

3상의 자계 검출을 위한 수직 Hall 센서의 제작

이지연[†] · 남태철

Fabrication of vertical Hall sensor for detecting three phases magnetic field

Ji-Yeon Lee[†] and Tae-Chul Nam

Abstract

In this study, we have fabricated a three branches vertical Hall sensor for detecting three phases rotation informations of miniaturized brushless motor. The sensor gives three position signals phase shifted by 120° , corresponding to the motor driving signals. The branch has one Hall output and one input each other. The central part acts as common driving input. Sensor has branch width of $150\ \mu\text{m}$ and distance from central electrode to Hall electrode of $100\ \mu\text{m}$. The sensitivity of sensor is $250\ \text{V/A} \cdot \text{T}$ at magnetic field of $0.1\ \text{T}$. It has also showed three sine waves of Hall voltages with 120° phase over a 360° rotation. A packaged sensing part are $2 \times 2\ \text{mm}^2$ and has been successfully tested on a motor rotation at a speed up to 60,000 rpm.

Key Words : vertical Hall sensor, motor control, angular position, brushless motor

1. 서 론

자기 센서는 비접촉, 비접점 측정의 특징을 지니고 있기 때문에 위치 측정, 회전수 측정, 자기 기록 매체 판독, 스위치 용으로 많이 응용되고 있다. 지난 세기동안 다양한 산업 응용분야에 많이 이용되고 있다^[1-6]. 특히 최근에는 소형 모터와 같은 회전체의 회전 정보를 얻기위한 센서의 연구가 많이 이루어지고 있다. 회전체의 회전 속도, 위치 등의 회전 정보를 얻기 위해서는 2-D 또는 3-D의 Hall 센서^[7-8]가 필요하다. F. Burger 등^[9]은 360° 의 회전 각도의 위치를 매우 정밀하게 측정할 수 있는 3-D의 Hall 센서를 제안하였다. 회전체 중에 brushless 모터가 소형 또는 초소형으로 많이 사용된다. 이에 모터의 제어 부분에서 회전에 관한 정보를 제공하기 위하여 Hall 센서가 brushless 모터에 사용된다^[10]. 이러한 정보는 모터의 성능을 개선하는데 사용될 수 있다.

본 논문에서는 3상 모터의 원리를 기초로 하여 120° 의 위상차에 따른 세 가지 신호의 자계를 검출하기 위

한 수직 3상 Hall 센서를 제작하여 특성을 분석하였다. 회전체의 자계신호를 감지하기 위해서는 수직 Hall 센서가 필요하다^[11]. 본 연구에서는 축의 폭이 $150\ \mu\text{m}$ 이고, 중앙 전극에서 Hall 전극 사이의 거리가 $100\ \mu\text{m}$ 인 센서를 제작하였고, PID 신호 처리 기법을 이용하여 PCB에 장착시켜 패키징하였다. 패키징된 센서의 감지부는 $2 \times 2\ \text{mm}^2$ 이다.

2. 센서의 원리

2.1. 수직 Hall 센서

Hall 센서는 자계의 세기를 측정하거나 자계 성분의 유무를 감지하는 역할을 하는 자기 센서이다. 자계는 3 차원적인 벡터이기 때문에 평면 좌표계에서 (x, y, z) 성분을 각각 측정해야 한다. 이때 z-성분은 Hall 센서의 면에 수직인 자계성분이다. 일반적으로 Hall 센서는 이와 같은 자계 성분의 검출을 목적으로 사용한다. 자계 성분의 유무를 감지하는 목적의 Hall 센서도 이에 속 한다. 이러한 Hall 센서를 수평 Hall 센서, 또는 일반적으로 Hall 센서라 한다.

