

논문 2008-45SC-4-4

트렌치 구조 및 강자성체 박막을 이용한 홀 센서의 감도 대칭성 구현

(Realization of sensitivity symmetry of Hall Sensor using Trench
Structure and Ferromagnetic Thin Films)

박재성*, 최채형**

(Jae-Sung Park and Chae-Hyoung Choi)

요약

일반적으로 종래의 3 차원 홀 센서는 일반적으로 B_z 에 대한 감도가 B_x , B_y 에 대한 감도의 약 1/10 정도에 그친다. 따라서 본 연구에서는 새로운 구조를 갖는 3 차원 홀 센서를 제안하였다. 이방성 식각을 이용하여 트렌치를 형성함으로써 감도를 약 6배 증가시켰다. 또한 자속을 집중시키기 위하여 웨이퍼 후면에 강자성체 박막을 증착시킴으로써 B_z 에 대한 감도를 B_x , B_y 에 대한 감도의 약 80% 정도로 증가시켰다. 제작된 센서의 감도는 각각 $361\text{V/A}\cdot\text{T}$, $335\text{V/A}\cdot\text{T}$, 그리고 $286\text{V/A}\cdot\text{T}$ 로 측정되었다. 센서는 360° 회전체에 대해 사인파의 출력을 가졌다. 패키징 된 센서의 감응부의 면적은 $1.2\times 1.2\text{mm}^2$ 이었다. 센서의 선형성은 오차가 $\pm 3\%$ 로 우수하였다. 제작된 센서의 분해능은 약 $1\times 10^{-5}\text{T}$ 였다.

Abstract

Generally, for conventional 3-D Hall sensor it is general that the sensitivity for B_z is about 1/10 compared with those for B_x or B_y . Therefore, in this work, we proposed 3-D Hall sensor with new structures. We have increased the sensitivity about 6 times to form the trench using anisotropic etching. And we have increased the sensitivity for the B_z by 80 % compared with those of B_x and B_y using deposition of the ferromagnetic thin films on the bottom surface of the wafer to concentrate the magnetic fluxes. Sensitivities of the fabricated sensor with Ni/Fe film for B_x , B_y , and B_z were measured as 361mV/T , 335mV/T , and 286mV/T , respectively. It has also showed sine wave of Hall voltages over a 360° rotation. A packaged sensing part was $1.2\times 1.2\text{mm}^2$. The measured linearity of the sensor was within $\pm 3\%$ of error. Resolution of the fabricated sensor was measured by $1\times 10^{-5}\text{T}$.

Keywords: 3-D Hall sensor, anisotropic etching, ferromagnetic thin films

I. 서론

자기 센서는 자기 신호를 전기 신호로 변환하여 신호 처리용 시스템으로 전송시켜 주는 역할을 하게 되는데 최근에는 공간 자계의 검출이 가능한 2차원 또는 3차원

의 자기센서로 발전하고 있으며, 공간에서의 벡터량으로 나타나는 자기량을 2차원 또는 3차원의 값으로 보다 효과적으로 검출할 수 있어야 한다.^[1~5] 또한 회전체의 회전 속도, 위치 등의 회전 정보를 얻기 위해서는 2-D 또는 3-D의 Hall 센서^[6]가 필요하다.

이러한 목적으로 다양한 방식의 자기 센서들이 제안되고 있으며 보다 효과적인 3차원 자기센서의 개발이 진행되고 있다. 3차원 공간 자계 검출을 위한 3차원의 자기센서 시스템에서는 센서의 감도, 분해능, 그리고 각 검출방향에 대한 자계 검출 감도의 대칭성을 유지하는 것이 매우 중요한 요인이 된다. 종래의 공간 자계 검출

* 정회원, 영남이공대학 전자정보계열
(Dept. of Electronic & Information Engineering,
YNC)

** 정회원, 영남대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering, Graduated School,
Yeungnam University)

접수일자: 2007년5월25일, 수정완료일: 2008년7월8일

용 자기센서는 다른 종류의 센서에 비하여 그 감도가 현저히 낮고, 수직자계 성분(B_z)에 대한 감도가 수평자계 성분(B_x, B_y)에 대한 감도에 비해 약 1/10 정도로 매우 낮게 나타나는 문제점을 지니고 있다.^[7] 이러한 문제점으로 인하여 공간 자계에 따른 전체의 검출감도가 수직방향 검출 감도에 의존하게 되어 결과적으로 감도의 저하 및 최종출력의 보정이 필요하게 된다. 이러한 자기센서의 수직방향에 대한 감도 저하의 원인은 수직 자계 성분의 자속이 센서부에 정확하게 인가되지 못하고 여러 방향으로 흐트러지기 때문이다.

