

실리콘 저항형 압력센서의 온도 보상에 관한 연구

(A Study on Temperature Compensation of Silicon Piezoresistive Pressure Sensor)

崔時永*, 朴相俊*, 金愚正**, 鄭光和*** 金國珍***

(Sie Young Choi, Sang Jun Park, Woo Jeong Kim, Kwang Hwa Chung,
and Gook Jin Kim)

要 約

실리콘 웨이퍼를 사용하여 반도체 제조공정을 이용한 확산저항이 브릿지 형태를 이루는 압저항형 실리콘 압력센서를 설계하고 제작하였다. 이방성습식 식각을 이용하여 30 μ m의 얇은 다이아프램을 제작하였으며 이 센서의 압력 특성 및 온도 의존성을 조사하였다. 제작된 압력센서는 강한 온도 의존성을 보였으며 이를 보상하기 위하여 보상용 저항을 이용한 보상회로를 구성하였다. 브릿지 출력전압이 음의 온도계수를 가지므로 이를 보상하기 위하여 보상회로에 의해 양의 온도계수를 가지는 브릿지 구동전압을 이용하였다. 그 결과 온도 보상 전에는 압력센서의 온도에 따른 감도 변화가 -1700 ppm/ $^{\circ}$ C이었으나 온도 보상회로가 부가된 압력센서의 온도에 따른 감도 변화는 -710 ppm/ $^{\circ}$ C이었다. 따라서 넓은 온도 범위(-20 $^{\circ}$ C~50 $^{\circ}$ C)에서 신뢰성 및 정밀성을 갖는 저항형 압력센서를 개발할 수 있었다.

Abstract

A silicon pressure sensor made of a full bridge of diffused resistors was designed and fabricated using semiconductor integrated circuit process. Thin diaphragms with 30 μ m thickness were obtained using anisotropic wet chemical etching technique. Our device showed strong temperature dependence. Compensation networks are used to compensate for the temperature dependence of the pressure sensor. The bridge supply voltage having positive temperature coefficient by compensation networks was utilized against the negative temperature coefficient of bridge output voltage. The sensitivity fluctuation of pressure sensor before temperature compensation was -1700 ppm/ $^{\circ}$ C, while it reduced to -710 ppm/ $^{\circ}$ C with temperature compensation. Our result shows that we could develop accurate and reliable pressure sensor over a wide temperature range (-20 $^{\circ}$ C ~ 50 $^{\circ}$ C).

*正會員, **準會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

***正會員, 韓國標準研究所
(Korea Standards Research Institute)
接受日字: 1990年 2月 21日

(※ 본 연구는 1989년도 과학기술처에서 시행한
특정 연구개발사업의 연구결과임.)

I. 서 론

피측정물의 역학적 응력을 전기적 신호로 변환시키는 압력센서는 반도체 기술의 발달과 더불어 압력 측정이 요구되는 산업용 로봇, 자동차, 항공, 해양분야, 생의학 및 공정제어 분야에 널리 이용될 수 있으므로 고신뢰성, 재현성, 동작의 안정성, 고감

도, 저렴한 가격, 규격화 및 소형화를 이루는 압력센서를 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다.^{[1]-[3]} 압력센서의 재료로는 게이지 팩터(gage factor)가 높고, hysteresis가 적으며 집적회로 제조 공정을 적용할 수 있는 단결정 실리콘이 널리 활용되고 있다.

다이아프램형 압력센서는 외부압력에 의한 다이아프램의 휨 정도가 달라짐을 이용하는 정전 용량형과 다이아프램상에 위치한 확산저항이 브릿지 형태의 구조를 가져 압력이 가해졌을때 다이아프램의 응력에 따라 저항값이 바뀌게 되는 압저항 효과를 이용한 압저항형이 있다. 이들을 이용한 소자의 설계, 제조 공정의 조절 및 신호 처리부를 단일 칩화하는 작업들이 수행되어 왔다.^{[4]-[6]}

용량성 압력센서는 낮은 온도의존성을 가지지만 선형성이 매우 나쁘고 출력신호로 정전용량을 이용하기 때문에 신호처리에 어려움이 많다. 반면에 압저항형은 용량성 압력센서보다 선형성이 우수하고 출력신호 처리가 매우 용이하다. 그러나 온도의존성, 영압력 오프셋(offset)과 같은 문제점 때문에 상품화에 큰 어려움이 있다.^[7] 이들 문제점 중에서 확산이나 이온주입방법에 의해 만들어진 압저항체의 높은 온도의존성이 정밀성 및 신뢰성이 높은 압력센서의 제작을 저해하는 가장 큰 문제가 된다.^[8]

본 연구에서는 실리콘 압력센서의 제작을 위하여 이온주입법에 의한 브릿지형의 압저항체 및 온도보상용 저항체를 만들었다. 이것을 뒷면 실리콘 습식 식각으로 다이아프램을 제작하였으며 제작된 소자의 압력 및 온도에 따른 특성을 조사하였다. 특히 소자의 온도의존성을 보상하기 위하여 보상용 저항체를 이용하여 회로를 설계, 제작한 후 이러한 보상회로를 소자에 연결하여 온도보상된 압력센서의 특성을 조사하였다.

