

논문 94-3-1-04

SIMOX SOI 홀 센서의 제조 및 온도특성

김항규*, 신장규**, 정우철^o, 남태철^{oo}Fabrication and Temperature Characteristics
of a SIMOX SOI Hall Sensor

Hang Kyoo Kim, Jang Kyoo Shin, Woo Chul Jung, and Tae Chul Nam

요 약

SIMOX SOI 홀 센서를 제조하여 20°C~260°C 사이의 온도에서 그 특성을 측정하였다. 출력 홀 전압은 인가 전류의 변화에 따라 선형적으로 변화하였으며 좋은 선형성을 나타내었다. 홀 전압과 오프셋 전압은 온도변화에 따라 처음에는 약간 증가하다가 그 다음 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 온도에 따른 전자의 이동도의 변화 때문이라 생각된다. 측정온도 범위내에서 소자의 적감도는 거의 일정하게 유지되었으며 이를 이용하여 고온에서의 응용이 기대된다.

Abstract

A SIMOX SOI Hall sensor has been fabricated and its characteristics were measured at temperatures between 20°C and 260°C. Output Hall voltage varied linearly with supplied current, showing good linearity. The Hall voltage and the offset voltage initially increased slightly and then decreased with temperature due possibly to the electron mobility variation with temperature. Nearly constant product sensitivity throughout the temperature range indicates that this Hall sensor could be used for high temperature applications.

I. 서 론

반도체 홀 센서는 자장의 측정, 자성 인식, 전류계와 전력계 및 가전 제품등 여러 분야에서 널리 응용되어 지는 소자이다.^[1-3] 그러나 온도가 높은 자동차 엔진부나 공장자동화 시스템의 경우 고온에서 동작할 수 있는 홀 센서가 요구되고 있다. 기존의 실리콘 홀 센서의 경우 소자와 기판(substrate) 사이에 접합분리

(junction isolation)를 이용하기 때문에 온도가 증가함에 따라 p-n 접합의 역방향 포화 전류가 급격히 증가하여 소자와 기판 사이의 전기적인 분리가 이루어지지 않게 되므로써 센서의 감도가 현저히 감소하게 된다. 이와같은 문제점을 해결하기 위해 Hout등^[4]은 소수 캐리어 배제효과(minority carrier exclusion effect)^[5,6]를 이용하는 고온용 실리콘 홀 센서를 제안하여 300°C 까지 안정되게 동작할 수 있음을 보였다. 그러나 소자 구조상의 문제 때문에 적감도(product sensitivity)가 10 V/AT 정도로 대단히 낮아 실용화에는 많은 어려움이 있는것으로 지적되었다.

본 연구에서는 소자와 기판 사이에 접합분리를 이용하지 않고 절연체 분리(dielectric isolation)를 이용하는 SOI(silicon on insulator)구조로 홀 센서를 제조하므로써 고온에서도 소자와 기판 사이에 전기적인 분리가 이루어 지도록 하였다. SOI 구조에는 ZMR(zone melt recrystallization), SIMOX(separation by implanted

* 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.)

** 正會員 : 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.)

o 嶺南大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Engineering, Yeungnam Univ.)

oo 正會員 : 嶺南大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Engineering, Yeungnam Univ.)

<접수일자 : 1994년 1월 11일>

oxygen), FIPOS(full isolation by porous oxidized silicon), SDB(silicon direct bonding)등이 있으나 본 연구에서는 가장 특성이 우수하다고 알려진 SIMOX 웨이퍼를 이용하였다. 이와 같은 SIMOX SOI 구조는 실리콘 압력 센서에 적용되어 좋은 고온 특성을 가지는 것이 이미 보고되어 있다.^[7] 또한 SIMOX SOI 구조에서는 SOI 층의 두께가 대단히 얇기 때문에 불순물 농도를 잘 조정하면 홀 센서의 적감도를 증대시킬 수 있는 장점이 있다. 아울러 본 연구에서는 제조된 SIMOX SOI 홀 센서의 온도에 대한 오프셋 전압, 홀 전압 및 적감도 등의 변화를 관찰하므로써 고온에서의 응용가능성을 살펴보았다.