다음, 자계의 x-, y-성분의 검출은 자계가 Hall 센서의 면에 평행하게 입사하는 경우이므로 자계의 방향을

영남대학교 전자정보공학부(School of Electrical Engineering and Computer Science, Yeungnam University)

[†]Corresponding author: jiyeun@ymail.ac.kr

(Received : January 14, 2005, Accepted : February 14, 2005)

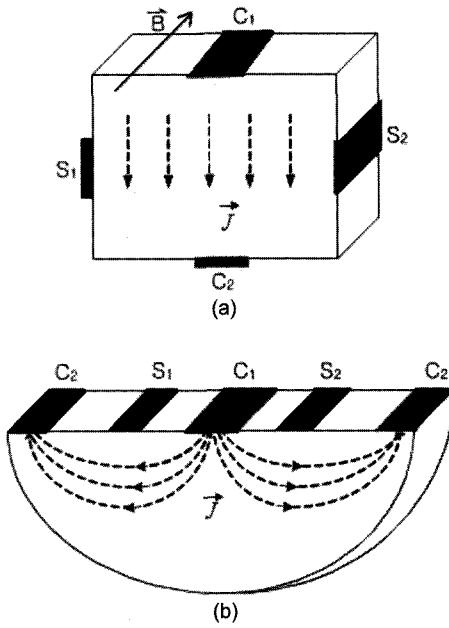


그림 1. Hall 플레이트 모양에 따른 전류밀도 분포, (a) 일 반형, (b) 반원 모양

Fig. 1. Current density distribution depending on the Hall plate shape, (a) conventional Hall plate, (b) semicircular Hall plate.

감지하는 경우와 같다. Hall 센서에 평행한 수평 자계 성분을 검출하기 위해서는^[12-13] 그림 1(a)와 같이 Hall 플레이트가 센서 표면에 수직하게 위치해야 한다. 그러나, 이 경우 전극을 Hall 플레이트의 바닥에 형성해야 하는 문제점이 있으며, 이를 해결하기 위해 Hall 플레이트의 C_2 위치의 활성영역을 변형하여 그림 1(b)처럼 하게 되면 모든 전극을 센서 표면에 형성할 수 있어 일 반적인 반도체 제조 공정으로 센서를 제작할 수 있다.

그림 2(a)에서 자계가 없을 때 C_1 으로 주입된 캐리어는 C_1 을 중심으로 해서 전류밀도가 대칭적으로 분포하여 Hall 전극 S_1, S_2 가 등 전위가 되고, 전압 차가 발생하지 않지만, 수평 자계가 인가되면 캐리어의 편향이 발생하여 양단의 전압 차가 발생하게 된다. 이를 수식으로 나타내면 식 (1), (2)와 같이 된다.

$$V_H = \int_{S_1}^{S_2} E \, dl \quad (1)$$

$$E = R_H J \times B \quad (2)$$

(R_H : Hall 상수)

이와 같이 수평 자계의 검출은 V_H 를 측정함으로써 알 수 있다.

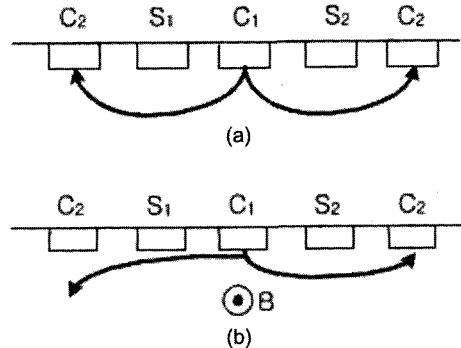


그림 2. 수직 Hall 센서의 수평 자계 감지 원리, (a) $B=0$, (b) $B \neq 0$

Fig. 2. Principle of magnetic field detection of the vertical Hall device, (a) $B=0$, (b) $B \neq 0$.

로렌츠 힘을 고려한, 기본 반도체 전류 밀도 식을 수 정한 시뮬레이션 지배 방정식은

$$J_n = q(\mu_n n E + D_n \nabla n) - r\mu_n (J_n \times B) \quad (3)$$

이다. 여기에서, μ_n 은 전자의 드리프트 이동도, n 은 캐리어 밀도, E 는 전계, V 는 자계, D_n 은 확산 계수, r 은 Hall 산란계수이다. 식(3)을 다시 나타내면

$$\begin{aligned} J_n &= \frac{1}{1 + (r\mu_n B)^2} [(q\mu_n n E + qD_n \nabla n) \\ &\quad + r\mu_n B \times (q\mu_n n E + qD_n \nabla n)] \end{aligned} \quad (4)$$

과 같이 된다.

