

## MEMS 공정 제작방법에 의한 솔레노이드형 여자 코일과 검출코일을 사용한 마이크로 플럭스게이트 센서

### MEMS-based Micro Fluxgate Sensor Using Solenoid Excitation and Pick-up Coils

나경원, 박해석, 심동식, 최원열, 황준식, 최상언

(Kyoung-Won Na, Hae-Seok Park, Dong-Sik Shim, Won-Youl Choi, Jun-Sik Hwang, and Sang-On Choi)

#### Abstract

This paper describes a MEMS based micro fluxgate magnetic sensing element using  $\text{Ni}_0.8\text{Fe}_{0.2}$  film formed by electroplating. The micro fluxgate magnetic sensor composed of a thin film magnetic core and micro structured solenoids for the pick-up and the excitation coils, is developed by using MEMS technologies in order to take advantage of low cost, small size and lower power consumption in the fabrication. A copper with  $20\mu\text{m}$  width and  $3\mu\text{m}$  thickness is electroplated on Cr ( $300\text{\AA}$ ) / Au ( $1500\text{\AA}$ ) films for the pick up (42turn) and the excitation (24turn) coils. In order to improve the sensitivity of the sensing element, we designed the magnetic core into a rectangular-ring shape to reduce the magnetic flux leakage. An electroplated permalloy film with the thickness of  $3\mu\text{m}$  is obtained under 2000 gauss to induce magnetic anisotropy. The magnetic core has the high DC effective permeability of  $\sim 1,100$  and coercive field of  $\sim 0.1$  Oe. The fabricated sensing element using rectangular ring shaped magnetic film has the sensitivity of about 150 V/T at the excitation frequency of 2 MHz and the excitation voltage of 4.4 V<sub>r.p.</sub>. The power consumption is estimated to be 50mW.

**Key Words** : Fluxgate, Permalloy, Sensor, MEMS

#### 1. 서론

플럭스게이트 자기 센서는 상온에서 자계를 코 감도 및 그 분해능으로 측정할 수 있으며,  $10^{-11} \sim 10^{-17}$  T 영역의 미약자계를 검출할 수 있는 센서이다. 기존의 플럭스게이트 자기 센서는 벌크 또는 리본형태의 자성코어, 여자코일 및 검출코일로 구성되어 있다.

이러한 플럭스게이트 자기 센서는 자성코어의 크기에 따라 비교적 대형으로 제작되어졌으며, 센

서의 전체 부체가 경량으로 제작되어지기 어려운 점이 있다. 또한 제작방법이 손으로 제작되어지기 때문에 가격이 비싼 단점이 있다[1-5].

이러한 단점을 해결하기 위해 실리콘 공정 기술을 이용한 플럭스게이트 자기 센서 개발을 통해 소형화, 경량화, 저가격화 및 소비전력을 줄이기 위한 연구가 진행되어지고 있다. 실리콘 공정기술을 기반으로 실리콘 기판상에 검출코일 및 박막 자성 코어를 형성하여 미약 자계의 검출에 이용한 센서가 1990년초에 Seitz에 의하여 최초로 보고되어졌다[6]. 최근의 반도체 공정기술의 발달과 함께 마이크로머시닝 (micromachining) 기술의 진보로 인하여 극미세 솔레노이드 형태의 여자코일과 검출코일의 형성 및 박막자기 코어 형성이 가능해졌으며, 이에 따라 저소비전력, 소형화 및 경량화,

MEMS Lab. 삼성종합기술원

(수원시 우체국 사서함 111)

Fax : 031-280-9473

Corresponding Author : kwna@sait.samsung.co.kr

2002년 9월 18일 접수, 2002년 10월 22일 1차 심사완료

2002년 11월 18일 최종 심사완료

저가격의 플럭스게이트 자기 센서의 제작이 가능해졌다[7, 8]. 마이크로머시닝 기술로 제작된 마이크로 플럭스게이트 자기 센서는 위치인식에 필요한 방향 정보를 제공하는 분야에 널리 응용되어지며, 산업의 발달과 더불어 항공기, 선박 및 차량의 위치인식 시스템, 교통량 검출하는 소자로서 이용될 수 있다. 또한, 가상현실 공간에서의 움직임 감지, HDTV의 지자기 보상 및 색 번짐 보상, ITS 등 최근 다양한 응용을 모색하고 있으며, 포터블 네비게이션 시스템(portable navigation system) 등과 같이 이동통신시스템에 적용되어 사용되어질 수 있다.

