

論文98-35D-5-9

보상용 브릿지를 이용한 압저항형 압력센서의 온도보상 방법

(Temperature Compensation method of Piezoresistive Pressure Sensor Using Compensating Bridge)

孫 源 邵 * , 李 在 坤 ** , 崔 時 永 ***

(Won-So Son, Jae-Gon Lee, and Sie-Young Choi)

요 약

SDB 웨이퍼를 이용하여 절대압 압력센서를 제조하였다. 센서의 구조는 두 개의 Wheatstone 브릿지 회로와 횡격막으로 구성되어있다. 두 개의 Wheatstone 브릿지중 하나는 횡격막의 가장자리에 위치하고, 다른 하나는 횡격막의 가운데 부분에 위치한다. 횡격막의 공극은 10^5 Torr의 진공에서 형성시켜 공극안의 공기로 인한 압력센서의 감도에 미치는 온도효과를 줄였다. 이것은 압력센서의 온도보상에 대한 부수적인 방법이다. 본 실험의 주된 온도 보상법은 두 브릿지의 시작전압의 차를 이용한 방법이다. 이 방법은 온도변화에 따른 시작전압의 변화를 줄여서 전체적으로 압력센서의 온도특성을 향상시키기 위한 것이다. 이 방법을 이용하여 22~100 °C 범위에서 온도 영향을 80 %이상 보상할 수가 있었다.

Abstract

The absolute pressure sensor using SDB wafer has been fabricated. The structure of the sensor consists of two Wheatstone bridges and a diaphragm. One of the two Wheatstone bridges is located on the edge of diaphragm, and the other is located on the center of diaphragm. The diaphragm cavity is sealed in vacuum($\sim 10^5$ Torr) to reduce the effect of temperature due to the vapor in the cavity on the sensitivity of pressure sensor. This is the minor method of temperature compensation method. In this experiment the main compensation method is to use the difference of the two bridge offset voltages. The drift of offset voltage with temperature is reduced by using this method so that temperature characteristic is improved. In this method the temperature effect in the range of 22 ~ 100 °C was compensated over 80 %.

I. 서 론

본 실험은 실리콘 압저항형 압력센서의 온도변화에

따른 시작전압의 변화를 줄여서 전체적으로 압력센서의 온도특성을 향상시키기 위한 것이다.

압저항 효과를 이용한 압력센서는 고감도, 직선성, 높은 신뢰성 및 대량생산이 가능하다는 장점이 있어서 일반 공업용, 자동차용, 의료용 등의 다양한 분야에 이용된다.^[1] 일반적으로 압저항형 압력센서는 4개의 압저항을 Wheatstone 브릿지 구조로 구성하여 압력에 의한 응력에 비례하는 압저항의 저항변화를 검출한다. 그러나 Wheatstone 브릿지를 이용한 압력센서는 다양한 원인에 의해 시작전압이 발생하는데, 이 시작전압이 온도에 의존한다는 것이 문제가 된다. 그중 주된 원인으로 알려진 것은 재료의 열팽창계수의 차에 의해 발생하는 잔류응력에 의한 시작전압과 4개의 압저항의 특성차에

* 正會員, LG半導體(株) 製品開發 1室

(Device Development Dept. 1, LG Semicon Co., Ltd.)

** 正會員, 現代電子(株) 시스템 IC 研究所 素子開發1室

(Device Development LAB. 1, System IC R & D LAB.)

*** 正會員, 慶北大學校 電子·電氣工學部

(School of Electronic & Electrical Engineering, Kyungpook National University)

