

논문 98-7-4-01

차동검출방식을 이용한 홀 센서의 제작 및 특성

정우철*, 남태철**

Fabrication and Characteristics of the Hall Sensor Using
Differential Detection Method

W. C. Jeong*, T. C. Nam**

요 약

150°C 정도의 높은 온도를 갖는 경우와 같은 열악한 환경 조건하에서의 기어 톱니의 회전수 검출을 위한 센서의 원리, 설계, 응용에 대하여 연구하였다. 톱니 바퀴의 회전의 검출을 위해 바이폴라 실리콘 공정에 의하여 SIMOX 기판위에 한 쌍의 Hall 소자들을 제조하여 차동검출방식을 사용하였다. 제작된 고온용 Hall 소자는 -40°C ~ 150°C의 넓은 온도 영역을 지니며 동작영역에서의 적감도는 약 510 V/AT이었다. 차동 Hall 소자는 단일 Hall 소자를 사용할 때보다 넓은 온도 영역에 걸쳐 센서와 톱니 바퀴사이의 가능한 최대 거리를 보다 넓게 만들어 주었으며 최대 검출거리는 4mA의 구동전류에서 약 4.5mm이었다.

Abstract

The principle, design, and application of a gear-tooth sensor for the rough environmental conditions such as high temperatures of up to 150°C are studied. The rotation of a tooth wheel is detected by a couple of Hall elements manufactured on the SIMOX wafer by a method of differential detection using bipolar silicon technology. The product sensitivity of the Hall element is about 510 V/AT over a wide temperature range of -40°C ~ 150°C. The differential Hall sensor makes the maximum possible distance between sensor and tooth wheel wider than that when single Hall element is used over a wide temperature range, and the maximum detectable distance is 4.5mm at driving current of 4mA.

1. 서 론

최근 각 분야에서의 자기센서를 이용한 적용분야가 증가하고 있는 가운데 자동차에 적용되는 자기센서의 사용량이 증가하고 있다. 특히 자동차의 엔진 회전에

관한 속도 및 회전 상태와 바퀴의 회전수 검출을 통한 브레이크 안전시스템(ABS) 등에 적용은 이미 상당부분 진행되었으며, 그밖에도 차량의 전기계통의 전류량 감시 시스템, 차량 운행정보 시스템 등에 자기센서의 응용¹⁾이 검토되고 있는 실정이다. 이러한 차량용 자기센서는 동작특성상 광학식 센서 및 코일을 사용한 검출기 등에 비하여 오동작율이 적고 내구성이 우수하며 소형 및 경량화가 가능하다는 장점을 지니고 있으나, 현재 사용중인 자기센서는 사용온도 범위 및 감도

* 포항산업과학연구원 전력전자팀(Power Electronics Team, RIST)

** 영남대학교 전기전자공학부(School of Electrical & Electronic Engineering, Yeungnam Univ.)

<접수일자 : 1998년 5월 21일>

등의 문제점으로 인하여 보다 다양한 적용이 어려우며 특히 엔진부위 등의 고온부의 적용이 어려워 결국 자기센서 사용의 제한으로 이어지고 있다.

본 연구에서는 SOI 구조의 Hall 소자를 제작하여 동작 온도 범위의 문제점을 개선하여 고온 동작을 가능하게 하며 차동증폭방식의 소자 구동부 및 출력신호 처리부를 지니는 자기센서를 구현하여 측정감도를 향상시켜 사용할 때의 오동작을 낮추고 검출거리를 증가시키는 것을 목적으로 하였다. 이렇게 함으로써 기존의 도핑에 의한 wall 구조로 이루어지던 소자의 분리 및 절연에 비해 고온에서의 안정성이 높아지도록 하였으며, 또한 동일한 소자영역 위에 2 개의 Hall 소자를 구성하여 각 Hall 소자의 출력전압을 차동증폭하여 옅셋 감소 및 감도증가의 효과를 얻을 수 있도록 하였다. 그리고, 이 소자의 구동 및 신호처리를 위한 시스템을 설계하여 제작된 Hall 소자의 특성을 측정하였다.

2. 고온용 Hall 소자의 제작

일반적인 바이폴라 기술을 이용하는 Hall 소자는 센서의 활성(active) 영역을 n-epi 층을 사용하고 있으며 소자의 분리를 위하여 측면에는 p-wall 구조를 사용하고 아랫면은 p-형 실리콘으로 구성되어 있다. 이러한 구조를 갖는 Hall 소자의 경우에는 동작온도가 올라갈수록 p-wall 과 활성 영역의 분리가 어려워지고 아래의 p-형의 기판으로 캐리어가 흘러 감도의 저하를 가

