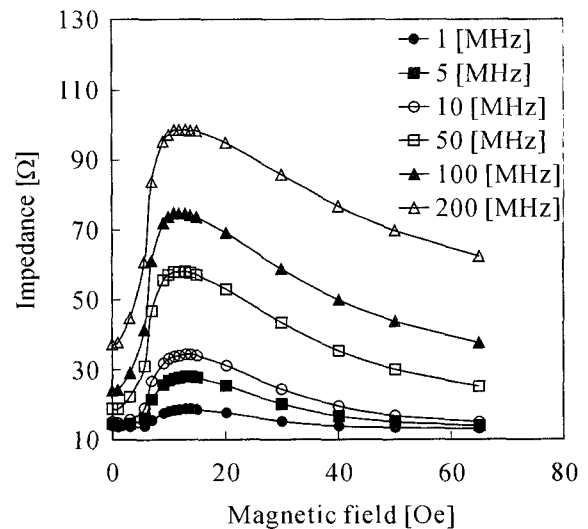


Fig. 2. External magnetic field dependence of the impedance of meander type amorphous ribbon pattern.

것이다. Z의 최대변화가 나타나는 자기장보다 큰 자기장이 패턴의 길이방향으로 인가되면 평균자화방위는 패턴의 길이 방향으로 향하게 되고, 자기장의 강도에 따라서 자기이방성에너지가 커지는 효과가 나타나므로 투자율이 감소하게 되고, 이에 대한 반영으로 Z가 감소하게 되는 것이다. Z는 외부 자기장 약 13 Oe 부근에서 가장 큰 변화를 나타내었고, 50 MHz에서 약 210%의 Z 변화를 $100 \times (Z_{11} - Z_0) / Z_0$, (여기서, Z_x 는 x Oe의 인가자기장에 대한 임피던스)을 나타내었다. 특히, 센서로써의 우수한 선형성과 감도가 확보될 수 있는 외부 자기장영역(약 6 Oe부근)에서의 Z의 변화를 평가해 보면 50 MHz의 구동주파수에서 약 40%/Oe의 임피던스 변화에 대한 감도를 확보할 수 있음을 알 수 있다. 실제로 센서를 구현할 때에 바이어스코일에 적절한 전류를 통과시켜서 바이어스 자기장을 인가하거나 영구자석을 적당한 위치에 설치하여 바이어스 자기장을 발생시켜서 센서의 동작점을 이동시켜서 사용할 수 있다. 이는 현재 미약한 외부 자기장을 선형적으로 측정하기 위한 자기장센서로 상용화되어 있는 자기저항(magneto-resistive; MR)센서[12]와 비교하여 보면, 100배이상에 달하는 고감도가 달성됨을 명확히 하는 것으로, 본 연구에서 개발한 미안더타입의 MI센서를 이용하여 초고감도의 자기장센서를 구현할 수 있음을 명확히 한다.

그림 3은 미안더패턴으로 가공한 이몰퍼스리본에 있어서 임피던스 Z, 저항 R, 그리고 인덕턴스 L에 대한 주파수특성을 나타낸 것으로, 외부에서 인가한 자기장 0, 13, 65 Oe에 대한 특성을 나타내고 있다.

그림 3(b)에서, 외부 자기장이 인가되지 않았을 때(0 Oe)와 외부 자기장이 13 Oe 인가 되었을때의 주파수특성을 비교하여 보면, 자기장이 인가되지 않았을 때에는 약 100 MHz까지 R의 변화가 크지 않지만, 13 Oe의 외부 자기장이 인가되었을 때에는 전 측정주파수영역에서 주파수의 증가에 따라 지수함수적인 R의 증가를 나타내고 있다. 이는 패턴의 자화곤란축으로 자기장이 인가됨에 따라 패턴내부의 자기이방성에너지가 감소하고, 투자율이 증가하기 때문에, 표피효과가 현저해지기 때문이다. 그러나 65 Oe의 외부 자기장을 인가한 경우에는 주파수에 따르는 R의 증가가 둔화됨을 관찰할 수 있는데, 이는 길이방향으로의 자기에너지가 증가하였기 때문에 투자율이 감소하고 표피효과의 발현이 둔화되었기 때문이다. 그림 3(c)는 인덕턴스의 주파수특성을 나타내고 있으며, 리액턴스 $X = 2\pi fL$ 의 형태로써 임피던스에 기여된다. 측정주파수가 증가함에 따라서 L은 인가된 외부 자기장에 관계없이 주파수의 증가에 따라서 감소하는 경향을 나타내고 있다. 인덕턴스의 경우, 투자율이 직접적으로 기여되어서 나타나며, 본 실험에서 사용한 이몰퍼스리본(두께 25 μm)의 도전율($\sim 140 \mu\Omega\text{-cm}$)을 고려해 볼 때, 와전류손실에 의해서 투자율이 자기공