II. 이 론

1. 압저항 효과

압저항(Piezoresistance) 효과^[9]는 실리콘 등의 반도체 결정에 압력이 가해지면 결정격자(crystal lattice)에 변형이 생김에 따라 캐리어(electron, hole)의 이동도(mobility)가 달라지기 때문에 전기저항이 변하는 현상을 말한다. 이 현상은 Herring^[10]의 many valley conduction/valence-band 모델에 의해 설명된다. 이 설명에 의하면 결정의 격자 변형은 한 계곡(valley)에서 다른 계곡으로 캐리어를 산란(scattering)시킨다. 격자변형의 효과는 캐리어 보다 높은 유효질량

(effective mass)의 상태로 산란되면 저항율은 증가되며 보다 낮은 유효질량의 상태로 산란되면 저항율은 감소된다. 따라서 응력에 의해 캐리어의 이동도와 분포가 변하게 된다.

도체에서 한 축 방향으로 전류가 흐르고 이 방향으로 응력이 작용할 때의 저항 변화율 $\Delta R/R$ 는 다음과 같다.

$$\Delta R/R = \pi_1 \cdot \sigma_1 \tag{1}$$

여기서 π_1 는 종압 저항 계수(longitudinal piezoresistance coefficient)이고 σ_1 는 종응력(longitudinal stress)이다. 게이지 팩터 k를 이용하면 $\Delta R/R = \epsilon k$ 로 표현할 수 있다. 여기서 ϵ 는 strain이다. 종응력과 횡응력이 동시에 작용할 때 저항 변화율은 $\Delta R/R = \pi_1 \sigma_1 + \pi_2 \sigma_1 + \pi_s \tau_s$ 이다. 여기서 π_1 및 σ_1 는 횡압 저항 계수(transverse piezoresistance coefficient)와 횡응력(transverse stress)을 나타내며 π_s 및 τ_s 는 전단 압저항 계수(shear piezoresistance coefficient)와 전단 응력(shear stress)을 나타낸다.

2. 압저항 압력센서특성의 열화요인

실리콘 저항체는 온도에 따라 반송자의 이동도가 변하므로 압저항체의 저항값 변화와 감도의 변화를 초래한다. 확산 저항의 압저항은 압력과 온도의 함수로서 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} R(T, P) &= R_0(T) \{1 + \pi_1(T) \sigma_1(P) + \pi_2(T) \sigma_2(P) + \pi_s(T) \tau_s(P)\} \\ &= R_0(T) \{1 + \pi(T) \sigma(P)\} \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 각 변수의 설명은 다음과 같다.

P : 다이아프램에 인가되는 상대적 압력

T : 압력센서의 분위기 온도

R_0 : 응력을 받지 않을때의 저항

온도 변화가 있을때, 단 $\pi(T) \sigma(P) \ll 1$ 이라고 가정하면 $\partial R(P)/\partial T = \partial R_0/\partial T + \Delta R_p \partial \pi / \partial T$ 이 된다.^[7] 여기서 $R(P) = R(T, P)$, $R = R_0 = R(T, 0)$ 이며 $\Delta R_p = R(P) - R$ 이다. $\partial \pi / \partial T$ 는 감도의 온도 계수(thermal coefficient of pressure sensitivity; TCS)이며, $\partial R_0/\partial T$ 는 저항의 온도 계수(thermal coefficient of the resistor; TCR)가 된다. 이와 같이 온도의 의존성은 매우 낮은 주파수에서의 감도에 한계를 주므로 여러가지 방법에 의한 보상이 요구된다.

높은 응력에 대해서 실리콘 게이지 팩터는 비선형성 및 비대칭성을 가지고 있다. 이러한 것을 strain 게이지의 특성인 비선형성 NL(σ)로 다음과 같이 표현된다.^[11]

$$NL(\sigma) = \frac{R(\sigma) - [R(\sigma_m) - R_0] - \sigma/\sigma_m + R_0}{R(\sigma_m) - R_0} \quad (3)$$

여기서 σ_m 은 최대 응력을 나타낸다. 이러한 비선형성은 낮은 압력(수기압)에서는 큰 문제가 되지 않는다.

