

壓力센서

權 泰 夏

釜山水産大學 電子通信工學科 助教授(工博)

I. 概 要

壓力測定은 機械的인 負荷의 測定이다. 機械的인 負荷를 받을 때 物體에서는 變形이 일어난다. 이러한 變形을 처음에는 齒車나 롤라等을 利用한 機械的인 方法으로 測定하였다. 그러다가 電氣的인 方法이 開發되면서 이것은 거의 使用되지 않고 있다.

壓力에 따른 變形을 電氣量의 變化로 얻는 電氣的인 方法은 精度 및 應答速度等에서 우수한 特性을 가지고 있기 때문에 急速히 發展되어 왔다. 이 方法에서는 適當한 센서를 利用해서 壓力을 電氣量으로 變換시킨다. 電氣量 變換의 種類에 따라 電氣抵抗, 인덕턴스, 靜電容量等의 變化나 起電力 및 光電效果等을 利用하는 것으로 나눌 수 있다.

抵抗變化를 利用하는 센서는 製作이 比較的 용이하다. 이것은 抵抗材料에 따라 金屬抵抗과 半導體抵抗을 利用하는 것으로 大別 된다. 金屬抵抗의 材料로는 溫度係數가 작고 製作이 쉬운 콘스탄탄이 主要로 利用되며 半導體 材料로는 실리콘이 利用된다. 최근에는 실리콘 腐蝕技術의 發展과 아울러 大量生産에 적합한 실리콘 壓力센서가 많이 研究되고 있다.^{1)~13)} 이것에는 실리콘이 가지고 있는 큰 게이지계수(gauge factor)를 利用하는 抵抗形과 靜電容量 變化를 利用하는 容量形이 있다. 이들은 集積回路 技術을 利用하기 때문에 大量生産은 물론 小形化가 可能하다.

容量器의 可動板으로써 얇은 실리콘 다이아프램(diaphragm)을 利用하는 容量形센서는 높은 感도와 작은 溫度係數를 가지고 있는 반면 큰 素子面積을 必要로 하며 壓力에 대한 直線性이 나쁘고 製作過程이 比較的 까다롭다. 이에 比해 얇은 실리콘 다이아프램위에 擴散抵抗을 形成하여 만든 抵抗形 센서는 넓은 壓力範圍에 걸쳐 直線性이 좋고 比較的 높은 感도를 나타내지만 溫度係數가 큰 短點이 있다. 그림 1에

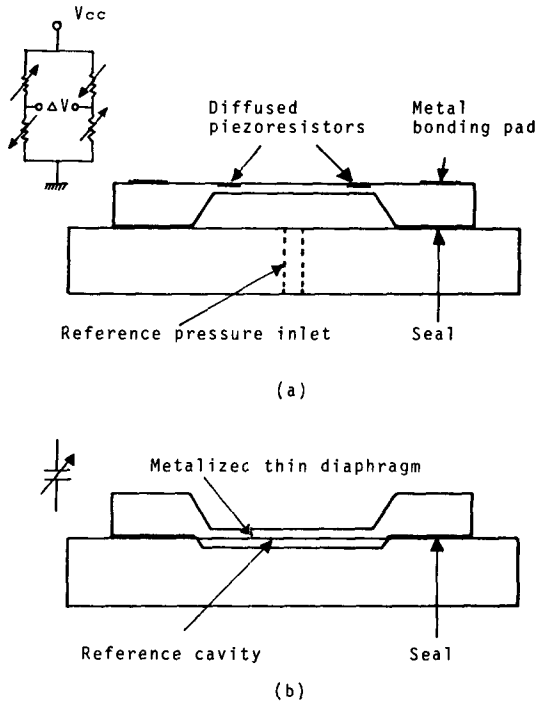


그림 1. 抵抗形과 容量形 半導體 壓力센서의 構造

저항형과 용량형 壓力센서의 간단한 構造를 나타내었다.

본 논고에서는 실리콘 抵抗形 센서를 中心으로 센서의 原理, 構造, 製造 및 問題點과 끝으로 앞으로 技術動向等에 對해서 記述한다.

II. 壓力센서의 原理

1. 壓抵抗 效果(piezoresistance effect)

壓抵抗 效果는 物體의 電氣抵抗이 加해진 應力에 의해서 變化하는 現象을 말한다. 이 現象은 Herring¹⁴⁾에 의해서 說明되었다. 이에 의하면 物體에 應力이 加

해지면 格子變形이 일어나며 이 格子變形의 效果로 캐리어들이 산란된다. 이 結果 캐리어의 分布와 實効 移動도가 變化되어 固有抵抗의 變化가 誘發된다.

실리콘과 게르마늄의 壓抵抗 效果에 대한 基礎的인 研究가 1954年 Smith^[15]에 의해서 처음으로 行해졌다. 이어 1957年 Mason等^[16]은 이를 變位나 토크等的의 測定에 應用할 수 있음을 보였다. 1960年代 初에 Tufte等^[2]은 실리콘을 얇은 다이아프램으로 만들어서 壓力 特性을 調査하였다.

실리콘과 같은 對稱性을 가지는 材料에 대해서 各結晶軸方向의 電場이 E_1, E_2, E_3 이고 電流密度가 J_1, J_2, J_3 이며 應力이 $T_{11}, T_{22}, T_{33}, \tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{23}$ 일때 이들 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.^[16]

$$\frac{E_1}{\rho} = J_1[1 + \pi_{11}T_{11} + \pi_{12}(T_{22} + T_{33})] + \pi_{44}(J_1\tau_{12} + \tau_{13}\tau_{13}) \quad (1)$$

$$\frac{E_2}{\rho} = J_2[1 + \pi_{11}T_{22} + \pi_{12}(T_{11} + T_{33})] + \pi_{44}(J_1\tau_{12} + J_3\tau_{23}) \quad (2)$$

$$\frac{E_3}{\rho} = J_3[1 + \pi_{11}T_{33} + \pi_{12}(T_{11} + T_{22})] + \pi_{44}(J_1\tau_{13} + J_2\tau_{23}) \quad (3)$$

여기서 1, 2, 3은 結晶軸方向을 나타내며 ρ 는 應力이 없을 때의 抵抗率을 나타내고 T_{ii} 는 i 方向으로의 應力을, τ_{ij} 는 i, j 方向으로의 剪斷應力을 나타낸다. π_{11}, π_{12} 및 π_{44} 는 基本 壓抵抗係數이며 실리콘과 게르마늄에 대한 이것을 表 1에 收錄하였다.