져오게 되며 120°C 정도에서는 센서로서의 동작이 어려워지게 된다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하고 고온에서의 동작을 가능하게 하기 위하여 SIMOX 기판을 사용하여 고온용 Hall 소자를 제작하였다. SIMOX 기판을 사용하는 고온용 Hall 소자에서는 아랫면과의 소자의 분리는 SiO₂ 층을 통하여 이루어지고 측면의 분리는 실리콘을 에칭하여 트렌치 구조를 형성시켜 물리적으로 완전히 분리된 활성 영역을 형성하여, 소자의 분리를 위해 SiO₂ 층과 트렌치 구조를 사용함으로써 온도에 따른 영향을 최소화할 수 있도록 하였다. 또한 동일한 Hall 소자 2 개를 하나의 센서영역으로 두어 각종 옅셋성분을 줄일 수 있도록 하였고, 2 개의 소자를 차동으로 구동함으로써 회전수 검출장치 등의 응용시에 감도의 향상이 가능하도록 배치하였다. Hall 소자의 제작에 사용 가능한 SOI 구조의 웨이퍼는 SIMOX, SDB 웨이퍼등 여러 종류가 있는데 SDB 웨이퍼를 사용하는 경우에는 SOI 층의 특성은 우수하게 나타나지만 두께가 수 μm ~ 수 십 μm 정도이므로 Hall 소자를 제작하는 경우 동작 특성이 bulk 층에서 동작하는 것과 큰 차이가 없을 것으로 판단되었고, Hall 소자의 감도는 동작영역의 두께가 얇을수록 증가하므로 SDB 웨이퍼의 경우에는 감도의 저하가 예상되므로 고온용 자기센서의 제작에는 다소간 문제가 있다고 본다.

본 연구에서는 이러한 점들을 고려하여 활성 영역으로 사용할 SOI 부분의 두께가 얇은 SIMOX 웨이퍼를

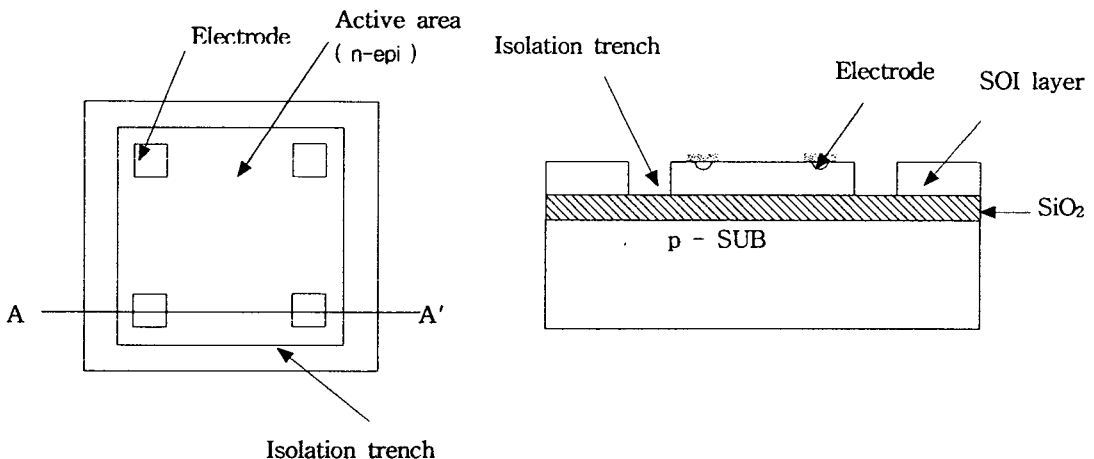


그림 1. 고온용 SIMOX Hall 소자의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of high temperature SIMOX Hall device.

사용하여 그림 1에 나타난 것과 같은 형상을 갖는 Hall 소자를 제작하였다. SIMOX 웨이퍼의 SiO₂ 층을 형성하기 위한 이온 주입공정시에 발생하는 결함(defect)을 최소화하기 위해서 사용할 SIMOX 웨이퍼를 1,600℃의 온도에서 3시간 동안 고온 열처리를 통하여 SOI 영역의 실리콘 원자의 재배치를 유도하여 이온 주입시 발생하는 결함을 최소화하였다. 본 연구에서 사용한 SIMOX 웨이퍼는 2,450Å의 SOI 층을 지니며 2,000 Å의 SiO₂ 절연층을 지니는 p-type 이었다.

