

## 반도체 압력센서의 압저항 효과와 압저항체 위치 선정 연구

박 세광 / 박 성준\*  
 경북대학교 공과대학 전기공학과

Study on Piezoresistive Effect and Resistor  
 Positioning of Silicon Pressure Sensor

Sekwang Park / SungJune Park\*  
 Kyungpook National University, Department of Electrical Engineering

### Abstract

반도체 및 전자공업의 급속한 발달에 힘입어 압력센서가 소형, 경량, 대량 생산화됨으로써 의료용으로의 사용이 최근 급속히 늘고 있다. 따라서 본 논문은 현재 가장 활발히 개발되고 있는 압저항형 압력 센서의 원리인 압저항 효과에 대해 이론적인 분석을 상세히 소개하였다. 그리고 기존에 많이 소개된 바 있는 직사각형 모양의 박막모서리 중앙 부분에 위치한 압저항체의 설계보다 직사각형 박막 중심에 위치한 압저항체의 설계가 우수한 특성을 보일 수 있는 이론적 근거를 설명한다.

### 1. 서론

이전의 기계적 변위에 의존해 오던 압력 측정이 반도체의 압저항 효과(piezoresistive effect)를 이용함으로써 소형, 고성능의 전자식 센서로 개발되기 시작했다. 직각공정으로 제작된 0.5-20 $\mu\text{m}$ 의 두께를 가진 다이아프램이 여러가지 압력범위에 대해 변형하고 이 변형으로 저항값이 변화하여 전기적인 신호로 바꿀 수 있는 것이 실리콘 압저항형 압력센서의 원리이다. 반도체 압력 센서는 작동 원리만으로 구분하여 보면 압저항형(piezoresistive type), 정전용량형(capacitive type), 압전형(piezoelectric type), 광형(optical type) 등이 있으나 현재 국외에서 상용화되고 있는 것은 거의 압저항형이다. 이는 높은 안정성과 저생산 원가에 기인하고 있으나 감도가 월등히 우수한 정전용량형이 수년내에 상용화되리라고 기대된다.

이 압저항 효과는 입방 구조를 가지는 결정체가 응력을 받아 그 전기 저항값이 변화하는 현상으로서 1950년대에 Bridgeman<sup>[1]</sup>, Herring, 그리고 Vogt<sup>[2]</sup> 등에 의해 알려졌다. 그리고 1953년 C.S. Smith<sup>[3]</sup>에 의해 반도체에서의 압저항 효과가 연구되어 p 또는 n type에서의 압저항 계수가 측정되었다. 현재 국내에서 사용되는 거의 모든

압력센서가 수입에 의존하고 있지만 이들 압저항형과 용량형 압력센서의 연구, 개발을 위한 작업도 진행 중이다. 이에 압저항 효과의 물리적 이론을 감도가 우수한 센서제작에 적용하는 근거가 되는 이론의 연구를 함께 행하는 것이 바람직하다.

### I. 이론 분석

#### I.1 압저항 효과

결정 구조를 가지는 물질(cubic crystal)의 각 면에 대해서 직각 좌표계로 전류밀도와 전계를 고려하면<sup>[3]</sup>,

$$E = \rho J \quad \textcircled{a}$$

여기서 E : 전계

J : 전류밀도

$\rho$  : 저항률, 3X3 대칭행렬

Cubic Crystal의 임의의 직각 좌표계에 대해서  $\rho$ 를 행렬로 나타낸다. 이러한 상태에서 전류밀도는 일정하고 가정했을 때 응력(stress)에 의해  $\rho$ 의 변형이 일어난다면,

$$\delta E = (\delta \rho) J \quad \textcircled{b}$$

여기서  $\delta E$  : 전계의 변화량

$\delta \rho$  : 저항률의 변화량

와 같이 성립하고 응력을 받기전의 결정 좌표축을 x, y, z로 나타내고 응력을 받은 후의 결정 좌표축을 x', y', z'로 나타낸다면 방향 여현(direction cosine)을 이용해서 두 축 사이의 관계식을 다음과 같이 표현할 수 있다.<sup>[4]</sup>

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \text{㉔}$$

또한 방향 여현 행렬은 식각된 박막에서 저항체가 각 좌표축과 이루는 각  $\theta$ 에 cosine을 취한 것이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{㉕}$$