표 1. 실리콘과 게르마늄의 壓抵抗係數^[15]

Material		Resistivity (Ω -cm)	π_{11} ($\times 10^{-12}$ cm ² /dyne)	π_{12} ($\times 10^{-12}$ cm ² /dyne)	π_{44} ($\times 10^{-12}$ cm ² /dyne)
Germanium	n-type	1.5	-2.3	-3.2	-138.1
		5.7	-2.7	-3.9	-136.8
		9.9	-4.7	-5.0	-137.9
		16.6	-5.2	-5.5	-138.7
Silicon	p-type	1.1	-3.7	+3.2	+96.7
		15.0	-10.6	+5.0	+46.5
Silicon	n-type	7.8	+6.6	-1.1	+138.1
		11.7	-102.2	+53.4	-13.6

壓抵抗係數는 $\pi_{k_1 m n}$ 으로 表示되며 k 는 電場方向, l 은 電流方向, m 및 n 은 應力方向을 나타낸다. 간단히 하기 위해서 $xx \rightarrow 1, yy \rightarrow 2, zz \rightarrow 3, yz \rightarrow 4, zx \rightarrow 5, xy \rightarrow 6$ 으로 表記한다. 실리콘과 같은 立方結晶에서 壓抵抗係數는 단지 3個의 독립된 값 π_{11}, π_{12} 및 π_{44} 만 가진다. 이는 다음과 같이 하나의 텐서로 表現

된다.

$$[\pi_{ij}] = \begin{pmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{12} & & & \\ & \pi_{12} & \pi_{11} & & & \\ & & \pi_{12} & \pi_{11} & & \\ & & & & \pi_{44} & \\ & & & & & \pi_{44} \\ & & & & & & \pi_{44} \end{pmatrix} \quad (4)$$

物체에 電場 E , 電流密度 J 및 應力 T 가 같은 方向으로 作用할 때

$$\frac{E}{\rho} = J(1 + \pi_1 T) \quad (5)$$

로 表現된다.^[16] 여기서 π_1 은 縱壓抵抗係數(longitudinal piezoresistance coefficient)이다. 縱應力(longitudinal stress) T_1 이 作用할때 縱方向抵抗率 E/J 는

$$\frac{E}{J} = \rho + \Delta\rho \quad (6)$$

로 나타내며 式(5)와 式(6)에서 應力에 의한 固有 抵抗의 變化率 $\Delta\rho/\rho$ 는

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \pi_1 T_1 \quad (7)$$

이다. 縱應力과 橫應力(transverse stress)이 同時에 作用할 때 抵抗變化率 $\Delta R/R$ 은

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_1 T_1 + \pi_1 T_1 + \pi_5 \tau_s \quad (8)$$

이며 여기서 π_5 는 橫壓抵抗係數(transverse piezoresistance coefficient)를 나타내며 T_1 는 橫應力을 나타내고 π_5 는 剪斷壓抵抗係數(shear piezoresistance coefficient)를 나타낸다. $\pi_5 \tau_s$ 항의 값은 다른항에 비해 적어서 무시된다. π_1 과 π_5 를 π_{11}, π_{12} 및 π_{44} 로 나타내면

$$\pi_1 = \pi_{11} - 2(\pi_{12} - \pi_{44})(l_1^2 m_1^2 + l_1^2 n_1^2 + m_1^2 n_1^2) \quad (9)$$

이며

$$\pi_5 = \pi_{12} + (\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})(l_1^2 m_1^2 + m_1^2 n_1^2 + n_1^2 l_1^2) \quad (10)$$

이다. 여기서 l, m 및 n 은 結晶軸方向과 電流方向의 方向餘弦이다. 그림 2와 같이 x, y 및 z 軸을 x', y', z' 로 座標變換 했을때 方向餘弦은

$$\begin{matrix} x & y & z \\ x' & l_1 & m_1 & n_1 & \cos\theta \cos\phi & \cos\theta \sin\phi & -\sin\theta \\ y' & l_2 & m_2 & n_2 & -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ z' & l_3 & m_3 & n_3 & \cos\phi \sin\theta & \sin\phi \sin\theta & \cos\theta \end{matrix} \quad (11)$$