II. 제조 공정

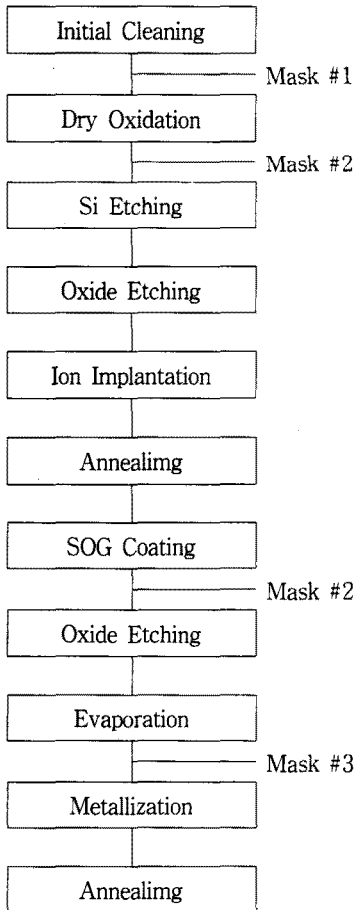


그림 1. SIMOX SOI 홀 센서의 제조공정 순서도
 Fig. 1. Fabrication process flow chart of the SIMOX SOI Hall sensor.

그림 1은 SIMOX SOI 홀 센서의 제조공정 순서도를 나타낸다. P-type, 50 Ω-cm, (100) SIMOX 웨이퍼를 1×1.5cm²의 크기로 자른 후 아세트, 메타놀, H₂SO₄ : H₂O₂ = 3 : 1 및 10 : 1 HF 순으로 세척하였다. 그 후 건식 산화법으로 1100℃에서 50분간 산화하여 약 2200Å의 산화막을 기른 후 1번 마스크를 이용하여 산화막을 식각하였으며 그 후 실리콘 식각을 하였다. 이 실리콘 식각에 사용된 용액은 6 Normal KOH로서 약 60℃로 증탕을 하여 실시하였다. 그 후 10 : 1 HF에 약 5초간 담근 후 탈이온수(DI water) 세척, 질소개스 건조공정을 거쳐 2번 마스크를 이용하여 컨택(contact)부분의 산화막을 식각하였다. 그 다음 n 및 n⁺ 영역을 형성하기 위해 인(phosphorous) 이온 주입을 실시하였다. 이 때, n⁺ 영역에 대해 인가된 에너지는 33KeV 이고 유입된 불순물 양은 약 3×10¹⁴/cm²이며, n 영역에 대해서는 인가 에너지가 180KeV 이고 유입된 불순물 양은 3×10¹²/cm²이다. 이 후 850℃에서 20분간 질소 분위기에서 어닐링을 하였다. 또 어닐링시 발생한 산화막을 제거하기 위해 HF : NH₄F : H₂O = 1 : 6 : 350 용액에 약 15초간 담구었다. 그 다음 탈이온수로 세척한 후 질소개스로 건조시켰으며 구조상 노출되는 측면의 실리콘을 보호하기 위해 SOG(spin on glass)를 도포하고 400℃에서 30분간 질소 분위기 하에서 경화시켰다. 실험에 사용된 SOG는 Allied Signals사의 Accuglass 211로서 고온에서의 안정성 및 절연특성이 매우 우수하다고 알려져 있다. 이 SOG 도포로 인해 컨택 부분이 SOG에 의해 덮혀진 상태이므로 2번 마스크를 이용하여 SOG를 식각하였다. 그 후 Al 진공증착기를 이용하여 2×10⁻⁶ torr의 압력하에서 알루미늄을 증착시켰다. 그 다음 3번 마스크를 이용하여 금속화 공정(metallization)을 실시한 후 450℃에서 25분간 질소

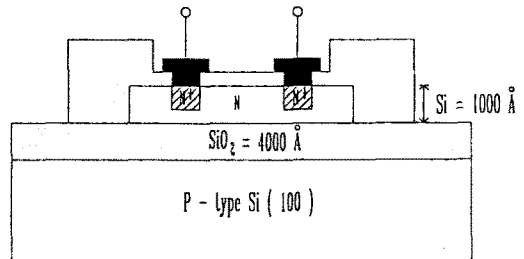


그림 2. SIMOX SOI 홀 센서의 단면도
 Fig. 2. Cross-sectional view of the SIMOX SOI Hall sensor.

분위기 하에서 합금 공정(alloy process)을 실시하였다. 그림 2는 제조된 소자의 단면도를 나타낸다.