본 논문에서는 마이크로머시닝 미세 기술을 이용하여 MEMS 기술을 기반으로 마이크로 플럭스게이트 자기 센서를 제작하였으며, 소형, 경량화 및 저소비전력 구동을 위한 센서의 제작방법 및 특성에 대하여 논하였다.

## 2. 설 계

그림 1은 플럭스게이트 자기 센서의 3차원 형상의 개략도이며, 그림 2는 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작된 차동 여자형 마이크로 플럭스게이트 센서의 설계 구조도이다. 이 센서의 기본 구성은 박막 자성 코어, 여자코일 및 검출코일로 구성되어 있으며, 실리콘 기판 위에 실리콘 공정기술을 이용하여 고투자율의 연자성 코어와 함께 미소형상의 코일이 솔레노이드 형태로 적층되어 제작되었다. 그림 2에서 알 수 있듯이 여자코일과 검출코일 구조는 사각 링 형태의 연자성 코어에 솔레노이드 형태로 미소 간격으로 일정하게 감겨져 있다. 연자성 코어는 미소 보자력과 고투자율을 위하여 피델로이( $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ )를 사용하였으며, 전기도금방식으로 제작되어 1100의 실효 투자율 특성으로 설계되었다. 여자코일과 검출코일의 경우 높은 전도도를 위하여 구리를 전기 도금하여 제작하였다. 또한 연자성 코어를 통과하는 자속의 누설을 줄이기 위하여 자성 코어를 그림 2에서와 같이 사각 링 형태로 설계되었다. 보다 높은 감도를 달성하기 위하여 여자코일 1턴에 검출코일 2턴이 자성코어에 상호 연속적으로 감겨진 솔레노이드 형상의 코일 구조를 가지고 있으며, 여자코일과 검출코일의 권선수는 각각 24턴, 42턴으로 설계되었다. 코어는  $560\mu\text{m}$  폭으로 사각 링 형태의 코어로 가로와 세로의 크기는  $2360\mu\text{m}$ 와  $1390\mu\text{m}$ 로 설계하여, 자계 누설을 최소화 하였다.

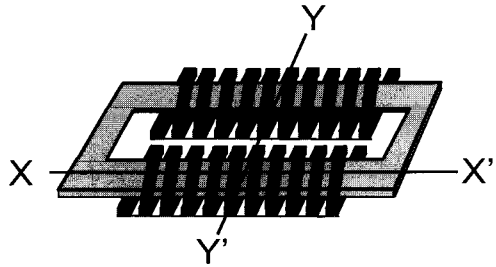


그림 1. 플럭스게이트 자기 센서의 3차원 형상 개략도.

Fig. 1. 3 dimensional schematic view of a fluxgate magnetic sensor.

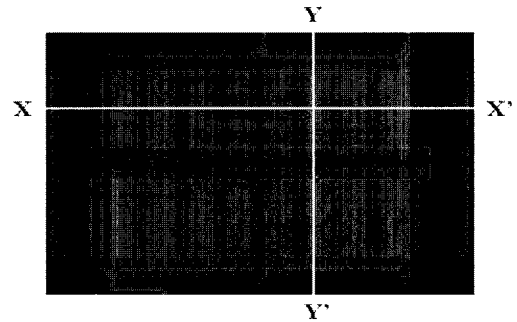


그림 2. 제작된 차동 여자형 마이크로 플럭스게이트 자기 센서의 설계 구조도.

Fig. 2. Design structure of the fabricated differential excitation micro fluxgate magnetic sensor.

## 3. 실험 및 공정

그림 3은 마이크로 플럭스게이트 자기 센서를 제작하기 위한 그림 2의 X X', Y Y' 단면에 대한 제작공정도를 나타내고 있으며, 센서를 제작하기 위한 기판으로서 실리콘을 사용하였다. 실리콘 기판상에  $1.0\mu\text{m}$ 의 두께로 산화막을 형성하였으며, 전기도금 기반층으로서 Cr ( $300\text{\AA}$ ) / Au ( $1500\text{\AA}$ )를 그림 3(a)와 같이 형성하였다. 그림 3(b)는 포토레지스트 (AZ9260) 도금 형성층을 형성하고 전기도금된 코일의 형상을 나타내고 있다. 도금 형성층으로써 사용한 포토레지스트를 제거 후, 코일의 사이에 있는 도금 기반층인 Cr ( $300\text{\AA}$ ) / Au ( $1500\text{\AA}$ )를 코일의 절연을 위하여 IBE (Ion Beam Etching)를 통해 제거한다. 각각의 코일이 절연된 후 자성 코

아 형성을 위한 절연막을 그림 3(c)와 같이 평탄하게 도포하여 준다.