와 같다. 여러가지 方向에 대한 π_1 과 π_5 를 表 2에 收錄하였다. $\theta = 0$ 으로 하고 ϕ 를 變化시키면 (100)面

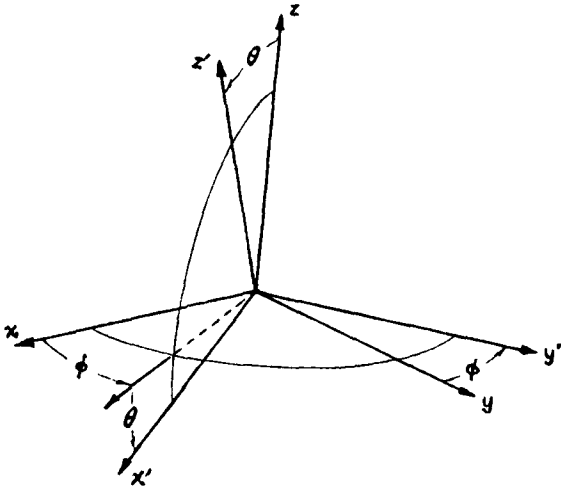


그림 2. 結晶軸方向 x, y, z에서 任意方向直角 座標 x', y', z' 로의 座標變換

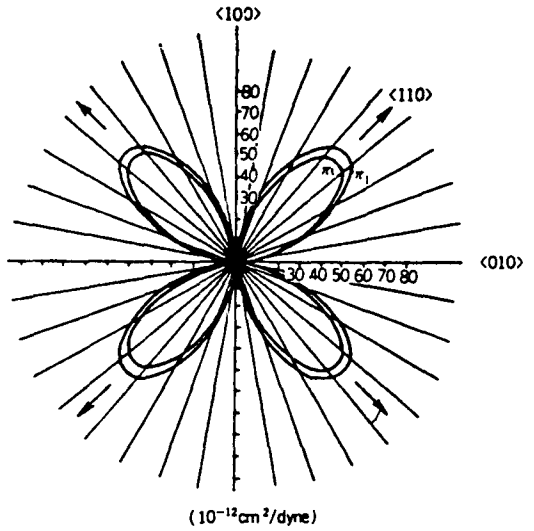


그림 3. (100)面 P형 실리콘의 壓抵抗係數

표 2. 立方結晶에서 여러가지 方向에 대한 縱과 橫의 壓抵抗係數

Longitudinal direction, l	Longitudinal coefficient, π_l	Transverse direction, 2	Transverse coefficient, π_t
001	π_{11}	010	π_{12}
001	π_{11}	110	π_{12}
111	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + 2\pi_{12} + 2\pi_{44})$	110	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + 2\pi_{12} - \pi_{44})$
111	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + 2\pi_{12} + 2\pi_{44})$	112	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + 2\pi_{12} - \pi_{44})$
110	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})$	111	$\frac{1}{3}(\pi_{11} + 2\pi_{12} - \pi_{44})$
110	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})$	001	π_{12}
110	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})$	110	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{44})$
110	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})$	112	$\frac{1}{6}(\pi_{11} + 5\pi_{12} - \pi_{44})$
112	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})$	110	$\frac{1}{6}(\pi_{11} + 5\pi_{12} - \pi_{44})$
110	$\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})$	221	$\frac{1}{6}(\pi_{11} + 5\pi_{12} - 4\pi_{44})$
221	$\frac{\pi_{11} - 16(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44})}{27}$	110	$\frac{1}{9}(4\pi_{11} + 5\pi_{12} - 4\pi_{44})$

에서 方向에 따른 壓抵抗係數가 얻어진다. P형 실리콘에 대한 이것을 그림 3에 나타내었다.¹⁷⁾ 여기서 (100)면의 실리콘에서는 <110>方向으로 擴散抵抗이 形成될 때 壓抵抗係數가 가장 크다는 것을 알 수 있다.

2. 擴散層의 壓抵抗效果

實際 半導體 壓力센서에서는 擴散抵抗이 利用된다. 따라서 擴散層의 壓抵抗係數가 重要하다. 擴散層의 表面에서의 距離를 x, 擴散層의 두께를 x_0 이라하면 壓抵抗係數의 平均值 $\bar{\pi}$ 는 다음과 같다.¹⁸⁾

$$\bar{\pi} = \int_0^{x_0} \sigma(x) \pi(x) dx / \int_0^{x_0} \sigma(x) dx \quad (12)$$

여기서 $\sigma(x)$ 는 導電率의 分布이다. 이 式은 電流分布가 應力에 의해서 變化되지 않는 것을 가정한 경우이다. 應力과 壓抵抗係數가 큰 경우 擴散層의 두께에 따라 抵抗의 變化率이 다르며 이로 인해 電流가 變化된다. 이때 式(12)는

$$\bar{\pi} = \int_0^{x_0} \sigma(x) \pi(x) / [1 + \pi(x)T] dx / \int_0^{x_0} \sigma(x) / [1 + \pi(x)T] dx \quad (13)$$

로 수정된다. 모든 x에 대해서 $\pi(x)T$ 가 1보다 훨씬 작으면 式(13)은 다음과 같이 된다.

$$\bar{\pi} = \int_0^{x_0} \sigma(x) \pi(x) [1 - \pi(x)T] dx / \int_0^{x_0} \sigma(x) [1 - \pi(x)T] dx \quad (14)$$

여기서 分子의 $\pi[1 - \pi T]$ 가 非直線性을 나타내지만 分母에 비슷한 항이 있기 때문에 어느 정도 補償이 예상된다. 따라서 實際는 거의 直線的이다.

그림 4에서 알 수 있듯이 壓抵抗係數는 擴散層의 두께에는 거의 無關하다. 그림 5에 p형 및 n형 실리콘에서 가장 큰 壓抵抗係數인 π_{44} 및 π_{11} 의 表面不純物濃度依存性을 나타내었다. 여기서 不純物濃도가 높으면 壓抵抗係數가 작아진다는 것을 알 수 있다. 따라서 擴散層의 壓抵抗效果는 不純物의 擴散깊이 보다 表面濃도에 크게 依存하는 것을 알 수 있다. 그림 6에 p형 擴散層의 壓抵抗係數 π_{44} 의 溫度依存性을 表面不純物濃度別로 나타냈으며,¹⁸⁾ 그림 7에 n형 擴散層의 壓抵抗係數 π_{11} 의 溫度依存性을 表面不純物濃도에 대해서 나타내었다. 不純物濃도가 10^{20}cm^{-3} 이상에서 壓抵抗係

