

## Spinning Current 방식을 이용한 자기 감지 시스템의 제작

박준홍, 남태철  
영남대학교 전기전자공학부

### Implementation of Magnetic Sensing System Using Spinning Current Method

Joon-Hong Park and Tae-Chul Nam  
School of Electrical & Electronics Engineering, Yeungnam University

**Abstract** - This paper describes the highly sensitive Si Hall magnetic sensing system which can measure the earth magnetic field. Generally, the important parameters in Hall device which degrade the ability of magnetic detection are offset voltage and 1/f noise. The offset voltage and 1/f noise in Hall plates can be reduced by spinning current method. In this paper, we implement the highly sensitive Si Hall magnetic sensing system using spinning current method. As a result, the minimum detectable magnetic field is 0.1G.

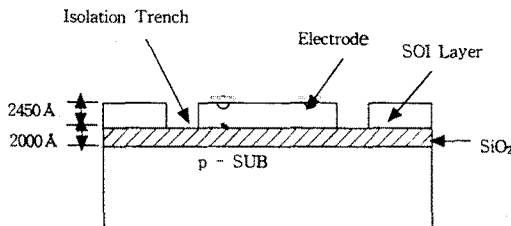
#### 1. 서 론

최근 Hall 센서는 소형화의 장점에도 불구하고 낮은 감도 특성으로 인해 응용분야의 범위가 좁아지고 있다. 이러한 낮은 감도 특성을 개선하는 방법은 지금까지 많이 연구되었으나, 대부분 Hall 소자의 특성에만 비중을 맞추었다. 이것은 감도특성이 우수한 화합물 반도체를 기반으로 연구한 것으로 양산화와 집적화에 많은 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서는 쉽게 제작이 가능한 Si를 이용하였다. 일반적인 Si Hall 소자의 경우 옴셋전압과 1/f 잡음이 크게 발생한다.<sup>[1]</sup> 이를 제거하기 위해 spinning current 방식을 이용하였고, 이 방식은 저잡음 증폭기인 초퍼 증폭기의 구성이 용이하여 효과적인 저자장 측정용 자기 감지 시스템의 제작이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 원리를 이용하여 Si Hall 소자와 주변회로를 제작하였다.

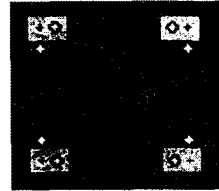
#### 2. 본 론

##### 2.1 Si Hall 소자의 제작

Si Hall 소자는 GaAs Hall 소자에 비해 낮은 감도 특성을 갖고 있다. 이를 극복하기 위해 Hall 소자의 감도는 두께와 반비례하는 특성을 이용하였다. 그리고 Si Hall 소자는 동작온도의 범위가 좁은 단점을 갖고 있다. 그러므로, 본 연구에서는 이 두 가지 문제점을 동시에 해결하기 위해 활성층의 두께가 2450Å인 SIMOX 웨이퍼를 이용하여 Hall 소자를 제작하였다.



(a) SOI Hall 소자의 수직 단면도



(b) 제작한 Hall 소자의 형상  
그림 1. SOI Hall 소자

그리고 옴셋전압과 1/f 잡음의 효과적인 제거를 위해 정사각형 구조로 Hall 소자를 제작하였다. 이 때 공급전류는 소자의 대각선 방향으로 인가하였고, 소자의 형상은 그림 1과 같다.

##### 2.1.1 Si Hall 소자의 측정결과

그림 2와 그림 3에서 보듯이 제작한 Hall 소자의 옴셋전압은 일반적인 Hall 소자의 특성과 유사하였고, 감도특성은 일반적인 GaAs Hall 소자의 1/2 수준이었다.

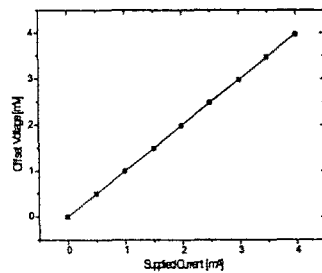


그림 2. 공급전류 변화에 대한 옴셋전압의 변화

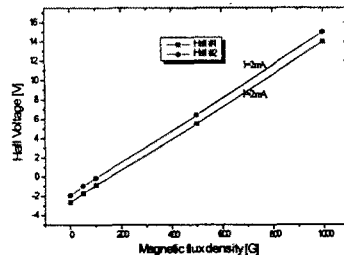


그림 3. 인가자장 변화에 대한 Hall 전압의 변화

그리고 소자의 동작온도 범위는  $-40^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$  정도였다.

### 2.2 옴셋전압의 제거원리

표 1에서 알 수 있듯이 대칭구조를 갖는 Hall 소자의 옴셋전압은 전류방향을 회전시킬 경우 주기성을 갖는 것을 알 수 있다.