다음으로 소자의 측면분리를 위하여 wet-etching 으로 트렌치를 형성하여 주는데 이때 에칭을 위한 마스크로는 dry-oxide 층을 사용한다. 실리콘 층을 에칭하기 위하여 일반적으로는 80℃의 KOH 용액을 사용하는데 KOH 용액은 식각율이 떨어지고 식각표면이 다소

간 불균일하게 나타나는 문제점을 지닌다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 TMAH(Tetra Methyl Ammonium Hydroxide; (CH₃)₄NH₄OH)용액을 사용하였다. Aldrich사의 TMAH 용액을 약 25wt% 농도로 하여 80℃로 가열한 후 에칭용액으로 사용하였다. 이 용액은 약 0.8 μm/min의 높은 식각율을 나타내며 실리콘과 실리콘 산화막의 선택도가 매우 우수하여 실리콘이 100 μm 에칭될 때 실리콘 산화막은 약 1,000Å 정도 에칭되는 비율로, 약 1,000 : 1 정도의 선택도를 나타내므로 SiO₂ 층을 마스크 및 Etch-stop 으로 사용할 수 있어 SIMOX 기판의 아래층 부분의 buried SiO₂ 층이 자연적인 etch-stop 으로 작용하므로 매우 우수한 트렌치 구조를 얻을 수 있었다.

Wet-etching 에 의해 형성된 Hall 소자의 활성 영역에 외부와의 전기적 접촉을 형성하기 위한 4개의 n+ 전극을 형성시키기 위해 이온주입 공정을 거쳐 900℃에서 30분간 어닐링을 실시하여 주입이온이 소자표면에서 옴성 접촉을 갖도록 하였다. 이후에 Al을 진공증착하여 식각을 통해 전극 pattern을 형성하고 wire bonding 을 위한 pad 를 구성하였으며, 소자의 ohmic 영역과의 접촉을 향상시키기 위하여 450℃로 30분간 열처리하여 Al 과 실리콘간의 접촉을 원활하게 하였다. 위에서 설명한 소자 제작 공정의 순서를 그림 2에 나타내었다.

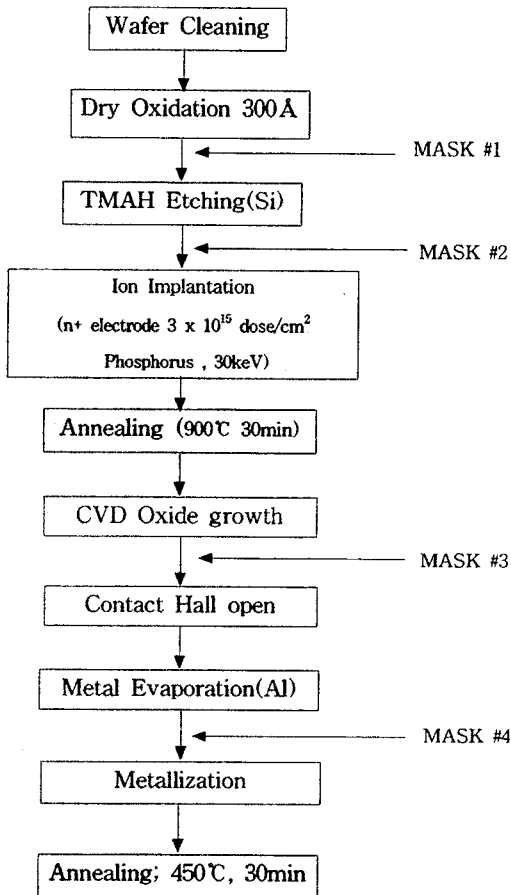


그림 2. 고온용 Hall 소자의 제작 공정 순서도
Fig. 2. Flow-chart for fabrication of high temperature Hall device.

3. 고온용 Hall 소자의 특성

이상의 공정으로 제작된 고온용 SIMOX Hall 소자의 특성분석을 위해 ceramic package 판에 소자를 집착하고 wire bonding을 하여 실험을 실시하였다. Hall 소자의 구동을 위해 0 ~ 1.0mA의 정전류를 공급하였으며 측정에 사용된 Hall 소자의 크기는 150 x 150 μm²의 활성 영역을 갖는 정방형의 Hall 소자이다.

무자계시에 인가전류에 의해 Hall 소자에 나타나는 offset 전압을 그림 3에 나타내었다. 일반적으로 offset 전압은

$$V_{Off} = R_E I_{supp} \quad (1)$$

과 같이 나타나는데 여기에서 계수 R_E는 alignment 오차에 의해 발생하는 등가저항 값이다. 실제 측정에서 공급전류를 0 ~ 1.0mA까지 변화시키면서 측정한 결과 offset 전압 V_{Off}은 공급전류 I_{supp}에 비례하여

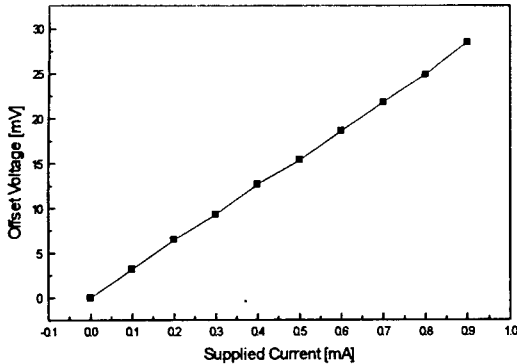


그림 3. 공급전류의 변화에 대한 오프셋 전압의 변화 (B = 0).