본 연구에서는 TMAH (tetramethyl ammonium hydroxide, $(CH_3)_4NOH$)에 의한 (111) 이방성 에칭^[8]을 이용해 중앙 전류 전극으로부터 외부 홀 전극 사이에 트랜치를 형성함으로써^[9] 활성영역의 두께를 보다 얇게 하여 소자 내에서 캐리어들의 흐름을 더욱 집중시키며 불필요한 캐리어들의 흐름을 억제함으로써 감도를 향상시키고자 하였다. 또한 본 연구에서는 수직자계의 감도를 개선하기 위하여 웨이퍼 후면에 강자성체인 Ni/Fe의 박막을 증착함으로써 자속의 집중효과로 수직 자계 성분에 대한 감도를 높여 자계의 3방향 성분에 대한 감도의 대칭성을 이루고자 한다.

II. 센서의 설계 및 제작

1. 센서의 구조

공간 자계 검출을 위한 홀 센서의 구조를 그림 1에 나타내었다. 3차원 홀 센서는 평면자계 B_x, B_y 를 검출하기 위해 중앙전류전극에 대해 y-방향 및 x-방향으로 대칭이 되도록 네 개의 홀 전극이 필요하고, 수직자계 B_z 를 검출하기 위해 각각의 홀 전극들은 분리시켜야 한다. 따라서 3차원 자계 검출을 위해서는 기본적으로 모두 8 개의 홀 전극이 필요하다. 본 연구에서는 보다 높은 홀 전압을 얻고 공정상 발생할 수 있는 옅셋을 줄이기 위하여 그림 1과 같이 12 개의 홀 전극을 구성하였다. 홀 센서의 감도는 입력전류와 자계의 세기에 비례하고, 그 두께에 반비례한다. 이를 수식으로 나타내면,

$$V_H \propto \frac{BI}{t} \quad (1)$$

V_H : 홀 전압, B : 자계, I : 전류, t : 센서의 두께

가 되고 이때 홀 전압을 증가시키기 위해서는 소자의 두께를 감소시켜 주어야 함을 알 수 있다.

본 연구에서는 활성영역의 두께를 감소시키고 캐리

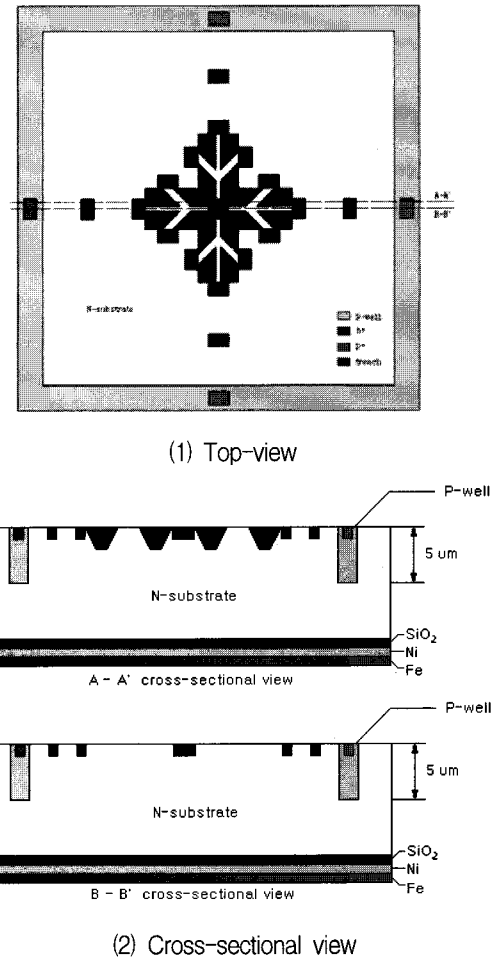


그림 1. 센서의 구조.
Fig. 1. Structure of the sensor.