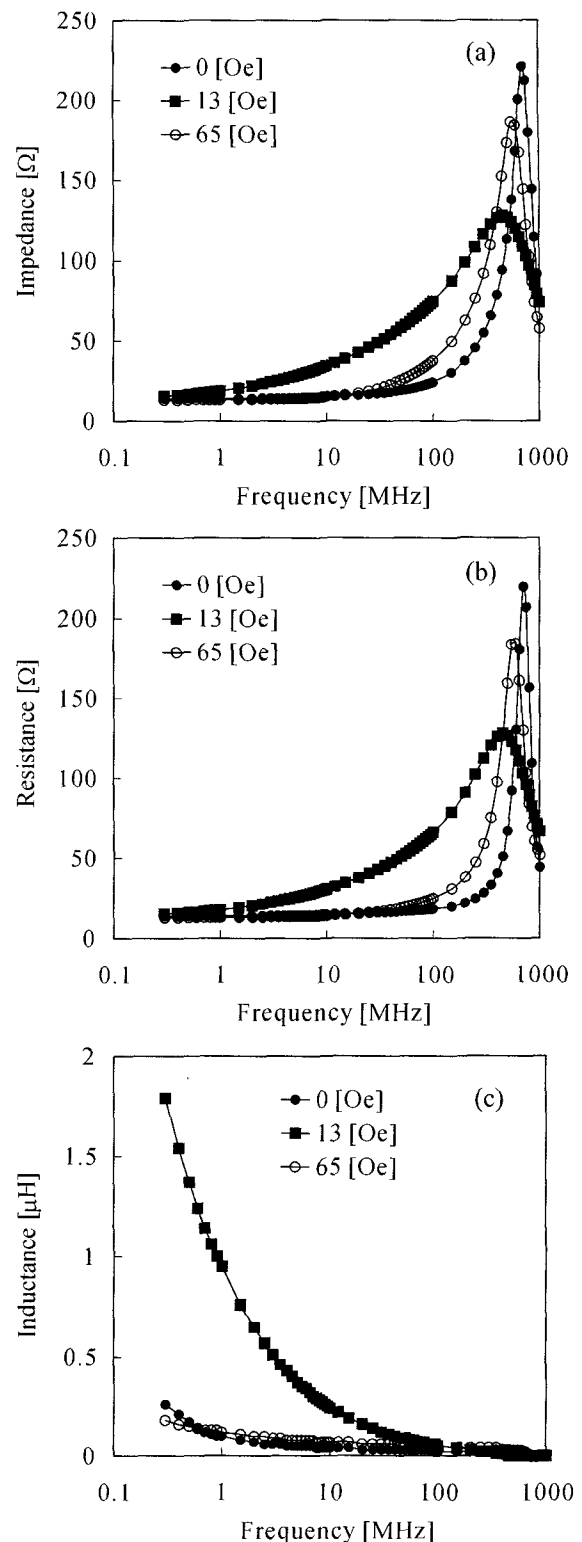


Fig. 3. Frequency dependence of (a) Z, (b) R, and (c) L of meander type amorphous ribbon pattern.

명주파수에 비하여 충분히 낮은 주파수에서 감소하는 경향을 나타내고 있다는 것을 이해할 수 있다. 100 MHz까지의 주파

수영역에서 자기장을 인가하기 전에 비하여 13 Oe의 외부 자기장을 인가한 경우, L 이 큰 값을 나타내고 있는 것은 자기장인가에 의해서 자기이방성에너지가 작아지고 이에 동반되어 투자율이 커지기 때문이다. 그림 2(a)는 R 과 L (엄밀하게는 $X = 2\pi fL$)의 기여분에 의해서 나타나는 복소임피던스의 절대값을 나타낸 것이다. 10 MHz이하의 주파수에서는 R 특성과 거의 동일한 결과를 나타내고 있으나, 주파수가 높아짐에 따라서, R 의 특성에 비하여, 외부 자기장에 대한 보다 큰 변화를 나타내고 있다. 이는 주파수의 함수인 X 의 임피던스에 대한 기여가 현저하게 나타나기 때문이다.

