

2축 마이크로 플럭스게이트 센서 제작을 통한 전자 나침반 개발

論文

52C-9-9

Development of Electronic Compass Using 2-Axis Micro Fluxgate Sensor

朴海錫*·沈東植*·羅敬遠*·黃俊式*·崔相彦*
(H.-S. Park · D.-S. Shim · K.-W. Na · J.-S. Hwang · and S.-O. Choi)

Abstract - This paper describes an electronic compass using micromachined X- and Y-axis micro fluxgate sensors which were perpendicularly aligned each other to measure X- and Y-axis magnetic fields respectively. The fluxgate sensor was composed of rectangular-ring shaped magnetic core and solenoid excitation(49 turns) and pick-up(46 turns) coils. Excitation and pick-up coil patterns which were formed opposite to each other wound the magnetic core alternatively to improve the sensitivity and to excite the magnetic core in an optimal condition with reduced excitation current. The magnetic core has DC effective permeability of ~ 1000 and coercive field of ~ 0.1 Oe. The magnetic core is easily saturated due to the low coercive field and closed magnetic path for the excitation field. To decrease the difference of induced second harmonic voltages from X- and Y-axis, excitation condition of 2.8 V_{P-P} and 1.2 MHz square wave was selected. Excellent linear response over the range of -100 μ T to +100 μ T was obtained with 210 V/T sensitivity. The size of each micro fluxgate sensor excluding pad region was about 2.6 \times 1.7 mm² and the power consumption was estimated to be 14 mW.

Key Words : fluxgate, magnetic sensor, electroplating, permalloy

1. 서 론

플럭스게이트 센서는 상온에서 사용할 수 있는 자기센서로서 $10^{-11} \sim 10^{-4}$ T의 측정영역에서 직류 및 저주파 교류자계의 크기 및 방향을 검출할 수 있으며, 높은 고감도 및 고분해능의 특성을 갖고 있다. 센서는 고투자율 재료로 형성된 연자성 코어와 이를 감고 있는 여자 코일 그리고, 검출코일로 구성되어 있다. 기본 검출원리는 여자 코일에 교류로 자계를 발생시켜 연자성 코어를 포화시키는 비선형 자기 특성을 이용하고 있으며, 외부자장에 비례하는 2차 고조파 전압 성분을 측정함으로써 외부자장의 세기를 측정하는 것이다.

플럭스게이트 센서의 연구는 1930년대 초반부터 이루어졌으며, 1935년 Thomas에 의해 처음으로 특허등록이 이루어졌고^[1], 원리 및 소자 구성은 Prindahl 및 Ripka에 의해서 종합 보고되었다^[2-5]. 최근 산업의 발달과 더불어 항공기, 선박 및 차량의 위치 인식 시스템, 교통량 검출 소자로서 이용도가 확대되고 있으며, 가상현실 공간에서의 움직임 감지, HDTV의 지자기 보상 및 색변짐 보상, 의료용인 심자도 측정, 휴대용 위치 인식용 소자, ITS등 다양한 응용을 모색하고 있다. 이러

한 응용 범위의 확대에 있어서 소형화, 경량화, 저전력화 및 저가격화는 플럭스게이트 센서에 있어서 필수적인 요건이라 할 수 있다.

최근 이와 같은 응용분야로의 적용을 위해 다양한 시도를 통한 플럭스게이트 센서의 제작이 이루어지고 있는데, 이는 크게 두 가지 방법으로 구분할 수 있다. 첫째는 실리콘 공정 기술을 이용한 플럭스게이트 센서 개발로서 1990년 초에 Seitz에 의하여 최초로 보고되었다^[6]. 최근 반도체 공정 기술의 발달과 함께 마이크로머시닝(micromachining)기술의 진보로 인하여 미세 솔레노이드 형태의 여자코일과 검출코일의 형성 및 박막형의 자성체 코어 형성이 가능해졌으며, 이로 인해 플럭스게이트 센서 구성요소 모두를 집적한 마이크로 자기 센서가 Kawahito를 비롯한 여러 연구자들에 의해 보고된 것을 계기로 신호처리 회로까지 동일 칩 위에 집적시킨 연구가 Choi에 의해 보고되는 등 상당한 진전이 이루어졌다^[7-12]. 둘째는 PCB 적층기술을 이용한 방법으로 Dezuari, Choi 및 APlus Co.에 의해 보고 되고 있으며 크기, 성능 및 가격 측면에서 많은 경쟁력을 갖고 있다^[13-16].

