

비 접촉 각도 센서 응용을 위한 수직 Hall 소자의 제작

박병휘, 정우철, 남태철
영남대학교 전자정보공학부

The Fabrications of Vertical Trench Hall-Effect Device for Non-contact Angular Position Sensing Applications

Byunghwee Park, Woochul Jung, Taechul Nam
School of Electronics and Information engineering, Yeungnam University

Abstract - We have fabricated a novel Vertical Trench Hall-Effect Device sensitive to the magnetic field parallel to the sensor chip surface for non-contact angular position sensing applications. The Vertical Trench Hall-Effect Device is built on SOI wafer which is produced by silicon direct bonding technology using bulk micromachining, where buried SiO₂ layer and surround trench define active device volume. Sensitivity up to 150 V/AT is measured.

1. 서 론

현재까지의 대부분의 비 접촉 각도 센서는 소자 표면에 수직인 자기장에 감응하는 SIP(Single Inline Package) 형태의 Hall 소자와 두 개의 영구 자석을 Hall 소자 주위에 배치(그림1(a))하여 각도 센서에 응용하였다[1-2]. 그러나, 이 경우 Hall 소자 지지를 위한 부가적인 구조물이 필요하고 부품을 인쇄회로기판에 조립 시 through hole, SMD(Surface Mounted Device)방식을 모두 사용해야 함으로 생산성 향상과 단가 저감 효과를 기대할 수 없다.

본 연구에서는 비 접촉 각도 센서 제작 시 모든 부품이 표면 실장이 가능하도록, 소자 표면에 수평한 자기장에 감응하는 SOI(Silicon On Insulator) 구조의 수직 Hall 소자를 제작하여 그림1(2)와 같이 한 개의 영구 자석으로 비 접촉 각도 센서 응용이 가능하도록 하였다. 이를 위하여 상위 실리콘 영역이 n-type 10¹⁵/cm³ (100) 이고 두께가 5μm, 10μm, 20μm /1μm/400μm 구조의 SOI wafer를 사용하였다. 이러한 SOI Wafer에 이방성 식각 기술[3]을 이용하여 54.74°의 경사면을 가진 트렌치를 형성하여 온도의 영향을 완화한 섬(Island) 모양의 활성 영역을 지나는 수직 Hall 소자를 제작하였다. 이것은 소자 표면에 수평하게 위치한 홀 플레이트를 90° 회전시켜 수직하게 위치한 효과를 나타낸다.

2. 본 론

2.1 이론적 배경

그림2(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, 그림2(b)와 같이 수평 자계가 인가되면 캐리어의 편향이 발생하여 양단의 전압 차가 발생하게 된다. 이를 수식으로 나타내면 식 (1), (2) 와 같이 된다.

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

$$E = R_H J \times B \quad (R_H : \text{Hall 상수}) \tag{2}$$

이상과 같이 소자에서 나타나는 V_H를 측정하여 수평 자계를 검출할 수 있게 된다.

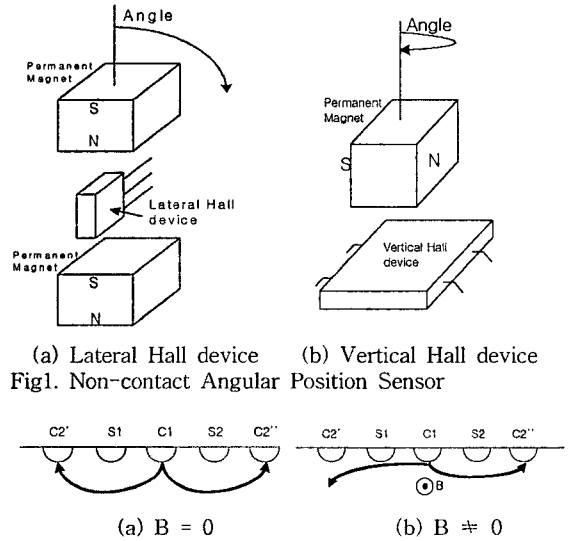


Fig1. Non-contact Angular Position Sensor

Fig2. Principle of magnetic field detection of the Vertical Trench Hall Effect Device

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[4-5]. 여기에서, μ_n은 전자의 드리프트 이동도, n은 캐리어 밀도, E는 전기, B는 자계, D_n은 확산 계수, r은 Hall 산란계수이다.

식(3)을 다시 나타내면

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

과 같이 된다. 그림3과 같이 Sivaco사의 2D Device Simulator인 ATLAS를 이용하여 전류밀도와 전기장 분포를 알아보고 소자의 설계에 활용하였다.