그림 3(d)는 자성 코어를 도금하기 위한 도금 기반층으로 퍼벌로이 박막을 RF 스퍼터링에 의하여 절연층 위에 증착하였으며, 전기도금법 및 습식 에칭 기술을 이용하여 원하는 형태로 형성되어진 자성 코어의 단면을 보여주고 있다. 그림 3(e)는 자성 코어의 상부에 형성될 상부코일의 절연을 위하여 절연층을 도포한 후, 하부 코일과 상부 코일의 전기적 연결과 함께 솔레노이드 형태로 코일을 형성하기 위하여 절연층을 RIE 에칭하여 드루홀

(through hole)을 형성한 것을 그림 3(f)에서 보여 주고 있다. 형성된 드루홀을 통하여 솔레노이드 형태의 상부 코일 형성을 위하여 도금 기반층 Cr(300Å)/Au(1500Å)의 증착 및 상부 포토레지스트 도금층을 형성한 후 상부 코일의 전기도금을 그림 3-6과 같이 한다. 하부코일에서와 마찬가지로 코일 각각의 절연을 위하여 코일 사이에 있는 불필요한 전기도금 기반층 Cr (300Å) / Au (1500Å)을 IBE를 통해 제거하여 솔레노이드 코일을 형성한다. 그림 3(g)는 코일을 보호하기 위하여 절연막을 도포하여 보호막을 형성한 후 시편에 전기신호를 인가하기 위한 pad를 형성한 것을 나타낸다.

그림 4(a), (b)는 마이크로머시닝 기술로 제작되어진 마이크로 플럭스게이트 자기 센서의 전자현미경(SEM) 평면 및 단면 사진을 보여주고 있다.

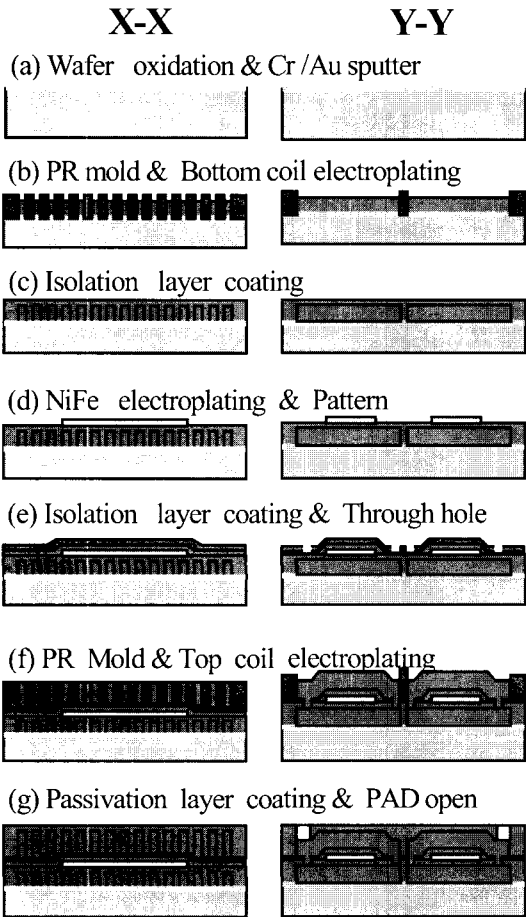


그림 3. MEMS 기술을 이용한 마이크로 플럭스게이트 자기센서의 제작 공정도.

Fig. 3. Process flow chart of MEMS-based micro fluxgate magnetic sensor.