그리고 입방 결정체이므로 응력 T와 저항률  $\rho$ 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} T_{xx} & T_{xy} & T_{xz} \\ T_{yx} & T_{yy} & T_{yz} \\ T_{zx} & T_{zy} & T_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_1 & T_6 & T_5 \\ T_6 & T_2 & T_4 \\ T_5 & T_4 & T_3 \end{pmatrix} \quad \text{㉖}$$

$$\begin{pmatrix} \rho_{xx} & \rho_{xy} & \rho_{xz} \\ \rho_{yx} & \rho_{yy} & \rho_{yz} \\ \rho_{zx} & \rho_{zy} & \rho_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_1 & \rho_6 & \rho_5 \\ \rho_6 & \rho_2 & \rho_4 \\ \rho_5 & \rho_4 & \rho_3 \end{pmatrix} \quad \text{㉗}$$

그러므로 xyz 좌표축에서의 응력 T는

$$[T] = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{pmatrix} \quad \text{㉘}$$

x'y'z' 좌표축에서의 응력 T'는

$$[T'] = \begin{pmatrix} T'_1 \\ T'_2 \\ T'_3 \\ T'_4 \\ T'_5 \\ T'_6 \end{pmatrix} \quad \text{㉙}$$

여기서 T와 T'와의 관계는 6×6 행렬  $[\alpha]$ 를 이용하면 다음과 같다.

$$[T'] = [\alpha][T] \quad \text{㉚}$$

여기서 행렬  $[\alpha]$ 는 식 ㉔의 방향 여현으로 나타내면 다음과 같다.<sup>[6]</sup>

$$[\alpha] = \begin{pmatrix} l_1^2 & m_1^2 & n_1^2 & 2m_1n_1 & 2n_1l_1 & 2m_1l_1 \\ l_2^2 & m_2^2 & n_2^2 & 2m_2n_2 & 2n_2l_2 & 2m_2l_2 \\ l_3^2 & m_3^2 & n_3^2 & 2m_3n_3 & 2n_3l_3 & 2m_3l_3 \\ l_2l_3 & m_2m_3 & n_2n_3 & m_2n_3+m_3n_2 & n_2l_3+n_3l_2 & m_2l_3+m_3l_2 \\ l_1l_3 & m_1m_3 & n_1n_3 & m_3n_1+m_1n_3 & n_3l_1+n_1l_3 & m_3l_1+m_1l_3 \\ l_1l_2 & m_1m_2 & n_1n_2 & m_1n_2+m_2n_1 & n_1l_2+n_2l_1 & m_1l_2+m_2l_1 \end{pmatrix} \quad \text{㉛}$$

식 ㉚을 스칼라 저항률  $\rho$ 로 나누면,

$$(\delta E)/\rho = (\delta \rho/\rho)J \quad \text{㉜}$$

또, 식 ㉚에서  $(\delta \rho)$ 는 행렬로 나타내므로 그 행렬의 원소들을 포함해서 나타내면,

$$\delta E/\rho = \Delta J \quad \text{㉝}$$

$$\text{여기서 } \Delta = (\delta \rho)/\rho$$

즉

$$\begin{aligned} \delta E_1/\rho &= \Delta_{11}J_1 + \Delta_{12}J_2 + \Delta_{13}J_3 \\ \delta E_2/\rho &= \Delta_{12}J_1 + \Delta_{22}J_2 + \Delta_{23}J_3 \\ \delta E_3/\rho &= \Delta_{13}J_1 + \Delta_{23}J_2 + \Delta_{33}J_3 \end{aligned} \quad \text{㉞}$$

$$\text{여기서 } \Delta_{ij} = (\delta \rho)_{ij}/\rho$$

그러므로  $\Delta_{ij}$ 는 ij 방향으로 응력을 받았을때의  $\rho$ 의 변화  $[(\delta \rho)_{ij}/\rho]$ 을 나타낸다. 여기서  $\Delta_{ij}$ 의 대각행렬 원소들은 축의 방향으로 변화하는 응력에 관한 것이고 비 대각행렬원소들은 전단응력에 대한 항이 된다.

