

저압에서의 선형성을 향상시키기 위한 압력센서의 설계

李甫那,李文基*

A Design of Pressure Sensor for Improving Linearity at Low Pressure Range

Bo-Na Lee, Moon Key Lee

要 約

본 논문에서는 감도를 향상시키고 저압력 범위에서 다이어프램의 휨을 감소시킴으로써 선형성이 향상되도록 한 센터 보스(center boss) 다이어프램 구조를 갖는 압력센서를 설계 하였다. 설계한 센터보스형 압력센서의 최대 휨은 0.125 μ m, 최대 응력은 2.24 x 10⁷ Pa, 최대 스트레인인 132 μ strain, 감도는 27.67 mV/V.psi로서 휨은 다이어프램 두께의 약 1/160, 정사각형 구조일때의 1/35로 감소하였고 감도는 정사각형 구조일때보다 19배정도 증가하였다.

Abstract

In this paper, We have designed silicon pressure sensor with center-bossed diaphragm which improving sensitivity and linearity by reducing diaphragm deflection. Designed center-bossed pressure sensor showed maximum deflection of 0.125 μ m, maximum stress of 2.24 x 10⁷ Pa and sensitivity of 27.67 mV/V.psi. As a result, diaphragm deflection was reduced to 1/160 that of diaphragm thickness and 1/35 that of square diaphragm. Also, sensitivity was increased 19 times compared to square diaphragm.

1. 서 론

실리콘의 압저항효과(piezoresistance effect)를 압력이나 변위 측정에 이용하려는 움직임은 1950년대부터였으며 Smith[1]에 의해 게르마늄(Ge)과 실리콘(Si)의 압저항효과가 기초적으로 검토되었고 1957년 Mason과 Thurston[2]에 의해 더욱 발전되었으며 1960년대초, 미국의 허니웰사에 의해 실리콘 자체를 다이어프램으로 하여 압력 특성을 검토하고 확산 층의 압저항효과가 연구되었다. 종래의 부르돈관이나 벨로즈와 같은 금속

탄성체를 이용한 기계식 압력센서에 비해 최근 급속히 발전된 VLSI 제조 기술을 이용한 반도체 압력센서는 크리프(creep)현상이 없고 직선성(linearity)이 우수하며, 압력 감도 및 고유 진동수(natural frequency)가 높고(약 10 kHz) 소형, 경량으로서 저가격화와 대량생산이 가능하며 집적화가 용이하다. 압력센서가 처음 개발되었을 당시에는 원형의 다이어프램 구조를 이용하였으나 그후 쉽게 제작이 가능한 정사각형 혹은 직사각형 다이어프램 구조를 갖는 압력센서가 개발되었다. 그러나 정사각형 혹은 직사각형 구조를 갖는 다이어프램은 5 psi이하의 저압력 범위에서 선형성이 제한되기 때문에 이의 선형성을 향상시키기 위하여 Hitachi의 Nishihara등에 의해 실리콘을 이용한 이중 구조의 원형 다이어프램을 갖는 압력센서가 개발되었고[3] Wilner에 의해 이중 돌출 구조(double bossed structure)를 갖는 압력센서가 개발되었다[4]. 센터 보스 구조

전자부품종합기술연구소 마이크로머신센터
(Micromachine Center, Korea Electronics
Technology Institute)

* 연세대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics, Yon Sei Univ.)

<접수일자 : 1995년 12월 8일>

(center boss structure)의 압력센서는 Mallon에 의해 개발되었다[5]. 이러한 구조는 정사각형 구조의 다이어프램보다 큰 면적의 다이어프램이 필요하며 다이어프램의 면적이 크면 감도는 좋지만 벤딩 (bending) 압력에 영향받기 쉬우므로 최소 면적을 갖도록 설계하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 정사각형 구조의 문제점인 저압에서의 비선형성을 향상시키고 응력을 다이어프램의 부분에 집중시킴으로서 감도가 향상되도록한 센터보스형 압력센서를 설계하여 정사각형 구조인 경우와 휨, 응력, 감도, 온도특성등을 비교하였다.