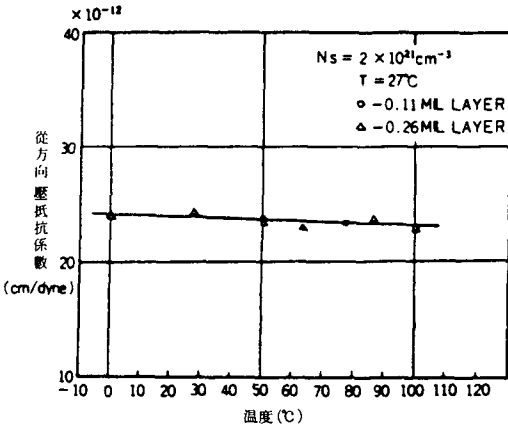


그림 4. 表面濃도가 같고 확산두께가 다른 p형 확산層的 壓抵抗係數의 溫度依存性

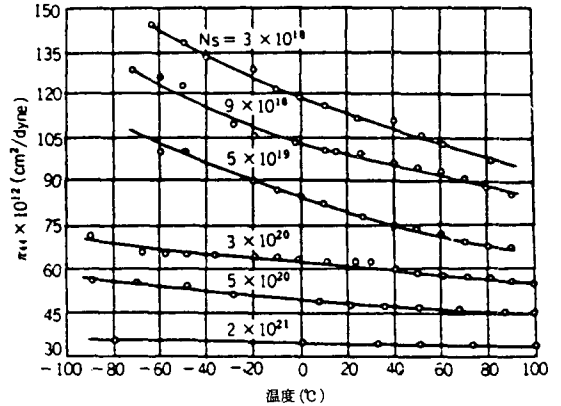


그림 6. 壓抵抗係數 π_44(p)의 溫度와 表面濃度依存性

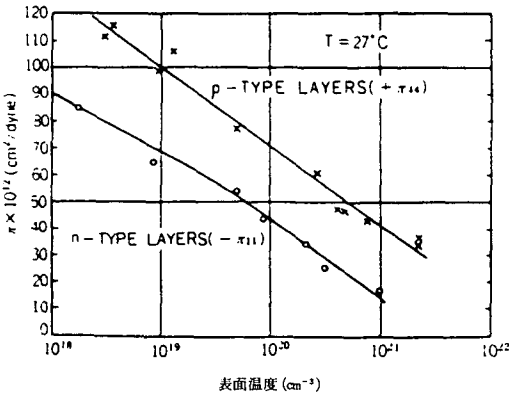


그림 5. 壓抵抗係數 π_44(p형) 및 π_11(n형)의 表面不純物濃度依存性

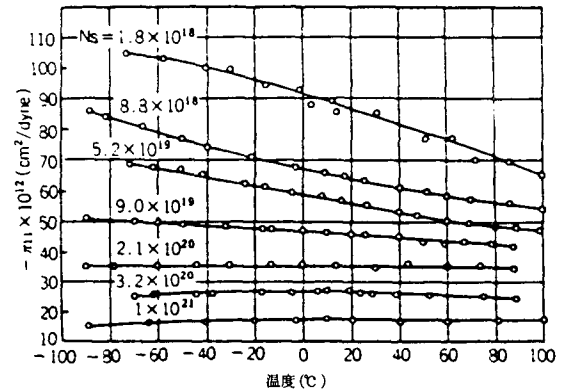


그림 7. 壓抵抗係數 π_11(n형)의 溫度와 表面濃度依存性

數의 溫度係數가 작아지는 것을 알 수 있다. 實際 센서 製造時에는 게이지계수가 크고 溫度係數가 작은 不純物濃도를 選定하는 것이 좋다. 이를 위해서 溫度係數와 게이지계수의 比가 最少가 되는 不純物濃도를 求하면 되는데 p형 擴散抵抗일 경우 이 不純物濃도는 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 정도이다.

3. 應力分布

應力센서에 使用되는 다이아프램의 形態는 실리콘 腐蝕에서 決定되며 一般적으로 원형과 정사각형의 두 種類이다. 원형일 경우 다이아프램상의 應力分布를 求하는 것이 용이하나 정사각형에서는 이것이 쉽지 않다. 이들은 먼저 다이아프램의 中央을 基準으로 해서 힘을 求하고 이것으로 應力을 求한다. 원형 다이아프램의 주위가 고정되어 있으며, 여기에 應力이 均一하게 作

用하고 다이아프램의 두께에 비해서 힘이 작을때 半徑方向應力 T_r 및 接線方向應力 T_t 의 結果式은 다음과 같다.¹⁹⁾

$$T_r = 3(p/h^2)[a^2(1+\nu) - r^2(3+\nu)]/8 \quad (15)$$

$$T_t = 3(p/h^2)[a^2(1+\nu) - r^2(1+3\nu)]/8 \quad (16)$$

여기서 p는 應力, h는 다이아프램의 두께 a는 다이아프램의 半徑, ν는 Poisson比를 나타낸다. 원형 다이아프램의 이론적인 應力分布를 그림 8에 나타내었다.

반면 네 邊이 固定支撐된 정사각형의 다이아프램상에서 應力分布는 다이아프램의 中央을 基準으로 해서 x方向의 應力 T_x 및 y方向의 應力 T_y 는 다음과 같다.

$$T_x = -\frac{h}{2(1-\nu^2)} \left[E_x \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + E_y \nu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] \quad (17)$$

$$T_y = -\frac{h}{2(1-\nu^2)} \left[E_y \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + E_x \nu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right] \quad (18)$$

여기서 E_x, E_y 는 x 및 y 方向으로의 Young率이며 W 는 힘을 나타낸다. 식(17)에서 應力 T_x 를求하면⁽⁶⁾

$$T_x = A \frac{a^2 p}{h^2} \quad (19)$$

이다. 여기서 A 는 位置 및 材料에 따라 決定되는 常數이며 a 는 다이아프램의 한 邊의 길이이다. 그림 9에 다이아프램의 1/4을 취해서 차원이 없는 값으로 理論的인 應力分布를 나타내었다. 원형의 다이아프램 상에서 應力分布는 다이아프램의 가장자리에서 크게 나타나며 정사각형의 다이아프램 상에서는 역시 다이아프램의 가장자리이지만 邊의 中央에서 가장 큰 應力分布를 나타내는 것을 알 수 있다.

III. 센서의 構造 및 製造

1. 構造

우수한 特性을 가지는 壓力센서를 만들기 위해서는 壓抵抗效果의 結晶方向依存性과 다이아프램 상의 應力分布를 考慮해서 擴散抵抗의 方向과 位置를 決定해야 하며 또 적절한 不純物濃度를 갖는 擴散抵抗을 形成하여야 한다. (100)面에 p 형 擴散抵抗을 $\langle 110 \rangle$ 方向으로 形成하면 壓抵抗係數의 값이 큰 π_{44} 를 利用할 수 있다. 그림 10은 원형과 정사각형의 다이아프램을 利用해서 브리지형의 센서를 만들때 擴散抵抗의 位置를 나타낸 것이다. 이 位置는 물론 應力分布가 큰 곳이다. 그림 10(a)에서와 같이 (100)面의 실리콘에 p 형 擴散抵抗을 $\langle 110 \rangle$ 方向으로 形成했을때 π_1 및 π_2 는 다음과 같다.

$$\pi_1 = \frac{1}{2} (\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44}) \approx \frac{1}{2} \pi_{44} \quad (20)$$

$$\pi_2 = \frac{1}{2} (\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{44}) \approx -\frac{1}{2} \pi_{44} \quad (21)$$

R_1 및 R_3 에 대해서 T_r 은 縱方向이고 T_t 는 橫方向이며 $R_1 = R_3$ 라 하면

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R_3}{R_3} = \pi_1 T_r + \pi_2 T_t \approx \frac{1}{2} (T_r - T_t) \pi_{44} \quad (22)$$

이고 $R_2 = R_4$ 라하면 같은 方法으로

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{\Delta R_4}{R_4} = \pi_1 T_t + \pi_2 T_r \approx -\frac{1}{2} (T_r - T_t) \pi_{44} \quad (23)$$

가 된다. R_1 및 R_3 는 壓力增加에 따라 저항값이 增加하고 R_2 및 R_4 는 壓力增加에 따라 抵抗値가 減少한다. 따라서 이 抵抗들을 브리지 형태로 연결해서 센서를 製作하면 보다 큰 出力을 얻을 수 있다. 공급전압을 V_{cc} , 出力을 V_o , 加한 壓力을 p 라할때 센서의 壓力感度 S 를 다음과 같이 정의한다.