식 ㉞을 행렬로 표현하면 식 ㉚과 같다.

$$\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{12} & \rho_{22} & \rho_{23} \\ \rho_{13} & \rho_{23} & \rho_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \end{pmatrix} \quad \text{㉟}$$

식 ㉟에서 저항을 행렬은 압저항상수행렬을 이용하여 다시 나타내면 식 ㉚과 같다.<sup>[6]</sup>

$$\begin{pmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_3 \\ \rho_4 \\ \rho_5 \\ \rho_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_0 \\ \rho_0 \\ \rho_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \rho_0 \begin{pmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{13} & \pi_{14} & \pi_{15} & \pi_{16} \\ \pi_{21} & \pi_{22} & \pi_{23} & \pi_{24} & \pi_{25} & \pi_{26} \\ \pi_{31} & \pi_{32} & \pi_{33} & \pi_{34} & \pi_{35} & \pi_{36} \\ \pi_{41} & \pi_{42} & \pi_{43} & \pi_{44} & \pi_{45} & \pi_{46} \\ \pi_{51} & \pi_{52} & \pi_{53} & \pi_{54} & \pi_{55} & \pi_{56} \\ \pi_{61} & \pi_{62} & \pi_{63} & \pi_{64} & \pi_{65} & \pi_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{pmatrix} \quad \text{㊱}$$

여기서  $\rho_0$  : 응력을 받지 않은 crystal의 등방 저항률  
 $T_1, T_2, T_3$  : 축방향 응력 요소  
 $T_4, T_5, T_6$  : 전단 응력 요소

식 ㊱의 압저항 상수행렬에서 첨자의 앞의 것은 전류방향, 뒤의 것은 응력방향을 각각 나타낸다. 여기서 일반적으로 결정 입방체의 6가지 방향은 11은 1로, 22는 2로 33는 3으로 23은 4로 31은 5로 12는 6으로 표기한다.<sup>[7]</sup>

식 ㊱은 다시

$$\rho_0^{-1} \begin{pmatrix} \rho_1 - \rho_0 \\ \rho_2 - \rho_0 \\ \rho_3 - \rho_0 \\ \rho_4 \\ \rho_5 \\ \rho_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \Delta_4 \\ \Delta_5 \\ \Delta_6 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{13} & \pi_{14} & \pi_{15} & \pi_{16} \\ \pi_{21} & \pi_{22} & \pi_{23} & \pi_{24} & \pi_{25} & \pi_{26} \\ \pi_{31} & \pi_{32} & \pi_{33} & \pi_{34} & \pi_{35} & \pi_{36} \\ \pi_{41} & \pi_{42} & \pi_{43} & \pi_{44} & \pi_{45} & \pi_{46} \\ \pi_{51} & \pi_{52} & \pi_{53} & \pi_{54} & \pi_{55} & \pi_{56} \\ \pi_{61} & \pi_{62} & \pi_{63} & \pi_{64} & \pi_{65} & \pi_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{pmatrix} \quad \text{㊲}$$

과 같으므로 식 ㊲은 xyz 좌표계에서

$$[\Delta] = [\Pi][T] \quad \text{㊳}$$

와 같이 간단히 나타낼 수 있다. 그리고 외부 응력을 받  
은  $x'y'z'$  좌표계에서는

$$[\Delta'] = [\Pi'] [T'] \quad \textcircled{1}$$

로 나타낼 수 있고 식 ①과 마찬가지로 식 ⑤은

$$[\Delta'] = [\alpha][\Delta] \quad \textcircled{5}$$

로도 표현될 수 있다.

식 ⑤의 압저항 상수행렬은 입방 결정체에서 외부응  
력을 받지 않았을 경우.

$$\begin{aligned} \pi_{11} &= \pi_{22} = \pi_{33} \\ \pi_{12} &= \pi_{23} = \pi_{31} = \pi_{21} = \pi_{32} = \pi_{13} \\ \pi_{44} &= \pi_{55} = \pi_{66} \end{aligned}$$

이 되고 나머지 항은 모두 0이 된다.

즉, xyz좌표축에서의 압저항 상수 행렬은 다음과 같다.<sup>[8]</sup>

$$[\Pi] = \begin{bmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{12} & \pi_{11} & \pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{12} & \pi_{12} & \pi_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} \end{bmatrix} \quad \textcircled{1}$$