接受日字:1997年6月28日, 수정완료일:1998年4月21日

의한 시작전압 등이 있다. 이들 시작전압을 보상하는 일반적인 방법으로는 제작한 압력센서의 외부에 별도의 소자로 시작전압을 제거하는 방법이 있지만,^[2] 특성이 조금씩 차이가 있는 센서의 시작전압을 각각 보상하는 것은 별 효과가 없을 뿐만 아니라, 시작전압의 온도 보상이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 압저항형 압력센서의 시작전압 및 그 온도 드리프트를 보상하기 위해 보상용 브릿지를 횡격막 위에 배치하였다. 이때 보상용 브릿지 압저항들이 압력에 영향을 받아 감도가 떨어지는 것을 방지하기 위해, 횡격막이 압력을 받아 휘었을 때 생기는 응력의 영향을 받지 않도록 위치를 정하여 브릿지를 구성하였다.^[3] 또한 화학적 식각으로 제작된 횡격막의 요철에 의한 시작전압을 감소시키기 위해 실리콘 직접 결합(SDB : silicon direct bonded) 웨이퍼의 산화막을 식각 중지막으로 사용해 평탄한 횡격막을 실현하였다.^[4,5]

II. 실험 및 측정

1. 온도 보상용 압력센서의 설계 및 제조

일반적으로 압력센서의 구조는 횡격막의 가장자리에 4개의 브릿지 구조로 된 압저항체를 이용하지만, 본 연구에서는 그 외에도 횡격막의 안쪽에도 4개의 압저항체를 더 제작하여, 이를 온도보상용으로 이용하였다. 센서의 크기는 $3 \times 3 \text{ mm}^2$ 이고, 횡격막의 크기는 $1.36 \times 1.36 \text{ mm}^2$ 이다. 횡격막 식각장의 크기는 식각 결과 형성되는 횡격막의 변이 압력 검출용 압저항체의 가장자리 부분과 일치하도록 하여 최대의 응력이 압력 검출용 압저항체에 가해져 센서의 감도가 최대가 될 수 있게 설계하였다. 이때 각 압저항체의 폭은 $20 \mu\text{m}$ 이고, 압저항체의 길이는 $400 \mu\text{m}$ 로 설계하여, 압저항체가 $2 \text{ k}\Omega$ 의 저항이 되도록 하였다. 횡격막에 수직 방향의 압저항체는 감도의 향상^[6]을 위해 그림 1에 나타난 형태로 설계하였다. 그림 1은 온도보상용 압력센서의 패턴이다.

횡격막 위의 온도보상용 압저항체들은 가장자리의 압력검출용 압저항체와 유사한 특성을 나타내고, 압력 검출용 압저항체의 영향을 받지 않기 위해 $100 \mu\text{m}$ 정도의 거리가 좋지만,^[7] 압력에 의해 횡격막의 휨에는 영향을 받지 않아야 하므로 이를 고려하여, 횡격막의 가운데로 위치를 정했다. 보상용 브릿지의 위치는 압력 변화에 영향을 받지 않는 위치를 찾기 위해 그림

2에서 보이는 것과 같이 4곳의 위치를 설정하였다. 각 저항체의 위치는 다음과 같다. 횡격막 변이 수평한 저항체(R_1)의 위치는 저항체의 중심이 횡격막의 가장자리에서 각각 $120, 230, 340$ 및 $460 \mu\text{m}$ 떨어져 있는 위치이고, 횡격막 변이 수직인 저항체(R_2)의 위치는 저항체의 중심이 횡격막의 가장자리에서 각각 $230, 290, 370$ 및 $470 \mu\text{m}$ 떨어져 있는 위치이다.

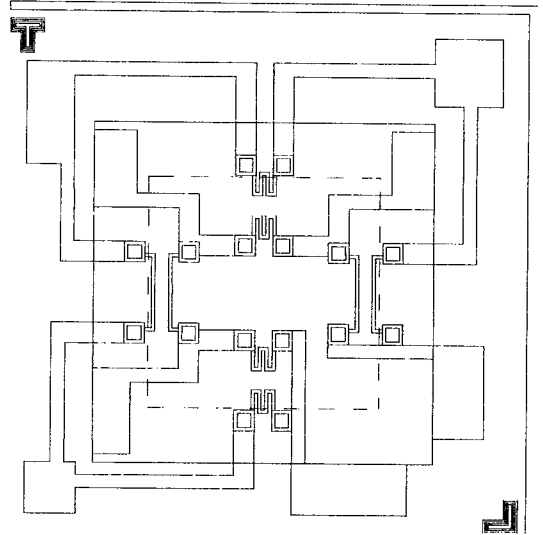


그림 1. 온도보상용 압력센서의 패턴
Fig. 1. Layout of the pressure sensor.