II. 압력센서의 원리

임의의 저항체에 힘을 가했을 때의 저항변화 성분은 횡방향 및 종방향에서의 응력 및 응력에 따른 압저항 계수로 식(1)과 같이 표현된다[1][2][6].

$$\frac{\Delta R}{R} = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_\ell + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_t = \pi_\ell \Gamma_\ell + \pi_t \Gamma_t \quad (1)$$

$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_\ell$: 종방향 저항변화 성분

$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_t$: 횡방향 저항변화 성분

π_ℓ : 종방향 압저항계수

Γ_ℓ : 종방향 응력 성분

π_t : 횡방향 압저항계수

Γ_t : 횡방향 응력 성분

N형인 경우 π_ℓ 과 π_t 는 (2)식으로 근사화되며 P형인 경우 (3)식으로 근사화된다[2].

$$\pi_\ell = \pi_{11} [1 - 3 (l_1^2 m_1^2 + l_1^2 n_1^2 + m_1^2 n_1^2)]$$

$$\pi_t = \pi_{11} [-1/2 + 3/2(l_1^2 l_2^2 + m_1^2 m_2^2 + n_1^2 n_2^2)] \quad (2)$$

$$\pi_\ell = 2\pi_{44} (l_1^2 m_1^2 + l_1^2 n_1^2 + m_1^2 n_1^2)$$

$$\pi_t = -\pi_{44} (l_1^2 l_2^2 + m_1^2 m_2^2 + n_1^2 n_2^2) \quad (3)$$

π_{44} 의 값은 π_{11} 의 값보다 훨씬 크므로 일반적으로 P형을 압저항으로서 이용한다[7][8]. P형인 경우 (100) 웨이퍼에서 방향에 따른 압저항 계수 π_ℓ 과 π_t 의 크기는 [110]방향일때 가장 큰 압저항 계수의 값을 갖게

된다.

압력 감도(PS)는 압력이 가해졌을 때 나타나는 출력 전압의 변화율을 나타내며 (4)식으로 표현된다[6].

$$PS = \frac{1}{V_{cc}} \frac{\partial \Delta V}{\partial P} = \pi \frac{\partial}{\partial P} [\Gamma_\ell - \Gamma_t] \quad (4)$$

PS : 압력감도

V_{cc} : 공급전압

P : 인가압력

ΔV : 출력전압의 변화량

Γ_ℓ : 종방향 응력

Γ_t : 횡방향 응력

다이어프램의 크기가 크고, 두께가 얇을수록 압력 감도는 증가하며 감도를 높이기 위해서는 다이어프램의 두께를 얇게, 면적을 크게 해야 하나 다이어프램의 면적이 증가하면 칩의 사이즈가 증가하게 되고 두께를 너무 얇게 하면 응력에 견디지 못해 소자가 파괴될 우려가 있으므로 용도에 따라 적당한 두께를 선택해야 한다. 감도는 압저항 계수의 온도 의존성 때문에 부의 온도 특성을 가지며 감도의 온도 계수(TCS)는 다음 식과 같이 표시된다[9].

$$TCS = \frac{1}{PS} \frac{\partial PS}{\partial T} = \frac{1}{\pi_{44}} \frac{\partial \pi_{44}}{\partial T} \quad (5)$$

TCS : 감도의 온도계수

T : 온도

저항의 크기가 커지면 응력을 다이어프램에 균일하게 분포하려는 효과 때문에 압력 감도는 감소된다. 저항의 폭에 따라서도 감도가 변하게 되며 저항의 폭이 커지면 커질수록, 다이어프램의 가장자리에서 멀어질수록 감도는 떨어지게 된다.

비선형성(NL)은 (6)식으로 구할 수 있으며 이상적인 선형 특성에서 어느 정도 벗어났는가를 주어진 전체 압력 범위에 대한 퍼센트비로서 나타낸다[10].

$$NL(\%) = \frac{R(\Gamma) - [(R(\Gamma_{max}) - R(0)) \cdot \frac{\Gamma}{\Gamma_{max}} + R(0)]}{R(\Gamma_{max}) - R(0)} \quad (6)$$