$$S = \frac{1}{V_{cc}} \frac{\partial V_o}{\partial P} \quad (24)$$

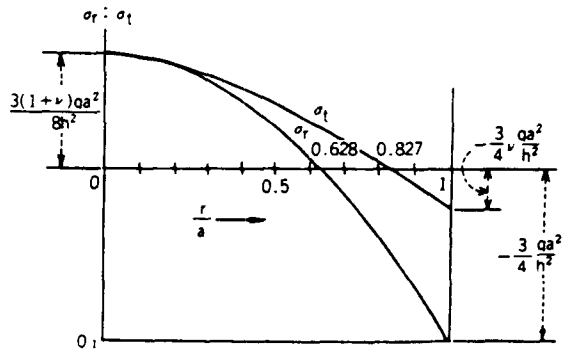


그림 8. 원형 다이아프램 상의 應力分布

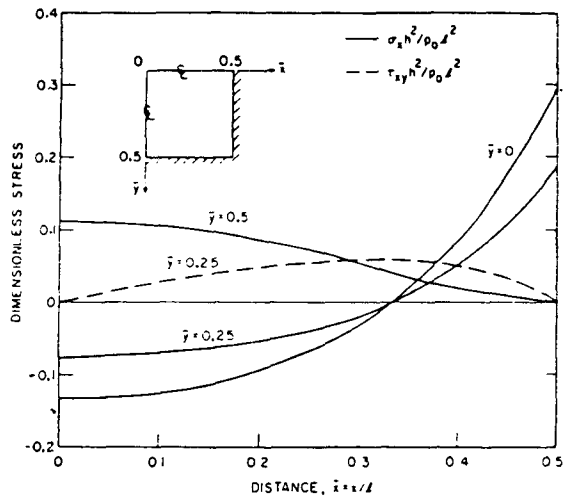


그림 9. 4 변이 고정지된 다이아프램 상의 차원이 없는 응력분포

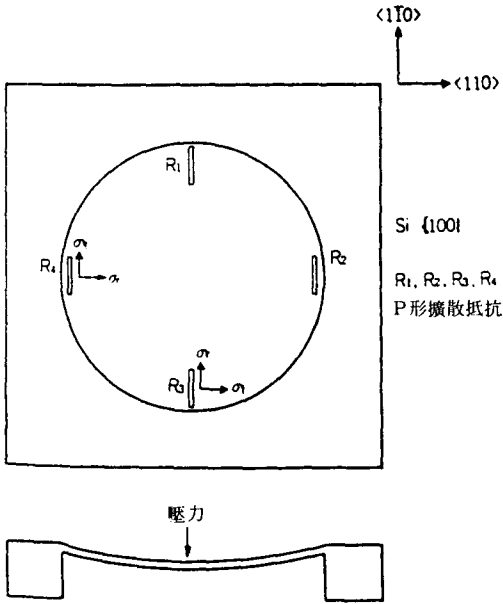
2. 製造

半導體 壓力센서의 製造工程은 集積回路 製造工程과 類似하다. 그림 11에 製造工程을 간략하게 나타내었다. 여기서 알 수 있듯이 壓力센서 製造에는 標準工程 이외에 몇개의 附加工程이 있다. 이들 중에서 다이아프램을 만들기 위한 실리콘 부식공정과 칩을 지지판에 부착 시키기 위한 부착공정은 대단히 重要하다.

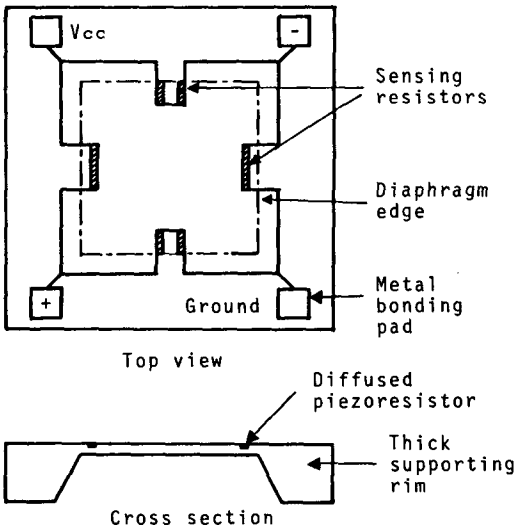
1) 실리콘 腐蝕 및 다이아프램 製作

式 (15) 및 式 (19)에서 알 수 있듯이 다이아프램의 두께는 應力에 예민하게 作用한다. 따라서 半導體 壓力센서에서는 두께가 均一하고 얇은 다이아프램을 利用하는 것이 바람직하다. 이를 위해서 실리콘을 腐蝕시켜 다이아프램을 만들어야 한다.

濕式으로 실리콘을 腐蝕시킬 경우 부식과정은 2가



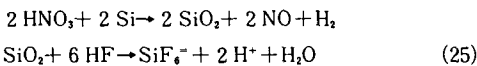
(a) 원형다이아프램



(b) 정사각형 다이아프램

그림10. 저항형 압력센서의 구조

지 段階로 進行된다. 먼저 실리콘이 酸化되고 다음 이것이 溶解된다. 等方性 腐蝕液인 $HF:HNO_3^{201}$ 에 대한 基本 反應式은



이며 異方性 腐蝕液인 $NH_2(CH_2)_2NH_2 : C_6H_5(OH)_2 :$

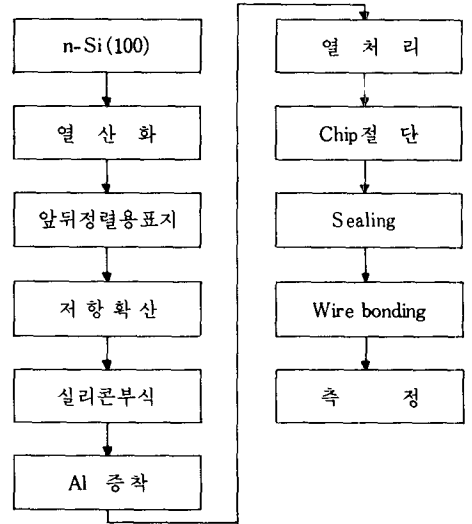
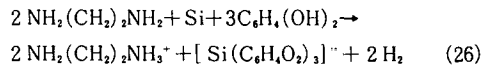


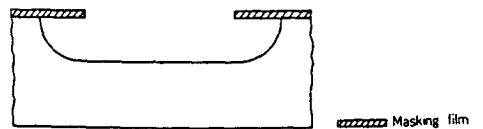
그림11. 半導體 壓力센서 製造工程

H_2O^{21} 에 대한 反應式은

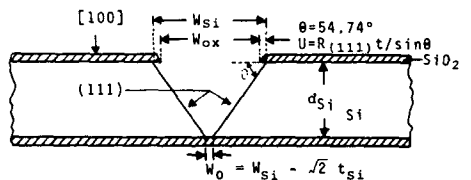


이다. 이의 $N_2H_4 \cdot H_2O^{221}$ 나 KOH^{231} 같은 腐蝕液은 自体가 酸化와 溶解를 兼한다.