2.2. 3축 수직 Hall 센서의 동작 원리

일반적으로 모터는 120° 의 위상차를 갖는 사인파형의 교류 전원에 의해 동작한다. 이러한 120° 의 위상차를 갖는 사인파형의 교류를 만들기 위하여 모터의 회전축에 영구 자석을 고정시켜 자계의 방향이 회전축에 수직이 되게 하고 그 밑에 Hall 센서를 위치시킨다. 자석은 센서표면에 평행하게 자계를 형성하게 하여, 센서의 감지방향과 정확히 일치시킨다. 센서의 구조는 그림 3에 나타낸 것과 같이 120° 의 각도를 3개의 축 위에 수직 Hall 센서(VHD)를 형성하였다. 자석이 회전할 때 축 위의 Hall 센서는 자동적으로 120° 의 위상차를 갖는 3 종류의 신호를 출력한다. 이것은 직접 모터 구동 신호로 이용된다. 이 원리는 모터 제어용 회로 구성을 아주 간단하게 할 수 있다는 장점이 있다. 각각의 축 위의 감지 부분은 수직 Hall 센서의 1/2 부분에 해당된다. 감지 부분을 일반 수직 Hall 센서의 1/2 부분씩 이

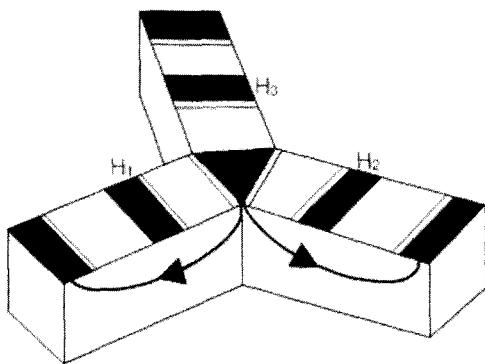


그림 3. 센서의 구조

Fig. 3. Structure of the sensor.

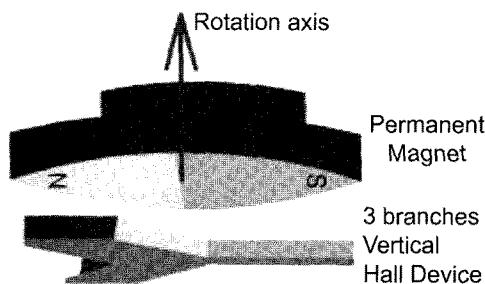


그림 4. 모터 각 위치 검출원리

Fig. 4. Detection principle of motor of angle position.

용함으로써 센서 시스템의 크기를 크게 줄일 수 있다.
그림 3에서 H_1 , H_2 , H_3 는 Hall 단자들이다.

그림 4에서는 brushless 모터를 제어하기 위한 각 위치 센서로 사용되는 3축 수직 Hall 센서의 자기 검출 원리를 나타내었다. 모터가 회전하는 축과 동일한 방향으로 영구자석을 장착하고 고정된 영구자석 평면에 수평으로 3축 수직 Hall 센서를 배치시켜 모터와 영구자석, 센서 축의 정렬을 맞추도록 한 것이다.

3. 센서의 제작

수직 Hall 센서인 경우 센서의 형상조건, 즉 센서의 활성화 영역의 폭과 중앙 전극과 Hall 전극 간의 거리가 센서의 감도를 개선하는데 영향을 많이 미친다. 이에 본 연구에서는 시뮬레이션과 실험을 통하여 최적의 형상조건을 찾아내었다. 그리하여, 센서의 폭은 고정하고 Hall 전극 간의 거리에 변화를 주면 센서의 감도가 더 개선된다는 점에 착안하여 센서를 제작하였다. 그 결과, 축의 폭이 $150\text{ }\mu\text{m}$ 이고, 중앙 전극에서 Hall 전극 사이의 거리가 $100\text{ }\mu\text{m}$ 인 센서가 비교적 높은 성능을 나타내었

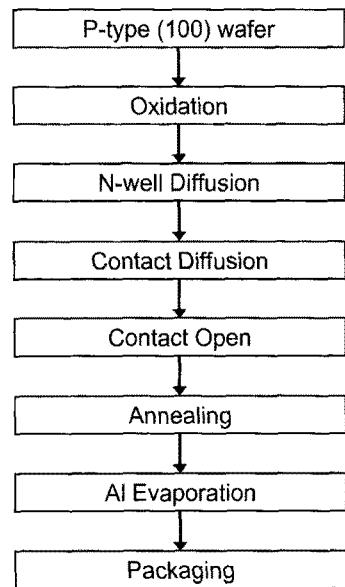


그림 5. 제작 공정도

Fig. 5. Overall process flowchart.