표 1. 전류방향에 대한 옴셋특성

Hall #1	옴셋전압 (mV)	Hall #2	옴셋전압 (mV)
→	2.626	→	2.139
↑	-2.601	↑	-1.897
←	2.628	←	2.10
↓	-2.581	↓	-1.899

Hall 소자의 옴셋전압은 mask alignment 오차, 온도 편차, 압저항 효과, 응력 등 여러 가지 요인에 의해 작용하므로, 각 요인별 전류 회전에 대한 주기가 다르다. 표 1에서 보듯이  $90^{\circ}$  간격으로 옴셋전압의 극성은 바뀌지만, 미세한 오차가 발생하였다.

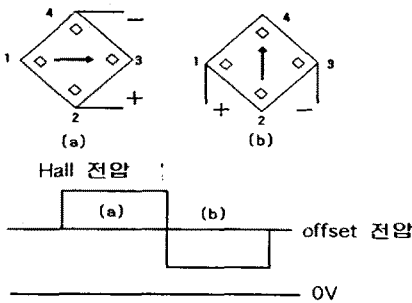


그림 4. spinning current 방식을 이용한 옴셋제거법

그림 4는 본 연구에서 구상한 옴셋제거 방법이다. 이것은 표 1의 특성을 이용하기 위해 전류의 방향을 회전하여 출력 전압을 LP filter를 이용해서 상호상쇄시킨다. 일반적으로 이와 같은 방법을 spinning current 방법이라 부른다.<sup>[2]</sup> 그리고 spinning current 방식은  $360^{\circ}$  회전시키는 것을 말하지만, 소자에서 나오는 미세한 신호를 제어할 수 있는 매우 정밀한 아날로그 MUX가 필요하므로, 현실적인 구성에 많은 문제점이 있다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 그림 4와 같이 전류의 방향을 양방향 스위칭하였다. 이 방식은 소자 주위에 아날로그 스위치를 이용해서 교대로 on/off 하므로, 회로 구성이 간단하고 스위칭간의 혼성도 줄어든다.

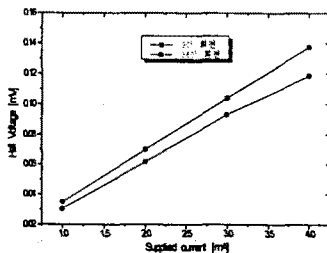


그림 5. spinning current 방식을 적용한 경우의 이상적인 옴셋특성

그러나 표 1의 결과를 바탕으로 이상적인 특성을 비교해 보면 그림 5와 같다. 이 때 옴셋전압의 차이는  $20\mu\text{V}$  ( $4\text{mA}$ )로 특성에는 큰 차이가 나지 않음을 나타내고 있다. 이러한 이론적인 근거를 바탕으로 실제 회로를 구성하여 측정해 본 결과 옴셋전압은 1/10로 줄어들었다.

### 2.3 초퍼 증폭기의 구성

Hall 소자는 얇은 반도체 박막으로 구성되어 소자의 표면에서  $1/f$  잡음이 강하게 발생한다.  $1/f$  잡음은 자기 신호의 주파수 대역과 같은 대역에 위치하므로, 신호가 작을 경우 혼성이 되어 센서의 출력 특성이 매우 불안정하게 된다. 이를 개선하는 가장 좋은 방법은 잡음의 주파수 대역을 이동시키는 방법이다. 이러한 방식의 증폭기를 초퍼 증폭기라 한다.<sup>[3],[4]</sup> 그림 6은 초퍼 증폭기의 동작 원리를 나타내고 있다.

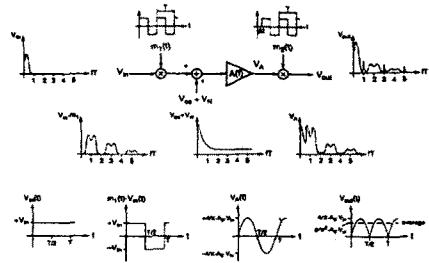


그림 6. 초퍼 증폭기의 원리

초퍼 증폭기는 변조기, 복조기 그리고 증폭기로 구성된다. 위의 그림을 보면, 신호가 구형파와 곱해지면, 구형파의 주파수를 중심으로 주파수 대역이 이동하게 된다. 그리고 동일한 구형파와 다시 만나게 되면, 신호는 원래의 대역으로 이동하게 된다. 이 때  $1/f$  잡음은 변조기의 영향을 받지 않으므로, 최종적으로 주파수 대역이 이동된다.

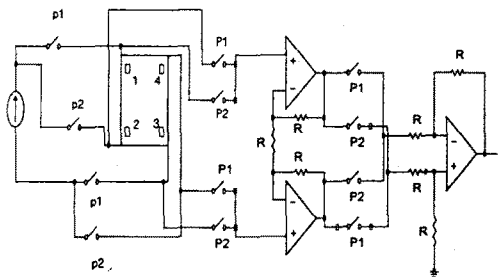


그림 7. 본 연구에서 설계한 초퍼 증폭기의 구성도

그림 7은 Hall 소자의 특성을 효과적으로 보상할 수 있도록 일반적인 변조기를 대신하여 spinning current 방식을 적용하였다. 이와같이 구성할 경우 옴셋전압과  $1/f$  잡음은 동시에 제거되므로, 별도의 처리회로가 필요하지 않다. 그리고 마지막단에 붙어야 될 LP filter는 생략하였다. 본 연구에서 설계한 회로를 spice tool을 이용하여  $1/f$  잡음의 주파수 대역 이동을 시뮬레이션하여 그 특성을 살펴본 결과 그림 8과 같았다.