Fig. 3. Variations of offset voltages of Hall device to supplied currents (B = 0).

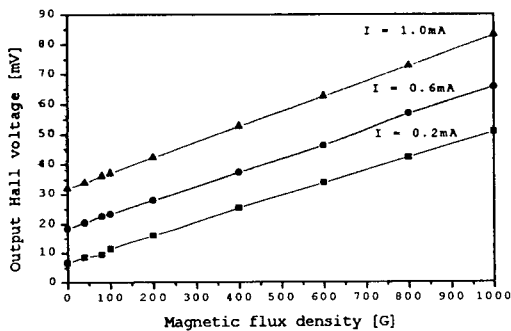


그림 4. 인가자장의 변화에 대한 출력 Hall 전압의 변화(I = const.).

Fig. 4. The variations of output Hall voltage vs. supplied magnetic flux density (I = const.).

선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

다음으로 자장에 대한 출력 Hall 전압의 변화를 그림 4에 나타내었다. 이것은 일정한 전류를 공급하여 주고 외부의 자속밀도 B를 0G에서 1kG까지 변화시키면서 이때 출력되는 Hall 전압의 변화량을 측정하는 실험 결과이다. 여기에서 공급전류를 여러가지로 변화시켜 주어도 출력의 특성은 선형성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

다음으로 제작한 Hall 소자의 온도에 대한 특성 변화의 시험을 실시하기 위하여 Hall 소자 및 자장을 인가할 전자석을 향한 시험조에 고정시키고 온도를 -40°C ~ 180°C로 변화시켜 가면서 각 측정 온도에서 전

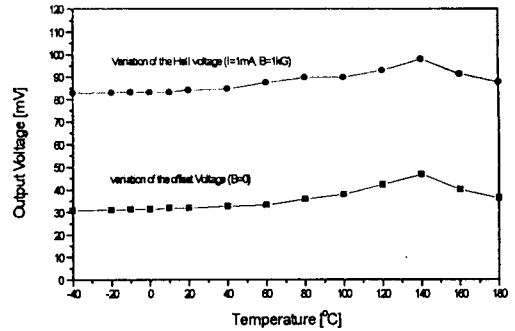


그림 5. 온도변화에 대한 출력 Hall 전압 및 Offset 전압의 변화

Fig. 5. The variations of Output Hall voltage and offset voltage vs. operating temperature.

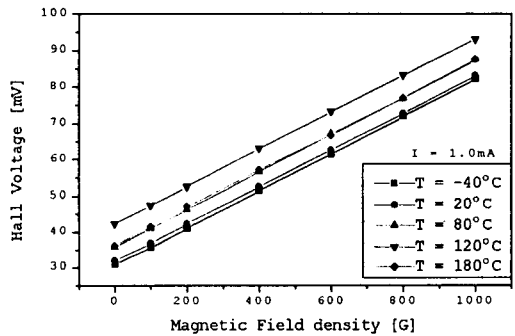


그림 6. 각 동작온도에서의 자장의 변화에 대한 출력 Hall 전압의 변화

Fig. 6. The variations of output Hall voltage vs. supplied magnetic flux density for operating temperature.

자석에 전류를 흘려 자장을 인가하여 출력 특성을 측정하였다. 그림 5는 온도의 변화에 대한 출력 Hall 전압 및 offset 전압의 변화를 나타낸 것으로 측정 온도 범위에서 측정 온도의 상승에 따라 약간씩 증가하는 현상을 보이다가 140°C 이상에서는 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 온도의 변화에 따라 보다 낮은 온도 영역에서는 캐리어들이 주로 격자 산란에 의해 행동하기 때문에 온도에 따른 격자운동의 증가로 캐리어의 이동이 어려워지고 이는 저항성분의 증가를 유발하여 동일한 구동전류를 인가하는 경우에 offset 및 Hall 전압의 증가를 가져온다고 본다. 또한 고온영역에서는 격자 운동보다 온도증가에 따른 이동도의 증가에 따른

현상이 크게 나타나 이로 인하여 저항성 분이 다소간 감소하게 되어 offset 및 Hall 전압의 감소를 가져오게 되는 것으로 볼 수 있다⁶⁾. 여기에서 볼 수 있듯이 일반적인 Hall 소자에서의 동작온도가 100°C미만인 것에 비하여 제작한 소자는 180°C까지 비교적 안정적으로 동작하여 고온 동작 특성이 우수함을 알 수 있다.

