

## SOI 구조를 이용한 수직 Hall 센서에 대한 특성 연구

이지연 · 박병휘  
영남대학교 전자공학과

### Characteristic Analysis of The Vertical Trench Hall Sensor using SOI Structure

Ji-Yeun Lee and Byung-Hwee Park

Department of Electronics Engineering, Yeungnam University

**초 록:** 기존 홀 센서의 단점을 개선하기 위해서 트렌치를 이용한 수직 홀 센서를 제작하였다. 수직 홀 센서는 센서의 칩 표면에 수평 자계를 검출할 수 있으며, 홀 센서는 실리콘 직접 본딩 기술에 의해 제작된 SOI 기판 위에 제작하였다. 기판 아래의 SiO<sub>2</sub> 층과 마이크로머시닝에 의한 트렌치가 홀 센서의 동작 영역을 정의한다. 홀 센서의 감도는 150 V/AT로 측정되었으며 안정된 값을 나타내었다.

**Abstract:** We have fabricated a vertical trench Hall device which is sensitive to the magnetic field parallel to the sensor surface. The vertical trench Hall device has been built on SOI wafer which is produced by silicon direct bonding technology using bulk micromachining, where buried SiO<sub>2</sub> layer and surround trench define active device volume. Sensitivity up to 150 V/AT has been measured.

**Keywords:** vertical trench-Hall device, SOI, TMAH

## 1. 서 론

현재까지의 대부분의 집적화 Hall 센서는 센서 표면에 수평하게 홀 플레이트가 위치하며, 센서 표면에 수직한 자기장 성분에 감응한다<sup>1)</sup>. 그러나, 3차원 공간 자계의 검출을 위해서는 두 개의 수평 자계(x, y 성분) 검출부와 한 개의 수직 자계(z 성분) 검출부를 가져야 한다. 이러한 경우, magnetotransistor<sup>2)</sup> 또는 magnetodiode<sup>3)</sup> 등을 이용하고 있으나, 교차감도, 온도 민감성, 비선형성 등 바이폴라 공정을 사용하기 때문에 생기는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 센서 표면에 수평한 자계 성분 검출과 기존 디바이스의 단점을 개선하기 위하여 SOI 구조의 수직 Hall 센서를 제작하였다. 이를 위하여 상위 실리콘 영역이 n-type 10<sup>15</sup>/cm<sup>3</sup> (100) 인 5, 10, 20 μm / 1 μm/400 μm 구조의 SOI wafer를 사

용하였다. 이러한 SOI Wafer에 이방성 식각 기술<sup>4)</sup>을 이용하여 54.74°의 경사면을 가진 트렌치를 형성하여 온도의 영향을 완화한 섬(island) 모양의 활성영역을 지니는 수직 홀 센서를 제작하였다. 이것은 센서 표면에 수평하게 위치한 홀 플레이트를 90°회전시켜 수직하게 위치한 효과를 나타낸다.

## 2. 센서의 설계

### 2.1 이론적 배경

수평한 자계 성분을 검출하기 위해서는 Fig. 1(a)와 같이 홀 플레이트가 센서 표면에 수직하게 위치해야 한다. 그러나, 이 경우 전극을 홀 플레이트의 바닥에 형성해야 하는 문제점이 있으며, 이를 해결하기 위해 홀 플레이트의 C2 위치의 활성영역을 변형하여 Fig. 1(b)의 그림과 같이 하면 모든 전극을 센서 표면에 형성할 수 있어 일반적인 반