NL: 비선형성 Γ_{max} : 최대응력 Γ : 임의의응력

$R(\Gamma)$: 임의의 응력에서의 저항값

$R(\Gamma_{max})$: 최대응력일때의 저항값

$R(0)$: 응력을 가하지 않았을때의 저항값

비선형성은 불순물 농도의 영향을 받으며 종방향 저항은 불순물 농도가 증가할수록 비선형성이 증대되지만 횡방향 저항은 불순물 농도가 증가할수록 비선형성이 감소한다. 불순물 농도가 높으면 온도에 대한 영향성은 줄어들지만 압저항계수가 작아지므로 감도가 떨어지게 되고 반대로 불순물 농도가 적으면 큰 압저항계수를 얻을 수 있지만 온도 변화가 커져 사용이 어렵게 된다. 비선형성은 저항값과도 관계가 있으며 저항값이 증가하면 비선형성은 감소하지만 감도가 떨어지고 저항값이 감소하면 비선형성은 증가하지만 감도가 커진다. 비선형성은 응력으로 인한 다이어프램의 휨이 커지기 때문에 가전자대가 분리되어 생기며 횡방향 응력은 비선형성을 증대시킨다. 다이어프램이 얇으면 감도는 증가하지만 인장응력(tensile stress)과 비선형적인 밴딩응력(bending stress)으로 인해 비선형성이 증가하게 된다. 또한 비선형성은 온도에 의존하며 저온보다 고온에서 적은 값을 갖는다.

III. 센터 보스형 압력센서의 설계

그림 1은 설계한 센터 보스형 압력센서를 나타낸 것이다. 가운데 지지 부분을 중심으로 다이어프램은 두 부분으로 나뉘므로 응력이 양쪽으로 집중되어 감도는 정사각형 구조일 때보다 향상된다. 다이어프램의 크기를 결정하는 a, b 및 다이어프램의 두께 h에 의해서 휨, 응력 및 스트레인의 값이 결정된다. 최대휨(W_{max}), 최대 응력(Γ_{max}) 및 최대 스트레인(S_{max})은 각각 (7), (8), (9)식과 같이 구할 수 있다. 다이어프램의 바깥쪽 가장자리에서 최대(최소) 응력을 갖게 되고 안쪽 가장자리에서 최소(최대) 응력을 갖게 된다. 즉, 바깥쪽 가장자리의 응력과 안쪽 가장자리의 응력은 크기는 같고 부호가 반대인 응력값을 갖게 된다.

$$W_{max} = \frac{P \cdot b^3}{4 \cdot E \cdot (a+b) \cdot h^3} \tag{7}$$

$$\Gamma_{max} = \frac{3 \cdot P \cdot b}{4 \cdot a \cdot h^2} \tag{8}$$

$$S_{max} = \frac{\Gamma_{max}}{E} \tag{9}$$

W_{max} : 최대휨 Γ_{max} : 최대 응력

S_{max} : 최대 스트레인 E : 영의 모듈

제일 바깥쪽 가장자리를 원점으로 하여 원점으로부터 떨어진 거리를 x라고 하면 각 영역에서의 응력 분포는 (10)식과 같이 나타낼 수 있다. 최대(최소) 응력으로 부터 안쪽으로 갈수록 감소(증가)하고 중심에서 영의 값을 갖다가 안쪽 가장자리에서 최소(최대)의 값을 갖게 된다.

$$\Gamma = \Gamma_{max} \left(\frac{x}{b/2} - 1 \right) \tag{10}$$

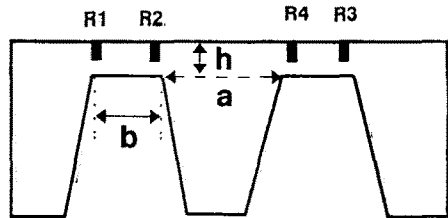
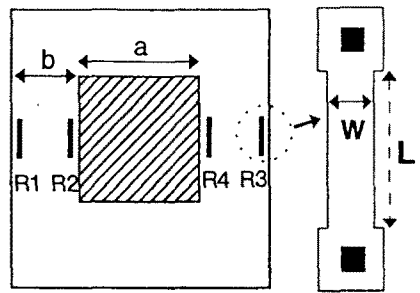
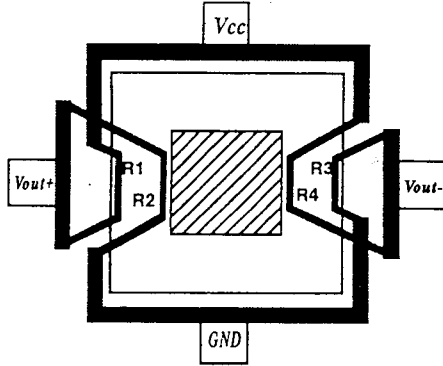


그림 1 센터 보스형 압력센서의 설계

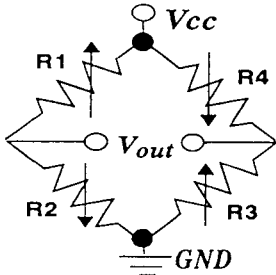
Fig. 1 Design of center bossed type pressure sensor