그림 6은 -40°C ~ 180°C 의 온도 범위에서 Hall 소자의 자장에 대한 출력전압의 변화를 측정하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 저온에서 고온까지의 전 영역에 걸쳐 자장의 변화에 대한 출력 Hall 전압의 선형성이 온도에 거의 영향을 받지 않고 유지되는 것을 볼 수 있다. Hall 소자의 감도는 보통 적감도로 나타내는데 적감도는

$$K_H = \frac{\partial V_H}{I \partial B} \quad (2)$$

와 같이 정의된다. 그림 7은 동작 온도 -40°C ~ 180°C의 범위에서 인가 전류를 1mA 흘려 주고 자속 밀도의 세기를 1kG로 하였을 때, Hall 소자의 적감도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 동작 온도의 범위에서 Hall 소자의 적감도는 거의 일정한 값을 나타내었다. 이는 그림 5에서의 측정 결과로 알 수 있듯이 온도의 변화에 대한 Hall 전압과 옴셋 전압의 변화의 개형이 거의 일치하므로 적감도는 온도의 변화에 대해 일정한 값을 나타낸다고 볼 수 있다. 본 실험에서는 소자에 1mA의 전류를 인가하고 1kG의 자장을 인가한 경우에 약 510V/AT의 높은 적감도를 나타내었다.

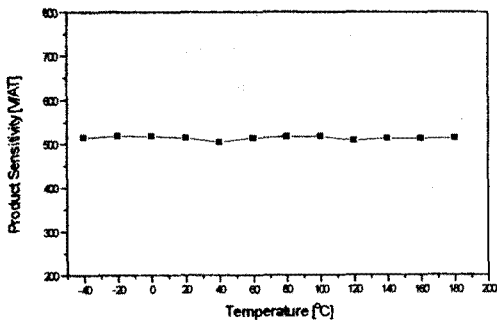


그림 7. 온도변화에 대한 적감도의 변화
Fig. 7. The variations of product sensitivity vs. operating temperature.

4. 차동검출방식의 Hall 센서의 설계 및 제작

자동차의 엔진 부분의 캠축의 회전 상태를 측정하거나 바퀴의 회전 상태를 검출하기 위한 Hall 센서는, 검출거리의 증가에 대하여 감도의 급격한 감소와 사용온도의 2 가지의 제한요인을 갖는다. 본 연구에서는 이러한 문제점들 중에서 온도의 영향은 앞선 고온용 Hall 소자로 해결하였으며 거리 증가에 대한 감도의 문제는 2 개의 Hall 소자를 이용하여 신호를 차동으로 검출⁶⁾할 수 있도록 하여 1 개의 Hall 소자를 이용하는 방식에 비하여 감도를 높여 검출 특성을 향상시켰다. 본 연구에서 설계한 차동 검출 방식의 자기센서의 원리를 그림 8에 나타내었다.

본 연구에서 사용한 차동검출방식의 센서는 2 개의 Hall 소자로 구성되었으며 각각의 소자사이의 거리는 3mm로 구성하고 그림과 같이 각각의 Hall 소자는 강한 영구 자석위에 배치하였다. 또한 센서의 윗면은 강자성체의 톱니를 향하고 있도록 하여 톱니와 센서와의 거리에 따라 자속밀도의 차이를 발생시켜 회전상태를 검출하도록 하였다. 이때 2 개의 Hall 소자에서 발생하는 출력전압을 차동증폭하여 소자들에 의해서 발생된

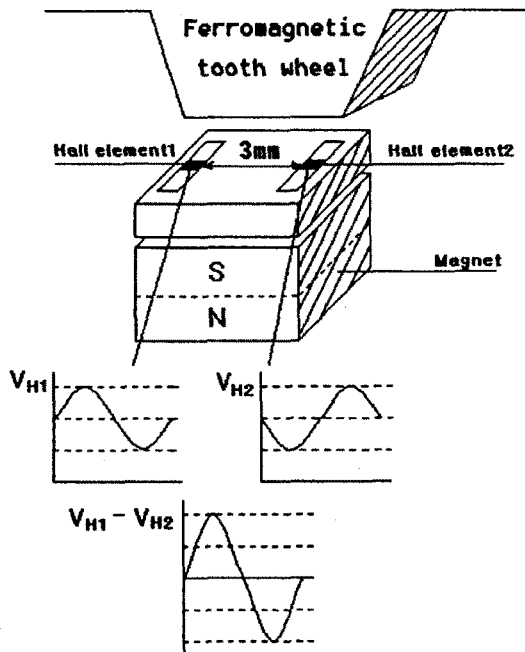


그림 8. 회전수 검출용 자기센서의 동작 개념도
Fig. 8. Schematic diagram of magnetic sensor for the detection of revolution of tooth-wheel.

동상전압을 제거시킴으로써 출력전압이 증가되도록 하였다. 이렇게 얻어진 출력전압을 증폭기를 통해 증폭을 한 다음 회전수를 검출하기 위해 구형파 (pulse)로 변환하여 외부로 출력되게 하였다.