압저항형 압력센서를 반도체 공정으로 제조하더라도 브릿지의 4개 저항치가 설계된 기하학적 차원과 도핑 농도로 정확한 값의 동일한 저항체를 만들기가 어렵다. 또한 온도에 따라 각저항체의 저항값이 변화하게 된다. 이러한 것들에 의해 외부의 압력이 없는 상태에서도 온도에 따라 브릿지 전압이 변화하는 영점 드리프트(drift)가 유발된다.

이상의 압저항형 압력센서의 특성을 저해하는 요인중에 가장 큰 문제가 되는 것은 압저항체의 온도 의존성 문제이다. 이 문제를 해결하는 방법은 온도 보상회로를 이용하는 방법,^[12] 마이크로 프로세서를 이용한 프로그램적인 보상방법^[13] 등이 소개되고 있다.

3. 보상용 저항체를 이용한 회로에서의 온도보상 온도에 따른 브릿지 저항값의 상승에 의한 음의 감도 온도계수에 대응하는 양의 구동전압 온도 계수를 이용한 온도 보상 방법으로는 정전류원을 이용한 보상 방법과 정전압원을 이용한 보상방법이 있다.^[12] 정전류원에 의한 보상 방법은 브릿지 구동전류가 항상 일정하므로 복잡한 외부회로가 없어도 브릿지의 저항값이 증가함에 따라 이에 대응하여 구동전압이 증가하게 되어 간단히 보상효과를 얻을 수 있다. 그러나 브릿지 저항의 온도계수가 고온과 저온에서 비직선성이 나타나므로 제한된 온도 범위에서 보상이 가능하게되며, 또한 정전류원을 얻는 것이 문제가 된다. 정전압원에 의한 보상방법은 보상용 저항을 이용하여 브릿지 회로의 음의 감도 온도계수에 대응하여 구동전압이 양의 온도계수를 가지도록 한 것이다. 그림(5)는 본연구에 사용한 정전압원에 의한 보상회로를 나타내고 있다. 여기에서 브릿지 출력 전압을 간단히 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V_0 = S(T) \times P \times V_{exc} \quad (4)$$

$$V_{exc} = V_{ref} \times R(T)/R \quad (5)$$

식(4)에서 보는 바와같이 출력전압 V_0 는 감도 $S(T)$ 와 브릿지 구동전압 V_{exc} 에 비례하게 된다. 여기에서 압력이 일정할 때 온도가 상승하게 되면 브릿지 저항체의 저항값이 상승하여 압력에 대한 감도가 온도에 따라 감소하게 되며 따라서 출력전압이 감소하게 된다. 이를 보상해주기 위해 구동전압을 온도에 따라 상승하게 하여 출력전압을 증가시키면 결국 온도

에 의한 출력전압의 변화는 줄일 수 있게 된다. 구동전압이 양의 온도계수가 되도록 하기 위해 식(5)에 나타난 것과 같이 정전압원 V_{ref} (5V)와 온도 의존성이 매우 낮은 외부저항 R 과 양의 온도계수를 가지는 보상용 저항 $R(T)$, 그리고 온도의 변화에 안정한 연산증폭기로 구성된 외부회로를 이용하게 된다. 따라서 정전압원에 의한 온도보상이 가능하게 된다.

III. 실험 및 측정

1. 소자의 설계 및 마스크 제작

압저항형 실리콘 압력센서는 실리콘 웨이퍼를 부분적으로 식각한 다이아프램의 가장자리에 4개의 확산 저항을 브릿지 형태로 연결시킨 모양을 갖는다.

그림(1)은 본 연구를 위하여 설계한 one-chip 압력센서이다. 전체 센서칩 크기는 $2.2 \times 2.2 \text{ mm}^2$ 이고 다이아프램의 크기는 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ 로 설계하였다. 센서 칩은 2개의 온도보상용 및 test pattern과 4개의 영점 조정용 저항체를 가지며 센서 칩 모서리 부분에 mask align 마크(mark)가 들어가도록 설계하였다.

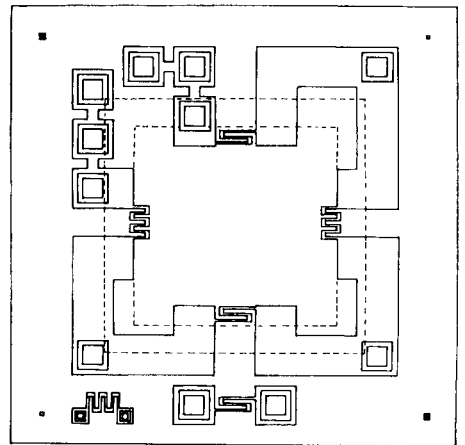


그림 1. 압력센서 칩 형태
Fig. 1. Pressure sensor chip configuration.