그림 2에 압력센서의 금속 배선 및 회로도를 나타내었다. 압저항은 다이어프램의 안쪽 가장자리와 바깥쪽 가장자리에 다이어프램면과 평행하게 저항이 위치하도록 하였다. 다이어프램위에 지나가는 메탈라인으로 인한 스트레스를 줄여 주기 위해서 다이어프램위의 배선은 메탈라인 대신 저항과 같은 도전층을 이용하였고 압저항 계수가 최소인 [111]방향으로 배선하였다. 횡방향인 경우 비선형성은 종방향인 경우보다 훨씬 증가하지만 휘스톤 브리지 형태로 연결함으로써 횡방향 응력성분이 서로 상쇄되도록 하였다. 종방향의 저항 변화량은 횡방향의 저항 변화량과 크기는 같고 방향만 다르게 표시되며 브리지 저항으로 구성된 압력센서의 공급 전압에 대한 출력 전압의 변화율은 (11)식으로 표현된다.

$$\frac{\Delta V}{V_{cc}} = \frac{[\frac{\Delta R}{R}]_t - [\frac{\Delta R}{R}]_c}{2} \quad (11)$$



(a)



(b)

그림 2 센터 보스형 압력센서의 금속 배선

Fig. 2 Metal layout of center-bossed type pressure sensor

그림 3(a)는 a, b값에 따른 힘 분포를 나타낸 것이다. b가 0.25일 때는 다이어프램의 힘은 다이어프램 두께 1/100 이하이지만 b가 0.5가 되면 힘은 10배로 증가하여 다이어프램 두께의 1/10 정도가 된다. 힘이 크면 비선형성이 증가하므로 힘을 줄이고 감도를 향상시키도록 하는 것이 중요하다. a의 값이 커지면 다이어프램의 면적이 증가하여 벤딩 스트레스의 영향을 받게 된다. 그림 3(b)는 a, b값의 변화에 따른 응력 분포 곡선으로서 힘 곡선과 유사한 형태를 취하고 있다. 본 논문에서는 다이어프램의 최대 힘을 다이어프램 두께의 1/160이하로 하여 비선형성을 감소되도록 하고 벤딩 스트레스의 영향을 줄이기 위하여 a=2.5mm, b=0.25mm, 다이어프램의 두께 h=20μm가 되도록 설계하였다. 이때 최대 힘은 0.125 μm이고, 최대 응력은 2.24x10⁷

Pa, 최대 스트레인은 132 μstrain 이었다. 저항은 2장에서 설명한바와 같이 온도 및 감도의 영향을 고려하여 이온 주입 농도는 7x10¹⁴/cm³, 폭이 5μm, 길이가 50 μm가 되도록 [110] 방향으로 위치 시켰다.

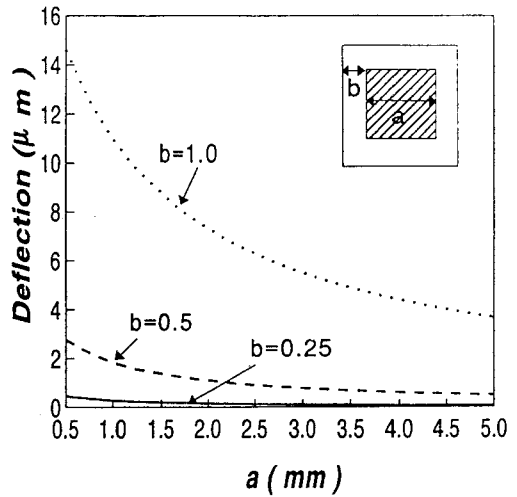


그림 3 (a) a, b 값의 변화에 따른 센터보스형 압력 센서의 최대 힘

Fig. 3 (a) Maximum deflection of center-bossed type pressure sensor as a function of a, b

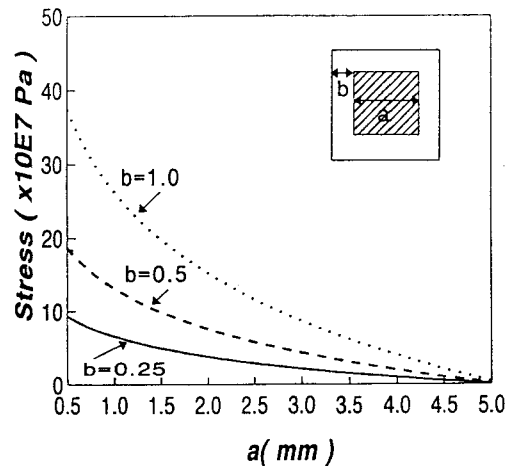


그림 3 (b) a, b 값의 변화에 따른 센터보스형 압력 센서의 최대 응력

Fig. 3 (b) Maximum stress of center-bossed type pressure sensor as a function of a, b