IV. 결 론

소형 자기장센서를 구현하기 위하여, 포토리소그래피와 에칭공정을 통하여 Co계 아몰퍼스리본의 미안더패턴을 제작하고, 인가 자기장에 따르는 임피던스 Z 와 임피던스의 구성요소인 저항 R , 인덕턴스 L 를 측정·평가함으로써 센서패턴의 고주파 특성을 조사하였다. 임피던스는 약 13 Oe 부근의 인가 자기장에서 최대값을 나타내었으며, 50 MHz에서 약 210 %의 Z 변화율 $100 \times (Z_{11} - Z_0) / Z_0$ 을 나타내었다. 특히, 센서로써의 우수한 선형성과 감도가 확보될 수 있는 외부 자기장영역(약 6 Oe부근)에서의 Z 의 변화를 평가해 보면 50 MHz의 구동주파수에서 약 40 %의 단위 자기장당 Z 변화율을 확보할 수

있음을 알 수 있었고, 본 연구에서 개발한 미안더타입의 MI 센서를 이용하여 초고감도의 자기장센서를 구현할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] K. Mohri, T. Kohzawa, K. Kawashima, H. Yoshida and L. V. Panina, *J. Appl. Phys.*, **81**(8), 4301(1997).
- [2] 김영학, 신광호, *전기전자재료*, **14**(5), 25(2000).
- [3] R. L. Sommer and C. L. Chien : *Appl. Phys. Lett.*, **67**(22), 857 (1995).
- [4] K. V. Rao, F. B. Humphrey, and J. L. Costa-Kramer : *J. Appl. Phys.*, **76**(10), 6204(1994).
- [5] L. V. Panina, K. Mohri, *Appl. Phys. Lett.*, **65**, 1189(1994).
- [6] W. Ku, F. Ge, and J. Zhu : *J. Appl. Phys.*, **28**(10), 5050(1997).
- [7] M. L. Sartorelli, M. Knobel, and J. Schoenmaker : *Appl. Phys. Lett.*, **71**(15), 2208(1997).
- [8] M. Senda, K. Takei, O. Ishii, and Y. Koshimoto : *IEEE Trans. Magn.*, **31**(6), 2709(1995).
- [9] T. Morikawa, Y. Nishibe, H. Yamadera, Y. Nonomura, M. Takeuchi, J. Sakata, and Y. Taga : *IEEE Trans. Magn.*, **32**(5), 4965(1996).
- [10] M. Takezawa, H. Kikuchi, K. Ishiyama, M. Yamaguchi, and K. I. Arai : *IEEE Trans. Magn.*, **33**(5), 3400(1997).
- [11] <http://www.metglas.com>.
- [12] <http://www.ssec.honeywell.com>.

High Frequency Impedance of Meander Pattern Fabricated by Co-base Amorphous Ribbon

Kwang-Ho Shin*

Dept. of Multimedia Engn., Kyungsung Universtiy, Pusan 608-736, Korea

Kyung-II Park and Geon Sa-Gong

Dept. of Electrical Engn., Don-A University, Pusan 602-714, Korea

Jaeyeon Song and Yonguhak Kim

Dept. of Electrical Engn., Pukyung university, Pusan 608-737, Korea

(Received 19 May 2003, in final form 17 June 2003)

The external magnetic field dependency of the impedance, resistance, and inductance of the meander pattern fabricated by using Co-base amorphous ribbon has been investigated in the frequency range of 300 kHz~1 GHz. The amorphous ribbon was patterned to the meander pattern through conventional photolithography and wet etching process. The extremely high sensitivity in impedance changing ratio by external magnetic field was observed. This is due to the transverse magnetic anisotropy the pattern which was induced by magnetic field annealing. The impedance had peak value at the external field of ~13 Oe and the impedance changing ratio $100 \times (Z_{13} - Z_0) / Z_0$ was about 210 % at the frequency of 50 MHz.

Keywords : Amorphous ribbon, Meander pattern, Impedance, Magnetic field sensor.