논문 2003-12-5-02

Co계 아몰퍼스리본을 이용한 자계센서

신광호*, 박경일**, 송재연***, 김영학*** ,사공건**

Magnetic Field Sensors using Co-base Amorphous Ribbon

Kwang-Ho Shin*, Kyung-Il Park**, Jae-yeon Song***,
Young-Hak Kim*** and Geon Sa-Gong**

요 약

고감도의 자기임피던스센서를 구현하기 위해서 아몰퍼스리본을 리소그래피와 습식에칭을 통하여 미안더패턴으로 미소가공하고 임피던스의 외부자계의존성을 조사하였다. 센서의 임피던스는 외부자계 약 13 Oe 부근에서 가장 큰 값을 나타내었고, 약 170 %의 변화율을 나타내었다. 선형성과 감도가 확보될 수 있는 외부자계영역(6 Oe부근)에서의 임피던스의 변화를 평가해 보면 약 36 %의 단위자계당 임피던스 변화율을 확보할 수 있음을 알 수 있다. 제작한 센서패턴과 센서를 구동하기 위해서 제작된 구동회로를 이용하여, 약 10^{-3} Oe의 미약자계를 측정할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

Abstract

To develop the highly sensitive Magneto-Impedance sensor, the amorphous ribbon was micro-processed to meander type sensor pattern, and its external magnetic field dependence of impedance was investigated. The impedance of the pattern had peak value at the magnetic field of 13 Oe and its changing ratio was about 170%. The impedance change per unit magnetic field was about 36% at bias field of 6 Oe, in which the output with high sensitivity and linearity could be obtained. The magnetic field resolution of the sensor module, which consist of the amorphous pattern and driving circuit, was about 10^{-3} Oe.

Key Words : Magneto-Impedance sensor, amorphous ribbon, meander pattern

Ⅰ. 서 론

최근 정보통신기술로 대표되는 공학기술의 눈부신 발전과 보다 편리하게 다양한 정보를 얻고자 하는 사회적 요구의 증대로 인하여, 정보통신 서비스 및 관련기기들이 급속히 발달하고 있다. 이중에서도 휴대용 통신기기의 발달과 관련된 다양한 서비스들은 인류가 현재까지 경험하지 못하였던 정보취득 및 통신에 있어서 장벽이 없는 (barrier-free) 사회의 구현을 예고하고 있다. 통화를 하기 위한 휴대용 전화기를 이용하여 문자정보나 데이터를 송수신한다든지 동영상을 포함하는 멀티미디어정보를 용이하게 송수신·재생할 수 있게 되었고, 전자결재나 TV/라디오를 수신하는 서비스들은 이미 일반화가 되어 가고 있

* 경성대학교 멀티미디어공학과 (Dept. of Multimedia Engineering, Kyungsung University)
** 동아대학교 전기공학과 (Dept. of Electrinical Engineering, DongA University)
*** 부경대학교 전기공학과 (Dept. of Electrinical Engineering, BuKyung University)
<접수일자 : 2003년 6월 22일>

다. 최근의 휴대용 통신기기와 관련된 서비스 중 가장 주목을 받고 있는 것은 위치기반서비스(location base service; LBS)이다. LBS는 이용자의 위치를 파악하게 해 주는 GPS(global positioning system)칩과 이용자의 진행위치를 알게 해주는 전자나침반(electronic compass)를 핵심부품으로 하여, 이용자의 위치 및 진행방향에 대한 정보를 이용하여 다양한 서비스를 제공하여 주는 것이다. 휴대용 통신기기의 LBS용 전자나침반을 구성할 수 있는 자계센서로서 갖추어야 할 중요한 성능들로는 상온동작, 자계에 대한 고감도·고분해능, 소형, 저가격, 대량생산성, 저소비전력 등이다. 이러한 관점에서 본다면, 현재 휴대용 통신기기에서 사용될 수 있는 전자나침반으로 가장 가능성이 큰 것은 FG센서[1]와 자기임피던스(magneto-impedance; MI)센서라 할 수 있다[2,3]. 이 중, MI센서 개발역사가 비교적 짧음에도 불구하고 괄목할 만한 주목을 받고 있는 것은, FG센서와 동등한 감도·분해능을 가지고 있을 뿐 아니라, FG에 비하여 구조가 간단하므로 소형화 우수성, 가격경쟁력, 대량생산성 등의 장점을 가지고 있고, 직접통전형 센서이므로 저소비전력으로 구동을 할 수가 있는 장점을 가지고 있기 때문이다. MI센서의 자계검출 기구는 자왜가 극히 작은 아몰퍼스자성체와 같이 연자성(soft magnetic properties)이 우수한 금속에 고주파전류가 통전될 때에 발생하는 표피효과와 투자율(혹은 인덕턴스)이 외부자계에 의존하는 것에 의해 기인한다. 즉, 외부자계의 인가로 인한 표피효과의 변화는 고주파저항의 변화로 나타나고 투자율의 변화는 직접적으로 인덕턴스의 변화로 나타나게 된다. 따라서, 저항과 인덕턴스로 구성되는 금속자성체의 임피던스는 고주파전류가 통전될 때, 외부자계에 의존하게 되는 것이다.