어의 흐름을 유도시켜 센서의 감도를 높이기 위하여 TMAH를 이용한 이방성 에칭을 하여 트랜치를 설치하였다. 또한 수직자계에 대한 감도를 증가시키기 위하여 고투자율을 갖는 Ni와 Fe를 웨이퍼 후면에 증착시킨 구조를 채택하였다.

2. 센서의 제작

본 연구에서는 센서를 다음과 같이 제작하였다. N-type(100)의 웨이퍼를 세척 후 습식산화(1100°C)를 하였다. 그리고 소자간의 분리를 위한 p-well을 5 μ m 깊이로 형성하고 확산공정을 이용하여 각각의 전극들을 설치하였다. 이 때 홀 전극간의 거리(w)는 140 μ m로 구성하고 전류 전극간의 거리(L)는 200 μ m에서 50 μ m간격으로 350 μ m까지 되도록 하였다. 다음으로 25wt.%의 TMAH 용액을 이용하여 이방성 에칭을 하여 중앙 전극 주위의 트랜치를 1 μ m간격으로 1~5 μ m까지 형성시킨 후 웨이퍼의 후면에 SiO₂를 성장시키고 E-beam evaporator를 이용하여 10keV의 에너지로 Ni과 Fe을

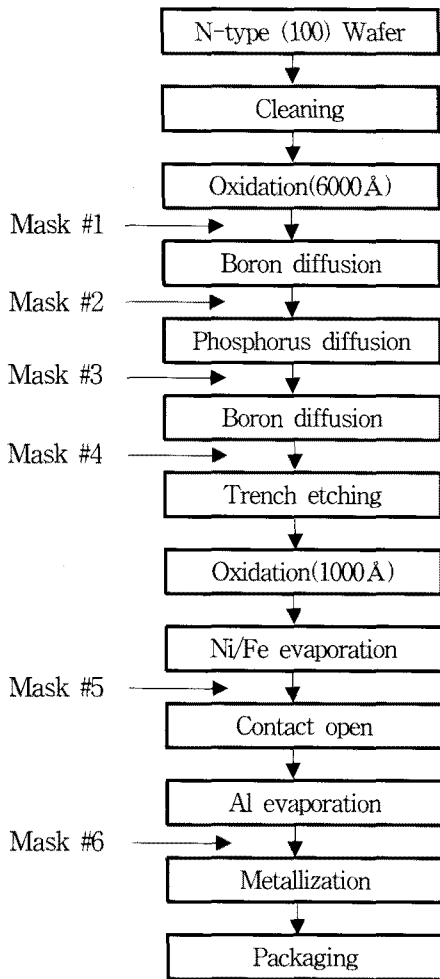


그림 2. 센서 제작 공정 순서.
Fig. 2. Fabrication process of the sensor.

표 1. 제조 공정 조건.
Table 1. Conditions of fabrication processes.

제조 공정	공정 조건
Oxidation	Wet, 1100°C
N ⁺ Diffusion	Phosphorus(liquid), 1100°C
P ⁺ Diffusion	Boron(liquid), 1100°C
Trench Etching	25wt.% TMAH, 90°C
Al Evaporation	Evaporator, 10 ⁻⁷ torr
Ni/Fe Evaporation	E-beam Evaporator, 10keV

각각 500Å과 300Å씩 차례로 증착하여 센서부를 제작하였다. 이에 Al을 증착한 후 450°C에서 30분간 어닐링하여 전극을 형성하였다. 제작된 소자의 전체 총 면적은 1.2×1.2mm²이었다. 끝으로 PID 신호 처리 기법을 이용하여 PCB에 장착시켰다. 본 연구에서 제작된 센서의 공정 순서를 그림 2에, 공정 조건을 표 1에 나타내었다. 또한 센서부에 채택된 트랜치 구조를 그림 3에 나타

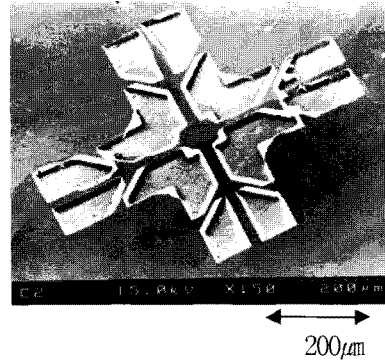


그림 3. 트랜치 영역의 SEM 사진.
Fig. 3. SEM photograph of trench area.