본 연구에서는 Hall 센서의 구동을 위해 정전류 구동방식을 사용하였다. 이 경우 외부로 출력되는 Hall 전압은

$$V_H = \frac{R_H}{t} I_C B \quad (4)$$

으로 주어지는데, 여기서 I_C 는 인가 전류, t 는 소자의 두께, 그리고 R_H 는 Hall 계수를 나타낸다. 위 식에서 Hall 계수인 R_H 는

$$R_H = \frac{1}{en} \quad (5)$$

이며, 여기서 e 는 캐리어의 전하를, n 은 캐리어의 농도를 각각 나타낸다. 정전류 구동인 경우 출력되는 Hall 전압은 캐리어의 농도와 소자의 두께의 영향을 크게 받는다. 또한 감도에 대한 온도계수를 비교해 보면 정전압 구동의 경우 이동도가 주된 변수이나 정전류의 경우 격자산란(scattering factor)에 의한 변화가 주된 변수로 나타나게 되는데 이동도의 온도에 대한 변화율이

격자산란에 의한 변화에 비해 대략 10배 정도 크게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 정전압 구동에 비하여 감도의 온도계수의 변화율이 적은 정전류 구동 방식을 이용하였다.

구동된 2 개의 Hall 소자들에서 발생하는 출력 Hall 전압의 처리를 위해 차동 증폭기를 사용하였다. 이때 사용하는 차동증폭기는 Hall 소자의 내부저항이 $600\Omega \sim 2\text{ k}\Omega$ 임을 감안하여 입력 임피던스가 큰 증폭기를 쓰는 것이 신호의 감쇠를 줄일 수 있으므로 본 연구에서는 상용 칩인 AD620 을 사용하였다. 차동증폭단을 거친 출력파형은 사인파이므로 zero crossing detector 회로를 구성하여 구형파로 변환하여 외부로 출력하도록 하였다. 이러한 목적의 파형변환기로는 슈미트 트리거(Schmitt trigger) 회로가 대표적이지만 슈미트 트리거 회로는 차동증폭기의 출력 신호의 DC전압을 trigger point 에 정확하게 맞추어야 하는 문제점을 지니므로 본 연구에서는 조정이 용이한 zero crossing detector 회로를 구성하였다.

5. 차동검출방식의 Hall 센서의 특성측정

위에서 언급한 Hall 센서의 동작특성을 측정하기 위하여 제작한 고온용 Hall 소자의 뒷면에 직경 1cm, 1kG 세기의 영구자석을 배치하고 4mA의 정전류를

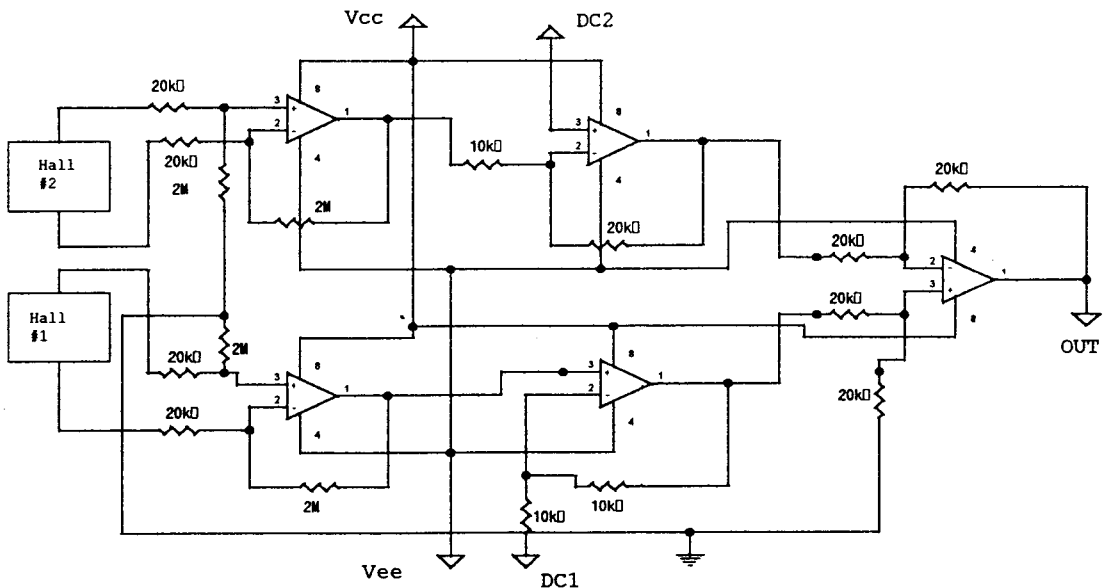


그림 9. 회전수 검출용 자기센서의 구동 및 신호처리용 회로도

Fig. 9. Diagrams of driving and signal processing circuits for revolution detecting sensor.