2. 제조공정

본실험에서 사용된 웨이퍼는 결정면이 (100)인 P-type 4인치 실리콘 웨이퍼이며 두께는 $525 \pm 15 \mu\text{m}$, 비저항은 $\rho = 16 - 21 \Omega\text{cm}$ 이다. 이 웨이퍼를 표준 세척공정에 따라 세척한 후 n-epi층을 $20 \mu\text{m}$ 성장 시켰다. 이후 웨이퍼 뒷면을 lapping하여 웨이퍼의 두께가 $300 \pm 10 \mu\text{m}$ 로 되게하고, 세척후 습식산화법으로 1100°C 에서 약 12000 \AA 의 산화막(SiO_2)을 성장 시켰

다. 그리고 양면 마스크 aligner로 양면 photolithography를 하여 산화막을 제거하고 웨이퍼 양면에 다이아프램 및 저항체 패턴을 만들었다. 압저항체를 형성하기 위하여 n-epi 웨이퍼위에 100KeV 에너지로 9×10^{14} 의 붕소(B)를 주입하여 P+층을 형성하였다. 이후 contact open lithography로 산화막을 제거하고 알루미늄을 두께 1.3-1.8 μm 정도 진공 증착하였다. 그리고 알루미늄을 질소 분위기에서 500 $^{\circ}\text{C}$ 10분간 열처리(annealing)하였다. 제작한 Si 식각 장치틀을 이용하여 Si를 식각하여 다이아프램을 제작하였다.

3. 식각공정

실리콘 다이아프램을 형성하기 위해서는 등방성 식각보다 이방성 식각을 하는 것이 좋다. 이방성 식각은 식각부분의 뚜렷한 경계와 균일한 다이아프램을 만들기 쉽기 때문이다.^[14] 본 실험에서 실리콘 식각용액은 EPW(ethylenediamine-pyrocatechol-water)를 사용하였다. EPW용액은 $\text{NH}_2(\text{CH}_2)\text{NH}_2 : \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2 : \text{H}_2\text{O}$ 를 90ml : 15g : 40ml로 혼합한 것으로 (100)면의 실리콘을 식각시켰으며 SiO_2 를 식각 마스크로 사용하였다. EPW용액에서 단결정 실리콘 식각율은 결정면에 따라 (100) : (110) : (111) = 50 : 30 : 3 정도의 차이를 가지므로 (100)면과 (111)면이 이루는 각도가 54.74 $^{\circ}$ 이다.^[15] 따라서 이를 이용하여 웨이퍼의 두께를 알게 되면 일정한 면적의 다이아프램을 제작할 수 있다. 실리콘과 식각 마스크로 사용된 SiO_2 의 식각율은 5000 : 1 정도이다. 본 실험에서 다이아프램의 두께조절은 식각용액의 실리콘 식각율을 이용하여 일정한 다이아프램의 두께를 시간으로 조절하는 화학적식각에 의한 방법을 사용하였다. 여기에서 EPW용액이 알루미늄을 부식시키는 것을 막기 위하여 실리콘고무로 칩 가장자리를 밀봉하여 24시간 curing시켰다. 그림(2)는 실리콘 다이아프램을 제작하기 위한 식각장치틀을 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 증발에 의해 용액조성의 변화를 방지하기 위해 reflux system을 두었으며, 용액의 온도 및 조성을 균일하게 하기 위하여 magnetic stirrer를 사용하였다. 그리고 hot plate를 사용하여 온도를 제어하였다. 그림(3)은 이러한 식각공정을 통하여 제작한 다이아프램의 SEM 사진이다.

4. 측정방법

그림 4는 본실험에서 제작한 압력센서의 특성을 조사하기 위한 KSRI(korea standard research institute)측정 시스템을 블록 다이어그램으로 나타내고 있다. 다이아프램의 밀면은 항상 대기압을 유지하도록

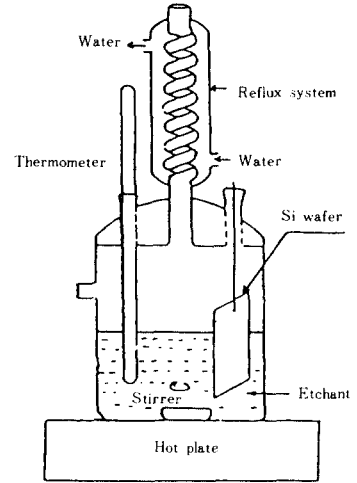


그림 2. 식각 장치
Fig. 2. Etching system.