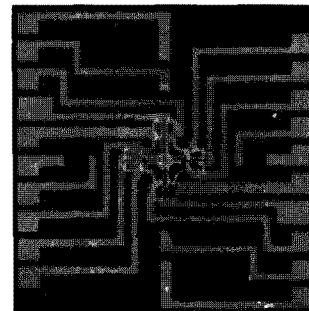


그림 4. 센서의 현미경 사진.
Fig. 4. Micro-photograph of the sensor.(×50)

내었다. 그림에서 에칭 된 하단 면에 다소의 hill-rock이 발생하였다. 이는 센서의 윽셋을 약간 증가시키는 요인은 있지만 센서의 활성영역에는 영향을 미치지 않으므로 센서의 특성에는 영향이 적었다.

제작된 센서의 현미경 사진을 그림 4에 나타내었다. 제작된 센서의 총 전극은 21개였다. 이를 24-pin Ceramic Dual In-Line Package (CerDIP)에 패키징 하여 PCB에 장착하였다.

III. 결과 및 고찰

제작된 센서의 전자기적 특성을 온도 변화에 비교적 둔감하고, 보다 정확한 측정을 위하여 정전류 구동의 방법을 사용하였다.^[10] 측정에서는 가능한 윽셋을 제거하고 감도를 높이기 위하여 차동 신호 처리가 사용되었다. 출력신호인 V_x, V_y, V_z는 센서의 3축에 대한 홀 전압의 차동 증폭에 의하여 획득되어진다.^[11~13] 본 연구에서 제작된 센서의 측정 장치 개략도를 그림 5에 나타내었다. 측정 장치를 이용하여 센서의 윽셋 전압을 측정하여 그림 6에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 전류 1mA를 인가하였을 때 보정을 한 센서의 윽셋은 6.12µV로 측정되었다. 이 윽셋 전압은 홀 전압의 약

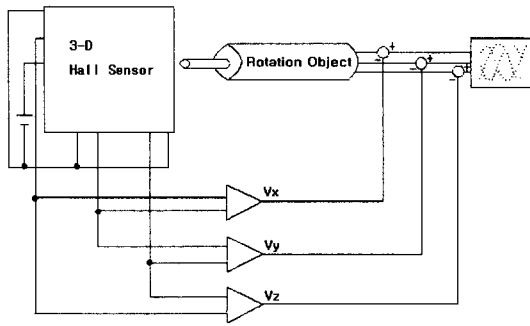


그림 5. 측정 장치 개략도.
Fig. 5. Schematic diagram of test facilities.

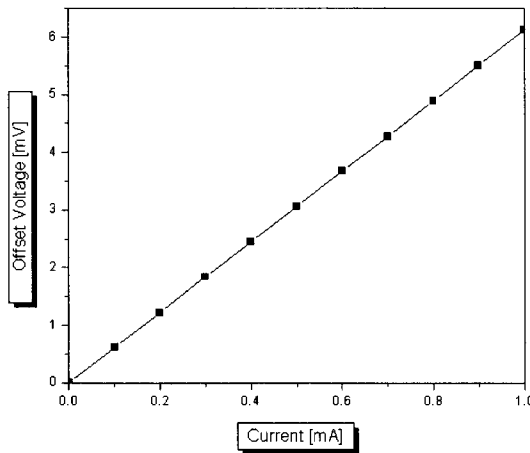


그림 6. 센서의 오프셋 전압.
Fig. 6. Offset voltage of the sensor.(B=0)