Hall 소자에 인가하여 특성을 측정하였다. 또한 회전수 검출시험을 위하여 국내자동차업체의 엔진크랭크축의 회전수 검출에 사용되는 것과 동일한 톱니의 폭과 전체 크기를 지니는 회전체를 제작하여 실험하였다. 본 연구에서 사용한 톱니는 내경 10 mm, 외경 45 mm, 톱니의 높이는 4.5mm, 톱니의 폭은 0.95mm를 지닌다. 위와 같은 실험장치를 제작하여 Hall 센서와 톱니의 거리를 0.5 ~ 5mm 로 변화시켜가면서 검출가능거리 및 출력되는 펄스의 형태로 검출하여 차동검출방식의 Hall 센서의 동작특성을 시험하였다. 실험에 사용된 센서구동 및 검출을 위한 시스템의 회로도를 그림 9에 나타내었다.

이상의 실험은 하나의 Hall 소자를 가지는 회전수 검출센서 및 차동방식을 이용한 센서를 비교하여 실험하였다. 그림 10은 회전하는 톱니에 의해 발생하는 자장의 변동치를 제작된 자기센서가 차동으로 검출하여 증폭단을 통해 출력된 Hall 전압의 파형을 나타낸 것이다. 이때 두 개의 센서의 출력 Hall 전압은 반전되어 있으며 이를 차동 증폭하면 그림 11과 같은 증폭된 단일 파형의 신호를 얻을 수 있으며 이를 zero crossing detector 회로를 사용하여 펄스 신호로 변환하여 주면 최종적으로 센서의 출력단에서는 그림 12와 같은 On/Off 상태의 신호를 얻을 수 있어 톱니의 회전에 대한 검출이 가능해진다. 본 연구에서 제작한 차동 Hall 소자의 경우 센서와 톱니 사이의 거리는 5mm이며 Hall 센서의 보호를 위해 0.5mm 의 보호층을 설치하므로 최대 동작거리는 4.5mm이다. 이러한 검출거리 및 검출

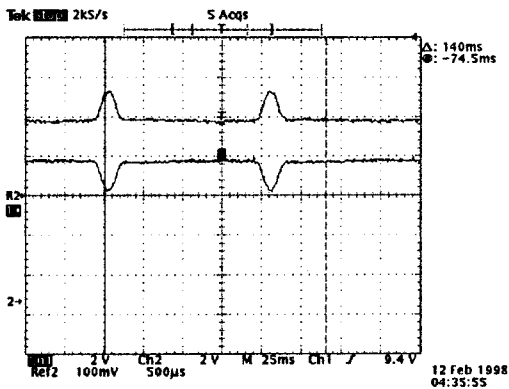


그림 10. 2 개의 Hall 소자의 회전수 검출파형
Fig. 10. The wave forms of detecting tooth-wheel by each Hall device.

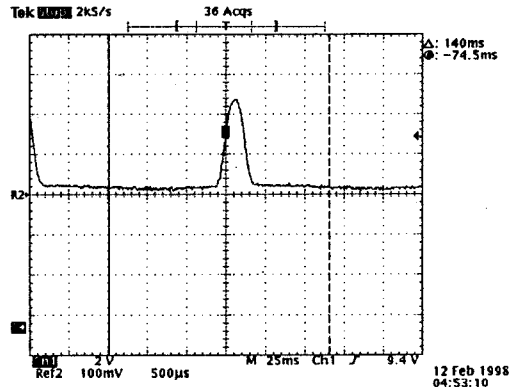


그림 11. 차동증폭된 Hall 소자의 출력전압파형
Fig. 11. The output wave forms of differential amplified Hall voltages.

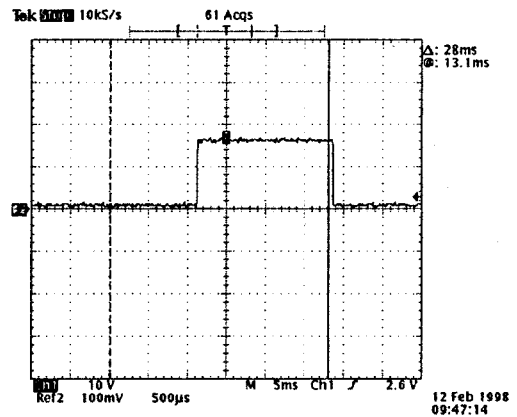


그림 12. 회전수 검출용 자기센서의 최종출력파형
Fig. 12. The output signal of revolution-detecting sensor.