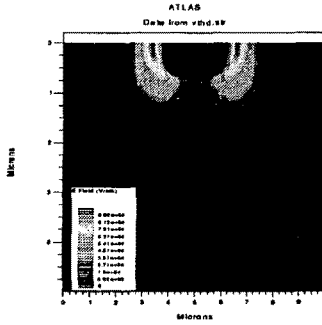


Fig3. Distribution of electric field (I = 1mA, B=0)

2.3 제작 및 특성측정

2.3.1 수직 Hall 소자의 제작

수평 자계 검출을 위한 수직 Hall 소자의 구조를 그림 4에 나타내었다. 수평 자계에 감응하기 위한 홀 플레이트를 TMAH(TetraMethyl Ammonium Hydroxide, $(CH_3)_4NOH$)를 이용한 이방성 에칭을 이용하여 트랜치 구조로 설치하였다. 전류를 인가하기 위해 C1, C2', C2''를 만들고, C1에서 양쪽으로 100 μm 떨어져서 홀 전극 S1, S2를 위치 시켰다.

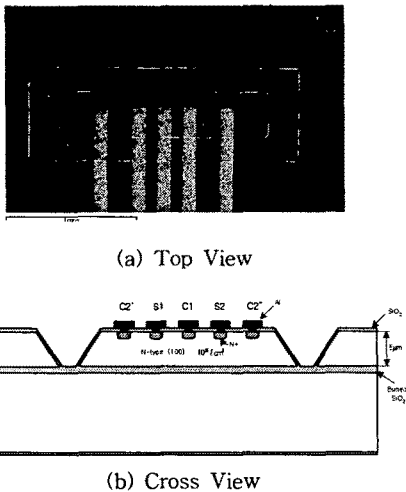


Fig4. Structure of Vertical Trench Hall Effect Device

이상과 같은 소자를 제작하기 위한 주요공정을 그림5에 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 $POCl_3$ 을 이용하여 표면 농도가 $10^{20}/cm^3$ 이상이 되도록 확산하였다. 선, 후 확산을 거친 후 90°C TMAH용액으로 5, 10, 20 μm 깊이의 트랜치를 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 500 A의 산화막을 형성하였다. 이 과정에서 형성된 트랜치는 깊이가 5, 10, 20 μm 이므로 경사면의 시작하는 에지 부분에서 PR(photo resistor)이 증착 되기 힘들다. 이것을 해결하기 위해 접성이 큰 AZ9260 PR을 저 속도로 회전 도포 하여 트랜치를 완전히 덮게 하였다. 마지막으로 전극 형성될 부위의 산화막을 제거하고 DC Sputter를 이용하여 알루미늄

을 1 μm 두께로 스퍼터링 하여 외부 전극을 형성하였으며, 동작 및 측정을 위하여 그림6와 같이 IC 패키지 안에 Wire bonding 하였다.

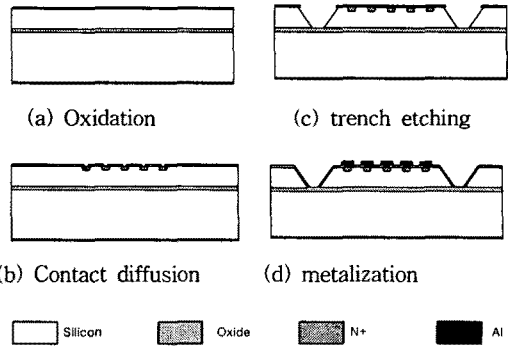


Fig5. Fabrication process of Vertical Trench Hall Effect Device

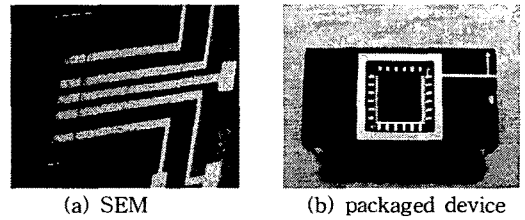


Fig6. Photograph of the packaged device.

2.3.2 특성측정 및 결과

제작된 소자의 전자기적 특성을 측정하기 위하여 그림 7과 같은 실험장치를 구성하였다. 제작된 소자는 정 전류구동과 정 전압구동을 사용할 수 있으나 본 연구에서는 온도 변화에 비교적 둔감하고, 보다 정확한 측정을 위하여 정 전류 구동 방법을 사용하였다. 이를 위해 KEITHLEY 224 Current Source를 사용하였고, Hall 전압 측정과 각도변화를 주기 위한 스텝모터 제어를 위해 NI E-6052 Multifunction DAQ Board를 사용하여 전자식에서 발생하는 자계에 대한 변화를 측정하도록 하였다.