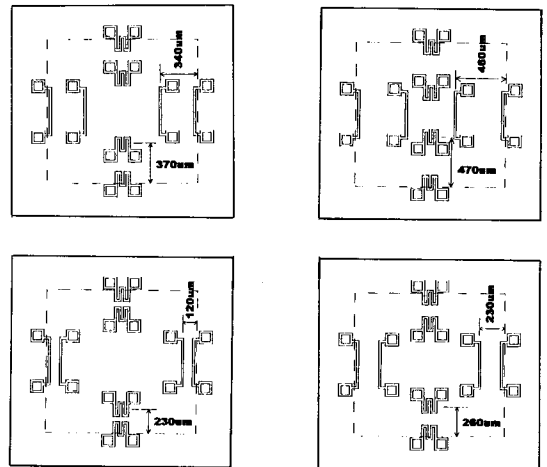


그림 2. 횡격막 위의 보상용 저항체의 위치
Fig. 2. The positions of the compensating resistors on the diaphragm.

그림 3에는 압력센서의 제조공정을 나타내었다. 본 실험에서 사용된 웨이퍼는 결정방향이 (100)이고 비저

항이 10 Ω-cm인 n형 실리콘 웨이퍼와 실리콘 식각 공정시 마스크링 역할로 사용되는 1 μm 두께의 실리콘 산화막을 성장시킨 결정 방향이 (100)인 n형 실리콘 웨이퍼를 SDB 기술로 접합시킨 웨이퍼를 사용하였다.

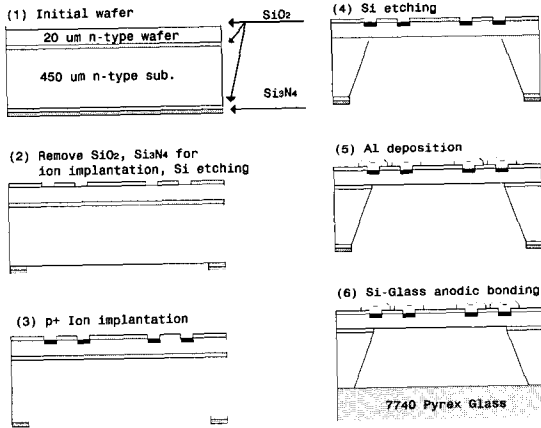


그림 3. 압력센서의 제조 공정도
Fig. 3. Cross sectional views of the pressure sensor as fabrication process sequence.

웨이퍼의 두께는 앞면이 20 μm이고 뒷면이 450 μm이고, 앞뒷면으로 5000 Å의 열산화막(SiO₂)이 형성되어 있으며, 황경막 형성을 위한 뒷면 식각시 마스크용으로 뒷면에만 1500 Å의 실리콘 질화막(Si₃N₄)이 감압기상증착법(LPCVD)으로 증착되어있다. 양면 사진식각 공정을 행하여 앞면과 뒷면에 각각 저항, 황경막 등의 패턴을 형성한다. 뒷면의 질화막은 건식 식각(plasma etching)법을 이용하여 식각한 후 완충 불화수소(BHF)를 이용하여 양면의 실리콘 산화막을 식각한다. 앞면에는 저항이 형성될 부분의 실리콘 산화막이 제거되면 이온주입법을 이용하여 저항을 형성하는데 이는 웨이퍼 전면에 대해 균일한 저항을 형성시키고 정확한 불순물량을 주입할 수 있다. 또한 p형의 불순물(Boron)을 100 keV로 이온주입할 때는 8000 Å의 산화막으로 마스크링이 가능한데, 본 웨이퍼는 5000 Å의 산화막만이 있으므로 사진감광액(PR)을 산화막위에 두어 이온주입시의 마스크링 역할을 도왔다. 이때 형성된 압저항체의 면저항은 대략 100 Ω/□이다. 황경막을 형성하기 위해 뒷면 450 μm의 실리콘을 83 °C의 20 % 수산화 칼륨액(KOH)에서 4시간 반동안 이방성 식각을 하였다. 그 결과 결정 방향이 (100)인 실리콘 웨이퍼가 54.74도의 각도로 식각되면