본 논문에서는 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작된 패자로를 형성하는 자성 코어와 이를 감고 있는 솔레노이드형상의 여자코일 및 검출코일을 포함한 플럭스게이트 센서의 제작방법, 자기검출특성에 관하여 논하였다. 특히, 평면상에서 직각으로 배열되어 제작된 2개의 플럭스게이트 센서를 통해 미약자계의 방향을 검출할 수 있으므로, 이를 통한 전자나침반으로의 적용에 대하여 논하였다.

* 正 會 員 : 삼성종합기술원, MEMS Lab
接受日字 : 2003年 4月 23日
最終完了 : 2003年 7月 4日

의 최대 출력전압은 각각 2.9 V_{p-p} 에서 20 mV, 1.9 V_{p-p} 에서 26 mV로 측정되었다. 먼저, 최대 전압을 출력할 때의 조건에서 센서간의 여자전압 및 출력전압의 차이는 자성체의 전해도급시 인가되는 자장 방향에 대한 이방성에 기인한다.

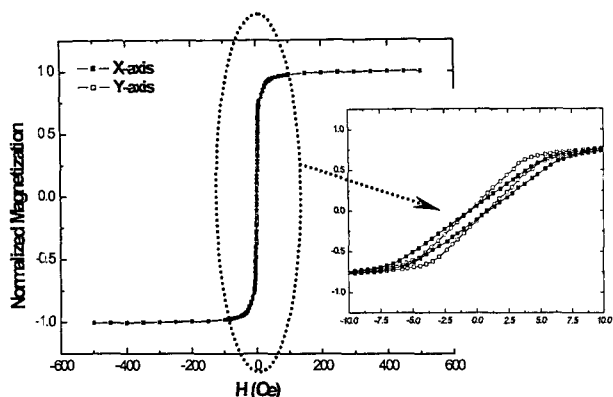


그림 6 표준화된 X-축, Y-축 플럭스게이트 센서의 자화 특성
 Fig. 6 Normalized magnetization curves of X- and Y-axis fluxgate sensors.

각 축을 이루는 자성체의 히스테리시스 특성은 그림 6과 같으며, X-축 및 Y-축 센서의 DC 실효 투자율은 각각 1087과 1415로 측정되어 형상이방성에 기인한 투자율의 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 투자율이 큰 Y-축 센서의 자성체는 투자율이 작은 X-축에 비해 보다 작은 전압에서 포화시킬 수 있으며, 제2고조파의 출력전압도 크게 나오게 된다.

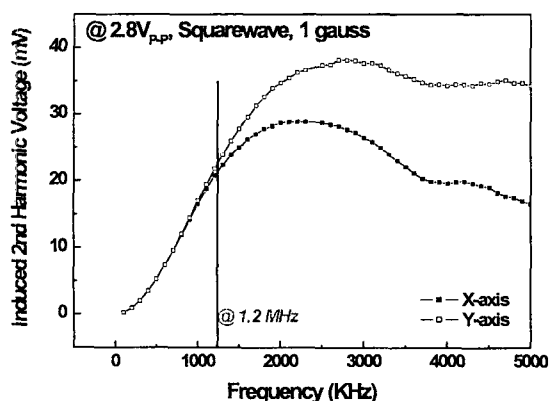


그림 7 외부자계 1 gauss에서 구형파 여자전압 2.8 V_{p-p} 의 주파수 변화에 따른 제 2 고조파 출력특성.
 Fig. 7 The induced second harmonic voltage as a function of the applied frequency at 2.8 V_{p-p} excitation voltage with a square wave.