III. 결과 및 검토

이상과 같은 공정으로 제조된 SIMOX SOI 홀 센서의 특성을 측정하기 위하여 소자를 알루미늄 패키지에 고정시키고 소자와 알루미늄 패키지에 알루미늄 도선을 초음파 본딩 장치로 본딩하였다. 그림 3은 홀 센서의 온도 특성 측정장치의 개략도이다. 소자의 동작을 위한 인가전류의 공급은 Keithley 224 전류원을 사용하여 0~0.3 mA 한계내에서 정전류 방식을 취하였으며, 홀 전압은 DMM 2001 멀티미터를 이용하여 측정하였다.

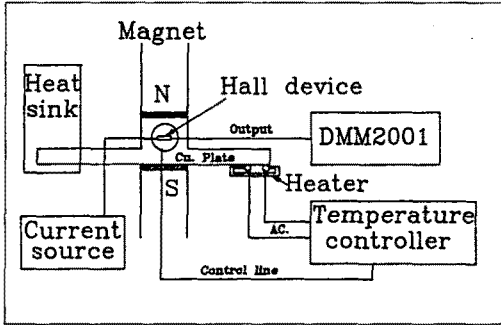


그림 3. 홀 센서의 온도특성 측정장치 개략도
Fig. 3. Schematic of temperature characteristics measurement system for the Hall sensor.

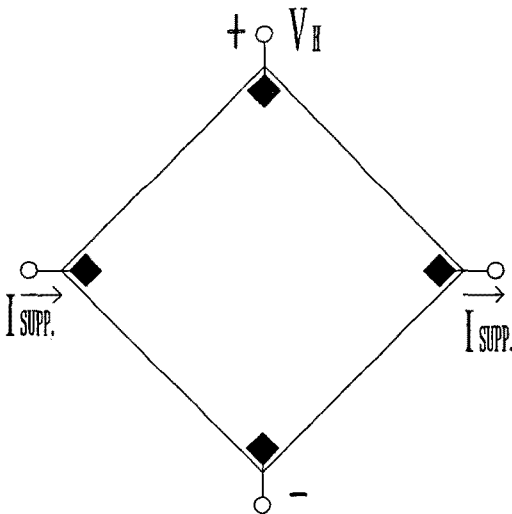


그림 4. 정방향 홀 센서
Fig. 4. A rectangular Hall sensor.

측정에 사용된 소자는 그림 4와 같은 정방향의 홀 센서이며, $750 \times 750 \mu\text{m}^2$ 의 그기를 가진다. 무자계시에 인가전류(I_{supp})에 의해 홀 센서에 나타나는 오프셋 전압(V_0)를 그림 5에 나타내었다. 일반적으로 오프셋 전압은

$$V_0 = R_E I_{\text{supp}} \quad (1)$$

과 같이 나타나는데 여기서 계수 R_E 는 콘택의 정합 오차(alignment error)에 해당하는 등가 저항이다. 실제로 인가전류를 0에서 0.3 mA까지 변화시키면서 측정된 결과 오프셋 전압은 인가전류에 비례하여 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

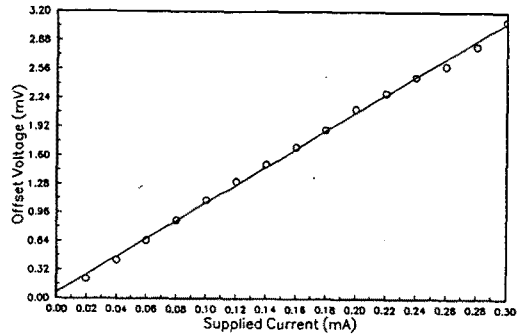


그림 5. 무자계시 인가 전류에 대한 오프셋 전압의 변화
Fig. 5. Variation of offset voltage with supplied current under no magnetic field.

그림 6은 자장에 따른 홀 전압(V_H)의 변화를 나타낸 것이다. 이것은 일정한 전류하에서 자속밀도(B)를 0에서 1 kG까지 변화시키면서 출력 홀 전압을 측정 한 것인데 실험 결과 좋은 선형적인 응답특성을 보여 주고 있다.

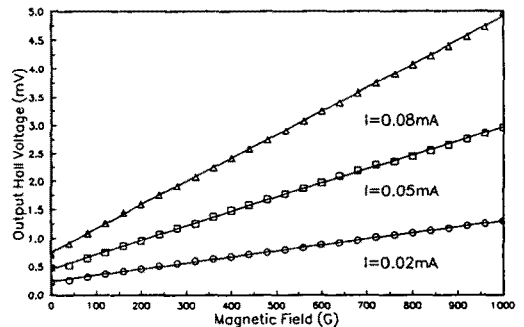


그림 6. 일정한 인가 전류하에서 자장에 대한 홀 전압의 변화
Fig. 6. Variation of Hall voltage with magnetic field under constant supplied current.