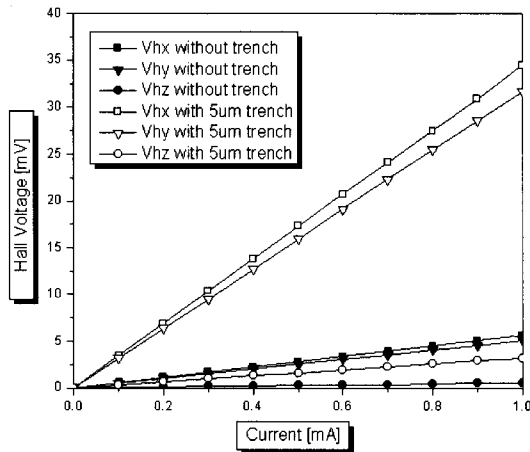


그림 7. 트렌치를 갖지 않는 구조와 5µm의 트렌치를 갖는 구조의 홀 전압.
Fig. 7. Hall voltage vs. current without and with trench of 5µm depth.(B=100mT)

1/1000이 안되므로 센서의 오프셋은 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.

다음으로 센서의 자기적 특성을 측정하였다. 트렌치를 갖지 않은 구조와 트렌치를 갖는 구조의 홀 전압을 측정하여 그림 7에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이

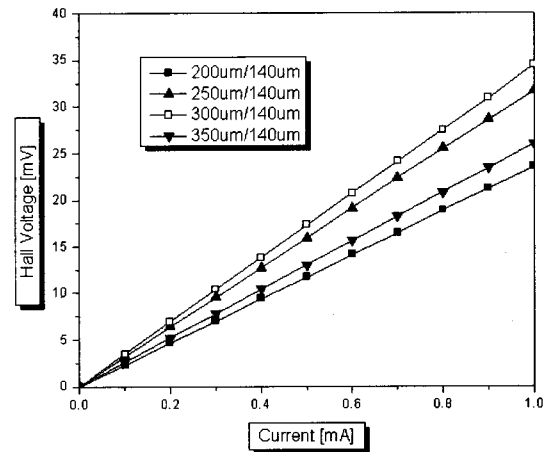


그림 8. l/w 변화에 따른 홀 전압.
Fig. 8. Hall voltage vs. l/w variation. (B=100mT)

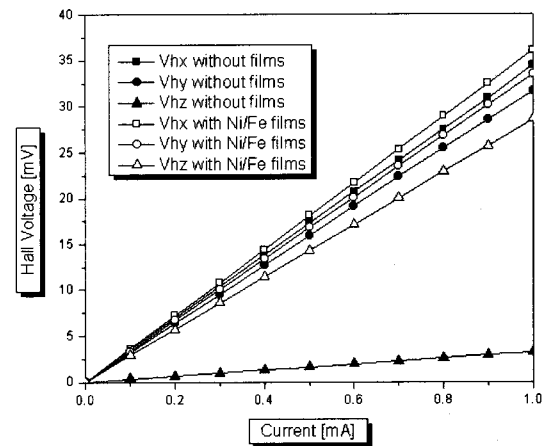


그림 9. Ni/Fe 박막을 갖지 않는 구조와 갖는 구조의 홀 전압.
Fig. 9. Hall voltage vs. without and with Ni/Fe films. (B=100mT)

전류 1mA를 인가하고 자계 100mT를 가했을 때, 트렌치를 갖지 않을 때의 홀 전압은 B_x , B_y , 그리고 B_z 에 대해 각각 5.65mV, 5.12mV, 그리고 0.52mV로 측정되었으며, 트렌치를 가질 때의 홀 전압은 각각 34.5mV, 31.7mV, 그리고 3.2mV로 측정되었다. 이는 트렌치 구조를 사용함으로써 소자 내의 캐리어의 흐름을 유도하여 감도를 증가시키는 효과를 얻을 수 있음을 의미한다.

또한 센서의 형상조건(l/w)에 따른 홀 전압의 변화를 측정하여 그림 8에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 센서 감응부의 형상조건에 따라 다양한 감도 특성이 나타났다. 본 연구에서 제작된 홀 센서 중 l/w 의 값이 300µm/140µm일 때 홀 전압이 가장 높게 측정되었다.