서 SDB 웨이퍼 중앙의 산화막이 수산화 칼륨액(KOH)의 식각에 대한 식각중지막으로 사용되어 빔 두께의 정확한 조절이 가능하였다. 또한 전면의 저항 패턴이 원하는 위치에 정렬되도록 할 수 있었다. 사진 식각법을 이용하여 전극 접촉부의 실리콘 산화막을 제거하고 알루미늄 박막을 진공증착하여 전극을 형성하였다. 황경막 내의 공극을 진공으로 하기 위하여 연결 유리(Pyrex 7740)와 진공중(~10⁻⁵ Torr)에서 양극 접합(silicon-glass anodic bonding)을 행하였다.^[5]

2. 측정

그림 4는 제조된 압력센서의 압력 및 온도특성을 조사하기 위한 측정 장치의 개략도 이다. 압력 특성을 조사하기 위해 기계적 펌프를 이용하여 압력을 감소시켜 대기압에서 100 Torr 범위에서 측정을 하였다. 또한 온도 특성을 조사하기 위해 온도를 일정하게 유지할 수 있는 항온조를 이용하여 22 °C에서 100 °C까지의 온도 특성을 조사하였다

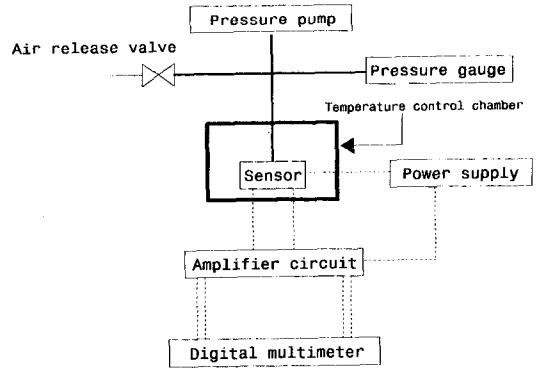
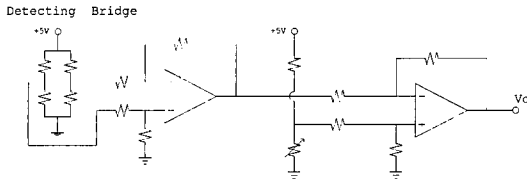


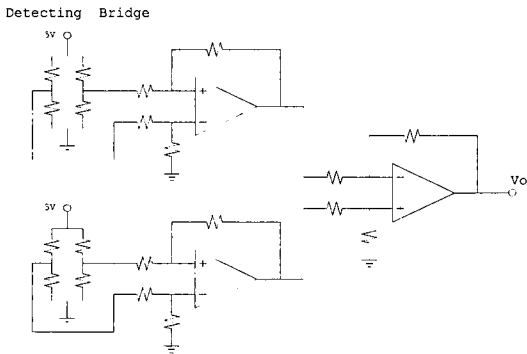
그림 4. 센서의 압력 및 온도 특성 측정 시스템의 개략도
Fig. 4. Schematic diagram to measure the pressure and temperature characteristics of the pressure sensor.

그림 5는 압력 및 온도 특성을 측정하기 위해 설계된 증폭 회로를 나타낸 것이다. 그림 5 (a)는 온도 보상을 하지 않은 소자의 압력 및 온도 특성을 조사하기 위한 증폭 회로이고, (b)는 두 브릿지의 시작전압의 차를 이용하여 온도보상을 한 소자의 압력 및 온도 특성을 조사하기 위한 증폭 회로이다. 사용된 연산 증폭기는 Motorola사의 MC 35072이고, 증폭단의 구동 전압은 DC 5 V를 인가하였다. 그림 5 (a)의 가변저항은 연산 증폭기의 시작전압을 줄이기 위해 사용되었

으며, (b)의 1단 증폭회로에서는 압력 검출용 브릿지와 보상용 브릿지의 시작전압의 온도에 대한 변화율을 같게 하기 위해 압력 검출용 브릿지의 증폭도와 보상용 브릿지의 증폭도를 달리하였다.