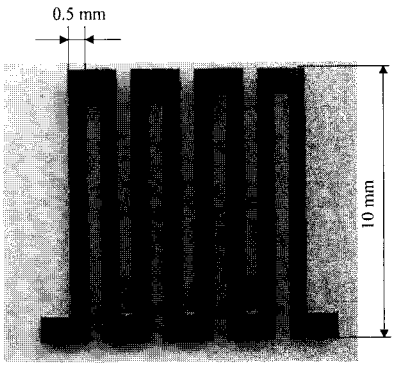
MI센서는 주로 연자성이 우수한 아몰퍼스자성체를 이용하여 구성되는데, 사용되는 재료에 따라서 벌크형과 박막형으로 나눌 수 있고, 벌크형은 다시 리본형[4,5]과 와이어형[2,6,7]으로 나눌 수 있으며, 박막형은 단층박막형[8]과 다층박막형[9,10]으로 나눌 수 있다. 이 중에서, 아몰퍼스리본을 이용하여 구성되는 MI센서의 경우, 일정한 폭을 가진 스트립(strip)형태로 센서를 구성하는 것이 일반적이다. 그러나, 센서의 소형화에 대한 관점에서는, 스트립형태로 센서를 구성하는 것은 바람직하다고 볼 수 없는데, 그 이유는 센서의 입력전압을 일정수준으로 유지하기 위해서는, 일정수준의 초기임피던스(자계가 인가되지 않았을 때 구동주파수에서의 임피던스)를 일정수준이상으로 확보하여야 하고, 이를 위해서 센서의 길이를 길게 할 수 밖에 없기 때문이다. 물론, 센서패턴의 폭을 좁게 하여 초기임피던스를 확보할 수도 있으나, 센서패턴의 폭을 너무 좁게 하면 폭방향으로 자기이방성을 유도할 수가 없게 되어 센서의 고감도 동작이 불가능하게 된다.

본 연구에서는, 센서의 초기임피던스를 확보하고, 나아가 소형화에 적합한 아몰퍼스리본을 이용한 MI센서를 구현하기 위한 방법으로, 아몰퍼스리본을 리소그래피와 습식에칭을 통하여 미안더(meander)패턴으로 미소가공하고 임피던스의 외부자계의존성을 조사하였다. 또한, SMD타입의 수동소자와 증폭기를 이용하여 20 MHz의 구동주파수를 가진 센서용 구동회로를 제작하고, 미소가공한 센서패턴을 구동회로에 장착하여 그 출력특성을 평가하였다.

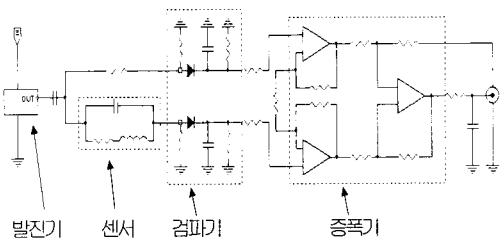
II. 실험 방법

센서패턴을 제작하기 위하여, 두께 25 ㎛인 Co계 아몰퍼스리본(MetGlas2714[http://www.metglas.com])을 사용하였고, 진공 자계중에서 열처리하여 리본의 폭방향이 자기용이축이 되도록 유도 자기이방성을 부여하였다. 이 때 열처리온도는 350℃ 였고, 인가자계는 1 kOe로 하였다. 열처리 후, 리본을 접착제를 사용하여 유리기판에 부착하고, 일반적인 리소그라피공정을 통하여 레지스트패턴을 제작하고, 희석한 염산을 이용하여 센서패턴의 폭이 500 ㎛, 길이가 10 mm인 4 턴의 미안더가 되도록 에칭하였다. 그림 1(a)는 제작한 센서패턴의 사진을 나타낸 것이다. 제작한 센서는 네트워크 어넬라이저와 헬름홀츠코일을 이용하여 반사법으로 외부자계에 대한 임피던스의 변화율을 측정하였다. 네트워크 어넬라이저와 센서패턴간의 접속은 SMA커넥터와 동축케이블을 이용하여 선로간의 50 Ω의 특성임피던스를 유지하면서 실시하였다. 이 때, 측정주파수는 300 kHz에서 1 GHz로 가변시키면서 측정하였고, 인가자계는 0에서 65 Oe사이에서 가변하였다. 제작한 센서패턴을 이용한 소형