인가전류를 0.02 mA, 0.05 mA, 0.08 mA 로 변화시킨 경우에도 그 응답이 선형성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 온도의 변화에 대한 출력 홀 전압 및 오프셋 전압의 변화를 나타낸 것으로 20~260°C 까지 변화시킨 경우에 처음에는 약간 증가하다 그 다음 감소하는 것을 볼 수 있다. 홀 센서의 오프셋 전압은 식 (1)에서 보는 것 처럼 R_E 에 비례하는데 R_E 는 전자의 이동도(mobility)에 반비례 하므로, 온도에 따른 오프셋 전압의 변화는 전자의 이동도의 변화와 밀접한 관계를 가지게 된다.^[8] 본 연구에 사용된 SIMOX SOI 구조의 경우 실리콘층의 두께가 1000Å 정도로 대단히 얇기 때문에 Si/SiO₂ 계면의 스트레스의 영향으로 산란 기구(scattering mechanism)이 매우 복잡한 관계를 가지게 되며 향후 이에 대한 연구가 요망된다.^[9]

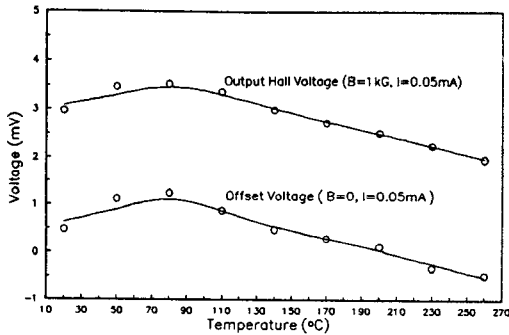


그림 7. 온도에 대한 홀 전압 및 오프셋 전압의 변화
Fig. 7. Variation of Hall voltage and offset voltage with temperature.

그림 8에 각 온도에서의 자장에 대한 출력 홀 전압의 변화를 보였다. 이 경우에 저온에서 고온영역에 걸

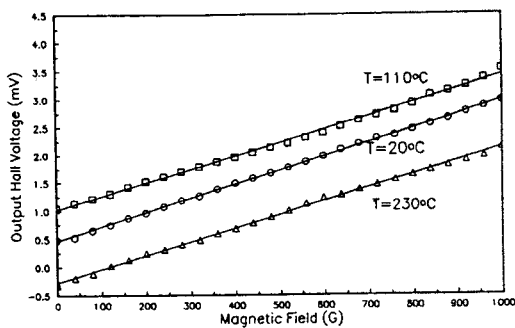


그림 8. 일정한 온도하에서 자장에 대한 홀 전압의 변화
Fig. 8. Variation of Hall voltage with magnetic field under constant temperature.

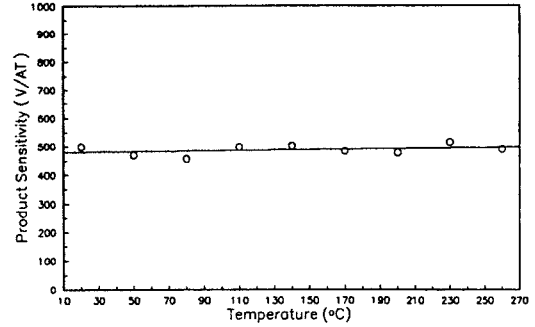


그림 9. 온도에 대한 적감도의 변화
Fig. 9. Variation of product sensitivity with temperature.

표 1. 제조된 홀 센서의 특성

Table 1. Characteristics of the fabricated Hall sensor

내부저항	22 kΩ
한계동작온도	Max. 260°C (I=0.05mA)
온도의존성	0.55%/°C (Temp. range 20~260°C) (I=0.05 mA, B=1 kG)
Offset 율	1.92%/°C (I=0.05 mA, B=1 T)
적감도	480 [V/AT]