그림 3. 식각된 실리콘의 SEM 사진
Fig. 3. SEM photograph of etched Si.

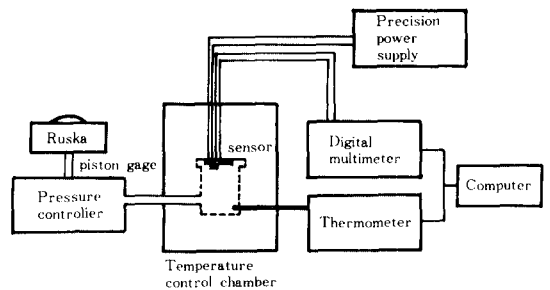


그림 4. 압력측정 장치도
Fig. 4. Schematic diagram of pressure measuring system.

록 하였으며 다이어그램의 뒷면은 밀폐된 용기속에서 Ruska air dead weight 시스템을 사용하여 표준 압력을 질소 공기압으로 가하였다. 온도에 대한 특성을 조사하기 위하여 압력센서를 항온 조절기에 넣고 가열 또는 냉각한 상태에서 조사하였으며 온도는 열전쌍(CA)으로 측정하였다. 또한 그림에서 보는바와 같이 입력을 HP precision power supply로 5V 인가하였을때 센서에서 나타나는 출력값은 주변회로를 통하여 고정밀 디지털 전압계(Fluke 8842 A DVM)로 측정하였다.

5. 압력센서의 회로도

그림 5는 압력센서와 주변회로를 나타내고 있다. 압력저항체 $R_1 - R_4$ 를 서로 연결하여 브릿지 회로를 구성하고 있다. 브릿지회로 출력단에는 피측정 압력 P에 비례하는 검출신호가 얻어진다. V_{ref} 는 +5V의 정전압원이다. 브릿지 구동회로는 온도 의존성이 작은 외부저항 R, 온도 의존성이 큰 보상용 저항 R(T)와 연산증폭기로 구성되어 있다. 오프셋 전압은 V_{offset} 값 및 연산증폭기 자체의 오프셋 조절에 의해 조정될 수 있다. 저항 R(T)는 $R_1 - R_4$ 와 동일한 이온주입 공정으로 형성되어 있으나 저항값은 브릿지 저항보다 큰 저항체이며 양의 온도계수를 가진다. 또한 R은 R(T)와 같은 값의 저항이다.

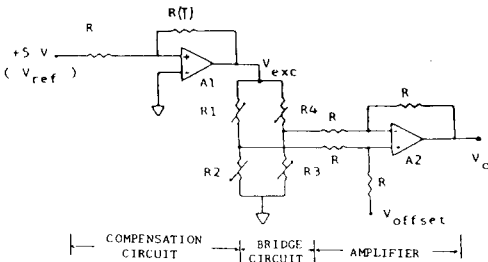


그림 5. 압력센서 주변 회로도
Fig. 5. Pressure sensor with temperature compensation circuit.

IV. 결과 및 고찰

그림 6은 대기압에서 압력센서의 브릿지 저항체와 온도보상용 저항체의 온도에 따른 저항값의 변화를 나타낸 것이다. 각 저항값은 온도에 따라 점차 증가함을 알 수 있으며 보상용 저항체의 저항 변화율이 브릿지 저항체의 변화율보다 큼을 알 수 있다. 이는 보상용 저항체의 저항값이 브릿지 저항체의 저항값

보다 크므로 온도에 따른 저항값의 변화폭이 크리라 생각된다. 브릿지 저항체의 온도 변화폭은 가능한 작은 것이 온도에 의한 오차를 줄일 수 있으나 보상용 저항체는 보상에 필요한 만큼의 온도 변화폭을 가져야 하므로 압력센서를 제작할 때 이를 고려하여 설계하여야 한다. 보상용 저항체의 저항 변화율은 1500 ppm/°C이며 브릿지 저항체의 저항 변화율은 763ppm/°C이다.

그림 7은 대기압에서 센서의 온도변화에 따른 영점 드리프트를 나타낸 것이다. 여기서 상온(23°C)을 기준으로 하여 저온 및 고온에서 영점이 드리프트됨을 알 수 있다. 이것은 브릿지 저항체들의 저항치가 온도변화에 따라서 상대적으로 변하므로 저항체들의 오차비가 커지기 때문이다. 이로 인하여 압력센서의 영점 오차가 생기게 되며 이는 압력 센서의 정밀도

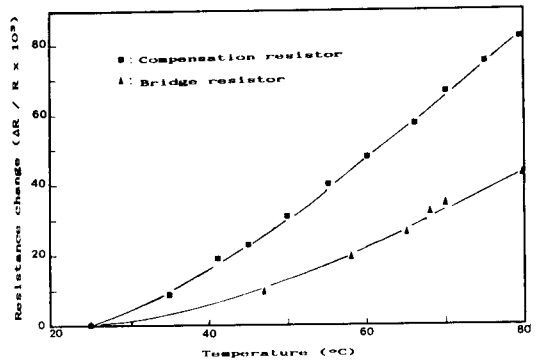


그림 6. 온도에 따른 저항값의 변화
Fig. 6. Change of resistance as a function of temperature.