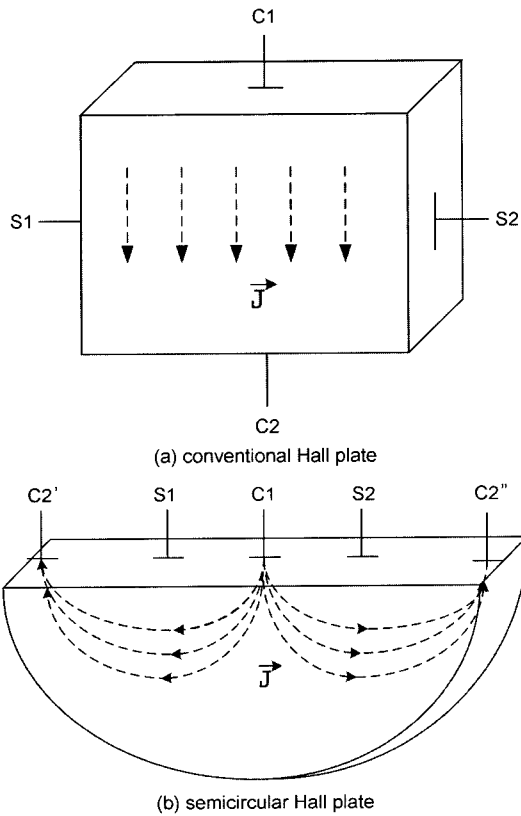


Fig. 1. Hall plate shape.

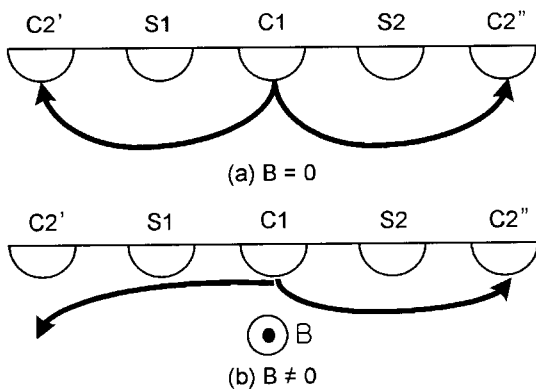


Fig. 2. Principle of magnetic field detection of the vertical trench Hall effect device.

도체 제조 공정으로 센서를 제작할 수 있다.

Fig. 2(a)에서 자계가 없을 때 C1으로 주입된 캐리어는 C1을 중심으로 해서 전류밀도가 대칭적으로 분포하여 홀 전극 S1, S2의 부분이 등 전위가 되고, 전압 차가 발생하지 않지만, 수평 자계가 인

가되면 캐리어의 편향이 발생하여 양단의 전압 차가 발생하게 된다. 이를 수식으로 나타내면 식 (1), (2)와 같이 된다.

$$V_H = \int_{S1}^{S2} E \, dl \tag{1}$$

$$E = R_H \mathbf{J} \times \mathbf{B} \tag{2}$$

( $R_H$ : Hall 상수)

이상과 같이 센서에서 나타나는 홀 전압  $V_H$ 를 측정하여 수평 자계를 검출할 수 있게 된다.

### 2.2 동작 원리

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

$$\vec{J}_n = q(\mu_n n \vec{E} + D_n \nabla n) - r \mu_n (\vec{J}_n \times \vec{B}) \tag{3}$$

이다<sup>5-6</sup>. 여기에서,  $q$ 는 전하량,  $\mu_n$ 은 전자의 드리프트 이동도,  $n$ 은 캐리어 밀도,  $E$ 는 전계,  $B$ 는 자계,  $D_n$ 은 확산 계수,  $r$ 은 Hall 산란계수이다. 식 (3)을 다시 나타내면

$$\vec{J}_n = \frac{1}{1 + (r \mu_n \vec{B})^2} [(q \mu_n n \vec{E} + q D_n \nabla n) + r m_n \vec{B} [(q \mu_n n \vec{E} + q D_n \nabla n)]] \tag{4}$$

과 같이 된다. Silvaco사의 2D Device Simulator인 ATLAS를 이용하여 전류밀도와 전기장 분포를 알아 보고 센서의 설계에 활용하였다.

## 3. 제작 및 특성측정

### 3.1 수직 Hall 센서의 제작

수평 자계 검출을 위한 수직 Hall 센서의 구조를 Fig. 3에 나타내었다. 수평 자계에 감응하기 위한 홀 플레이트를 TMAH(tetramethyl ammonium hydroxide,  $(CH_3)_4NOH$ )를 이용한 이방성 에칭을 이용하여 트렌치 구조로 설치하였다<sup>7</sup>. 전류를 인가하기 위해 C1, C2', C2''를 만들고, C1에서 양쪽으로 100  $\mu m$  떨어져서 홀 전극 S1, S2를 위치시켰다.

