

단결정 및 다결정실리콘 압력센서의 온도특성 비교

박성준*, 박세광
경북대학교 공과대학 전기공학과

Comparison of Temperature Characteristics Between Single and Poly-crystalline Silicon Pressure Sensor

Sungjune Park and Sekwang Park
Dept. of Electrical Engineering, Kyungpook National Univ.

Abstract

Using piezoresistive effects of single-crystal and poly-crystalline silicon, pressure sensors of the same pattern were fabricated for comparison of temperature characteristics. Optimum size and aspect ratio of rectangular sensor diaphragm were calculated by FEM. For polysilicon pressure sensor, polysilicon resistors of Wheatstone bridge were deposited by LPCVD to be used in a wide temperature range. Polysilicon pressure sensors showed more stable temperature characteristics than single-crystal silicon in the range of $-20 \sim 125[^\circ\text{C}]$. To get low TCO (Temperature Coefficient of Offset), below $\pm 3 [\mu\text{V}/^\circ\text{C}]$, it is needed for each TCR of piezoresistors to have a deviation within $\pm 25[\text{ppm}/^\circ\text{C}]$. TCR less than $\pm 500[\text{ppm}/^\circ\text{C}]$ of resistors for polysilicon pressure sensor can result in low TCS(Temperature Coefficient of Sensitivity) of $-0.1[\%FS/^\circ\text{C}]$.

I. 서론

압력센서는 대부분의 산업분야에서 사용되고 있는 기초적 물리센서의 하나로서, 반도체를 이용한 압력센서는 의료, 자동차, 일반 산업등 넓은 응용범위에서 수요가 증대되고 있고 다른종류의 센서에 비해 높은 감도를 가지지만, 제작에 있어 센서의 온도특성, 균일성 및 수율등의 문제점으로 국내 실용화에 어려움이 있다. 특히 반도체 압력센서의 온도에 의한 영향을 줄이는 동시에 넓은 범위에서의 사용을 위하여, 실리콘위에 산화막을 올리고 그위에 다결정실리콘을 성장시키는 등의 Silicon-on-Insulator 형태의 연구가 활발하다.

단결정 실리콘 압력센서는 pn접합에서의 누설전류로 인하여 최고사용온도가 $125[^\circ\text{C}]$ 로 제한되며, 높은 온도의존성 때문에 주로 $85[^\circ\text{C}]$ 이하의 범위에서 사용되고 있다. 반면,

CVD로 형성된 다결정실리콘은 게이지율이 10경도로 단결정실리콘보다 작지만, $10^{20}[\text{cm}^{-3}]$ 정도의 고농도 확산에서 저항 온도계수(TCR)를 $0[\text{ppm}/^\circ\text{C}]$ 에 가까운 값을 얻는 것이 가능하므로 센서의 사용온도범위를 넓힐 수 있다. 그러나 브리지형의 압저항형 압력센서는 4개저항의 저항값과 TCR의 차이에 따라 온도특성의 변화가 심하므로 기판의 온도의존성 뿐만 아니라, 센서설계와 제작에 의한 영향을 줄이는 것이 필요하다.

본 연구에서는 압저항형 압력센서의 온도특성을 조사하기 위하여, 단결정과 다결정 실리콘 기판을 이용하여 동일한 형태의 압력센서를 제작, 특성을 비교하였으며, 브리지 저항 각각에 대한 저항의 온도에 따른 변화를 측정하였다. 브리지 저항의 TCR 차이가 $\pm 25[\text{ppm}/^\circ\text{C}]$ 이내의 범위에 있을 경우 오프셀전압변화 $\pm 3[\mu\text{V}/^\circ\text{C}]$ 의 안정한 특성을 얻을 수 있으며, TCR의 절대값이 작은 다결정실리콘이 넓은 온도범위에서 단결정실리콘 압력센서보다 작은 감도온도계수를 갖는 결과를 얻었다.