쳐 자장에 대한 출력 홀 전압의 선형성이 유지되는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 9에 온도에 따른 적감도 (product sensitivity)의 변화를 보였다. 일반적으로 적감도 K_H 는

$$K_H = \frac{1}{I_{supp}} \frac{\partial V_H}{\partial B} \quad (2)$$

의 식으로 나타나게 되고, 앞서 보인 그림 6에서와 같이 온도의 변화에 따라 출력 홀 전압의 변화율과 거의 같은 비율로 오프셋 전압이 변하므로 적감도는 온도의 변화에 대해 일정한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 이 경우에 제조된 소자에 0.05 mA의 인가전류와 1 kG의 자장을 인가한 경우 약 480 V/AT 의 높은 적감도를 나타내었다. 이와같은 높은 적감도는 그림 2에서 보는것 처럼 SOI 층의 두께가 약 1000Å 정도로 대단히 얇고 홀 전압이 SOI 층의 두께에 반비례하는데 기인한다. 아울러 제조된 SOI 구조의 홀 센서는 약 260°C 까지 동작하는 것을 볼 수 있는데 일반적인 실리콘 홀 센서의 동작한계가 150°C 이내 인 것

에 비해서 고온 동작 특성이 우수함을 알 수 있다. 향후 소자의 구조를 최적화하고 제조공정을 개선하므로써 더 높은 온도까지 동작이 가능하리라 예상된다. 제조된 홀 센서의 특성을 정리하여 표 1에 나타내었다.

IV. 결 론

SIMOX SOI 구조를 이용하여 홀 센서를 제조하고 20℃~260℃ 사이의 온도에서 그 특성을 측정하였다. 소자의 출력 홀 전압은 인가 전류의 변화에 따라 선형적으로 변화하였으며 좋은 선형성을 나타내었다. 홀 전압과 오프셋 전압은 온도가 증가함에 따라 처음에는 약간 증가하다가 그 다음 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 온도에 따른 전자의 이동도의 변화 때문이라고 생각된다. 소자의 적감도는 약 480 V/AT로 측정 온도 범위내에서 거의 일정하게 유지되었으며, 이를 이용하여 고온에서의 응용이 가능하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] H. P. Baltes and R. S. Popovic, "Integrated semiconductor magnetic field sensor," *Proc. IEEE*, vol. 74, no. 8, pp. 1107-1132, 1986.
- [2] S. Middelhoek and S. A. Audet, *Silicon Sensors*, Academic Press, 1989.
- [3] R. S. Popovic, *Hall Effect Devices*, Adam Hilger, 1991.
- [4] S. R. in't Hout and S. Middelhoek, "High temperature silicon Hall Sensor," *Sensors and Actuators*, vol. A37-A38, pp. 26-32, 1993.
- [5] J.-C. Manificier and H. K. Henisch, "Minority carrier exclusion," *Solid-State Electron*, vol. 22, pp. 279-281, 1979.
- [6] S. Rahim, J.-C. Manificier, and H. K. Henisch, "Minority carrier extraction and accumulation near metal-semiconductor interfaces," *J. Appl. Phys.*, vol. 52, pp. 6723-6728, 1981.
- [7] B. Diem, R. Truche, S. Viollet-Bosson, and G. Delapierre, "SIMOX : a technology for high-temperature silicon sensors," *Sensors and Actuators*, vol. A21-A23, pp. 1003-1006, 1990.
- [8] G. Bjorklund, "Improved design of Hall plates for integrated circuits," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-25, no. 5, pp. 541-544, 1978.
- [9] J.-H. Lee, "Electron scattering profiles in SOS films measured by temperature-dependent Hall effect," *Electronics Letters*, vol. 17, no. 16, pp. 566-567, 1981.

著 者 紹 介



김 항 규

1970년 6월 25일생. 1993년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심 분야 : 화합물 반도체 및 반도체 센서.



정 우 철

1969년 2월 28일생. 1992년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 2월~현재 영남대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심 분야 : 반도체 자기센서의 개발, 자기센서 응용시스템 설계,

VLSI 설계 등임.



신 장 규

1956년 10월 8일생. 1978년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1980년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1991년 미국 콜로라도 주립대학 졸업(공학박사). 1980년~현재 경북대학교 조교수. 주관심 분야 : 반도체 물성 및 반도체 센서 등임.

주관심 분야 : 반도체 물성 및 반도체 센서 등임.



남 태 철

1946년 4월 27일생. 1969년 2월 서울대학교 물리학과 졸업(이학사). 1979년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1986년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1986

년 9월~1987년 8월 미국 Stanford 대학교 연구교수. 1980년~현재 영남대학교 전자공학과 교수. 주관심 분야 : 반도체 자기센서의 개발 및 집적화 등임.