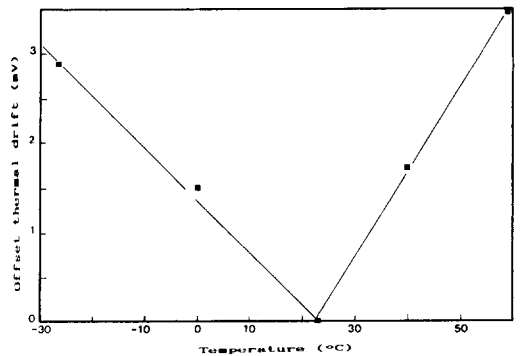


그림 7. 온도에 의한 영점 드리프트
Fig. 7. Offset voltage drift to temperature.

에 문제가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 외부회로에 의한 방법 보다는 각 브릿지 저항체를 정확하게 설계하고 정밀한 공정제어를 통하여 각 저항값의 오차를 줄여야 하며 그래도 발생하는 저항치의 오차는 본 연구에서 처럼 압력센서 상에 영점 보상용 저항체를 별도로 제작하여 연결하거나 외부에서 오차만큼의 저항을 부가하여 보정하는 것이 유리하리라 생각된다.

그림 8은 다이아프램의 면적이 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 이고 두께가 $30\mu\text{m}$, 구동전압이 5V인 경우 온도와 압력에 따른 브릿지 비평형 전압(V_0)을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 이 압력센서의 감도가 상온에서는 $7.93\mu\text{V}/\text{mmHg} \cdot \text{V}$, -26.6°C 에서 $8.7\mu\text{V}/\text{mmHg} \cdot \text{V}$, 그리고 59.1°C 에서 $7.52\mu\text{V}/\text{mmHg} \cdot \text{V}$ 이다. 따라서 센서 주변의 온도가 증가함에 따라 감도는 감소하고 있다. 이것은 온도변화에 따라 브릿지 저항체의 각 저항값이 증가하여 압력에 의한 저항값의 변화를 상대적으로 감소시키기 때문인 것이다. 그림 9는 이러한 온도에 따른 감도의 감소를 나타낸 것이다. 이를 보상하기 위하여 보상용 저항체를 이용한 외부회로를 설계하여 온도에 따라 브릿지 인가전압의 조정을 통하여 보상을 시도하였다.

그림 10은 온도변화에 따른 감도의 변화를 감소시키기 위하여 보상회로를 사용할 경우 온도에 따른 브릿지 구동전압 V_{exc} 의 변화를 나타내고 있다. V_{exc} 값이 보상용 저항의 온도에 따른 저항값의 변화에 비례하여 증가함을 볼 수 있다. 이 변화값은 그림 9에서 나타난 압력감도의 음 온도계수와 상반되는 양 온도계수를 나타내고 있다. 그러나 이미 설계되어 제작된 보상용 저항체의 온도계수는 이미 고정되어 있으므로 정확한 보상용 온도계수는 구할 수 없었다.

정확한 보상을 위해서는 구동전압의 온도계수가 $7.6\text{mV}/^\circ\text{C}$ 가 되어야 하지만 실제로 보상용 저항체에 의한 구동전압의 온도계수는 $6.4\text{mV}/^\circ\text{C}$ 인 것이다. 따라서 앞으로는 이러한 사실을 토대로하여 보상용 저항체를 설계 제작하여야 할 것으로 생각된다.

그림 11은 -30°C 에서 60°C 까지의 압력감도의 온도 특성을 온도보상전과 보상후를 비교하여 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 보상전 압저항소자는 음의 압력 감도의 온도 계수가 $-1700\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이었으며 V_{exc} 의 양의 온도계수에 의해 보상후에는 $-710\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 로 보상되어 브릿지출력에 나타났다. 그리고 그림에서 나타난 것과 같이 저온에서 보다 고온에서 보상의 효과가 적음을 알 수 있다. 이는 센서 제작시 저항값에 따라 다소 차이가 있으나 보상을 위해 구동전압이 증가 할수록 저항체에 열이 발생하

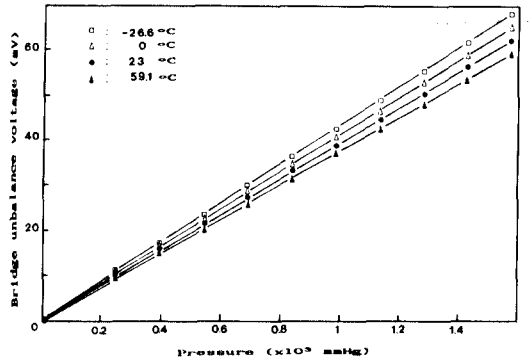


그림 8. 온도와 압력에 따른 브릿지 비평형 전압
Fig. 8. Bridge unbalanced voltage as a function of pressure for different ambient temperature.