실리콘의 腐蝕率은 腐蝕液의 溫度나 腐蝕面의 結晶方向에 따라서 顯著的한 差異를 나타낸다. 또 腐蝕液中에는 실리콘내의 不純物濃도에 따라서도 差異를 나타내는 것이 있다. $N_2H_4 \cdot H_2O$, KOH 및 $NH_2(CH_2)_2NH_2$ 계 異方性 腐蝕液에 대한 실리콘 腐蝕率은 $\langle 111 \rangle$ 方向에 비해 $\langle 100 \rangle$ 方向쪽이 훨씬 크다. 그림12에 $\langle 100 \rangle$ 面의 실리콘을 $[100]$ 方向으로 異方性腐蝕시킨 斷面과 等方向腐蝕시킨 斷面을 나타내었다.



(a) 등방성부식



(b) 이방성부식

그림12. 실리콘의 부식단면도

異方向腐蝕된 경우 (100)면과 (111)면의 사이각이 54.74° 이고 [100] 방향으로 빨리腐蝕되기 때문에 側面보다 밀면이 빨리 부식된다. 마스크 밑으로腐蝕된 側面길이 u 는

$$u = R_{(111)} t / \sin \theta \quad (27)$$

이다.¹²⁴⁾ 여기서 $R_{(111)}$ 은 (111)면의腐蝕률을 나타내고 t 는 부식시간, $\theta = 54.74^\circ$ 이다. 또 부식된 밀면의 兩변의 길이 W_0 는

$$W_0 = W_{s1} - \sqrt{2} d_{s1} \quad (28)$$

이다. 여기서 W_{s1} 는 表面에서 부식된 한 변의 길이이며 d_{s1} 는 실리콘의 두께이다. KOH 및 $NH_2(CH_2)_2NH_2$ 계의 부식액에서는 실리콘의 不純物이 硼素일 경우 이의 濃도가 $7 \times 10^{19} cm^{-3}$ 이상이면 顯著的한腐蝕率의 減少를 나타낸다. 반면 HF계는 結晶方向에 거의 무관한 부식률을 보인다. 그렇지만腐蝕液의 組成比나 不純物濃도에 따라서는腐蝕率의 差異가 난다.

실리콘 다이아프램을 만들때 원형은 等方性腐蝕液을 使用하고 정사각형은 異方性腐蝕液을 使用한다. 그러나 다이아프램을 만들기 위해서는 等方性腐蝕보다 異方性腐蝕을 하는 것이 좋다. 이腐蝕으로腐蝕部分의 뚜렷한 境界와 均一한 다이아프램을 만들기가 쉽기 때문이다. 이 異方性腐蝕을 利用하더라도 다이아프램의 두께를 制御하는 方法 없이는 精確한 두께의 다이아프램을 얻기가 어렵다.

다이아프램의 두께를 制御하는 일반적인 方法은腐蝕率을 구해서腐蝕時間을 조절하는 것이다.腐蝕率은 많은 웨이퍼를 使用해서腐蝕時間과 부식깊이 및 다이아프램의 두께를 測定함으로써 구할 수 있다. 다이아프램 두께의 測定은 다이아프램을 잘라서 눈금이 있는 顯微鏡으로 測定하거나, 다이아프램에 빛을 비추어서 투과하는 빛의 색깔을 觀察함으로써 行할 수 있다. 이 方法으로는 투과하는 빛이 光源의 세기에 크게 좌우되어 精確한 두께의 測定이 어렵다. 또 다이아프램을 잘라서 測定하는 方法은 現實的이지 못하다. 따라서 다이아프램의 두께를 測定하지 않고도 원하는 精確한 두께를 얻을 수 있는 方法이 必要하다.

다이아프램의 두께를 制御할 수 있는 方法中의 하나는 硼素의 濃도가 높으면腐蝕率이 작은腐蝕液을 利用하는 것이다. 이 方法에서는 다이아프램의 位置에 埋設層으로 利用할 硼素를 擴散시키고 이 위에 다이아프램의 두께 만큼 n 형을 에피택셜 성장시킨다. 만일 다이아프램의 두께가 $5 \mu m$ 이하이면 에피택셜層은 必要없다. 왜냐하면 이 두께에서는 硼素의 濃도를 $5 \times 10^{19} cm^{-3}$ 이상으로 維持시킬 수 있기 때문이다. 다이아

프램을 만들기 위해腐蝕이 웨이퍼의 뒷면에서 앞으로 進行되다가 높은 濃度の 硼素埋設層에 이르면 거의 中斷된다. 그러나 實際로는 높은 溫度의 熱處理過程에서 硼素의 outdiffusion에 의해 埋設層의 濃도가 낮아진다. 또 에피택셜層이 아닌 高濃度の 硼素의 擴散層을 利用할 경우에는 이 위에 素子를 形成시키는 方法이 어렵다.

精確한 두께의 실리콘 다이아프램을 만들기 위하여 電氣化學的인 方法^{125,26)}을 利用할 수 있다. 이 中에는 $p-n$ 接合을 利用하여腐蝕시키지 않을 쪽(p 혹은 n)에 (+)電壓을 加해서 이 쪽의腐蝕을 막고 다른 쪽은腐蝕시키는 方法¹²⁷⁾이 있다. 이 方法에서 使用하는 부식장치를 그림13에 나타내었다. 다이아프램의 두께가 $30 \mu m$ 以內이면 이 方法을 써서 比較的 精確한 두께의 다이아프램을 만들 수 있다. 여기서는 다이아프램의 두께를 에피택셜 成長法으로 調節할 수 있다.

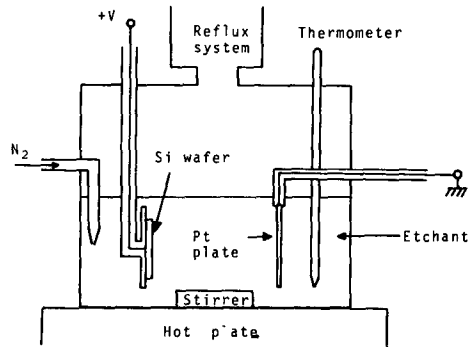


그림13. 실리콘腐蝕裝置

2) 靜電氣의附着

실리콘 칩을 支持板에 附着하는 工程은 센서 製造에서 重要的 工程中의 하나이다. 초기에는 칩을 附着할 때 수지를 使用하였다. 그러나 이것은 溫度의 影響과 經時變化等에서 좋지 않은 特性을 나타냈다. 또 수지두께로 인해서 容量形에서는 使用이 더욱 곤란하다. 이외 금과 주석을 90대10으로 公용합금을 해서 이것을 이용하는 부착법 및 실리콘과 유리에 電壓을 加해서 이들을 附着하는 靜電氣의 附着法이 있다. 公용합금을 이용하는 方法에서는 수지를 利用할 때와 비슷한 단점이 발견되었다.