다. 따라서, 센서의 크기를 하나로 고정시키고 제작하여 특성을 관찰하였다. 먼저 p-type (100) 실리콘 웨이퍼를 준비하여 읍식산화로 1100°C 에서 7000 \AA 의 산화층을 형성하였다. 여기에 첫 번째 마스크를 이용하여 n-well을 정의한 후 두 번째 마스크를 이용하여 더 높은 농도로 n^+ 전극부를 형성하였다. 세 번째 마스크를 이용하여 전극을 개방하여 주었으며 진공증착기를 이용하여 Al을 증착시킨 후 네 번째 마스크를 이용하여 금속선을 정의한 후 Al 식각액으로 에칭을 하였다. 제작된 센서를 에폭시를 이용하여 차폐시키고 금속선을 연결한 후 패키징하였다. 센서의 제작 공정을 그림 5에 나타내었다.

제작된 센서의 SEM 사진은 그림 6에 나타내었다. 3개의 수직 Hall 센서가 정확하게 120° 씩 위상차를 갖는 센서의 구조로 형성됨을 알 수 있다.

4. 실험 결과

제작된 센서의 전자기적 특성을 측정하였다. 센서의 감도 및 분해능은 옵셋에 의존한다. 제작된 센서의 옵셋을 측정하여 그림 7에 나타내었다. 그리고 본 연구에서 사용된 센서의 구동 회로도를 그림 8에 나타내었다. 그림 7에서 알 수 있듯이 센서의 옵셋은 전압을 5 V 인가하였을 때 약 6 mV 로 매우 높게 나타났다. 이러한 경우, 옵셋을 보상해 주지 않으면 센서의 감도를 저하시키므로 필히 없애야 할 필요가 있다^[7,8].

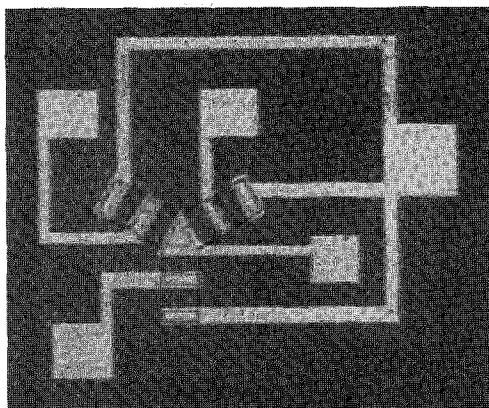


그림 6. 제조된 센서의 SEM 사진
Fig. 6. SEM micrograph of fabricated sensor.

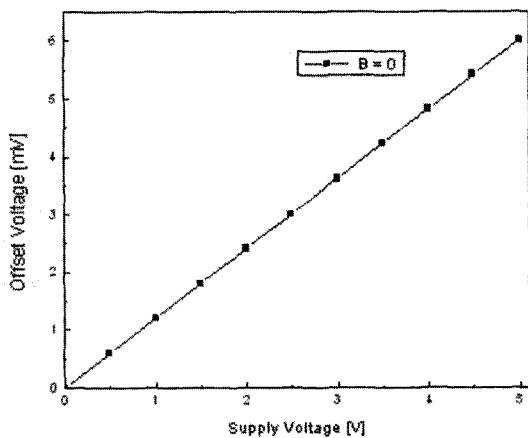


그림 7. 센서의 옵셋 전압
Fig. 7. Offset voltage of the sensor.

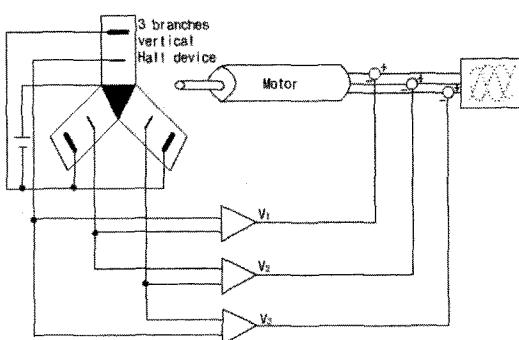


그림 8. 실험 장치 개략도
Fig. 8. Schematic diagram of the test facilities.