그림 7은 센서에 외부자계 1 gauss 인가와 함께 2.8 V_{p-p} 구형파의 주파수를 변화시키며 여자코일에 인가시킬 때, 검출되는 출력전압의 변화를 보여주고 있다. 이 때, 인가하는 구

형파의 여자 전압 및 외부자계의 크기는 휴대용 시스템 적용 및 지구자계의 크기(대략 0.5 gauss)를 고려하여 결정하였다. 검출된 X-축과 Y-축 센서의 주파수별 응답특성은 각각 2.2 MHz에서 28.9 mV, 2.8 MHz에서 38.1 mV로 최대 전압을 출력한 후, 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 1.2 MHz까지는 각 축의 출력전압이 5% 이하의 차이 내에서 거의 동일하게 측정되었고, 1.2 MHz일 때의 출력전압은 X-축과 Y-축이 각각 20.8 mV, 21.8 mV로 측정되었다.

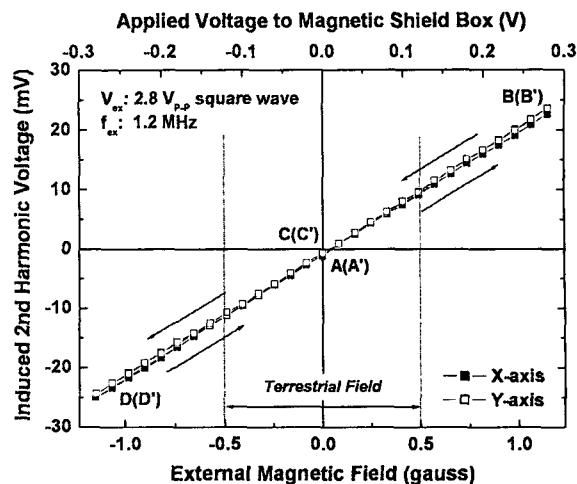
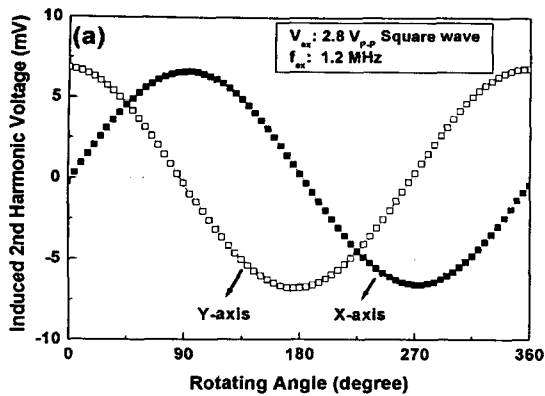
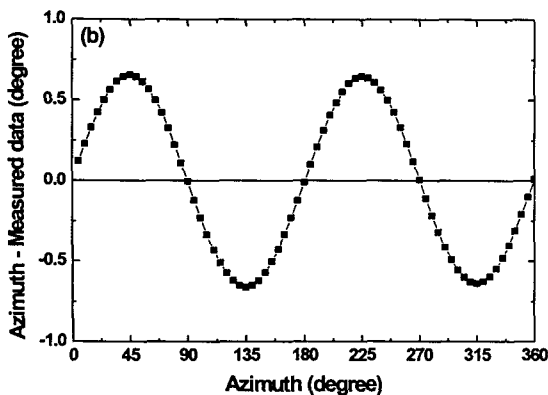


그림 8 1.2 MHz, 2.8 V_{p-p} 구형파가 인가될 때 외부자계 (-1gauss ~ +1gauss)에 대한 선형특성.
 Fig. 8 The linearity characteristics as a function of the external magnetic field of -1gauss ~ +1gauss with excitation square wave of 2.8 V_{p-p} and 1.2 MHz.