식 ①, ⑤, ⑥에서 압저항 상수 행렬  $\pi'$ 와  $\pi$ 의 관계는

$$[\pi'] = [\alpha][\pi][\alpha'] \quad \textcircled{6}$$

그러므로 식 ①, ⑤는

$$\begin{bmatrix} T'_1 \\ T'_2 \\ T'_3 \\ T'_4 \\ T'_5 \\ T'_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1^2 & m_1^2 & n_1^2 & 2m_1n_1 & 2n_1l_1 & 2m_1l_1 \\ l_2^2 & m_2^2 & n_2^2 & 2m_2n_2 & 2n_2l_2 & 2m_2l_2 \\ l_3^2 & m_3^2 & n_3^2 & 2m_3n_3 & 2n_3l_3 & 2m_3l_3 \\ l_2l_3 & m_2m_3 & n_2n_3 & m_2n_3+m_3n_2 & n_2l_3+n_3l_2 & m_2l_3+m_3l_2 \\ l_1l_3 & m_1m_3 & n_1n_3 & m_3n_1+m_1n_3 & n_3l_1+n_1l_3 & m_3l_1+m_1l_3 \\ l_1l_2 & m_1m_2 & n_1n_2 & m_1n_2+m_2n_1 & n_1l_2+n_2l_1 & m_1l_2+m_2l_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} \quad \textcircled{7}$$

와 같이 표현 되고 저항체를 식각하여  $20\mu\text{m}$  정도의 박막  
을 형성하였을 경우에 z축 방향의 응력은 x나 y축 방향의  
응력에 비해 무시할 수 있을 정도로 작으므로 식 ⑦에서

$$T'_3 = T'_4 = T'_5 = 0$$

이 성립한다.

그러므로 식 ①, ⑤는 실리콘 박막에 확산된 저항에 응력  
이 가해졌을 경우의 압저항 상수와 저항체 원자에 변화된  
응력이 된다. 따라서 그 확산 저항체의 감도는 다음 식 ⑧  
와 같고 계산을 하면 식 ⑨에서와 같이 저항체를 놓는 각  
도  $\theta$ 에 따라 감도가 변화하게 됨을 알 수 있다.

$$\Delta R/R_0 = \pi'_{11} \cdot T'_1 + \pi'_{12} \cdot T'_2 + \pi'_{16} \cdot T'_6 \quad \textcircled{8}$$

$$\begin{aligned} \Delta R/R_0 &= (\pi_{11} \cdot T_1 + \pi_{12} \cdot T_2) \cos^2 \theta \\ &+ (\pi_{11} \cdot T_2 + \pi_{12} \cdot T_1) \sin^2 \theta \\ &- 0.5(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})(T_1 - T_2) \cos 2\theta \quad \textcircled{9} \end{aligned}$$

여기서

$\Delta R$ : 저항변화분

$R_0$ : 응력을 받지 않았을 때의 저항

$\pi'_{11} = \pi_1$ : 종압저항계수

$$= \pi_{11} - 2(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})(l_1^2 m_1^2 + m_1^2 n_1^2 + n_1^2 l_1^2)$$

$T'_1$ : 전류방향에 평행한 평균 응력

$\pi'_{12} = \pi_2$ : 횡압저항계수

$$= \pi_{12} + (\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})(l_1^2 l_2^2 + m_1^2 m_2^2 + n_1^2 n_2^2)$$

$T'_2$ : 전류방향에 직교하는 평균 응력

$\pi'_{16} = \pi_6$ : 전단 압저항계수

$$= 2(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})(l_1^3 l_2 + m_1^3 m_2 + n_1^3 n_2)$$

$T'_6$ : 평균 전단 응력

식 ⑨에서  $\theta=0$  나  $\theta=\pi/2$  일때 저항체의 감도가 최  
대가 됨을 알 수 있다. 그리고 확산시키는 저항체의 압저  
항 상수가 그 Type에 따라 표 1<sup>[9]</sup>과 같이 p형 Si이 가장  
큰 값을 가지므로 n형 실리콘 기판에 p형 저항체를 x방향  
과 나란하게 놓거나 수직하게 하였을 경우에 최대 감도를  
얻을 수 있다.