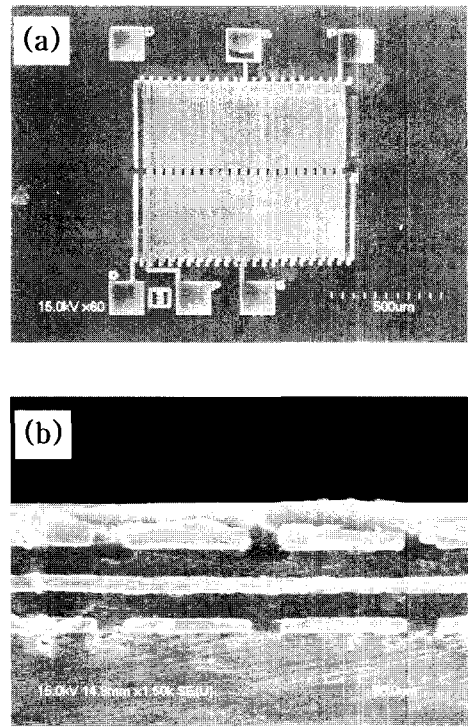


그림 4. 제작된 마이크로 플럭스게이트 자기 센서의 (a) 평면 전자 현미경 사진과 (b) 단면 전자 현미경 사진.

Fig. 4. (a) SEM top view and (b) SEM cross-sectional view of a fabricated micro fluxgate magnetic sensor.

그림에서와 같이 여자코일과 검출코일의 선폭과 두께는 동일하며, 각각의 선폭과 두께는 20 $\mu\text{m}$ 와 3 $\mu\text{m}$ 이다. 그리고 여자코일과 인접한 여자코일의 간격(pitch)은 84 $\mu\text{m}$ 이며, 검출코일과 검출코일의 간격(pitch)은 28 $\mu\text{m}$ 이다. 또한 그림에서 절연층이 평탄하게 형성되어져 있음을 볼 수 있으며, 연자성코일의 두께는 약 3 $\mu\text{m}$ 의 두께가 형성되었다. 마이크로머시닝으로 제작되어진 마이크로 플럭스게이트 자기 센서의 특성 측정을 위하여 여자코일에 Function generator (HP33120A)를 사용하여 전류를 인가하였고, 실험을 위하여 특수 제작되어진 magnetic shield system에 DC power supply (Agilent E3642A)로 전류를 인가하여 원하는 자기장을 형성하여 센서에 자기장을 변화 시키며 측정하였다. 또한 마이크로 플럭스게이트 자기 센서의 검출코일로부터 출력되어지는 제2고조파 신호를 검출하기 위해 spectrum analyzer (Agilent 4395A)를 이용하였으며, 상기의 계측기들은 GPIB Interface를 통하여 컴퓨터로 제어하며 측정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

MEMS 기술 기반으로 제작된 초소형 마이크로 플럭스게이트 자기 센서에서 솔레노이드 형식으로 마이크로하게 형성되어진 코일 사이에 형성되어진

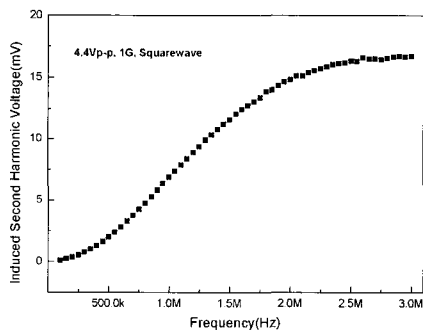


그림 5. 외부자기 1gauss에서 구형파 여자전압 4.4Vp p의 주파수 변화에 따른 유도된 제 2 고조파 출력특성.

Fig. 5. The induced second harmonic voltage as a function of the applied frequency at a 4Vp-p excitation voltage with a square-wave.

자성코어는 560 $\mu\text{m}$  폭의 사각링 형태로 전체 크기는 2360 $\mu\text{m}$   $\times$  1390 $\mu\text{m}$ 이다. 사각링 형태의 자성 코어에 솔레노이드 형식으로 형성되어진 여자코일과 검출코일의 권선수는 각각 24턴과 42턴이다. 전기

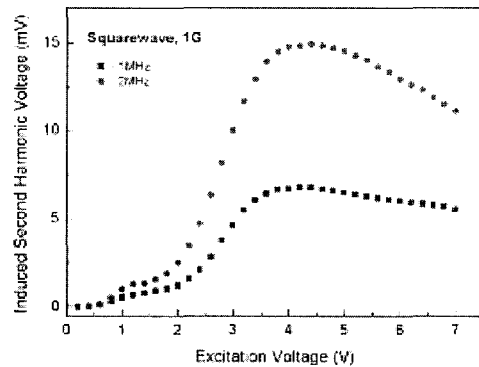


그림 6. 외부자기 1gauss에서 구형파를 가진 여자전압 변화에 따라 유도된 제2 고조파 출력특성.