II. 실험 및 결과

압력센서의 특성을 비교·측정하기 위하여 단결정실리콘과 다결정실리콘의 제정에 동일한 패턴의 센서를 제작하였다. 센서의 구조는 그림 1(다결정실리콘 압력센서)과 같이 적사각형의 박막위에 브리지형태로 압저항을 연결하였다. 박막의 aspect ratio에 따른 용력은 FEM(ANSYS 5.0)으로 계산하였으며, 2:1에서부터 거의 일정한 값이 되어 3:1에서 최대값을 가지게 되므로 박막의 비율 2:1($a=3.0\text{mm}$, $b=1.5\text{mm}$)로 정하여 설계하였다(그림 2). 박막의 중앙부분과 긴 변의 중간에서의 용력차가 최대되는 비율 선정하였다. (100) n-type의 웨이퍼에 열산화막 $1.2[\mu\text{m}]$ 를 성장시켜 시작 제질층으로 이용하였으며, 다결정실리콘 센서는 LPCVD로 다결정실리콘을 산화막위에 성장시키고 다시 산화막을 올렸다. 압저항체는 열확산으로 제작하며, 면저항은 $100[\Omega/\square]$ (다결정)와 220

[Ω/\square](단결정)의 값을 각각 얻었다. 웨이퍼상의 배선은 알루미늄을 이용하였다. 실리콘 박막은 TMAH 22wt.% 용액의 이방성 식각으로 약 30[μm]의 두께를 얻었다. 압력의 인가를 위한 지지대는 Pyrex 유리 #7740으로 양극접합 하였으며, 완성된 셀서의 크기는 4[mm] \times 5[mm]이다. 그리고, 압력센서 패키징 용 캔(CA-H3043, 2201)에 넣어 와이어 본딩후 특성을 측정하였다.

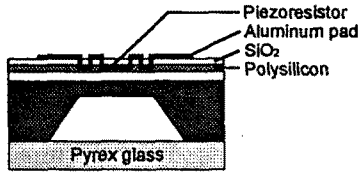


그림 1 제작된 셀서의 구조.

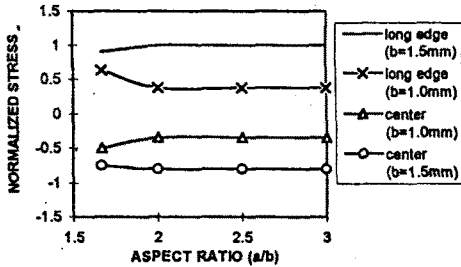
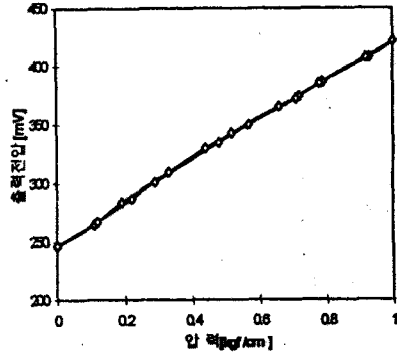


그림 2 직사각형 박막의 a/b에 따른 응력.

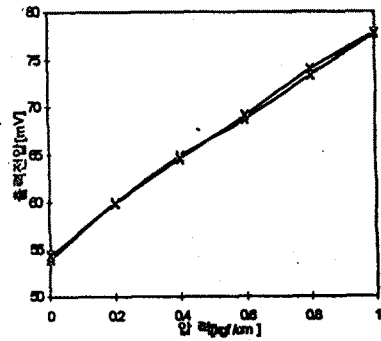
측정된 셀서의 압력감도는 그림 3과 같이 단결정실리콘이 다결정실리콘보다 3.2배 정도 높은 감도를 나타낸다. 그림 4는 각각의 경우 온도에 따른 저항의 변화를 보인 것으로, 두 경우 모두 145[$^{\circ}\text{C}$]의 온도변화에 대하여 (+)의 변화를 보이며, 단결정의 경우가 다결정보다 2배정도 큰 TCR을 가진다. 이것은 압력에 의한 저항변화에 대해 상대적으로 감도의 저하를 가져오므로, 입력전압을 온도에 따라 상승시켜 온도보상의 방법으로 이용하기도 한다.