이상과 같은 센서를 제작하기 위한 주요공정을

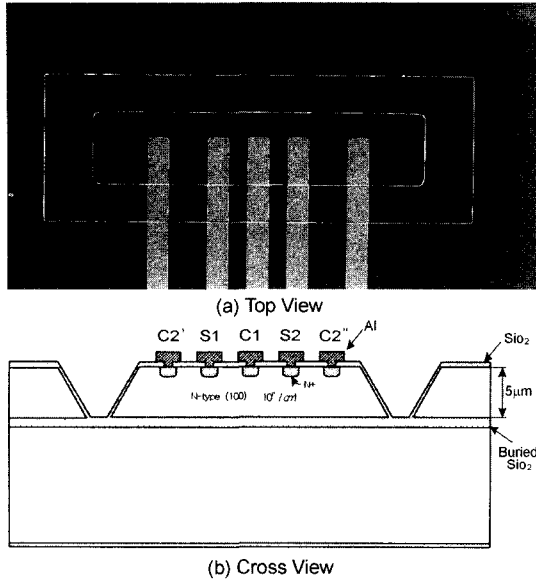


Fig. 3. Structure of vertical trench Hall effect device.

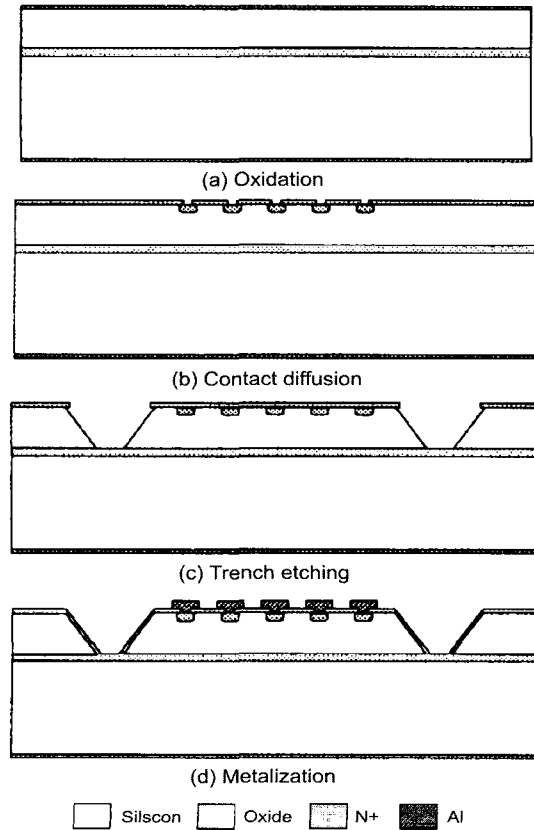


Fig. 4. Fabrication process of vertical trench Hall effect device.

Fig. 4에 나타내었다. 먼저 RCA 세척후 확산 마스크로 사용할 산화막을 습식 산화(1050°C)로 1 μm 성장시켰다. 사진 식각 공정으로 전극 영역을 정의하고, n-type 반도체와 금속의 저항성 접촉을 위해 POCl<sub>3</sub>을 이용하여 표면 농도가 10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup> 이상이 되도록 확산하였다. 선, 후 확산을 거친 후 90°C TMAH용액으로 5, 10, 20 μm 깊이의 트렌치를 형성하였다. 이때 Si 층 밑에 있는 산화층은 etch stop으로 작용하고, (100)과 (111)의 식각비는 13:1로 나타났다. 식각이 끝난 후 보호막으로 쓰인 산화막을 제거하고, 다시 건식산화(1050°C)로 500의 산화막을 형성하였다.

이상에서 형성된 트렌치는 깊이가 5, 10, 20 μm 이므로 경사면의 시작하는 에지 부분에서 PR (photo resister)이 증착되기 힘들다. 이것을 해결하기 위해 점성이 큰 AZ9260 PR을 저 속도로 회전 도포하여 트렌치를 완전히 덮게 하였다. 마지막으로 전극 형성될 부위의 산화막을 제거하고 DC Sputter를 이용하여 알루미늄을 1 μm 두께로 스퍼터링하여 외부 전극을 형성하였으며, 동작 및 측정을 위하여 Fig. 5와 같이 세라믹 패키지 안에 Wire bonding 하였다.