靜電氣의 附着法으로 유리와 金屬이나 半導體를 붙일 수 있다. 이때 유리에 꽤 높은 온도의 熱을 加한다. 이것은 1969年 Pomerantz等¹²⁸⁾에 의해서 開發되

있으며, 부착시 매개체가 전연 必要치 않는다. 유리에 대해서 金屬에 수백볼트의 (+)電壓을 수 분동안 加한다. 電壓을 加하자마자 부착반응이 시작되어 넓게 퍼져간다. 부착된 部分은 짙은 잿빛이 되나 附着되지 않은 部分은 줄무늬가 나타나 보인다. 그림14에 靜電氣의 附着法의 장치를 나타내었다. 실리콘의 열팽창계수와 비슷하며 나트륨이 포함되어 있는 borosilicate 유리인 No. 7740은 450°C, 800V에서 실리콘과 잘 附着되었다.

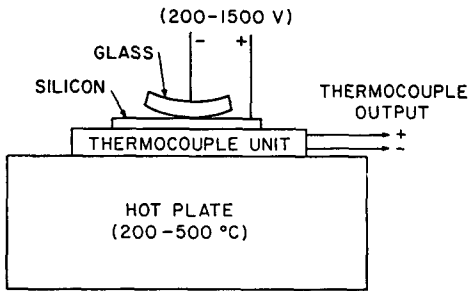


그림 14. 靜電氣의 附着裝置

大部分의 유리는 높은 溫度에서 電解物로 作用한다. 유리에서 움직일 수 있는 Na^+ 이온은 Na_2O 에서 분리된다. 보통 附着溫度 (400-600°C)에서 電壓 (500-1500V)에 의한 電場에 의해 음극쪽으로 Na^+ 이온이 표동할 때 유리는 좋은 導體가 된다. 이온이 음극쪽으로 표동하므로 양극쪽의 유리의 얇은 部分에는 이온의 결핍이 생긴다. 이 結果 加한 電壓의 대부분이 이 결핍부분과 부착재료의 경계면에 나타나게 되어 경계면에 10^7 V/cm이상의 강한 電場이 形成된다. 이때의 電荷分布와 電場을 그림15에 나타냈다.

Wallis와 Pomerantz는 부착기구를 두 材料사이의 강한 電場에 의한 것이라고 설명했으나 Borom²⁹⁾은 유리와 金屬(혹은 실리콘) 사이의 化學的 結合에 의한 것이라 주장했다.

IV. 壓力센서의 應用 및 技術動向

1. 應用分野

壓力센서의 應用分野는 工業計測, 自動車, 醫療의 3分野로 크게 나누어 진다. 이외에도 航空機나 般船, 産業機械 및 家電用等 用除는 넓다. 특히 自動車 및 家電用等은 大量使用을 前提하기 때문에 價格이 저렴해야 하는 것이 絕對條件이다. 또 壓力의 원격감시를

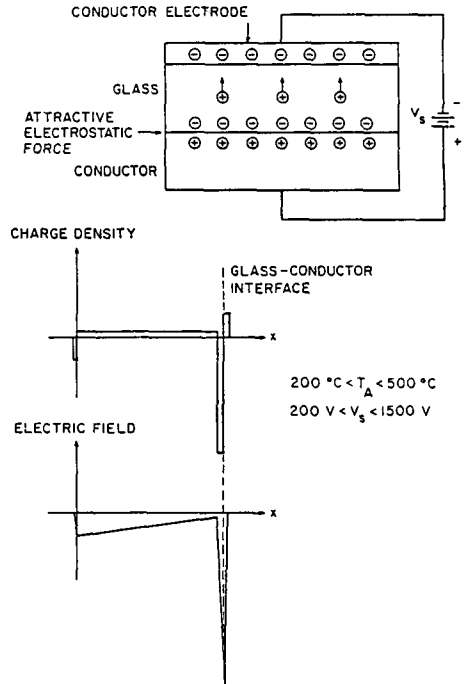


그림 15. 靜電氣의 附着法에서의 電荷와 電場分布

포함한 工業計測分野는 精度 및 信賴性을 要求하고 人体에 使用되는 의료용은 초소형을 요구한다.

2. 技術動向

半導體 壓力센서는 本質的인 欠點을 2가지 가지고 있다. 첫째 湿度 및 汚染에 弱하고 둘째 溫度依存性이 크다. 이들은 壓力센서의 用除를 크게 制限한다. 따라서 이 欠點을 해결하고 特性을 改善하는 方向으로 研究가 行해지고 있다.

壓力센서에서는 材料自體의 特性이나 異種材料의 接合部分等에서의 組立構造가 직접 出力特性이나 安定性 등에 影響을 미친다. 따라서 殘留歪가 적은 材料, 構造, 製造法 특히 熱歪가 생기지 않는 構造를 갖도록 하기 위해 실리콘 처리기술에서 組立까지의 全工程이 檢討되어야 한다. 아울러 汚染을 막기 위한 構造와 보호방법의 開發이 要求되어 우선 信賴性 向上을 도모하고 있다.

센서의 使用溫度 範圍가 넓고 高精度를 要求하는 경우는 溫度補償이 必要하다. 溫度補償은 個個의 素子特性에 맞게 되어야 하므로 價格을 높이는 原因이 된다. 이에 대해 非線形素子와 厚膜抵抗에 의한 혼성회로로 보상을 行하는 方法이 使用되고 있으며, 최근에는 센

서와 같은 基板에 보상회로를 넣는 方法이 研究되어, 같은 침상에 보상회로 및 增幅回路等の 周邊回路까지 集積化한 것도 있다. 앞으로 압력센서에 대한 研究方向은 고정도, 고신뢰성, 소형, 저가격화, 集積化 및 應用分野의 開發等이 될 것으로 예상된다.