LPCVD로 제작된 다결정실리콘 저항은 TCR의 부호가 (-)에서 (+)로 변화하는 불순물 농도가 존재하므로, 단결정에 비해 훨씬 낮은 TCR값을 얻을 수 있다. 그리고, 단결정실리콘에서처럼 누설전류에 의해 동작온도범위가 +125[$^{\circ}\text{C}$] 부근에서 제한되지 않고, 거의 +250[$^{\circ}\text{C}$]까지 직선적인 저항의 변화를 얻을 수 있어 고온용으로의 가능성이 연구된 바 있다.

그러나, 브리지형의 경우 4개 저항의 저항값이 일치하더라도 각 TCR이 50~100[ppm/ $^{\circ}\text{C}$]정도의 차이가 나면, 오프셋 전압의 온도계수(TCO)가 압력감도의 변화보다 상회하는 결과를 보이므로, 낮은 값의 TCR보다는 브리지저항의 TCR을 동작온도에서 일정범위내로 제작하는 것이 더 중요하다.



(a) 단결정실리콘



(b) 다결정실리콘

그림 3 감도특성(30[μm]).

실제로 한 브리지내 4개 저항의 변화를 보인 그림 5를 보면 평균 저항값 1.60[Ω]의 최대편차가 약 150[Ω]이고, TCR이 최고 120[ppm/ $^{\circ}\text{C}$]의 차이가 있을 경우 약 10[mV] 정도로 오프셋전압이 변화한다. 그러므로, 오프셋 전압의 변동을 감도 전압 변화폭에 비해 5[%]내로 줄이려면, TCR의 최대편차를 50[ppm/ $^{\circ}\text{C}$] 정도로 해야하므로 확산저항 제작의 정밀도가 요구된다.

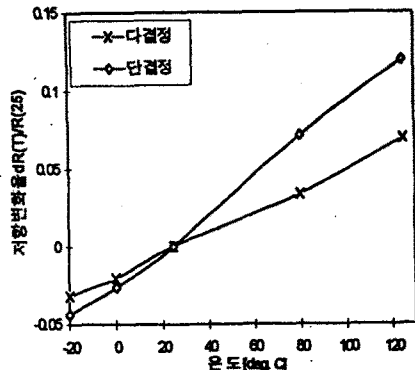


그림 4 저항체의 온도변화

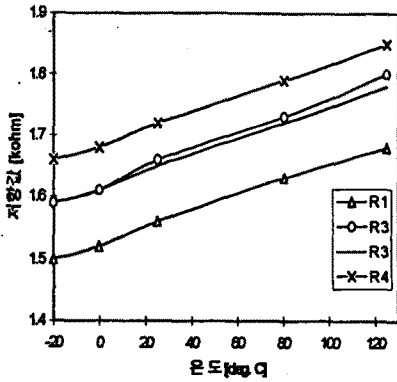


그림 5 다결정실리콘의 브리지 저항변화

그림 6과 7은 80[°C]까지의 온도범위에서 센서의 온도에 따른 오프셋 전압과 감도의 변화를 나타낸 것으로, 2가지 모두 다결정실리콘의 경우가 작은 값을 나타내는 결과를 보인다. TCO는 브리지 저항값과 각 저항간의 TCR차이로 인해 발생되므로, 확산길이가 상대적으로 적고, 저항율이 큰 다결정의 경우가 단결정에 비해 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 그리고 온도에 따른 감도의 변화 역시 TCR이 2배정도 큰 단결정실리콘 압력센서가 큰 변화를 보이고 있다.