그림 8은 제작된 센서를 이용하여 모터의 구동신호와 회전수를 측정하기 위한 실험 장치 단면도이다. 3축

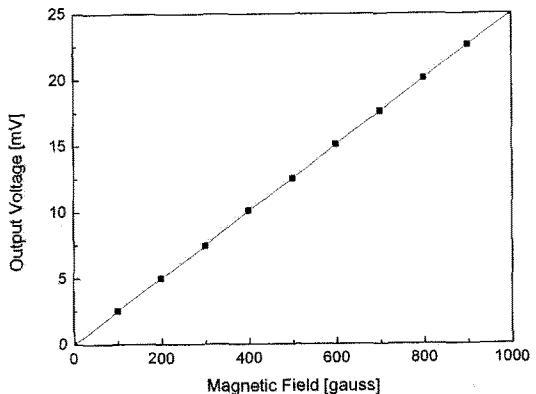


그림 9. 인가자계의 변화에 대한 출력 Hall 전압의 변화
Fig. 9. Hall voltage depending on the applied magnetic field.

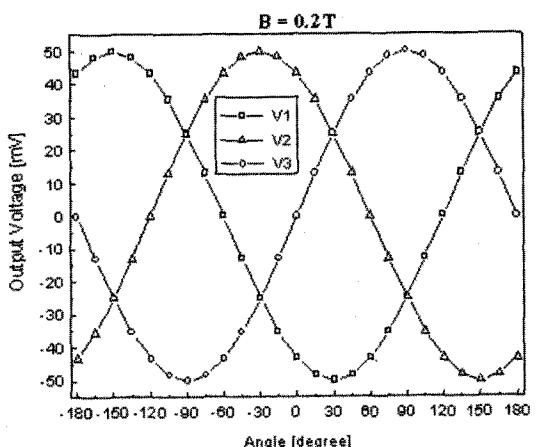


그림 10. 위상 변화에 따른 센서의 출력
Fig. 10. Sensor output of phase variation.

수직 Hall 센서에는 5개의 전극이 필요한데 이 중에서 2개의 전극은 전압을 공급하기 위한 것이고, 3개의 전극은 Hall 전압을 추출하기 위한 것이다. 실험에서는 가능한 옵셋을 제거하고 감도를 높이기 위하여 차동 신호 처리가 사용되었다. 출력신호인 V_1 , V_2 , V_3 는 센서의 3축에 대한 Hall 전압의 차동 증폭에 의하여 획득되어진다^[14-16].

또한 자계에 대한 출력 Hall 전압의 변화를 그림 9에 나타내었다. 자장을 0.1 T까지 인가하면서 이때 출력되는 Hall 전압의 변화량을 측정한 결과로 제작된 센서가 선형성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 제작된 센서의 감도는 250 V/A · T로 나타났다.

그림 10에 나타난 결과는 센서가 360° 회전하면서

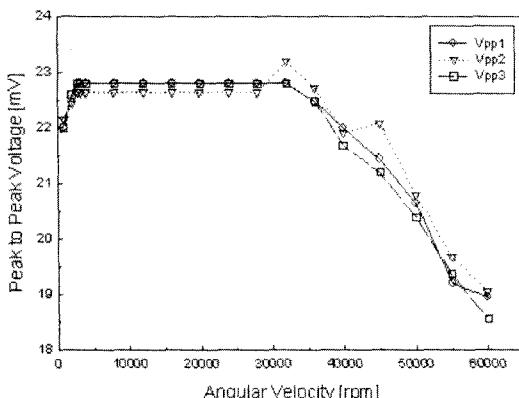


그림 11. 각속도에 따른 출력신호

Fig. 11. Output voltages depending on the angular velocity.

변화하는 센서의 감도를 측정한 것이다. 자장을 0.2 T로 일정하게 인가하였을 때 제작된 센서의 출력은 형상 조건에 부합하여 거의 120°의 위상차를 보였다. 이것은 세 출력신호에서 정확하게 위상이 이동된다는 것을 증명하는 것으로 모터 제어에 응용될 수 있다는 것을 나타낸다.

그림 11에서는 각 속도에 따른 센서 출력 신호의 변화를 측정한 것이다. 모터의 속도가 30,000 rpm까지는 안정한 출력을 보이나, 30,000 rpm이 지난 시점에서 모터의 최대속도인 60,000 rpm에서는 출력이 회전속도에 따라 감소함을 보였다.