또한 Ni/Fe 박막을 증착시키지 않았을 때와 증착시켰을 때의 홀 전압을 측정하여 그림 9에 나타내었다. 전류 1mA를 인가하고 자계 100mT를 가했을 때 Ni/Fe

박막을 증착시켰을 때의 홀 전압은 B_x , B_y , 그리고 B_z 에 대해 각각 36.1mV, 33.5mV, 그리고 28.6mV로 측정되었다. Ni/Fe 박막을 증착시켰을 때, B_x 와 B_y 에 대한 홀 전압은 큰 변화가 없었으나 B_z 에 대한 홀 전압은 9배정도 크게 증가하였다. 제작된 센서의 감도는 B_x , B_y , 그리고 B_z 에 대해 각각 361, 335, 그리고 286(V/A · T)로 나타났다.

최소 자장 측정을 위하여 10 mm 두께의 Al 재질의 차폐 구조로 이루어진 차폐상자(shielding box) 내부에 제작된 3차원 홀 센서 및 구동을 위한 정전류원 부를 제작하여 넣고 차폐시켜 외부 잡음의 유입을 최소화한 후 자기센서 내부에서 발생하는 잡음의 영향을 관측하였다. 측정 장비로는 HP-5670A Dynamic signal analyzer를 이용하였으며, 이에 내장된 PSD(Power Spectral Density) 측정 기능을 사용하여 자기 센서의 출력전압의 PSD를 측정하였다.

이 때 소자는 1 mA의 구동전류를 공급하고 무자계시 및 1 kG 인가시의 특성을 측정하여 최소 측정 자장을 계산하였다. 중심주파수 f 및 S/N 비를 1로 가정하면, 최소 측정 자장 B_{min} 은 식(2)와 같이 계산된다.

$$B_{min} = \sqrt{S(f)\Delta f} \quad (2)$$

여기서, $S(f)$ 는 PSD로 단위는 V^2/Hz 가 되며, Δf 는 밴드 폭이다.

결과적으로 식(2)를 사용하여 사용주파수에서의 PSD 및 자기센서의 감도에서 검출 가능한 최소 자장을 얻을 수 있다.

측정된 3차원 자기센서의 잡음특성을 그림 10에 나타내었으며, 이것은 Hall 소자의 대략적인 사용범위인 0 Hz ~ 25 kHz 범위에서의 PSD 성분을 나타내고 있다. 그림

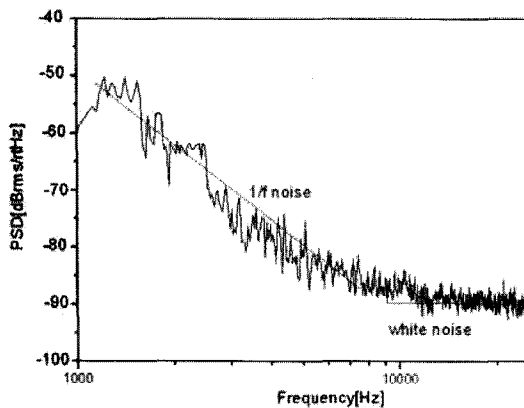


그림 10. 센서의 잡음 특성.
Fig. 10. Sensor's noise characteristics.

9의 PSD 특성은 전형적인 Hall 소자의 PSD 개형을 나타내고 있으며 잡음의 성분이 거의 1 kHz ~ 2 kHz 범위의 저주파 영역에 집중됨을 알 수 있다. 실제 측정에서는 구동전류는 1 mA, 측정주파수는 1 kHz, 주파수 분해능 (Δf)은 1 Hz로 하였다. 이 경우의 PSD는 $-43.6 \text{ dB}_s/\sqrt{\text{Hz}}$ 이었으며 제작된 자기센서의 감도가 361 V/A · T임을 고려하면 최소 측정 자장은 약 10 μT 로 나타남을 알 수 있었다.