### 3.2 특성측정 및 결과

제작된 센서의 전자기적 특성을 측정하기 위하여 Fig. 6과 같은 실험장치를 구성하였다. 제작된 센서는 Hall 센서의 특성을 지니므로 정전류구동과 정전압구동을 사용할 수 있으나 본 연구에서는 온도 변화에 비교적 둔감하고, 보다 정확한 측정을 위하여 정전류 구동 방법을 사용하였다. 이를 위해 KEITHLEY 224 Programmable current source

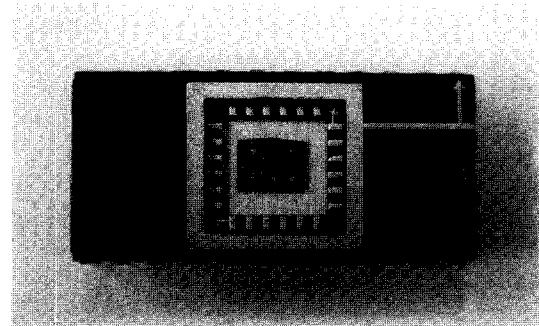


Fig. 5. Photograph of the packaged device.

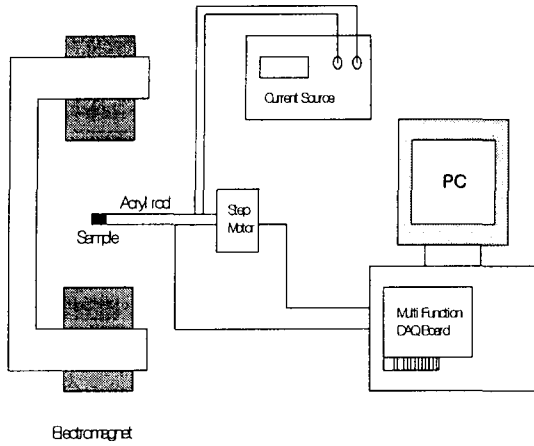


Fig. 6. Schematic of measurement system.

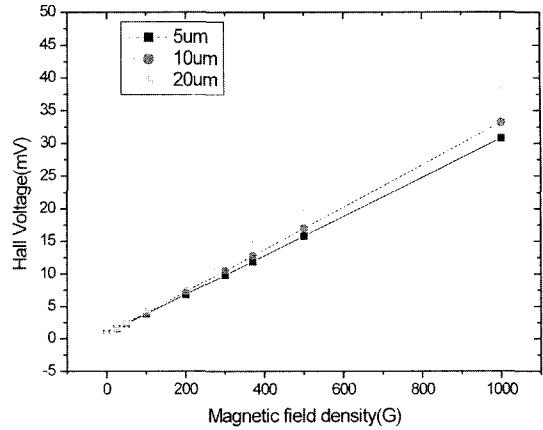


Fig. 8. Hall voltage vs. magnetic field density[G].

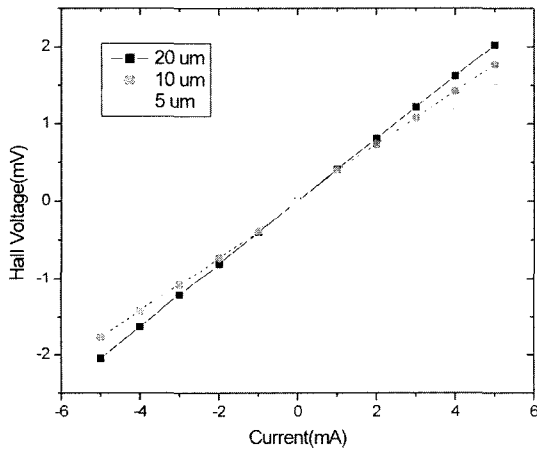


Fig. 7. Offset voltage of vertical trench Hall effect device (B=0).