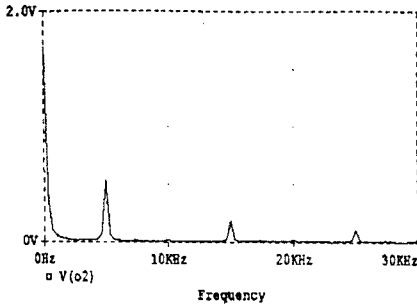
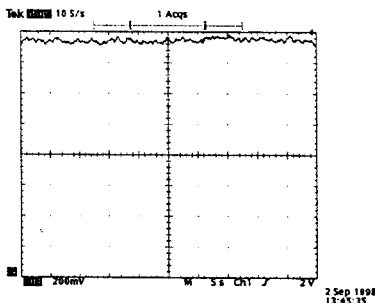
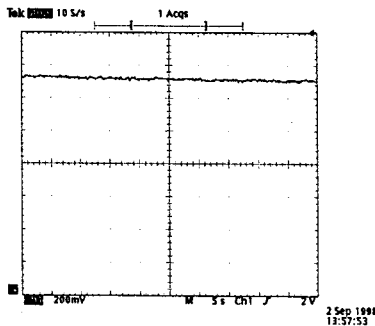


그림 8. spice tool을 이용한 잡음의 대역 이동

여기서 초핑 주파수를 5kHz로 한 결과 신호는 저주파 수 영역에 존재하지만 1/f 잡음은 5kHz를 중심으로 대역이동한 것을 알 수 있다. 그 외 작은 성분은 harmonics 성분을 나타내고 있다. 이러한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 제작하여 측정해 본 결과 출력 특성은 그림 9와 같았다.



(a) 초퍼 증폭기를 사용하지 않았을 경우



(b) 초퍼 증폭기를 사용하였을 경우  
그림 9. 제작한 초퍼 증폭기의 잡음 특성

제작한 초퍼 증폭기의 잡음특성은 그림 9에서 보듯이 일반적인 증폭기에 비해 잡음이 현저히 줄어들었다.

#### 2.4 미소자장의 측정

전체 시스템을 구성하여 미소자장에 대한 출력특성을 측정해 본 결과 그림 10과 같이 나타났다. 이 때 인가 자장은 보다 정확한 미소자장을 인가하기 위해 전자석을 이용하여 교류 10Hz의 자장을 인가하였다. 그림 10에서 자기 감지 시스템의 최소 측정가능 자장은 0.1Gauss였으며, 1Gauss당 138mV의 Hall 전압이 발생하였다. 그림 10의 특성은 아날로그 회로의 출력신

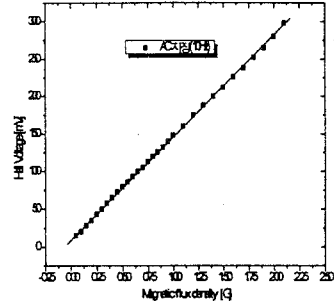


그림 10. 미소자장에 대한 감도 특성

호를 오실로스코프를 이용하여 측정한 것이다. 이 결과를 바탕으로  $\mu$ -controller를 이용하여 디지털 자기 감지 시스템을 제작하였다.

### 3. 결 론

넓은 온도 특성을 갖는 SOI 구조로 된 Si Hall 소자를 제작하였다. 이 때 얻어진 절대감도는 170V/T였다. spinning current 방식과 초퍼 증폭기를 함께 구성한 결과 오프셋전압은 1/10로 줄어들었다. 동시에 소자간의 오프셋전압 오차도 같은 비율로 줄어들었다. 그리고 자기 감지 시스템의 최소 측정가능 자장은 0.1Gauss였고, 감도 특성은 138mV/G였다. 지금까지의 결과를 바탕으로 CMOS 회로를 이용하여 집적화 할 경우 고성능 선형 Hall IC의 제작이 가능할 것으로 예상된다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] R. S. Popovic, "The future of magnetic sensors", Sensors and Actuators, A56, pp.39-55, 1996.
- [2] P. J. A. Munter, "A Low-offset spinning current Hall Plate", Sensors and Actuators, A21-23, pp.743-746, 1990.
- [3] Shoji Kawahito, "An Integrated MOS Magnetic Sensor with Chopper-Stabilized Amplifier", Sensors and Materials, Vol.8, No. 1, pp.1-12, 1996.
- [4] Christian C. Enz, "Circuit Techniques for Reducing the Effects of Op-Amp Imperfections: Autozeroing, Correlated Double Sampling, and Chopper Stabilization", Pro. of the IEEE, Vol.84, No.11, 1996.