IV. 결 론

총래의 3차원 홀 센서는 자계의 수평 성분과 수직 성분에 대한 감도의 차이가 크게 발생하였으며 자계 측정시 출력 값의 보상 및 측정 범위의 제한을 가져오는 요인이 되었다. 본 연구에서는 이러한 불편을 제거하고 감도 개선을 위하여 트랜치 구조를 설치하였으며 센서 후면에 Ni/Fe 박막을 증착하여 인가되는 수직 방향의 감도의 개선이 이루어지도록 하였다. 측정 결과 트랜치를 형성함으로써 6배의 감도 개선 효과를 얻었다. 또한 Ni/Fe 박막을 증착하여 수직 방향의 감도를 9배정도 증가시켰다. 감도를 개선한 결과 수직자계의 감도가 수평자계 감도에 대하여 약 80% 정도의 수준으로 특성이 개선되었으며 3방향의 검출 감도가 거의 균형을 이루었음을 보여주었다. 또한 제작된 센서는 360° 회전하는 회전체에 대해 사인파의 출력 파형을 나타내었다. 앞으로 센서의 검출 부 수를 줄이고 검출회로 시스템을 보완할 필요가 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] F. Burger, P. -A. Besse and R. S. Popovic, "New fully integrated 3-D silicon Hall sensor for precise angular-position measurements", *Sensors and Actuators*, A67(1998), pp. 72-76
- [2] M. Paranjape, Lj. Ristic and I. Filaovsky, "A 3-D Vertical Hall Magnetic Field Sensor in CMOS Technology", *IEEE Trans. Electron. Devices*(1991), pp. 1081-1084
- [3] T. Nakamura and K. Maenaka, "Integrated Magnetic Sensors", *Sensors and Actuators*, A21-A23(1990), pp. 762-769
- [4] Lj. Ristic, M. T. DOAN and M. Paranjape, "3-D Magnetic Field Sensor Realized as a Lateral Magnetotransistor in CMOS Technology", *Sensors and Actuators*, A21- A23(1990), pp. 770-775

- [5] Ed Ramsden, "Hall Effect Sensors: Theory & Application," Advanstar Communications, p. 31, 2001.
- [6] M. Paranjape, L. M. Landsberger, M. Kahrizi, "A CMOS-compatible 2-D vertical Hall magnetic-field sensor using active carrier confinement and post-process micromachining", *Sensors and Actuators A53*, pp. 278-283, 1992.
- [7] Hsiao-Yi Lin, Tan Fu Lei, Jz-Jan Jeng, Ci-Ling Pan and Chun-Yen Chang, "A novel structure for three-dimensional silicon magnetic transducers to improve the sensitivity symmetry", *Sensors and Actuators, A56(1996)*, pp. 233-237.
- [8] Osamu Tabata, "pH-controlled TMAH etchant for silicon micromachining", *Sensors & Actuators. A53*, pp.335-339, 1996.
- [9] M. Paranjape, Lj. Ristic. W. Allegretto, "Simulation, Design and Fabrication of a Vertical Hall Device for Two-Dimensional Magnetic Field Sensing", *Sensors and Materials*, 5, 2, pp. 091-101, 1993.
- [10] 정우철, 남태철, "차동검출방식을 이용한 홀 센서의 제작 및 특성", *한국센서학회지*. 제7권, 제4호, pp.225-233, 1998.
- [11] C. Schott, "High accuracy Analog Hall probe", *IEEE Trans. Instr. Meas.* 46(2), pp. 613-616, 1996.
- [12] Hubert Blanchard, Christina de Raad Iseli, R. S. Popovic, "Compensation of the temperature-dependent offset drift of Hall sensor", *Sensors and Actuators A60*, pp. 10-13, 1997.
- [13] Ed Ramsden, "Hall Effect Sensors: *Theory & Application*," Advanstar Communications Inc., 2001.

 저 자 소 개



박재성(정회원)

1986년 영남대학교 전자공학과 학사.

1990년 영남대학교 전자공학과 석사.

2000년 영남대학교 전자공학과 박사.

2002년~현재 영남이공대학 전자정보계열 부교수
<주관심분야 : 반도체 설계, 센서 및 시스템>

최채형(정회원)

1997년 영남대학교 전자공학과 학사.

1999년 영남대학교 전자공학과 석사.

2003년 영남대학교 전자공학과 박사 수료.

2002년~현재 영남이공대학 전자정보계열
겸임교수

<주관심분야 : 반도체 센서 및 시스템, MEMS>