자계센서시스템을 구현하기 위해서, 센서와 저항을 이용하여 브릿지를 구성하고, 오실레이터에서 발진되는 20 MHz의 캐리어신호를 브릿지에 공급하고, 검파다이오드와 차동앰프를 이용하여 검파·증폭하는 회로(gain : 100)를 구성하였다. 센서패턴과 회로를 결합한 시스템의 소형화를 위하여 수동소자들은 SMD타입을 사용하였고, 제작한 센서시스템의 크기는 2×3cm 였다. 그림 1(b)는 센서 구동회로의 회로도를 나타낸 것이다.



(a)



(b)

그림 1. 제작한 아몰퍼스리본패턴(a)과 구동회로도(b).

Fig. 1. Fabricated amorphous ribbon pattern(a) and sensor driving circuit(b).

III. 실험 결과

그림 2는 미안더패턴으로 가공한 아몰퍼스리본에 있어서 임피던스 Z 의 외부자계의존성을 나타낸 것으로, 구동회로의 발진주파수인 20 MHz에 대한 결과를 도시한 것이다. 패턴의 폭방향으로 자기용이축을 형성하였고, 외부자계는 리본의 길이방향으로 인가하면서 측정을 실시하였다. Z 는 약 13 Oe 부근의 인가자계까지 증가하였으며, 그 보다 큰 인가자계에 대하여서는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 외부자계에 의한 투자율의 변화에서 기인하는 것으로 설명할 수 있다.

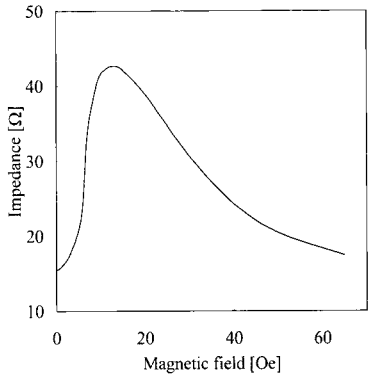


그림 2. 아몰퍼스리본 패턴에 있어서 임피던스의 외부자계 의존성.

Fig. 2. External magnetic field dependence of the Impedance of amorphous ribbon pattern.

열처리를 통한 자기이방성제어에 의해서, 외부자계를 인가하기 전 리본패턴의 평균자화방위(자화용이축)는 폭방향이다. 또한 본 결과에서의 측정주파수(20 MHz)에서는 주로 자기모멘트의 회전에 의해서 자화가 일어나고, 전류에 의해서 발생하는 자계의 방향은 폭방향이다. 따라서, 자화곤란축 방향, 즉 패턴의 길이방향으로 Z 의 최대변화를 나타내기 전(13 Oe이하)까지의 외부자계에 대하여서는 외부자계의 인가에 의해서 폭방향의 자기이방성에너지가 감소하는 효과로 인하여 투자율이 증가하게 되고, 이에 의해서 표피효과를 통하여 투자율에 의존하는 Z 가 증가하는 것이다. Z 의 최대변화가 나타나는 자계보다 큰 자계가 패턴의 길이방향으로 인가되면 평균자화방위는 패턴의 길이방향으로 향하게 되고, 자계의 강도에 따라서 자기이방성에너지가 커지는 효과가 나타나므로 투자율이 감소하게 되고, 이에 대한 반영으로 Z 가 감소하게 되는 것이다. Z 는 외부자계 약 13 Oe 부근에서 가장 큰 변화를 나타내었고, 약 170 %의 Z 변화율, $100\times(Z_{13}-Z_0)/Z_0$ 을 나타내었다. 특히, 센서로써의 우수한 선형성과 감도가 확보될 수 있는 외부자

계영역(약 6 Oe부근)에서의 Z 의 변화를 평가해 보면 약 36 %의 단위자계당 Z 변화율을 확보할 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 제작한 센서의 자계검출감도는 현재 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 자계센서를 구현할 수 있음을 명확히 한다.