(a) circuits for detecting pressure



Compensating Bridge

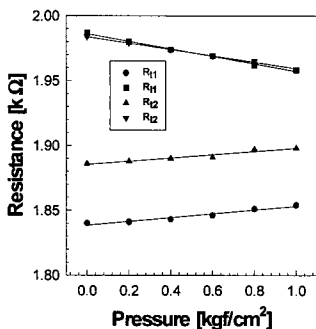
(b) circuits for temperature compensation

그림 5. 압력 측정용 증폭 회로도

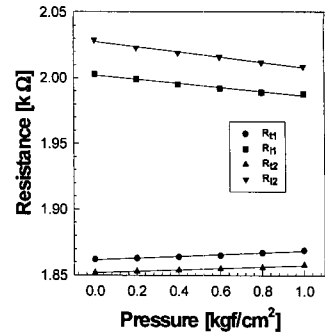
Fig. 5. Amplifier circuits for pressure measurements.

III. 결과 및 고찰

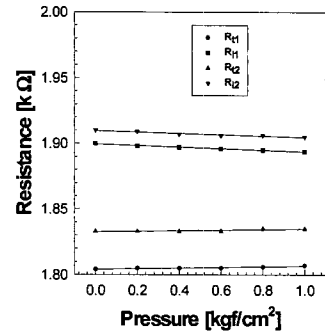
그림 6은 횡경막 위 보상용 브릿지의 위치에 따른 압력에 대한 변화율을 보이고 있다. 제조된 브릿지 저항의 압력 특성을 관찰하기 위해 대기압에서 1 kgf/cm²



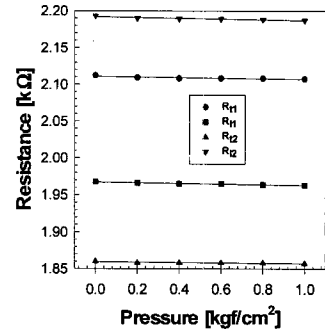
(a) R_l ; 120 μm , R_t ; 230 μm



(b) R_l ; 230 μm , R_t ; 290 μm



(c) R_l ; 340 μm , R_t ; 370 μm



(d) R_l ; 460 μm , R_t ; 470 μm

그림 6. 횡경막 위 각 위치별 저항의 압력에 대한 변화

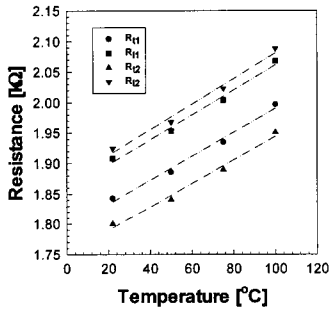
Fig. 6. Variation of the resistance in each position on diaphragm to pressure.

cm²의 압력을 가하면서 각저항의 압력에 따른 저항 변화를 측정하였다. 횡경막 변에서 저항까지의 거리가 400 μm 정도이면 압력에 대한 저항의 변화는 무시할 수가 있음을 알 수 있다.

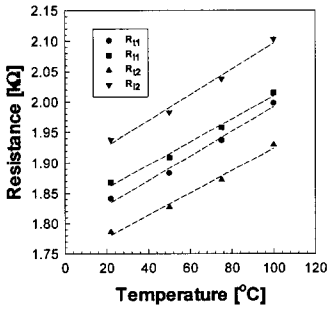
따라서, 본 실험에서는 횡경막의 변에서 R_t와 R_l이 각각 340, 370 μm 정도의 거리에 있는 브릿지 저항

을 보상용 브릿지로 이용하여 온도 보상을 행하였다.