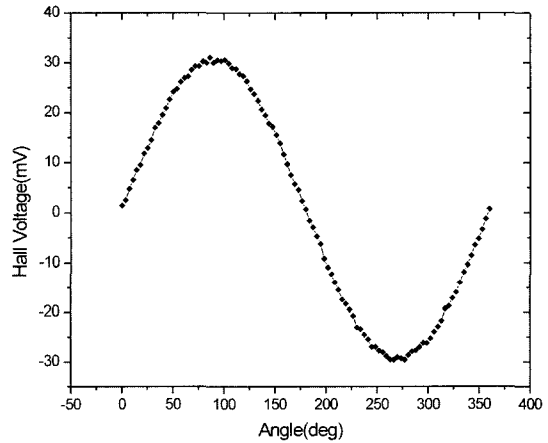


Fig. 9. Hall voltage vs. rotation (I=2 mA).

를 사용하였고, Hall 전압 측정과 각도변화를 주기 위한 스텝모터 제어를 위해 NI E-6052 Multifunction DAQ Board를 사용하여 전자석에서 발생하는 자계에 대한 변화를 측정하도록 하였다.

먼저, 제작된 센서의 offset 전압을 측정하여 자장이 인가되지 않은 경우에 인가 전류에 따른 기준값의 변화량을 측정하였다. 그 결과 Fig. 7과 같이 6 mA의 인가 전류에 대해 2 mV의 낮은 offset량을 나타내어 센서의 출력전압에 비하여 매우 낮은 값으로 나타남을 알 수 있다. 또한 전류 증가에 따른 offset 전압의 변동이 선형적으로 나타나 구동전류의 변화에 따른 offset 보정이 용이함을 알 수 있다.

다음으로 제작된 센서의 자장 특성 시험을 위

하여 구동 전류를 2 mA로 고정시키고 인가되는 자장의 값을 0에서 1000 G 까지 변화시킨 후 측정된 자장의 변화에 대한 Hall 전압의 변화를 측정하였다.

실험결과는 Fig. 8에 나타내었으며 전체의 자장 변화에 대해 선형적인 변화를 나타냄을 알 수 있다. 이때 수직 Hall 센서의 감도는 활성영역의 두께가 증가할수록 증가하며 20 μm의 두께에 대하여 150 V/AT로 나타났다. 또한 제작된 센서의 인가자장의 각도에 대한 출력 Hall 전압의 변동을 측정하여 Fig. 9에 나타내었다. 0~360°범위에서 센서를 회전하여 자장의 각도를 변화시킨 경우 최대 2°의 오차를 나타내었다.

#### 4. 결 론

이상에서 기존의 수직 Hall 센서와 구조가 다른 x, y 영역의 자장 검출이 가능한 수직 Hall 센서를 제작하였다. 제작된 센서는 SOI wafer를 사용하여 제작되었고, 매우 낮은 offset 전압을 지니며 자장의 변화에 대한 출력전압의 변화도 선형적으로 나타났다. 이와 같이 제작된 수직 Hall 센서의 감도는 150 V/AT이었으며, 인가되는 자장의 각도 변화에 대해서도 안정적인 특성을 나타내고 있어, 향후 3차원 공간 자계 검출 센서의 x, y 영역을 구성하는 경우에 유용한 특성을 나타낼 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. James E. Lenz, "A review of magnetic sensors", Proc. of The IEEE, 78(6), 973-989 (1990).
2. S. M. Sze, "Magnetotransistors" in the Semiconductor sensors, John Wiley & Sons, Inc. 246-258 (1994).
3. R.S. Popovic and H.P. Baltes, "An integrated silicon magnetic field sensor using the magnetodiode principle", IEEE Trans. Electron Devices, ED-31, 286-291 (1984).
4. Osamu Tabata, "pH-controlled TMAH etchant for silicon micromachining", Sensors and Actuators, A53, 335-339 (1996).
5. R.S. Popovic, "Numerical analysis of MOS magnetic field sensors", Solid State Electronics, 28(7), 711-716 (1985).
6. A.M.J. Huizer and H.P. Baltes, "Numerical modeling of vertical Hall effect devices", IEEE Electron Device Letters, EDL-5(11) (1984).
7. 이지연, 최재형, "트랜치 구조를 갖는 3차원 홀 센서의 감도 개선에 관한 연구", 마이크로전자 및 패키징 학회지, 8(4), 17-23 (2001).

1. James E. Lenz, "A review of magnetic sensors", Proc.