參 考 文 獻

- [1] F.T. Geyling and J.J. Forst, "Semiconductor strain transducers," *B.S.T.J.*, pp. 705-731, May, 1960.
- [2] O.N. Tuftte, P.W. Chapman, and D. Long, "Silicon diffused - element piezoresistive diaphragms," *J. Appl. Phys.*, vol. 33, no. 11, pp. 3322-3327, Nov., 1962.
- [3] E. Podolak, J.B. Kinn, and E.E. Westura, "Biomedical applications of a commercial capacitance transducer," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-16, no. 1, pp. 40-44, Jan., 1969.
- [4] Samaun, K.D. Wise, and J.B. Angell, "An IC piezoresistive pressure sensor for biomedical instrumentation," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, Vol. BME-20, no. 2, pp. 101-109, March, 1973.
- [5] A.C.M. Gieles and G.H.J. Somers, "Minature pressure transducers with a silicon diaphragm," *Philips Tech. Rev.*, vol. 33, no. 1, pp. 14-20, 1973
- [6] S.K. Clark and K.D. Wise, "Pressure sensitivity in anisotropically etched thin-diaphragm pressure sensors," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-26, no. 12, pp. 1887-1896, Dec., 1979.
- [7] W.H. Ko, J. Hyneczek, and S.F. Boettcher, "Development of a miniature pressure transducer for biomechanical applications," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-26, no. 12, pp. 1896-1905, Dec., 1979.
- [8] J.M. Borky and K.D. Wise, "Integrated signal conditioning for silicon pressure sensors," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-26, no. 12, pp. 1906-1910, Dec., 1979.
- [9] C.S. Sander, J.W. Knutti, and J.D. Meindl, "A monolithic capacitive pressure sensor with pulse-period output," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-27, no. 5, pp. 927-930, May, 1980.
- [10] Y.S. Lee and K.D. Wise, "A batch-fabricated silicon capacitive pressure transducer with low temperature sensitivity," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-29, no. 1, pp. 42-48, Jan., 1982.
- [11] W.H. Ko, M.H. Bao, and Y.D. Hong, "A high-sensitivity integrated-circuit capacitive pressure transducer," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-29, no. 1, pp. 48-56, Jan., 1982.
- [12] S.C. Kim and K.D. Wise, "Temperature sensitivity in silicon piezoresistive pressure transducers," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-30, no. 7, pp. 802-810, July, 1983.
- [13] H. Tanigawa, T. Ishihara, M. Hirata, and K. Suzuki, "MOS integrated silicon pressure sensor," *IEEE Trans. Electron. Devices*, vol. ED-32, no. 7, pp. 1191-1195, July, 1985.
- [14] C. Herring, "Transport properties of a many-valley semiconductor," *B.S.T.J.*, vol. 34, pp. 237-296, March, 1955.
- [15] C.S. Smith, "Piezoresistance effect in germanium and silicon," *Phys. Rev.*, vol. 94, pp. 42-49, Apr., 1954.
- [16] W.P. Mason and R.N. Thurston, "Use of piezoresistive materials in the measurement of displacement, force, and torque," *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 29, no. 10, pp. 1096-1101, Oct., 1957.
- [17] Y. Kanda, "A graphical representation of the piezoresistance coefficients in silicon," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-29, no. 1, pp. 64-70, Jan., 1982.
- [18] O.N. Tuftte and E.L. Stelzer, "Piezoresistive properties of silicon diffused layers," *J. Appl. Phys.*, vol. 34, pp. 313-318, Feb. 1963.
- [19] S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, *Theory of plates and shells*: New York: McGraw-Hill, 1959.
- [20] K.E. Petersen, "Silicon as a mechanical material," *IEEE Proc.*, vol. 70, no. 5, pp. 420-457, May, 1982.
- [21] R.M. Finne and D.L. Klein, "A water-amine complexing agent system for etching silicon," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 14, pp. 965-970, Sept., 1967.
- [22] D.B. Lee, "Anisotropic etching of silicon,"

- J. Appl. Phys.*, vol. 40, pp. 4569-4574, Oct., 1969.
- [23] K.E. Bean, "Anisotropic etching of silicon," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-25, no. 10, pp. 1185-1193, Oct., 1978.
- [24] E. Bassous, "Fabrication of novel three-dimensional microstructures by the anisotropic etching of (100) and (110) silicon," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-25, no. 10, pp. 1178-1185, Oct., 1978.
- [25] H.A. Waggner, "Electrochemically controlled thinning of silicon," *B.S.T.J.*, pp. 473-475, March, 1970.
- [26] R.L. Meek, "Anodic dissolution of N^+ silicon," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 118, pp. 437-442, March, 1971.
- [27] T.N. Jackson, M.A. Tischler, and K.D. Wise, "An electrochemical P-N junction etch-stop for the formation of silicon microstructures," *IEEE Electron Device Lett.* vol. ELD-2, pp. 44-45, Feb., 1981.
- [28] G. Wallis and D.I. Pomerantz, "Field assisted glass-metal sealing," *J. Appl. Phys.*, vol. 10, no. 10, pp. 3946-3949, Sep., 1969.
- [29] M.P. Borom, "Electron-microprobe study of field-assisted bonding of glass to metals," *J. Amer. Cer. Soc.*, vol. 56, no. 5, pp. 254-257, May, 1973.*

♣ 用 語 解 說 ♣

근접 센서 (Proximity Sensor)

대상 물체에 대해서 센서가 수 mm에서 수 10mm의 거리에 근접할 때, 대상면까지의 거리와 기울기, 대상면의 상태를 검출하는 센서

DO 센서

DO는 Dissolved Oxygen의 약자로서 수중에 용해되어 있는 산소 가스를 검출하는 센서

일차원 센서와 이차원 센서

여러 센서를 일렬로 배치한 것이 일차원 센서이며, Matrix형태로 배치한 것이 이차원 센서이다.

Smart Sensor

대상의 물리량을 측정하여 전기 신호로 변환하고, 그 데이터를 기억, 축적, 분석, 통계처리하여 필요한 데이터 형태로 변환하여 정보를 축출하는 센서이다.

♣ 안 내 ♣

- ◎ 本學會에서는 特別會員消息欄에 特別會員社의 動靜을 신고자 하오니 게재를 원하는 會員社는 매월 30일까지 학회 사무국으로 원고를 보내주시기 바랍니다.
- ◎ 本學會에서는 會員動靜欄에 會員의 移動事項(職場移動, 進級事項, 身上的變動 등)을 게재코져 하오니 해당회원 및 各 職場幹事는 매월 20일까지 학회사무국으로 꼭 알려주시기 바랍니다.