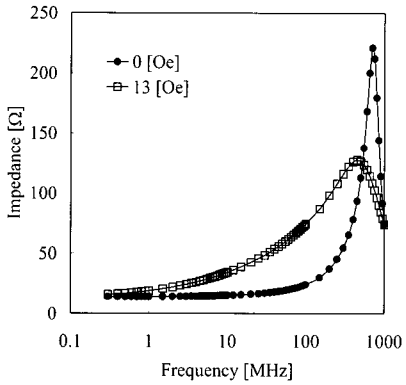


그림 3. 아몰퍼스리본 패턴에 있어서 임피던스의 주파수 의존성.

Fig. 3. Frequency dependence of the Impedance of amorphous ribbon pattern.

그림 3는 제작한 센서패턴의 임피던스 Z의 주파수특성의 측정결과를 나타낸 것으로 자계가 인가되지 않았을 경우와 13 Oe의 자계가 인가된 경우의 결과를 나타낸 것이다. 외부자계가 인가되지 않았을 경우에 비하여 자계가 인가된 경우의 임피던스가 보다 낮은 주파수에서 증가하기 시작하는 것을 알 수 있다. 이는 폭방향으로 자기이방성이 유도되어 있는 패턴에 길이방향으로 인가된 외부자계에 의해서 고주파에서의 투자율이 증가하였기 때문이다. 투자율의 증가에 따라서, 보다 낮은 주파수에서 표피효과가 나타나므로 임피던스가 증가하는 것이다. 또한 외부자계가 인가된 경우, 보다 낮은 주파수에서 공진이 일어남을 알 수가 있는데, 이것은 외부자계의 인가에 의해서 패턴의 자기이방성에너지가 작아졌기 때문이다. 그림 2의 결과로부터 약 100 MHz근처의 주파수에서 가장 높은 감도를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나, 회로구성에 있어서는 노이즈에 대한 영향도 고려하여야 하므로, 본 연구에서는 센서를 구동하기 위한 구동회로의 발진 주파수를 감도가 비교적 높으면서도, 예비실험으로부터 노이즈에 대한 문제가 심각하지 않다는 것을 확인한, 20 MHz로 설정하였다.

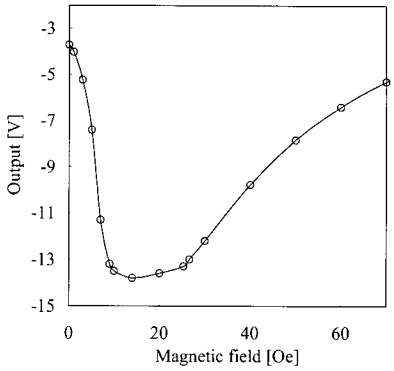


그림 4. 아몰퍼스리본 패턴과 구동회로의 외부자계에 대한 출력특성.

Fig. 4. External magnetic field dependence of the output of amorphous ribbon pattern with driving circuit.

그림 4는 제작한 그림 1(a)에서 나타낸 센서패턴을 그림 1(b)에서 나타낸 구동회로와 결합시켜서 외부자계를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 이 결과로 알 수 있듯이, 제작한 센서를 이용하여 1.95 V/Oe의 감도가 얻어 졌고, 이 때의 노이즈레벨은 2mV이하였다. 따라서, 본 연구에서 제작한 아몰퍼스리본을 미안더패턴으로 미소가공한 자계센서를 이용하여 약 10^{-3} Oe의 미약자계를 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다. 자계센서를 전자나침반으로 구현하기 위해서는 센서로부터의 아날로그신호를 ADC를 거쳐서 마이크로 프로세서에 입력해 주어야 한다. 우리나라의 지구자계(~ 0.4 Oe)를 고려하여 볼 때, 본 연구에서 제작한 센서를 이용하여 8 bit이상의 지자계분해능을 가진 자계센서모듈을 제작할 수 있음을 알 수 있다.

Ⅳ. 결 론

아몰퍼스리본을 이용한 고감도의 자계센서인 MI센서에 있어서, 초기임피던스를 확보하고, 소

형화에 적합한 센서패턴을 개발하기 위해서, 아몰퍼스리본을 리소그래피와 습식에칭을 통하여 미안더패턴으로 미소가공하고 임피던스의 외부자계의존성을 조사하였다. 또한, 20 MHz의 구동주파수를 가진 센서용 구동회로를 제작하고, 미소가공한 센서패턴을 구동회로에 장착하여 그 출력특성을 평가하였다. 그 결과, 센서의 임피던스는 외부자계 약 13 Oe 부근에서 가장 큰 값을 나타내었고, 자계가 인가되지 않았을 때와 그 변화를 비교하면 약 170 %의 변화율을 나타내었다. 특히, 센서로써의 우수한 선형성과 감도가 확보될 수 있는 외부자계영역(약 6 Oe부근)에서의 Z 의 변화를 평가해 보면 약 36 %의 단위자계당 Z 변화율을 확보할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서 개발한 미안더타입의 MI센서를 이용하여 초고감도의 자계센서를 구현할 수 있음을 명확히 한다. 또한, 제작한 센서패턴과 센서를 구동하기 위해서 제작된 구동회로를 이용하여, 약 10^{-3} Oe의 미약자계를 측정할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 최상언, 안성진, "마이크로 플럭스게이트 자기센서", 전기전자재료, 제14권, 제5호, pp. 17-24, 2001.