표-1. 상온에서의 Germanium과 Silicon의 압저항상수  
(단위:  $10^{12}\text{cm}^2/\text{dyne}$ )

Material	Type	Resistivity ( $\Omega\text{-cm}$ )	$\pi_{11}$	$\pi_{12}$	$\pi_{44}$
Germanium	n	1.5	-2.3	-3.2	-138.1
		5.7	-2.7	-3.9	-136.8
		9.9	-4.7	-5.0	-137.9
	p	16.6	-5.2	-5.5	-138.7
		1.1	-3.7	+3.2	+96.7
		15.0	-10.6	+5.0	+46.5
Silicon	p	7.8	+6.6	-1.1	+138.1
	n	11.7	-102.2	+53.4	-13.6

그리고 전단 압저항계수  $\pi_6$ 는  $\pi_1$ 과  $\pi_2$ 에 비해 아  
주 작은 값이므로 감도를 계산할 때 이 Term을 무시하고

계산을 한다. 즉,

$$\Delta R/R_0 = \pi'_{11} \cdot T'_1 + \pi'_{12} \cdot T'_2$$

이러한 Patterning의 또다른 이점은 수직 방향의 저항체와 수평 방향의 저항체의 저항값의 변화가 반대이므로 온도 변화에 따른 저항값의 변화도 반대이다. 그래서 외부 보상회로를 연결하지 않은 상태에서도 약간의 자체 온도 보상의 효과를 얻을 수 있다. 이러한 저항체의 연결 상태를 Bridge Type이라 한다.

## I.2 압저항체의 위치 선정

Bridge Type의 저항체를 실리콘 박막의 어느 위치에 놓는가에 따라서 즉 박막상에서 가장 높은 응력을 받는 곳에 위치시켜야 높은 출력 전압을 얻을 수 있다. 박막이 정사각형일 경우 즉 박막의 길이 a와 폭 b의 비 b/a=1 일 경우의 위치에 따른 응력의 분포는 그림 1과 같다. 즉 저항체가 박막의 모서리에 가까이 위치해야 한다는 것을 알 수 있다.<sup>[9]</sup>

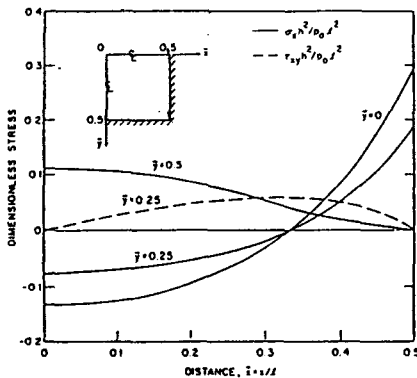


그림 1. 정사각형 박막상의 x에 대한 응력

그리고 박막이 직사각형일 경우, b/a의 비에 따른 각 방향으로의 Bending Moment가 표 2와 3에 나타나 있다.<sup>[10]</sup> 표 2와 3에서 박막의 모서리 쪽보다 중심 근처에서의 그 Moment가 더 크다는 사실과 또 그 영역이 정사각형의 모서리보다는 넓게 존재한다는 것을 알 수 있다. 이 점은 센서 제작에 있어서 Alignment 하기에 유리한 조건이 된다.

표2. 박막의 각 b/a에 대한 x 좌표에서의 Bending Moment

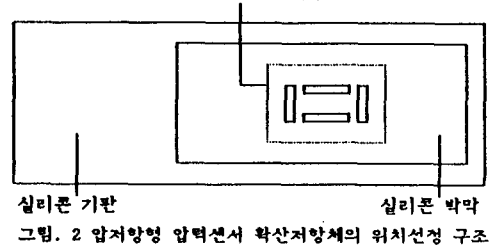
b/a	$M_x = \rho' g a^2, y = 0$					$M_x = \rho' g a^2, y = 0$				
	$x = 0.1a$	$x = 0.2a$	$x = 0.3a$	$x = 0.4a$	$x = 0.5a$	$x = 0.1a$	$x = 0.2a$	$x = 0.3a$	$x = 0.4a$	$x = 0.5a$
1.0	0.0209	0.0343	0.0424	0.0468	0.0479	0.0168	0.0303	0.0400	0.0459	0.0479
1.1	0.0234	0.0389	0.0460	0.0510	0.0534	0.0172	0.0311	0.0412	0.0475	0.0493
1.2	0.0256	0.0432	0.0515	0.0567	0.0627	0.0174	0.0318	0.0417	0.0480	0.0501
1.3	0.0277	0.0472	0.0559	0.0611	0.0684	0.0175	0.0318	0.0419	0.0482	0.0503
1.4	0.0297	0.0509	0.0600	0.0653	0.0730	0.0175	0.0315	0.0418	0.0481	0.0502
1.5	0.0314	0.0544	0.0630	0.0683	0.0760	0.0173	0.0312	0.0415	0.0478	0.0498
1.6	0.0330	0.0572	0.0658	0.0711	0.0790	0.0171	0.0309	0.0411	0.0472	0.0492
1.7	0.0344	0.0599	0.0678	0.0731	0.0810	0.0169	0.0306	0.0405	0.0468	0.0488
1.8	0.0357	0.0623	0.0696	0.0749	0.0828	0.0167	0.0301	0.0399	0.0459	0.0479
1.9	0.0368	0.0644	0.0713	0.0766	0.0845	0.0165	0.0297	0.0393	0.0451	0.0471
2.0	0.0378	0.0663	0.0731	0.0784	0.0860	0.0162	0.0292	0.0387	0.0444	0.0464
2.5	0.0413	0.0729	0.0820	0.0883	0.1000	0.0152	0.0272	0.0359	0.0412	0.0430
3.0	0.0431	0.0763	0.0860	0.0923	0.1050	0.0145	0.0258	0.0340	0.0390	0.0408
4.0	0.0445	0.0791	0.0900	0.0963	0.1100	0.0138	0.0246	0.0322	0.0369	0.0384
=	0.0450	0.0800	0.0900	0.1000	0.1200	0.0135	0.0240	0.0315	0.0360	0.0375