그림 7은 온도에 대한 압력 검출용 브릿지 저항과 보상용 브릿지 저항의 변화를 측정한 것이다. (a)는 압력 검출용 브릿지 저항의 온도에 대한 변화율을 보여주는 그림으로 R_{t1} , R_{t1} , R_{t2} , R_{t2} 의 온도에 대한 변화율은 각각 1.97, 2.05, 1.94, 2.09 $\Omega/^\circ\text{C}$ 이다. (b)는 보상용 브릿지 저항의 온도에 대한 변화율을 보여주는 그림으로 R_{t1} , R_{t1} , R_{t2} , R_{t2} 의 온도에 대한 변화율은 각각 2.01, 1.88, 1.85, 2.12 $\Omega/^\circ\text{C}$ 이다. 이로부터 온도가 증가할수록 저항의 크기가 커진다는 것을 알 수 있고, R_t 의 변화율 보다 R_i 의 변화율이 더 크다는 것을 알 수 있다.



(a) resistance of the detecting bridge



(b) resistance of the compensating bridge

그림 7. 온도에 따른 브릿지 저항 변화
Fig. 7. Variation of the resistance with temperature.

그림 8은 압력검출용 브릿지의 온도 특성을 보였다. 특성은 각각 22, 50, 75, 및 100 $^\circ\text{C}$ 에서 측정하였다. 온도가 높아질수록 감도가 감소하면서 출력전압이 증가하는 것을 볼 수 있다. 상온에서의 감도는 5.97 mV/mmHg 이고, 100 $^\circ\text{C}$ 에서의 감도는 5.20 mV/mmHg 로, 온도에 따른 감도의 감소율은 9.87 $\mu\text{V/mmHg} \cdot ^\circ\text{C}$ 이다. 그리고, 대기압에서의 온도에 대

한 출력전압의 변화율은 7.97 $\text{mV}/^\circ\text{C}$ 이다.

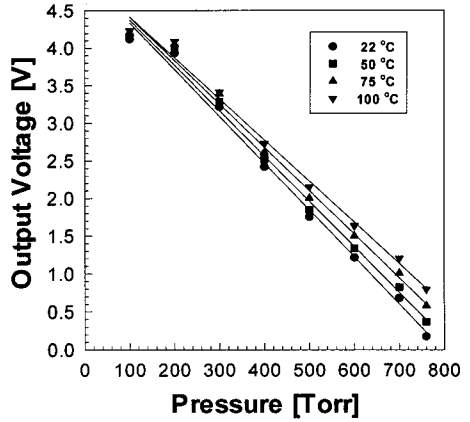


그림 8. 온도보상을 하지 않은 압력센서의 출력전압
Fig. 8. Output voltage of the sensor without temperature compensation.

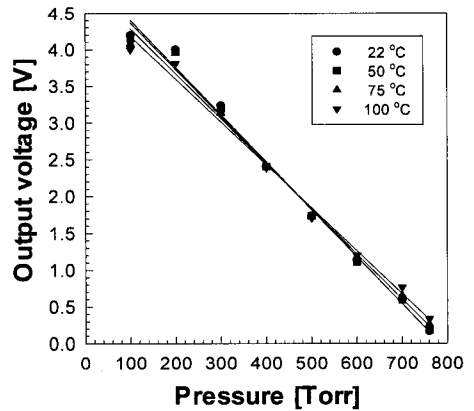


그림 9. 온도보상된 압력센서의 출력전압
Fig. 9. Output voltage of the sensor with temperature compensation.