[2] L. V. Panina, K. Mohri, Appl. Phys. Lett., "Magneto-impedance effect in amorphous wires", vol. 65, no. 9, pp. 1189-1191, 1994.

[3] 김 영학, 신 광호, 전기전자재료, "자기임피던스효과를 이용한 자기센서" 제14권, 제5호, pp. 25-32, 2001.

[4] W. Ku, F. Ge, and J. Zhu, "Effect of magnetic field annealing on the giant magnetoimpedance in FeCuMo-SiB ribbons", J. Appl. Phys., vol. 28, no. 10, pp. 5050-5053, 1997.

[5] M. L. Sartorelli, M. Knobel, and J. Schoenmaker, "Giant magneto-impedance and its relaxation in C o · Fe · Si · B amorphous ribbons, Appl. Phys. Lett., vol. 71, no. 15, pp. 2208-2210, 1997.

[6] R. L. Sommer and C. L. Chien, "Role of magnetic anisotropy in the magnetoimpedance effect in amorphous alloys", Appl. Phys. Lett., vol. 67, no. 22, pp. 857-859, 1995.

[7] K. V. Rao, F. B. Humphrey, and J. L. Costa-Kramer, "Very large mag neto-impedance in amorphous soft ferromagnetic wires (invited)", J. Appl. Phys., vol. 76, no. 10, pp. 6204-6208, 1994.

[8] M. Takezawa, H. Kikuchi, K. Ishiyama, M. Yamaguchi, and K. I. Arai, "Micro magnetic thin-film sensor using LC resonance", IEEE Trans. Magn., vol. 33, no. 5, pp. 3400-3402, 1997.

[9] M. Senda, K. Takei, O. Ishii, and Y. Koshimoto, "Thin-film magnetic head using impedance change at high frequency", IEEE Trans. Magn., vol. 31, no. 6, pp. 2709-2711, 1995.

[10] T. Morikawa, Y. Nishibe, H. Yamadera, Y. Nonomura, M. Takeuchi, J. Sakata, and Y. Taga, "Enhancement of giant magneto-impedance in layered film by insulator separation", IEEE Trans. Magn., vol. 32, no. 5, pp. 4965-4967, 1996.

著 者 紹 介

신 광호
1970년 1월 21일 생
1993년 2월 동아대학교 공과대학 전기공학과 졸업
1995년 2월 동아대학교 대학원 전기공학과 졸업
1999년 9월 일본 Tohoku대학 전기통신연구소 대학원 졸업(공학박사)
1999년 ~ 2000년 일본 후생성 연구원, 삼성종합기술원 전문연구원
2000년 9월 ~ 현재 : 경성대학교 멀티미디어공학과 조교수

박 경일
1974년 4월 26일 생
2002년 2월 동아대학교 공과대학 전기공학과 졸업
2003년 3월 ~ 현재 동아대학교 대학원 전기공학과

김 영학
1960년 1월 20일
1986년 2월 수산대학교 공과대학 전자공학과 졸업
1991년 3월 일본 Tohoku대학 전기통신연구소 석사과정졸업
1994년 3월 일본 Tohoku대학 전기통신연구소 박사과정졸업(공학박사)
1995년 3월 ~ 현재 부경대학교 전기공학과 부교수

사공 건
1968년 2월 영남대학교 공과대학교 전기공학과 졸업
1973년 2월 영남대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업
1986년 2월 영남대학교 대학원 전기공학과 박사과정 졸업(공학박사)
1993년 일본 동경공업대학 객원연구원
1994년 The State Univ. of New Jersey, Visiting Scientist
1997년 ~ 1998년 Virginia Tech., Visiting Professor
1998년 ~ 2001년 한국전기전자재료학회 부산경남울산지부장
1979년 ~ 현재 동아대학교 공과대학 전기전자컴퓨터공학부 교수
2002년 한국전기전자재료학회 부회장

송 재연
1977년 10월 5일
2003년 2월 부경대학교 공과대학 전기공학과 졸업
2003년 9월 ~ 현재 일본 Tohoku대학 유학중