그림 8은 여자 전압이 2.8 V_{p-p} 일 때, 1.2 MHz인 구형파를 인가하여 측정된 2축 플럭스게이트 자기 센서의 선형특성 결과이다. 외부자계에 따른 이력현상은 거의 없었으며 -1 gauss에서 1 gauss까지의 외부자계영역에서 선형적인 특성을 나타내고 있고, 이 때의 감도 및 소비전력은 각각 210 V/T와 14 mW로 측정되었다. 또한, 그림 8에서 외부자계가 인가되지 않았을 때에도 offset이 존재하고 있는데, 이는 2축 센서를 장착시키는 과정에서 정확한 방향으로 정렬하지 못해 발생하였거나 치구의 고정핀에 존재하는 철성분으로 인해 발생한 것으로 사료된다. 2축 플럭스게이트 센서를 지구 자계 하에서 회전시켰을 때, 각각의 센서에서 출력되는 전압은 그림 9의 (a)와 같이 sine, cosine파의 형태를 띠게 되는데, 이와 같은 X-축과 Y-축의 출력전압 신호로부터 계산한 방위각으로부터 실제 방위각과의 오차를 그림 9의 (b)에 함께 표시하여 나타내었다. 실제 방위각과 계산한 방위각과의 최대오차는 0.65도 이었으며, 이는 X-축과 Y-축 센서간의 출력전압 차이에 의해 발생하는 것으로 사료된다. 이와 같은 오차는 구동전압 및 주파수의 조절을 통해서도 그 값을 크게 줄일 수 있을 것이므로, 제작된 2축 플럭스게이트 센서를 방위각 나침반으로 사용하는 데에 매우 우수한 특성을 나타내고 있는 것으로 사료된다.



(a) 회전각에 대한 각각의 센서 출력전압



(b) 실제 방위각과의 오차

그림 9 지구자계 하에서 2축 플럭스게이트 센서를 회전시켰을 때 (a) 회전각에 대한 각각의 센서 출력전압 (b) 방위각 표시를 위한 X-, Y-축 센서의 출력전압

Fig. 9 (a) Induced second harmonic voltage from X- and Y-axis fluxgate sensor (b) Difference between azimuth and measured data

5. 결 론

본 논문에서는 마이크로머시닝 기술을 이용하여 실리콘 기판에 미세 선폭의 솔레노이드 형태인 여자코일과 검출코일을 사각 링 형태의 자성코어와 함께 제작하여 초소형, 경량 및 저소비전력의 자계 검출용 센서를 구현하였다. 자성코어는 전해도금으로 형성하여 1000이상의 DC 실효투자율을 얻었다. 제작된 플럭스게이트 센서의 크기는 패드 부위를 제외하고 약 $2.6 \times 1.7 \text{ mm}^2$ 으로 소형화를 실현하였으며, 자기 센서의 여자코일에 인가되는 전압조건이 1.2 MHz, 2.8 V_{rms}의 구형파일 경우에 -1 gauss에서 +1 gauss의 영역까지 우수한 선형 특성 변화를 보였다. 또한 210 V/T의 고감도 출력특성을 보였으며, 소비전력은 약 14 mW의 결과를 보였다. 초소형으로 제작되어진 마이크로 플럭스게이트 자기 센서는 미약자계인 지자계를 쉽게 검출할 수 있으므로 절대 방향 정보를 제공하는 휴대용 내비게이션 시스템(navigation system)에 응용할 수 있을 뿐만 아니라, 훨씬 더 미약한 자계검출이 가능하므로

의료시스템과 같은 다양한 분야로의 응용을 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구의 일부는 과학기술부 국가지정연구실 사업의 마이크로 관성계측 시스템 기술 개발 과제의 지원에 의한 것 입니다.