그림 4는 $b=0.25$ mm, $a=2.5$ mm일때, (10)식으로 부터 계산한 x 값 및 다이어프램의 두께 변화에 따른 응력 분포를 나타낸 것이다. 다이어프램의 두께가 $10\mu\text{m}$ 일때, 최대응력이 8.977×10^7 Pa의 값을 갖다가 두께가 $20\mu\text{m}$ 로 증가하면 최대응력은 2.244×10^7 Pa로서 $10\mu\text{m}$ 두께의 25%, $30\mu\text{m}$ 두께가 되면 최대응력은 0.977×10^7 Pa로서 $10\mu\text{m}$ 두께의 11%로 감소한다. 다이어프램의 두께가 얇으면 감도는 증가 하지만 비선형성이 증대한다.

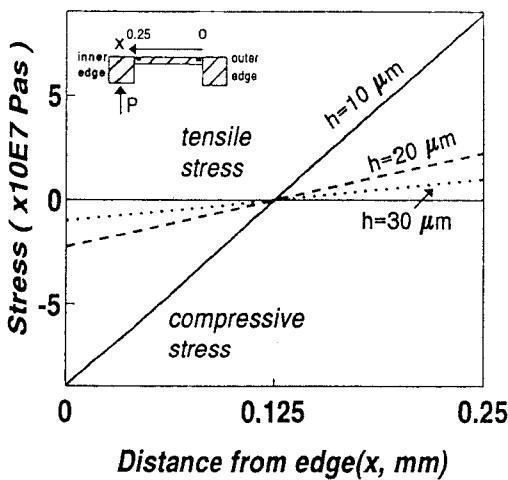


그림 4 다이어프램의 바깥쪽 가장자리로부터의 거리 x 및 다이어프램의 두께 h 에 따른 응력 분포 곡선

Fig. 4 Stress distribution curve as a function of distance from diaphragm outer edges(x) and diaphragm thickness(h)

그림 5는 압력의 변화 및 압저항 위치에 따른 최대 응력의 변화를 나타낸 것이다. 압력이 증가할수록 최대 응력도 비례적으로 증가하며 압저항이 다이어프램의 가장자리에 위치할 때 더 큰 응력값을 갖게 된다.

그림 6은 다이어프램의 두께 $h=20\mu\text{m}$, 온도 $T=25^\circ\text{C}$ 일때 다이어프램상의 압저항의 위치에 따른 저항 변화를 정도를 압력에 따라 나타낸 것이다. 바깥쪽 압저항은 압력의 증가에 따라 저항의 양의 방향으로 저항 변화율이 증가하며 안쪽 가장자리의 압저항은 압력의 증가에 따라 음의 방향으로 저항 변화율이 증가한다. 이로부터 $Z=25\mu\text{m}$ 일때는 $Z=0$ 일때에 비해 저항 변화율이 0.276% 감소하며 $Z=50\mu\text{m}$ 일때는 $Z=0$ 일때에 비해 0.55% 감소한다. 그러므로 저항은 될 수 있는 대로 다이어프램의 가

장자리에 위치하는 것이 좋으며 본 논문에서는 공정상의 마스크 정렬 오차를 고려하여 다이어프램의 가장자리로부터 $25\mu\text{m}$ 떨어져지게 위치 되도록 하였다.

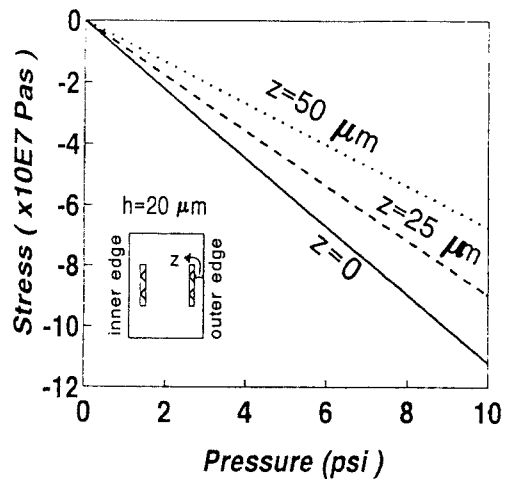


그림 5 다이어프램 가장자리로부터의 거리 x 및 압력의 변화에 따른 응력 분포 곡선

Fig. 5 Stress distribution curve as a function of distance from diaphragm outer edges(x) and pressure

