

직접접합기술을 이용한 고온용 Si 홀 센서의 제작

정 귀 상^o, 김 용 진^{*}, 신 훈 규^{**}, 권 영 수^{**}
 동서공과대학교, * 경상대학교, ** 동아대학교

Fabrication of High-Temperature Si Hall Sensors Using Direct Bonding Technology

G. S. Chung^o, Y. J. Kim^{*}, H. K. Shin^{**}, Y. S. Kwon^{**}
 Dongseo Univ. of Tech^o., Gyeongsang Natl. Uni^{*}., Donga Univ^{**}.

Abstract

This paper describes the characteristics of Si Hall sensors fabricated on a SOI (Si-on-insulator) structure, in which the SOI structure was formed by SDB (Si-wafer direct bonding) technology. The Hall voltage and the sensitivity of implemented Si Hall devices show good linearity with respect to the applied magnetic flux density and supplied current. The product sensitivity of the SDB SOI Hall device is average 600V/A · T. In the temperature range of 25 to 300°C, the shifts of TCO (Temperature Coefficient of the Offset Voltage) and TCS (Temperature Coefficient of the Product Sensitivity) are less than $\pm 6.7 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ and $\pm 8.2 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$, respectively. From these results, Si Hall sensors using the SOI structure presented here are very suitable for high-temperature operation.

1. 서론

최근에 고온 혹은 극저온, 부식성 기체 및 액체 그리고 방사선 분위기 등의 극한 환경속에서 사용 가능한 소형, 경량, 고감도, 저가적인 Si 홀 센서가 절실히 요구되고 있다. 현 반도체 제조공정기술로 제작된 Si 홀 센서는 일반적으로 pn접합에 의한 접합분리 (JI : Junction Isolation) 기술을 이용하므로 pn접합의 누설전류 및 soft error 때문에 120°C 이상의 고온 그리고 방사선 분위기에서는 특성이 급격히 악화된다. SOI (Si-on-Insulator) 구조를 이용한 유전체분리 (DI : Dielectrical Isolation) 기술은 현 Si 소자의 고집적화, 고속화, 고내압화 및 내방사선화를 위한 가장 유력한 기술로 활발히 연구 개발되고 있다.¹⁾

SOI구조의 형성기술 중에서, SiO₂가 형성된 무장의 Si기판을 직접접합하여 한면의 Si기판을 기계적 연마로 박막화하는 방법인 직접접합 (SDB : Si-wafer Direct Bonding)기술은 비록 Si과 거의 동등한 결정질을 갖는 대면적의 SOI기판을 간단히 제조할 수 있을 뿐만 아니

라 미세구조물 제작이 용이하기 때문에 SOI소자, 3D-IC 그리고 마이크로 센서 및 액츄에이터 등의 개발에 가장 적당한 SOI구조 형성기술로 최근에 크게 주목받고 있다.^{2,3)} 본 논문에서는 SDB SOI 홀 센서의 제작과 특성을 평가했다.

2. 제조 공정

그림 1은 SDB기술에 의해서 제조된 SOI 홀 센서의 제조 공정 순서도를 나타낸 것이다. P형, 2~4 μ m, (100) 그리고 두께가 3,000~4,000Å인 SDB SOI 기판을 사용하였다. 먼저, SOI구조 형성시 연마, 식각, polishing시 분말 혹은 왁스 등에 의해서 생길수 있는 유기물, 산화물, 금속 및 이온 불순물 등을 제거하기 위해 초기 세척했다.

그 다음 n 및 n' 영역을 형성하기 위해 인을 이온 주입하였다. n 영역에 대해선 인가 에너지가 180KeV이고 유입된 불순물 양은 $5 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ 이다. 마스크 #1을 사용하여 n' 전극 패턴을 형성한 후, 30KeV 인가 에너지로 불순물 양이 $3 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 인 n' 영역을 형성하였

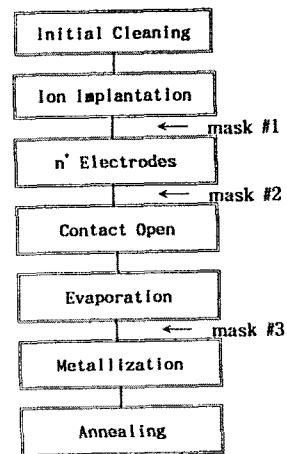


그림 1. SDB SOI 홀 센서의 제조 공정 순서도

다. 다음에 900°C에서 30분간 열처리하였다. 마스크 #2를 사용하여 contact를 open한후 증착기를 사용하여 알루미늄을 증착시켰다. 그 다음 마스크 #3을 사용하여 metalization한 후, 마지막으로 ohmic접촉을 위해서 450°C에서 30분간 열처리했다. 그림 2는 이와 같은 공정으로 제조한 SDB SOI 홀 센서의 단면도이다.