5. 결 론

3상 자계 검출을 위한 3축 수직 Hall 센서를 제작하여 특성을 분석하였다. 제작된 센서는 축의 폭이 150 μm이고, 중앙 전극에서 Hall 전극 사이의 거리가 100 μm이며, 패키징된 감지부가 2 × 2 mm²인 센서이다. 센서의 감도는 250 V/A · T로 우수하였고 위상차에 따른 출력도 거의 120°를 유지하였다. 또한 센서는 모터의 최대회전 속도인 60,000 rpm까지 각 위치를 측정할 수 있었다. 앞으로 센서의 특성과 회로 기법을 보완하여 회전 속도를 더 증가시키며 초소형화하는데 노력을 기울일 것이다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 영남대학교 정보통신연구소의 지원에 의하여 이루어진 것임.

참고 문헌

- [1] H. P. Baltes and R. S. Popovic, "Integrated semiconductor magnetic field sensors", *Proc. IEEE*, vol. 74, pp. 1107-1132, 1986.
- [2] T. Nakamura and K. Maenaka, "Integrated magnetic sensors", *Sensors and Actuators*, vol. A22, pp. 762-769, 1990.
- [3] James E. Lenz, "A review of magnetic sensors", *Proc. of the IEEE*, vol. 78, no. 6, June 1990.
- [4] K. Mohri, T. Uchiyama, and L. Panina, "Recent advances of micro magnetic sensors and sensing application", *Sensors and Actuators*, vol. A59, pp. 1-8, 1997.
- [5] R. S. Popovic, J. A. Flanagan, and P. A. Besse, "The future of magnetic sensors", *Sensors and Actuators*, vol. A56, pp. 39-55, 1996.
- [6] R. S. Popovic, "Hall effect devices", in: B. E. Jones(Ed.), Adam Hilger, New York, 1991.
- [7] M. Paranjape, I. Filanovsky, and L. J. Ristic, "A 3-D vertical Hall magnetic-field sensor in CMOS technology", *Sensors and Actuators*, vol. A34, pp. 9-14, 1992.
- [8] M. Paranjape, L. M. Landsberger, and M. Kahrizi, "A CMOS-compatible 2-D vertical Hall magnetic-field sensor using active carrier confinement and post-process micromachining", *Sensors and Actuators*, vol. A53, pp. 278-283, 1992.
- [9] 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*, vol. A67, pp. 72-76, 1998.
- [10] F. Burger, P.-A. Besse, and R. S. Popovic, "New single chip Hall sensor for three phases brushless motor control", *Sensors and Actuators*, vol. 81, pp. 320-323, 2000.
- [11] E. Schurig, M. Demierre, C. Schott, and R. S. Popovic, "A vertical Hall device in CMOS high-voltage technology", *Sensors and Actuators*, vol. A97-98, pp. 47-53, 2002.
- [12] 정우철, 남태철, "TMAH에 의한 이방성 석각을 이용한 3차원 자기센서의 제작", *센서학회지*, 제8권, 제4호, pp. 308-313, 1999.
- [13] 최재형, 이지연, 정우철, 김미목, 남태철, "이방성 석각 및 Ni/Fe 박막을 이용한 3차원 흄 센서의 감도 개선", *한국센서학회 종합학술대회 논문집*, 제10권, 제1호, 1999.
- [14] C. Schott, "High accuracy analog Hall probe", *IEEE Trans. Instr. Meas.*, vol. 46, no. 2, pp. 613-616, 1996.

- [15] Hubert Blanchard, Christina de Raad Iseli, and R. S. Popovic, "Compensation of the temperature-dependent offset drift of Hall sensor", *Sensors and Actuators*, vol. A60, pp. 10-13, 1997.
- [16] Ed Ramsden, "Hall effect sensors: *Theory & Application*", Advanstar Communications Inc., 2001.



이 지 연

- 1994. 2 경일대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1996. 8 영남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1998. 8 ~ 현재 영남대학교 대학원 박사과정
- 주관심분야 : 반도체공학, 전자기학, 전자회로, 반도체 공정을 이용한 자기센서의 개발 및 측정 시스템

남 태 철

- [센서학회지 제13권 제3호] p. 181 참조
- 현재 영남대학교 전자정보공학부 교수