그림 9는 두 브릿지의 시작전압의 차를 이용하여 온도보상된 압력센서의 출력전압이다. 압력검출용 압력센서와 마찬가지로 온도는 각각 22, 50, 75 및 100 $^\circ\text{C}$ 에서의 특성을 조사하였다. 압력검출용 브릿지만의 경우와 달리 온도에 따른 출력전압의 변화가 훨씬 줄어들었다. 상온에서의 감도는 6.11 mV/mmHg 이고 100 $^\circ\text{C}$ 에서의 감도는 5.56 mV/mmHg 로 보상되기 전보다 커졌고, 온도에 따른 감도의 감소율도 7.05 $\mu\text{V/mmHg}$ 로 줄었다. 대기압, 400 Torr 및 100 Torr

에서의 온도에 대한 출력전압의 변화율은 각각 2.16 mV/°C, 230 μ V/°C 및 2.51 mV/°C로 보상되기 전의 대기압에서의 출력전압의 변화율 7.97 mV/°C에 비해 평균 80 %이상의 온도보상효과를 얻었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 SDB 웨이퍼를 이용한 압저항형 절대압 압력센서의 온도 보상을 하였다. 제조된 센서의 압력에 대한 특성은 우수한 선형 특성을 얻었고, 온도 특성에서도 80 %이상의 보상 효과를 얻을 수 있었다.

제조된 절대압 압력센서의 온도 보상을 위하여 센서 자체의 온도 특성 및 보상용 브릿지로 이용되는 횡경막 위의 브릿지 저항의 특성을 조사하였다. 횡경막 위의 브릿지 저항은 온도에만 영향을 받고 압력에는 영향을 받지 않아야 하므로, 횡경막 위에서 압력에 대해 응력이 받지 않는 지점을 찾아야 했다. 측정된 결과 횡경막의 변에서 R_t 와 R_b 이 각각 340, 370 μ m 정도의 거리에 있는 경우 압력에 거의 영향을 받지 않았다. 이들 지점에서의 브릿지 저항을 보상용 브릿지로 이용하였다.

횡경막 위에 형성된 두 브릿지의 시작전압의 차를 이용하여 압력센서의 온도 보상을 했을 경우, 상온에서의 감도는 5.97 mV/mmHg에서 6.11 mV/mmHg로 증가하였고, 100 °C에서의 감도는 5.20 mV/mmHg에서 5.56 mV/mmHg로 증가하여 온도에 따른 감도의 감소율은 20 % 이상 향상되었다. 온도에 따른 출력전압의 변화율은 7.97 mV/°C에서 2.16 mV/°C로 감소하여 80 % 이상의 보상효과를 얻을 수 있었다.

압저항이 온도에 대한 강한 의존성을 나타내므로 저항의 정확한 조절을 구현하여 소자내 저항의 균일성을

이루고, 외부 측정회로의 시스템화를 구현하여 신호처리를 한다면 보다 나은 온도 보상 효과를 가질 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Esashi, H. Komatsu, T. Takahashi, K. Imabayashi and H. Ozawa, "Fabrication of catheter-tip and sidewall miniature pressure sensor", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-29, pp. 57-63, 1982.
- [2] H. H. Bau, N. F. deRooy and B. Kloeck, *Sensors*, vol. 7, VCH, Weinheim, p. 94, 1994.
- [3] Samuel K. Clark and Kensall D. Wise, "Pressure-Sensitivity in Anisotropically Etched Thin-Diaphragm Pressure Sensors", *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-26, pp. 1887-1895, 1979.
- [4] C. Smith, "Piezoresistance effect in germanium and silicon", *Phys. Rev.*, vol. 94 pp. 42-49, 1954.
- [5] 이창준, "SDB 웨이퍼를 이용한 압저항형 압력센서의 제조", 경북대 석사학위논문, 1994
- [6] Muhammad Akbar and Michael A. Shanblatt, "Temperature compensation of piezoresistive pressure sensors", *Sensors and Actuators*, vol. A33, pp. 155-162, 1992.
- [7] K. Suzuki, T. Ishihara, M. Hirata and H. Tanigawa, "Nonlinear analysis of a CMOS integrated silicon pressure sensor", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-34, pp. 1360-1367, 1987.

저 자 소 개

孫 源 邵(正會員)

1969년 10월 28일생. 1995년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 ~ 현재 LG 반도체 근무

李 在 坤(正會員) 第 33卷 A編 第 12號 參照

현재 현대전자(주) 시스템 IC 연구소
소자개발1실

崔 時 永(正會員) 第 33卷 A編 第 12號 參照

현재 경북대학교 전자·전기공학부