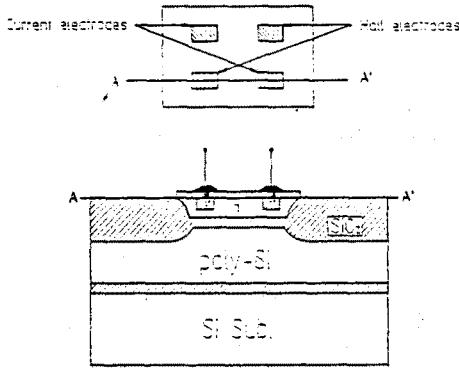


그림 2. SDB SOI 홀 센서의 단면도

3. 결과 및 고찰

이상과 같은 공정으로 제조된 SDB SOI 홀 센서의 특성을 평가하기 위해 알루미늄 패키지에 고정시키고 소자와 알루미늄 패키지로 온 도선을 초음파 본딩 장치로 본딩하였다. 구동전류는 정전류 공급장치로 공급하고 자계는 가우스 메터로 측정하였다.

부자기계 공급전류를 0에서 0.3mA까지 변화시키면서 측정한 결과,⁴⁾ SDB SOI 홀 센서의 오프셋 전압은 인가전류에 비례하여 선형적으로 증가했다. 또한, 홀 센서의 자계에 따른 홀 전압의 변화 역시 일정한 전류하에서 인가 자속밀도 B를 0에서 1KG까지 변화시키면서 측정한 결과 선형적으로 증가했다. 한편, 공급전류를 0에서 0.08mA까지 변화시킨 경우에도 각각의 홀 전압은 선형적으로 증가했다. 따라서 제작한 SDB SOI 홀 센서의 홀 전압은 자계 및 공급전류의 변화에 대해 우수한 선형 응답특성을 나타냈다. 제조된 SDB SOI 홀 센서의 적감도는 평균 600V/A·T으로 pn접합형보다도 3배 이상 증가했다.

Si에 있어서 온도에 따른 금지대 폭의 변화를 무시할 경우, 일반적으로 누설전류⁵⁾는 다음과 같이 주어진다.

$$J_s = A J_{s0} (T/300)^a \exp[E_g/nk(1/300 - 1/T)] \quad (1)$$

여기서 J_{s0} 는 실온에서의 단위 면적당 접합 누설전류의 크기, A는 확산층의 면적, k는 볼츠만 상수, a와 n는 각각 1.5 - 3 그리고 1 - 2인 상수이다. 따라서 누설전류는 온도에 따라 지수 함수적으로 증가함을 알 수 있다. 그림 3은 온도의 변화에 따른 홀 센서의 누설전류 변화량을 나타낸 것이다. PN접합분리기술에 의해 제조된 경우, 120°C 전후에서 누설전류가 급격하게 증가하며 이 결과는 이론적인 예상치와 잘 일치한다. 결과적으로 pn

접합분리기술에 의해 제조된 소자는 누설전류의 영향때문에 온도 특성이 크게 악화됨을 알 수 있다. 한편 유진채분리기술에 의해 제조된 경우, 200°C 이상에서 누설전류가 약간씩 증가하지만 300°C까지는 무난하므로 유진채분리기술에 의한 분리기술은 고온용 소자 개발에 대단히 유용함을 알 수 있다.

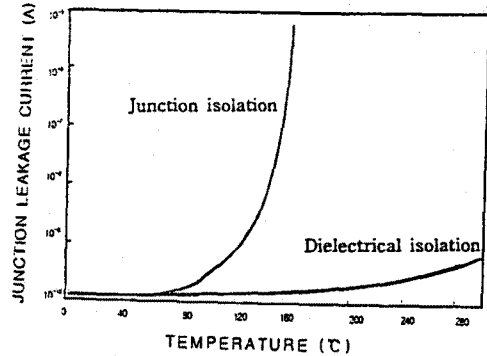


그림 3. 온도에 따른 누설전류의 변화

그림 4는 공급전류가 0.06mA, 25 ~ 300°C의 온도 범위에서 온도 변화에 따른 오프셋 전압의 변화를 나타낸 것이다. 홀 오프셋 전압은 100°C까지는 증가하다가 그 이상의 온도에서는 감소하는 경향을 보였다. 오프셋 전압이 증가하는 현상은 홀 센서의 비대칭성 저항 R_E 의 온도효과에 결과이며 R_E 는 다음과 같이 주어진다.

$$R_E = G_E R_0 \quad (2)$$

여기서 G_E 는 소자의 기하적 형상의 비대칭 정도를 나타내는 계수, R_0 은 소자의 내부 저항이다. 한편 오프셋 전압의 온도 계수 TCO (Temperature Coefficient of the Offset Voltage)은 다음과 같이 주어진다.

$$TCO = [1/O_T(T = 25^\circ C)] \{ [O_T(T_2 - T_1)] / (T_2 - T_1) \} = G_E f_{sup} (\partial R_0 / \partial T) \quad (3)$$

25 ~ 300°C의 온도 범위에서 제조된 홀 소자의 TCO는 $\pm 6.7 \times 10^{-3} / ^\circ C$ 로서 비교적 작다. 따라서 오프셋 전압은 내부 저항의 온도에 의존함을 알 수 있으며 저온에서는 소자가 R_E 의 온도 의존성 효과가 지배적이지만 온