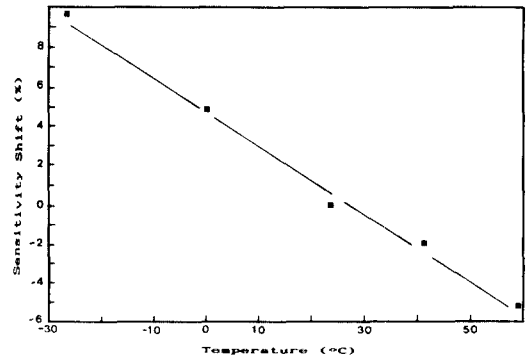


그림 9. 온도에 따른 감도의 변화
Fig. 9. Fluctuation of pressure sensitivity as a function of ambient temperature before compensation.

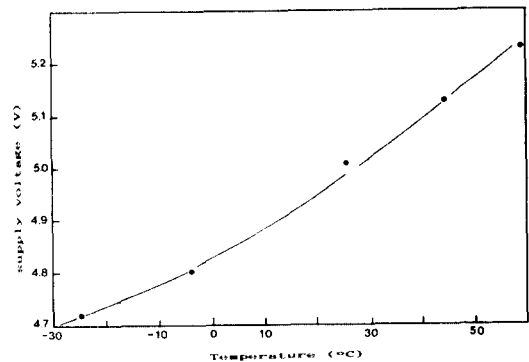


그림 10. 온도에 따른 브릿지 구동전압의 변화
Fig. 10. Fluctuation of bridge supply voltage to temperature.

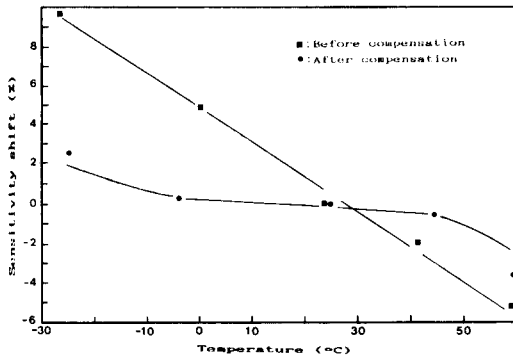


그림 11. 보상전과 보상후의 압력감도 변화 비교

Fig. 11. Comparison of fluctuation of pressure sensitivity between before and after temperature compensation.

여 소자 자체의 온도가 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 차후에는 이러한 점도 고려하여 보상회로를 설계하여야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 반도체 압력센서중 가장 널리 사용되고 있는 실리콘 압저항형 압력센서를 설계, 제작하였으며 제작된 소자의 온도의존성 등을 포함한 제특성 조사와 온도보상을 위한 보상회로를 구성한후 그 특성을 조사하였다. 압저항형 압력센서는 브릿지 모양으로 된 4개의 압저항체와 압력의 기계적 증폭기 역할을 하는 다이아프램으로 구성 되어있다.

n-epi층이 성장된 두께 $300\mu\text{m}$ 의 p형 (100)실리콘 wafer에 붕소를 이온주입 시켜 (110)저항체를 형성시켰으며, 이들 저항체는 면적 1mm^2 두께 $30\mu\text{m}$ 의 다이아프램 가장자리에 위치하도록 하였다. 다이아프램 제작을 위한 이방성식각은 EPW 용액을 사용하였다. 제작된 압력센서의 저항체는 인가된 압력에 따라 저항값이 변화 하였으며 온도에 대해서도 변화함을 알 수 있었다. 그리고 이로인한 브릿지 회로에서의 압력 및 온도에 따른 출력전압의 변화를 측정하였다.