표3. 박막의 각 b/a에 대한 y 좌표에서의 Bending Moment

b/a	$M_y = \rho' g a^2, x = a/2$					$M_y = \rho' g a^2, x = a/2$				
	$y = 0.4a$	$y = 0.3a$	$y = 0.2a$	$y = 0.1a$	$y = 0$	$y = 0.4a$	$y = 0.3a$	$y = 0.2a$	$y = 0.1a$	$y = 0$
1.0	0.0168	0.0303	0.0400	0.0459	0.0479	0.0209	0.0343	0.0424	0.0468	0.0479
1.1	0.0197	0.0353	0.0465	0.0532	0.0554	0.0225	0.0365	0.0442	0.0491	0.0493
1.2	0.0225	0.0401	0.0526	0.0600	0.0627	0.0239	0.0378	0.0454	0.0500	0.0501
1.3	0.0252	0.0447	0.0585	0.0667	0.0694	0.0252	0.0391	0.0462	0.0504	0.0503
1.4	0.0275	0.0491	0.0639	0.0727	0.0755	0.0263	0.0402	0.0468	0.0503	0.0502
1.5	0.0302	0.0532	0.0690	0.0781	0.0812	0.0275	0.0410	0.0470	0.0503	0.0498
1.6	0.0324	0.0571	0.0737	0.0820	0.0862	0.0288	0.0417	0.0471	0.0499	0.0492
1.7	0.0348	0.0607	0.0780	0.0870	0.0908	0.0295	0.0423	0.0470	0.0484	0.0488
1.8	0.0371	0.0641	0.0819	0.0917	0.0948	0.0304	0.0428	0.0469	0.0478	0.0479
1.9	0.0392	0.0673	0.0854	0.0953	0.0985	0.0314	0.0433	0.0467	0.0472	0.0471
2.0	0.0413	0.0703	0.0887	0.0986	0.1017	0.0322	0.0436	0.0464	0.0463	0.0464
2.5	0.0503	0.0828	0.1012	0.1102	0.1129	0.0360	0.0446	0.0447	0.0435	0.0430
3	0.0586	0.0923	0.1092	0.1163	0.1189	0.0389	0.0447	0.0431	0.0413	0.0408
4	0.0723	0.1054	0.1180	0.1244	0.1235	0.0426	0.0436	0.0406	0.0389	0.0384
=	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375

정사각형 박막의 경우 확산저항체의 위치선정은 위의 이론에 따라 Alignment는 최대 감도를 얻기위해 위치 선정이 어렵고 또한 저항체가 박막의 가장자리에 위치하기 때문에 제작된 박막을 Pyrex glass에 정전접합시 열팽창 계수의 불일치로 발생하는 잔류응력의 영향을 가장 많이 받아 정전 접합후에 급격한 감도의 변화가 생길 수 있고 offset 출력이 크게 나타나며 Long-term stability가 불안정하다. 따라서 직사각형 박막에 저항체가 그림 2와 같이 중심에 위치할 경우 최대응력에 있어서는 정사각형 보다 다소 떨어지지만 Alignment 시킬 때 보다 넓은 영역에서 할 수 있고 정전 접합후 잔류응력에 의해 저항체가 영향을 덜 받아서 안정하고 선형성이 우수한 특성을 가질 수 있다.