감도는 트리거(trigger)전압의 크기에 따라 결정되는데 트리거 전압이 매우 균일하고 정밀하게 조정될 필요가 있음을 알 수 있다. 측정결과와 출력파형을 분석해 보면 차동 방식이 단일 방식보다 상당히 신호가 안정적임을 알 수 있다. 그리고 단일 소자를 이용하더라도 증폭을 더 크게 하는 방법이 있으나 센서의 출력신호가 미세해서 증폭기 내부의 잡음성분이나 오프셋 드리프트(offset drift)의 영향으로 신호를 구분하기 어려워지므로 전반적인 특성이 불안정해지는 문제점이 생길 수 있다.

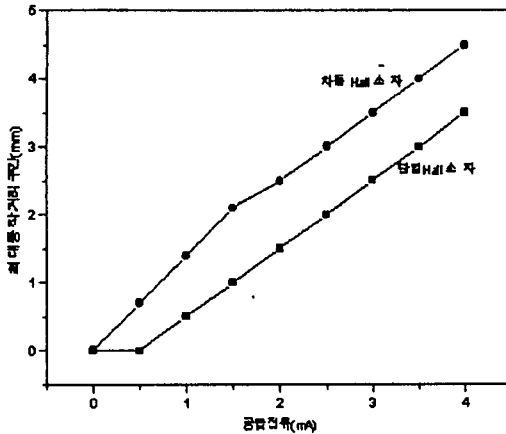


그림 13. 공급전류에 대한 단일 Hall 소자의 차동 Hall 소자의 검출가능거리

Fig. 13. Variations of maximum detectable distance vs. supplied current for single Hall device and differential Hall device.

또한 정전류 구동인 경우 Hall 전압은 인가 전류에 비례하게 되므로 공급전류를 변화시키게 되면 기어의 톱니와 센서와의 거리를 변화시킬 수 있다. 그림 13은 공급 전류를 변화시켰을 때 기어의 톱니와 센서와의 최대 동작 거리를 단일 Hall 소자를 갖고 측정하는 경우와 차동 Hall 소자를 이용할 때의 최대 동작 거리를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것과 같이 두 경우 모두 전류에 따라 최대 동작 거리가 거의 비례하여 증가함을 알 수 있으며, 차동 방식으로 구동하는 경우가 단일 Hall 소자를 이용할 때보다 최대 동작 거리가 향상됨을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 자동차의 엔진 부분의 캠축의 회전이나 바퀴의 회전 상태를 감지하기 위한 목적으로 고온 동작이 가능한 회전수 검출용 Hall 소자를 제작하고 그 특성을 분석하였다. 자동차의 엔진 부분과 브레이크 부분과 같이 고온과 오염이 심한 열악한 환경에서는 보다 안정적인 동작이 가능하도록 하여야 한다. 이를 위하여 먼저, 고온 동작이 가능한 Hall 소자의 제작을 위하여 SIMOX 기판위에 Hall 소자를 제조하여 열적 특성을 검토하였다. 측정 결과 동작 온도 $-40^{\circ}\text{C} \sim 160^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 안정된 특성을 나타내었으며, 소자의 적감

도는 $510\text{V}/\text{AT}$ 로서 동작 온도 범위에서 거의 일정한 값을 나타내었다. 다음으로 강자성체의 기어 톱니가 회전할 때의 회전 상태를 검출하기 위하여 두 개의 Hall 소자를 4mA 로 구동하고 1kG 의 영구자석을 사용하여 2개의 Hall 소자로부터의 신호를 차동으로 검출하는 방식으로 동작시킨 결과 톱니와 검출용 Hall 센서사이의 거리를 약 4.5mm 의 검출 간격에서 15V 의 Pulse 출력을 얻을 수 있었으며, 기존의 단일 Hall 소자를 사용한 검출센서에 비해 향상된 동작특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] J. H. huijsing, "Integrated Smart Sensor", *Sensors and Actuators*, A.30, pp. 167~174, 1992.
- [2] H. P. Baltes, R. S. Popovic, "Integrated Semiconductor magnetic field sensor", *Proc, IEEE*, vol. 74, no. 8, pp. 1107~1132, 1986.
- [3] S. Middelhoeck, S. A. Audet, "Silicon Sensors", Academic Press, 1989.
- [4] R. S. Popovic, "Hall Effect Device", Adam Hilger, 1991.
- [5] J. H. Lee, "Electron scattering profile in SOS films measured by temperature dependent Hall effect", *Electronics Letters*, vol. 17, no. 16, pp. 566~567, 1981.
- [6] H. Jasberg, "Differential Hall IC for Gear-tooth sensing", *Sensors and Actuators*, A21-23, pp. 737~742, 1990.

著 者 紹 介



정 우 철

1969년 2월 28일생. 1992년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1994년 영남대학교 대학원 졸업(공학석사), 현재 영남대학교 대학원 박사과정 재학중, 1994년 ~ 현재 포항산업과학연구원 전력전자

팀 선임연구원. 주관심분야 : 반도체 센서 및 시스템

남 태 철

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-02, p.21 참조
현재 영남대학교 전기전자공학부 교수