압력센서의 압력에 따른 감도는 상온(23°C)에서 $7.93\mu\text{V}/\text{mmHg}\cdot\text{V}$, -26.6°C 에서 $8.7\mu\text{V}/\text{mmHg}\cdot\text{V}$, 59.1°C 에서 $7.52\mu\text{V}/\text{mmHg}\cdot\text{V}$ 로 나타남으로 해서 압력센서의 온도에 따른 감도의 오차가 $-1700\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 로 나타나 강한 온도의존성을 보여 주었다. 또한, 각 저항체의 저항값 오차에 의한 영점 드리프트도 크게 나타났다. 영점 드리프트는 정확한 공정에 의해 보정될 수 있으며, 영점 조정용 저항체를 형성시켜 보

정할 수 있다. 또한 압력센서의 강한 온도의존성을 보상하기 위해 압저항체보다 온도의존성이 강한 보상용 저항체와 온도에 안정한 연산증폭기로 보상회로를 구성하여 브릿지에 공급되는 전압의 온도계수를 $6.4\text{mV}/^\circ\text{C}$ 로 만들었다. 이와 같은 보상회로에 의해 온도보상된 압력센서의 온도에 따른 감도의 오차는 $-710\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 로 나타나 보상전 보다 크게 개선되었음을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

- [1] P.W. Barth, "Silicon sensors meet integrated circuits," *IEEE Spectrum*, pp. 33-39, 1981.
- [2] K.E. Petersen, "Silicon as a mechanical material," *Proc. IEEE*, vol. 70, 5, pp. 420-457, 1982.
- [3] R.G. Johnson and R.E. Higashi, "A highly sensitive silicon chip microtransducer for air flow differential pressure sensing applications," *Sensors and Actuators*, vol. 11, pp. 63-72, 1987.
- [4] K.W. Lee, Modeling and simulation of solid-state pressure sensors, Ph.D. dissertation, Univ. of Michigan, Ann Arbor, 1982.
- [5] M.S. Smith, L. Bowman and J. D. Meindl, "Analysis, design, and performance of micropower circuits for a capacitive pressure sensor IC," *IEEE J. of Solid-State Circuits*, vol. SC-21, 6, pp. 1045-1056, 1986.
- [6] T. Ishihara, etc., "CMOS integrated silicon pressure sensor," *The Technical Conference of J. IEICE*, ED-86-162, pp. 1-8, 1986.
- [7] G. Blasques, P. Pons and A. Boukabache, "Capabilities and limits of silicon pressure sensors," *Sensors and Actuators*, vol. 17, pp. 387-403, 1989.
- [8] S.C. Kim and K.D. Wise, "Temperature sensitivity in silicon piezoresistive pressure transducers," *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-30, no. 7, pp. 802-810, 1983.
- [9] R.W. Keyes, "The effect of Elastic deformation on the electrical conductivity of semiconductor," *Solid State Physics*, 11, pp. 149-221, 1960.
- [10] Herring, "Transport and deformation-potential theory for many-valley semiconductors with anisotropic scattering," *Phys. Rev.*, 101, pp. 944-961, 1956.
- [11] Kazuji Yamada, etc., "Nonlinearity of the piezoresistance effect of p-type silicon

diffused layers," *IEEE Tran. Electron Devices*, vol. ED-29, no. 1, pp. 71-77, 1982.

[12] IC Sensors, "Temperature compensation techniques for piezoresistive accelerometers, Tech. Note, TN-009, 1988.

[13] S.B. Crary, etc., "Digital Compensation of high-performance silicon pressure sensor," *Transducers '89, Abstracts*, pp. 85-87, 1989.

[14] D.B. Lee, "Anisotropic etching of silicon," *J. of Applied Phys.*, vol. 40, 11, pp. 4569-4574, 1969.

[15] R.M. Finne and D.L. Klein, "A water-amine-complexing agent system for etching silicon," *J. Electrochem. Soc.*, E.T. 3-6, pp. 965-970, 1967.

著 者 紹 介



金 愚 正 (準會員)
 1966年 7月 30日生. 1989年 경북대 전자공학과 졸업. 1989年 경북대 대학원 전자과 석사과정. 주관심분야는 실리콘 압력센서 및 센서 Interface 등임.



金 國 珍 (正會員)
 1960年 9月 25日生. 1983年 경북대학교 전자공학과 (학사). 1986年 경북대학교 대학원 전자공학과 (석사). 1987年~현재 한국표준연구소 연구원. 주관심분야는 마이크로 센서등임.



鄭 光 和 (正會員)
 1948年 3月 18日生. 1970年 서울대학교 물리학과 (학사). 1976年 Univ. of Pittsburg (박사). 1978年~1987年 한국표준연구소 질량연구실장. 1987年~현재 한국표준연구소 압력·진공연구실장.

崔 時 永 (正會員) 第26卷 第11號 參照
 현재 경북대학교 전자공학과 부교수

朴 相 俊 (正會員) 第26卷 第11號 參照
 현재 경북대학교 전자공학과 박사과정