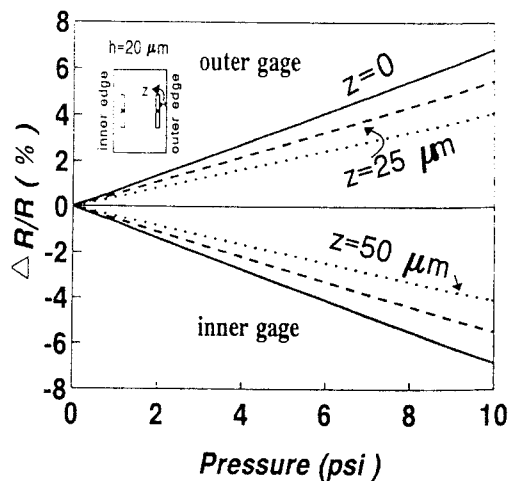


그림 6 다이어프램 가장자리로부터의 압저항 위치 (z) 및 압력에 따른 저항 변화율

Fig. 6 Resistance variation as a function of position of piezoresistor from diaphragm outer edge and pressure

그림 7은 압력 $P=2$ psi, 온도 $T=25^{\circ}\text{C}$, 압저항 $R=10\text{k}\Omega$, $V_{cc}=5\text{V}$ 일때 다이어프램의 두께 및 다이어프램 가장자리로부터의 저항의 위치 z 에 따른 감도의 변화를 관찰한 것이다. 본 논문에서 설계한 압력센서는 $z=25\mu\text{m}$, $h=20\mu\text{m}$ 로 정하였으므로 감도는 $27.67\text{ mV/V}\cdot\text{psi}$ 이다.

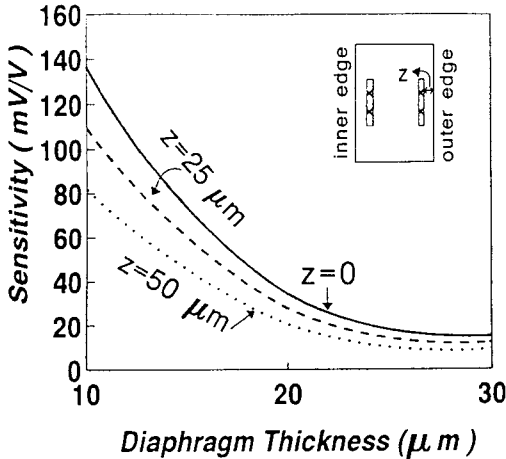


그림 7 다이어프램 가장자리로부터의 압저항 위치 (z) 및 다이어프램 두께에 따른 감도의 변화
Fig. 7 Sensitivity as a function of position of piezoresistor from diaphragm outer edge and diaphragm thickness

IV. 결과 고찰

본 논문에서는 센터 보스 다이어프램 구조를 갖는 압력센서를 설계한후 휨, 응력 및 감도를 계산하여 정사각형 다이어프램 구조를 갖는 압력센서와 비교하였다.

본 논문에서 설계한 센터보스형 압력센서는 Nishihara[4]가 개발한 원형 센터보스 구조보다 감도가 향상되었고 Wilner[5]가 개발한 더블보스 구조보다는 감도가 떨어졌다. 동일한 구조로 설계된 Mallon[6]의 센터보스 구조와 감도는 유사한 값을 가졌고 본 논문에서는 벤딩 스트레스의 영향을 줄여 주기 위하여 다이어프램의 크기를 3mm 로 하였기 때문에 최대 응력은 Mallon의 구조보다 4.5배정도 작은 값을 가졌다.

본 논문에서 비교를 위해 사용된 정사각형 구조의 다이어프램 크기는 $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ 이고 센터보스 구조의 전체 다이어프램 크기는 $3\text{mm}\times 3\text{mm}$ 이다. 센터보스 구조인 경우

는 가운데 보스 부분을 포함한 크기로서 $0.5\text{mm}\times 0.5\text{mm}$ 의 다이어프램이 두부분으로 나뉘므로 실제 다이어프램의 크기는 $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ 로서 정사각형 구조의 다이어프램 크기와 동일하다고 볼 수 있다. 그림 8로부터 정사각형 구조일 때의 감도는 $1.46\text{ mV/V}\cdot\text{psi}$ 이고 센터 보스 구조일 때의 감도는 $27.67\text{ mV/V}\cdot\text{psi}$ 로서 감도가 19배정도 향상되었고 압력에 따라 선형적으로 변화였다.