Fig. 6. The induced second harmonic voltage as a function of the excitation voltage with a square wave at the external magnetic field of 1gauss.

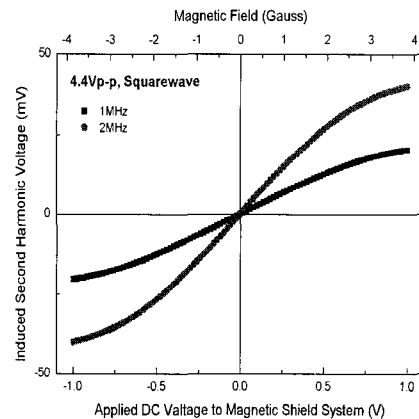


그림 7. 구형파 여자전압 4.4Vp-p에서 외부 자기 변화에 따라 유도된 제2고조파 출력특성.

Fig. 7. The induced second harmonic voltage as a function of the external magnetic field at a 4.4Vp-p square-wave excitation voltage.

도급으로 형성되어진 자성 코아의 히스테리시스 특성 측정을 위한 VSM 측정 결과로서 실효 투자율 1100과 보자력 0.1 Oe를 얻었다.

그림 5은 센서에 외부자계 1gauss 인가와 함께 4.4Vp-p 구형파의 주파수를 변화시키며 여자코일에 인가시키면서 검출되어지는 출력전압의 변화를 보여주고 있다. 검출되어진 주파수별 응답특성은 2MHz까지 출력전압이 증가되어지고 있으며, 2MHz에서의 출력전압은 15mV이다. 그림 6은 1MHz와 2MHz에서 여자코일에 인가되어지는 여자전압을 변화에 따른 제2고조파 출력특성을 보이고 있다. 특히 각각의 주파수의 경우 모두 약 4.4Vp-p의 구형파에서 출력전압이 각각 최대가 되었으며, 더 높은 여자전압에서는 출력전압이 감소되어지는 경향이 나타나고 있다.

그림 7은 외부자계 변화( 4 gauss에서 +4 gauss까지)에 따른 유도된 제2고조파 출력전압의 변화를 보여준다. 여자전압 주파수 2MHz에서 4.4Vp-p 구형파 전압인 경우 출력특성은 -2 gauss 와 +2 gauss까지의 자계영역에서 히스테리시스가 없는 우수한 선형성을 나타내고 있으며, 150V/T의 고감도를 나타낸다. 또한 제작된 마이크로 플럭스게이트 자기 센서의 소비전력은 약 50mW의 값이 측정되었다.

### 5. 결론

실리콘 기판을 사용하여 마이크로머시닝 기술로서 미세 선폭의 여자코일과 검출코일을 솔레노이드 형태로 사각 링 형태의 자성코아와 함께 실리콘에 고 집적하여 초소형, 성량 및 저소비전력의 센서를 구현하였다. 사각 링 형태의 자성코아를 전기도급으로 형성하여 실효투자율이 약 1100정도 얻었다. 제작되어진 마이크로 센서 칩(chip)의 크기는 약 2.6×2.6mm<sup>2</sup>으로 소형화를 실현하였으며, 자기 센서의 여자코일에 인가되는 전압조건이 2MHz, 4.4Vp-p의 구형파일 경우에 2 gauss에서 +2gauss의 영역까지 우수한 선형특성 변화를 보였다. 또한 150 V/T의 고감도 출력특성을 보였으며, 소비전력은 약 50mW의 결과를 보였다. 초소형으로 제작되어진 마이크로 플럭스게이트 자기 센서 50uT이하의 미약자계 검출용으로 이용되어질 수 있으며, 특히 절대 방향 정보를 제공하는 휴대용 내비게이션 시스템(navigation system)등 다양한 분야에서 응용되어질 수 있다.

### 감사의 글

본 연구의 일부는 Intelligent microsystem center 의 Development of micro wireless input device과 세의 지원에 의한 것입니다.

### 참고 문헌

- [1] H. Thomas and "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, 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.