참 고 문 헌

- [1] H. Thomas, "Direction responsive system", US Patent, No. 2016977, 1935.
- [2] F. Primdahl, "The fluxgate mechanism", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 6, p. 376, 1970.
- [3] F. Primdahl, "The fluxgate magnetometer", J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol.12, p. 241, 1979.
- [4] F. Primdahl and R. Coles, "A bibliography of magnetometers", Appendix 1, Proc. Int. Workshop on Magnetic Observatory Instruments, Ottawa, Canada, July 30 ~ Aug. 9, 1986.
- [5] P. Ripka, "Review of fluxgate sensors", Sensors and Actuators A, Vol. 33, p. 129, 1992.
- [6] T. Seitz, "Fluxgate sensor in planar microtechnology", Sensors and Actuators A, Vol. 21, p. 799, 1990.
- [7] S. Kawahito, Y. Sasaki, M. Ashiki and T. Nakamura, "Micromachined Solenoids for Highly Sensitive Magnetic Sensor", The 6 th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators, p. 1077, 1991.
- [8] S. Kawahito, H. Sato, M. Sutoh and Y. Tadokoro, "High-resolution micro fluxgate sensing elements using closely coupled coil structures", Sensors and Actuators A, Vol. 54, p. 612, 1996.
- [9] R. Gottfried-Gottfried, W. Budde, R. Jahne, H. Kuck and B. Sauer, S.Ulbricht and U. Wende, "A miniaturized magnetic field sensor system consisting of a planar fluxgate sensor and a CMOS readout circuitry", Transducers 95, Eurosensors IX, p. 249, 1995.
- [10] S. Choi, S. Kawahito, K. Takahashi, Y. Matsumoto, M. Ishida and Y. Tadokoro, "A planar fluxgate magnetic sensor for on-chip integration", Sensors and Materials, Vol. 9, No. 4, p. 241, 1997.
- [11] T. Liakopoulos and C. Ahn, "A micro-fluxgate magnetic sensor using micromachined planar solenoid coils", Sensors and Actuators, Vol. 77, p. 66, 1999.
- [12] P. Ripka, S. Choi, S. Kawahito, A. Tipek and M.

Ishida, "Micro-fluxgate sensor with double sided core", EMSA 2000 (Third European Conference on Magnetic Sensors and Actuators), Dresden, p. 157, 2000.

- [13] O. Dezuari, E. Belloy, S. Gilbert and M. Gijs, "New hybrid technology for planar fluxgate sensor fabrication", IEEE Transducers on Magnetics, Vol. 35, No. 4, p. 2111, 1999.
- [14] O. Dezuari, E. Belloy, S. Gilbert and M. Gijs, "Printed circuit board integrated fluxgate sensor", Sensors and Actuators, Vol. 81, p. 200, 2000.
- [15] Y. Tamura, "Weak-field magnetic field sensor having etched circuit coils", US Patent No. 5936403A, 1999.
- [16] 조원열, 황준식, 강명삼, 최상언, "페자로를 형성한 다이크로 플럭스게이트 자기 센서", Journal of the Microelectronics & Packaging Society, Vol. 9, No. 2, p. 19, 2002

저 자 소 개



박 해 석(朴海錫)

1971년 3월 19일생. 1995년 서울대 금속공학과 졸업. 1997년 동 대학원 금속공학과 졸업(석사). 1997년~2000년 대우전자 TMA연구소, 2000년~현재 삼성종합기술원 MEMS Lab. 전문연구원
 전화: 031-200-8622
 팩스: 031-200-3785
 e-mail: hspark71@samsung.com



심 동 식(沈東植)

1972년 7월 28일생. 1996년 한양대 전자공학과 졸업. 1998년 서울대 전기공학부 졸업(석사). 1998년~2001년 삼성전자 중앙연구소, 2001년~현재 삼성종합기술원 MEMS Lab. 전문연구원
 전화: 031-200-8709
 팩스: 031-200-3785
 e-mail: smallest@samsung.com



나 경 원(羅敬遠)

1965년 12월 15일생. 1991년 건국대 전기공학과 졸업. 2002년~현재 고려대 전기공학과 석사과정. 1990년~현재 삼성종합기술원 MEMS Lab. 전문연구원
 전화: 031-200-8715, 팩스: 031-200-3785
 e-mail: kyouwon.na@samsung.com



황 준 식(黃俊式)

1971년 10월 4일생. 1997년 한밭대 재료공학과 졸업. 1999년 충남대 재료공학과 졸업(석사). 1999년~현재 삼성종합기술원 연구원
 전화: 031-200-9295, 팩스: 031-200-3785
 e-mail: june.hwang@samsung.com



최 상 언(崔相彦)

1966년 6월 6일생. 1991년 영남대 전자공학과 졸업. 1994년 일본 토요하시기술과학대 전기전자공학과 졸업, 1997년 일본 동대학원 시스템정보공학과 졸업(공학박). 1997년~현재 삼성종합기술원 전문연구원
 전화: 031-280-9466, 팩스: 031-280-9473
 e-mail: sangon.choi@samsung.com