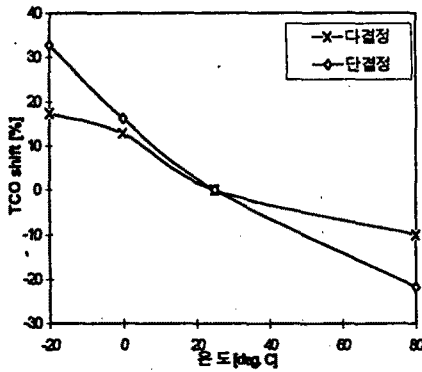


그림 6 TCO의 변화비교.

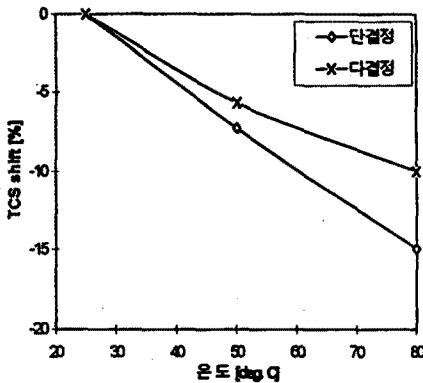


그림 7 TCS의 변화비교.

표 1은 제작된 센서의 특성을 비교하여 나타낸 것으로 감도특성을 제외하고는 다결정실리콘으로 제작된 압력센서의 특성이 우수한 결과를 보인다. 그러나, 브리지 구조로 센서를 제작할 경우, 다결정실리콘의 제질은 온도범위가 넓어지고 그에 따른 TCO 역시 증가하므로 감도에 비해 온도영향을 많이 받고 있다.

표 1 반도체 압력센서의 특성비교

	single-crystalline	poly-crystalline
bridge resistance [kΩ]	3.50	1.60
temperature range [°C]	-20~80	-20~125
TCR [ppm/°C]	1000~1200	600~800
TCO [$\mu\text{V}/\text{V}/\text{°C}$]	94	28
TCS [%FS/°C]	-0.27	-0.18
sensitivity [$\mu\text{V}/\text{V}/\text{Torr}$]	40.0	12.5
nonlinearity [%FS]	3.5	2.2
hysteresis [%FS]	1.5	2.0

III. 결론

반도체 압력센서의 온도특성을 연구하기 위해 단결정과 다결정실리콘을 재료로 압저항형의 센서를 제작하였다. 온도에 따른 오프셋 전압과 감도의 변화를 줄이기 위해서는, 압저항체 저항온도계수의 절대값이 작아야 할 뿐만 아니라, 각 브리지 저항의 온도계수가 일정범위내로 제작되어야 한다. 같은 조건에서 TCS와 TCO 모두 다결정실리콘 압력센서가 단결정실리콘에 비해 50~60[%]의 변화폭을 가져 우수한 온도특성을 나타내었다. 150~200[°C] 온도에서 사용하는 자동차 엔진 등의 고온측정용으로는 단결정실리콘보다 다결정실리콘을 이용한 압력센서가 더 적합함을 알 수 있었다.

IV. 참고문헌

1. Jakob Gakkestad, Per Ohlchers and Leif Halbo, "Effects of variations in a CMOS circuit for temperature compensation of piezoresistive pressure sensors", *Sensors and Actuators*, A48 (1995) 63-71.
2. I. Obeita, E. Castano and F. J. Gracia, "High-temperature polysilicon pressure micro-sensor", *Sensors and Actuators*, A46-47 (1995) 161-165.
3. 김한섭, 박성일, 박성준, 박세광, "Pressure sensor for high temperature application using polycrystalline silicon", *센서기술학술대회 논문집*, Vol. 4, No. 1, 79-83, 1993.
4. 박성준, 박세광, "실리콘 압저항형 압력센서의 박막형태와 압저항체 위치 선정에 관한 연구", *센서기술학술대회 논문집*, Vol. 1, No. 1, 136-141, 1990.