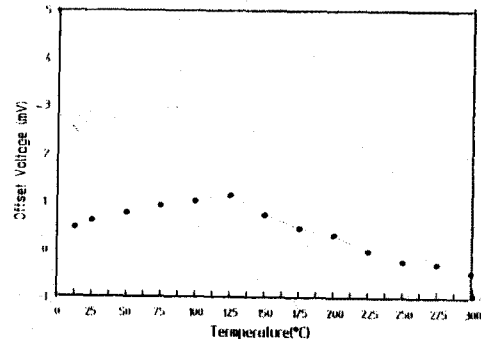


그림 4. 온도에 따른 오프셋 전압의 변화

도가 상승함에 따라 이동도의 산란으로 상대적으로 감소함을 알 수 있다.

그림 5는 각 온도에서의 자장에 대한 출력 홀 전압의 변화율 나타낸 것이다. 일정한 온도하에서 자속밀도의 변화에 따른 홀 전압은 고온에서도 선형성이 유지됨을 알 수 있다.

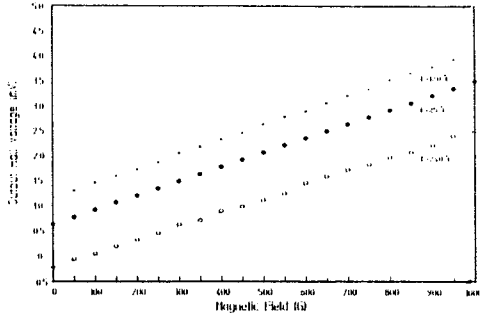


그림 5. 일정한 온도하에서 자장에 대한 홀 전압의 변화

그림 6은 온도에 따른 직감도의 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 직감도의 온도 계수 TCS (Temperature Coefficient of the Product Sensitivity)은 다음과 같이 주어진다.

$$TCS = [1/S_H (T = 25^\circ\text{C})] \{ [S_H(T_2 - T_1)] / (T_2 - T_1) \} \quad (4)$$

여기서 T는 측정 온도이다. 25 ~ 300°C의 온도 범위에서 제조된 홀 소자의 TCS는 $\pm 8.2 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 로서 일반적인 pn접합분리기술로 제조된 경우의 $10^{-3}/^\circ\text{C}$ 에 비해 상대적으로 작다. 25 ~ 150°C의 온도 범위에서 온도에 따른 이동도의 증가때문에 TCS는 온도에 따라 거의 선형적으로 증가한다. 그러나 그 이상의 온도에서는 누설 전류, 즉 산란 현상에 의해서 TCS는 감소한다. 일반적으로 pn접합분리기술을 이용한 경우는 사용 가능 온도가 120°C 이지만 본 SOI구조의 절연막을 유전체분리기술로 이용한 SDB SOI 홀 센서는 300°C의 고온에서도 사용할 수 있다. 따라서 SDB SOI 홀 센서는 소자의 활성 두께가 얇으며 완벽한 분리가 가능하기 때문에 고감도, 고온 분위기용 소자로서 적당하다.

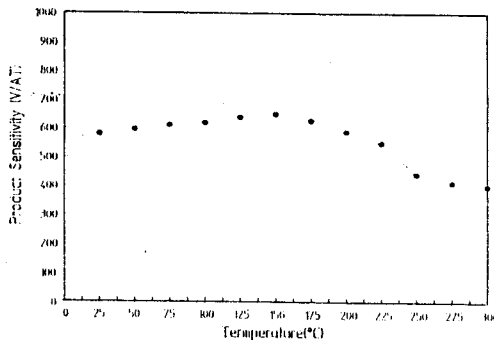


그림 6. 온도에 따른 직감도의 변화

4. 결론

고온 혹은 극저온, 부식성 기체 및 액체 그리고 방사선 분위기 등의 환경속에서 사용 가능한 고감도, 소형, 경량, 저가격의 고온용 Si 홀 센서를 개발하기 위해 SDB기술에 의해 제작된 SOI기판위에 홀 센서를 제조하여 온도 특성을 평가하였다. 25 ~ 300°C의 온도 범위에서 제조 SDB SOI 홀 센서의 출력 전압은 인가 전류 및 자속밀도에 따라 선형적으로 변화했다. 더구나 옴셋 전압 및 직감도의 온도에 따른 변화율이 일반적인 pn접합분리기술을 이용하는 경우 보다도 훨씬 작기 때문에 고온용 홀 센서 뿐만 아니라 집적화 자기센서로서도 대단히 유효할 것이다.

참고문헌

- 1) A. Nathan et al., Sensors & Actuators, A21 (1990) 776.
- 2) G. S. Chung et al., Sensors & Actuators A, 29 (1991) 107.
- 3) G. S. Chung et al., Sensors & Actuators A, 39 (1993) 241.
- 4) 정 귀상, 실리콘기판 직접접합기술을 이용한 SOI 홀 센서의 제작과 그 특성, 전기전자재료학회지, 8 (1995) 165.
- 5) S. M. Sze, Physics of Semiconductor devices(John Wiley & Sons, New York, 1981).