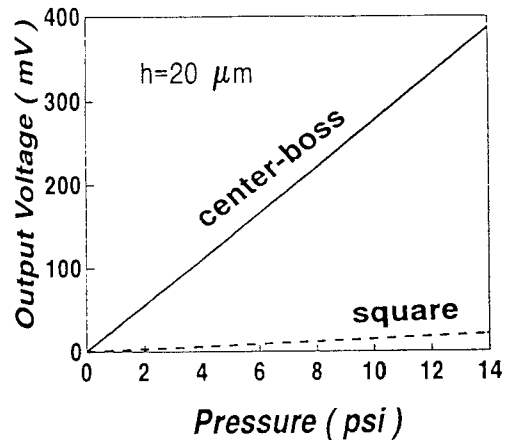


그림 8 정사각형 다이어프램 구조와 센터 보스형 다이어프램 구조를 갖는 압력센서의 압력에 따른 출력 전압의 변화 비교

Fig. 8 Comparison of output voltage as a function of pressure in square diaphragm and center-boss pressure sensor

그림 9는 감도의 온도에 따른 변화를 비교한 것이다. 압저항 계수의 온도에 따른 변화 때문에 감도도 온도에 따라 변하게 되며 감도의 온도 계수는 정사각형 구조인 경우가 $0.059\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 로서 상온에서의 감도값보다 0.2% 변화였고, 센터 보스 구조가 $81\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 로서 상온에서의 감도값보다 0.322% 변화였다. 센터 보스 구조인 경우가 온도에 따른 변화량이 더 큰 이유는 정사각형 구조인 경우는 종방향과 횡방향의 압저항 계수차를 이용 하지만 센터 보스 구조인 경우는 횡방향의 압저항 계수만 이용하기 때문에 나타난 결과로 보여진다.

표 1은 설계한 압력센서의 저항 변화율 및 감도의 계산 값을 정사각형 구조와 비교하여 나타낸 것이다. 정사각형 구조보다 다이어프램의 휨은 1/35정도로 감

소되었으므로 비선형성이 감소되었고 감도는 약 19배 정도 증가하였다.

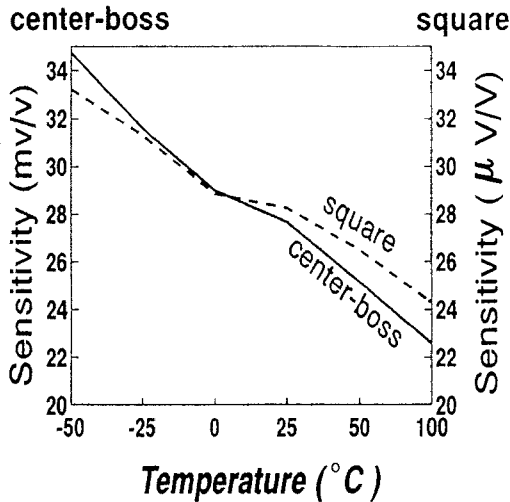


그림 9 정사각형 다이어프램 구조와 센터보스형 압력 센서의 압력감도의 온도에 따른 변화 비교

Fig. 9 Comparison of pressure sensitivity as a function of temperature in square diaphragm and center-boss type pressure sensor

표 1 센터보스 구조와 정사각형 구조 압력센서의 설계값 비교

Table 1 Calculated parameter of center bossed and square diaphragm pressure sensor (E=1.7x10¹¹N/m², h=20μm, T=25°C)

	센터 보스 구조	정사각형 구조
π_t	$66 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{dyne}$	$66 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{dyne}$
π_c	$-61 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{dyne}$	$-61 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{dyne}$
W_{\max}	0.125 μm	4.27 μm
Γ_{\max}	$2.24 \times 10^7 \text{ Pa}$	$1.26 \times 10^7 \text{ Pa}$
S_{\max}	132 μ strain	740 μ strain
Sensitivity	27.67 mV/V.psi	1.46 mV/V.psi
TCS	81 μV/°C	0.059 μV/°C

V. 결 론

본 논문에서는 센터 보스 구조를 갖는 압력센서를

설계한 후, 휨, 응력 및 감도를 계산하여 정사각형 다이어프램 구조를 갖는 압력센서와 특성 비교를 하였다.