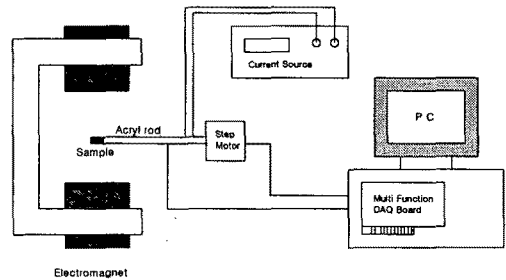
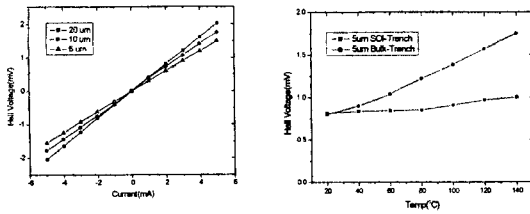


Fig7. Schematic of Measurement

먼저, 제작된 소자의 그림8(a)에서와 같이 바이어스 전류에 대한 offset 전압의 변화를 측정하여 나타내었다. 활성영역의 두께가 증가할수록 offset 전압이 감소함을 알 수 있다. 그림8(b)에서와 같이 온도에 대한 offset의 변화는 SOI 구조에 trench를 사용한 것이 bulk에 trench를 사용한 것보다 현저하게 낮음을 할 수 있다.



(a) offset vs. current (b) offset vs. temp.(I=2mA)
 Fig8. Offset voltage of Vertical Trench Hall Effect Device(B=0)

다음으로 제작된 소자의 자장 특성 시험을 위하여 구동 전류를 고정시키고 인가되는 자장의 값을 증가시켜 자장의 변화에 대한 Hall 전압의 변화를 측정하였다. 구동전류를 2 mA로 고정하고 자장을 0 에서 1000 G 까지 변화시킨 후 측정된 결과를 그림9에 나타내었으며 전체의 자장 변화에 대해 선형적인 변화를 나타냄을 알 수 있다. 이때 수직 Hall 소자의 감도는 활성영역의 두께가 증가 할수록 증가하며 20 μ m의 두께에 대하여 150V/AT로 나타났다. 또한 제작된 소자의 인가자장의 각도에 대한 출력 Hall전압의 변동을 측정하여 그림10에 나타내었다. 0 ~ 360° 범위에서 소자를 회전하여 자장의 각도를 변화시킨 경우 최대 2°의 오차를 나타내었다.

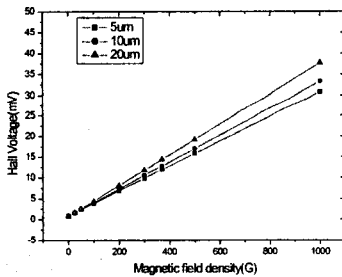


Fig9. Hall voltage vs. magnetic field density(G)

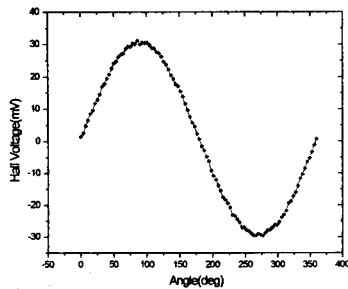


Fig10. Hall voltage vs. rotation (I=2mA)

3. 결 론

이상에서 비 접촉식 각도 센서 응용에 있어 기존의 SIP 형태의 수평 Hall 소자를 대체할 수 있는 수직 Hall 소자를 제작하였다. 제작된 소자는 SOI wafer에 실리콘 벌크 마이크로 머시닝 기술을 사용하였고, 활성 영역의 두께에 따른 offset, 감도의 영향을 고찰하였다. 결과에서 알 수 있듯이 활성영역의 두께는 offset에는 크게 영향을 미치지만 감도에는 별 다른 영향이 나타나지 않았다. 이와 같이 제작된 수직 Hall 소자의 감도는

150 V/AT이었으며, 인가되는 자장의 각도 변화에 대해서도 안정적인 특성을 나타내고 있어, 향후 비 접촉식 각도 센서 응용에 있어 SMD형태로 실장되어 생산성 향상, 단가 저감 효과를 가져 올 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] James E. Lenz, "A Review of Magnetic Sensors", Proc. of The IEEE, VOL.78, NO.6 JUNE 1990
- [2] Ed Ramsden, "Hall Effect Sensors", ADVANSTAR, I pp. 105-106, 2001
- [3] Osamu Tabata, "pH-controlled TMAH etchant for silicon micromachining", Sensors & Actuators, A53, 335-339, 1996
- [4] R. S. Popovic, "Numerical analysis of MOS magnetic field sensors. Solid State Electronics, Vol. 28, No. 7, pp. 711-716, 1985
- [5] A. M. J. Huizer and H. P. Baltès, "Numerical Modeling of Vertical Hall-Effect Devices", IEEE Electron Device Letters, Vol. EDL-5, No.11, November, 1984