Bridge Type의 확산 저항체



## I. 압력 센서의 의료학적인 응용

소형 Absolute 압력센서의 의료학적인 응용을 위한 필요조건으로는: 1)고감도 (sensitivity), 2)소형, 3)낮은 히스테리시스 (hysteresis), 4)작은 온도계수 (temperature coefficient), 5) 높은 장기 안정도 (long-term stability), 6) 인체와의 적합도 (biocompatibility) 등이 갖추어져야 한다.

현재의 압력센서는 위의 모든 조건을 만족시킬 수 없고 특히 크기, 장기 안정도 및 인체와의 적합도에 있어서는 많은 연구 개발이 필요하다. 다음 그림 3은 캐시터(catheter)에 패키징된 압력센서의 일례이며, 그림 4는 인체에 이식가능한 압력센서와 Interface 회로의 계통도이다.<sup>[10]</sup>

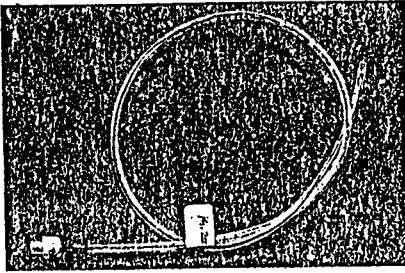


그림 3. 캐시터(catheter)에 패키징된 압력센서

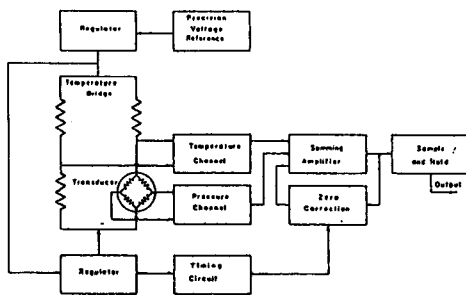


그림 4. 압력센서와 interface회로의 계통도

## IV. 결론

우수한 감도를 얻을 수 있는 저항체의 각도와 위치에 대한 이론분석의 결과로 저항체를 (100) 실리콘 기판상에 [110] 방향과 나란히 또는 수직인 각도로 n형 실리콘 기판위에 p형 볼슨물을 확산시키고 또한 박막의 중심부분에

위치시킴이 유용하다는 것을 알 수 있다. 즉 박막이 받을 수 있는 최대 응력은 모서리 부분에 비해 작지만 모서리 부분이 응력의 변화가 너무 빠르고 Align이나 접합 공정시의 결점이 있기 때문에 중심에 위치시키는 것이 감도면에서나 센서 제작의 소형화와 집적화에 유리하다.

## V. 참고 문헌

- [1] P.W. Bridgeman, "The Effect of Homogeneous Mechanical Stress on The Electrical Resistance of Crystal", Phys. Rev., Vol. 42, pp. 858-864, 1952.
- [2] Herring and Vogt, "Transport and Deformation-Potential Theory for Many-Valley Semiconductors with Anisotropic Scattering", Phys. Rev., Vol. 101, pp. 944-961, 1956.
- [3] C.S. Smith, "Piezoresistance Effect in Germanium and Silicon", Phys. Rev., Vol. 94, pp. 42-50, 1954.
- [4] Bao Min-Hang and Wang Ying, "Analysis and Design of Four Terminal Silicon Pressure Sensor", Transducers '85, pp. 193-195, 1985.
- [5] Bao Min-Hang, Fudan University, private communication, Sep. 1990.
- [6] Minhang Bao, Yan Wang and Weijia Qi, "New Development of Design Method of Piezoresistive Pressure Sensors", Transducers '87, pp. 299-304, 1987.
- [7] D. R. Kerr and A.G. Milnes, "Piezoresistance of Diffused Layers in Cubic Semiconductors", J. Appl. Phys., vol. 34, pp. 727-731, April 1963.
- [8] Wen H. Ko, "Development of a Miniature Pressure Transducer for Biomedical Applications", IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-26, pp. 1896-1905, 1979.
- [9] Samuel K. Clark and K. D. Wise, "Pressure Sensitivity in Anisotropically Etched Thin-Diaphragm Pressure Sensors", IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-26, pp. 1887-1895, Dec. 1979.
- [10] S. Timoshenko and S. Woinowsky-krieger, "Theory of plates and shells", McGraw-Hill, New York, 1959.