센터 보스 구조형 압력센서는 다이어프램의 휨으로 인한 비선형성을 감소시키고 응력을 다이어프램의 부분에 집중시켜 감도를 향상시키기 위한 구조로서 시뮬레이션 결과 다이어프램의 휨이 다이어프램 두께의 1/160정도로 감소되었고 휨은 정사각형 구조일 때보다 약 30배정도 감소하였다. 감도는 정사각형 구조일 때보다 19배정도 증가하였다. 또한 다이어프램이 받는 스트레스를 줄여 주기 위하여 다이어프램위에 메탈 라인이 지나가지 않도록 레이아웃 하였고 센터 보스 부분의 크기를 포함한 다이어프램 크기는 정사각형 구조일 때 보다 세배 증가하였다.

본 논문에서 구현한 센터 보스 구조형 압력센서를 칩으로 제작한다면, 저압의 범위에서 정확한 출력을 요구하는 여러 분야에 응용할 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] C. S. Smith, "Piezoresistance Effect in Germanium and Silicon," Phys. Rev., Vol. 94, pp. 42-49, 1954.
- [2] W. P. Mason and R. N. Thurston, "Use of Piezoresistive Materials in the Measurement of Displacement, Force, and Torque," J. of the Acou. soc. of Amercia Vol. 29, No. 10, pp. 1096-1101, Oct. 1957.
- [3] J. R. Mallon, J. R. Farzad Pourahmadi, K. Petersen, P. Barth, T. Vermeulen and J. Bryzek, "Low-Pressure Sensors Employing Bossed Diaphragms and Precision Etch-Stopping," Sensors & Actuators, A21-A23, pp. 89-95, 1990.
- [4] M. Nishihara, Y. Yamada and Y. Matsuoha, "Recent Semiconductor Pressure Sensors, Hitachi Rev., pp. 285, June 30, 1981.
- [5] M. Shimazoe and Y. Matsuoka, "A Special Silicon Diaphragm Pressure Sensor with High Output and High Accuracy," Sensors & Actuators, Vol. 2, pp. 275-282, 1982.
- [6] S. K. C Clark and K. D. Wise, "Pressure Sensitivity in Anisotropically Etched Thin-

- diaphragm Pressure Sensor," IEEE Trans. on Electron Devices Vol, ED-26, No. 12, pp. 1887-1896, Dec. 1979.
- [7] H. Tanigawa, T. Ishihara, M. Hirata and K. Suzuki, "MOS Integrated Silicon Pressure Sensor," IEEE Trans. on Electron Devices Vol. ED-32, No. 7, pp. 1191-1195, 1985.
- [8] S. Samuan, K. D. Wise and J. B. Angell, "A Piezoresistor Pressure Sensor for Biomedical Instrumentation," IEEE Trans. on Biomedical Eng., Vol. BME-20, No. 2, pp. 101-109, Mar. 1973.
- [9] S. C. Kim and K. D. Wise, "Temperature Sensitivity in Silicon Piezoresistive Pressure Transducers," IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-30, No. 7, pp. 802-810, July 1983.
- [10] K. Yamada, M. Nishihara, S. Shimada, M. Tanabe, M. Shimazoe and Y. Matsuoka, "Nonlinearity of the Piezoresistive Effect of P-type Silicon Diffused Layers," IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-29, pp. 71-77, Jan. 1982.

 著 者 紹 介



이 보 나

1966년 4월 28일생. 1988년 연세대학교 의용전자공학과 학사. 1990년 연세대학교 대학원 전자공학과 석사. 1995년 동 대학원 박사. 1995년 - 현재 전자부품종합기술연구소 근무. 주관심 분야는 실리콘 센서 및 MEMS, 집적화 센서, 아날로그 신호처리회로 등임.



이 문 기

1941년 8월 23일생. 1965년 연세대학교 전기공학과 학사. 1967년 연세대학교 대학원 전자공학과 석사. 1973년 동대학원 박사. 1980년 Univ. of OKLAHOMA 전자공학과 박사. 1982년 - 현재 연세대학교 전자공학과 교수. 1992 - 현재 연세대학교부설 아식설계 공동연구소 소장. 1995년 대한전자공학회 회장. 1992 - 현재 IEEE ISCAS 국제 위원회 위원. 주관심 분야는 ASIC 설계, CAD, 반도체 센서 등임.