

1. 半導体圧力センサの動作原理

ピエゾ抵抗型半導体圧力センサの動作原理の一例を図1に示す。

ピエゾ抵抗型半導体圧力センサは、シリコン基板をエッチング等により薄くしたダイヤフラム（受圧部）上に拡散やイオン打ち込みで形成したゲージ抵抗（ピエゾ抵抗）のピエゾ抵抗効果を利用している。

ピエゾ抵抗効果は、応力によって起こる分極現象であるピエゾ効果とは異なり、抵抗に加わった応力によって電気導電率すなわち抵抗率が変化する現象である。

この現象は、加わった応力により結晶格子に歪が生じ、半導体中のキャリアの数や移動度が変化するため起こると説明されている。

図1のダイヤフラムが圧力を受けてたわむと各ゲージ抵抗にはダイヤフラムのたわみ量に応じた応力が発生する。この応力に比例してゲージ抵抗（ピエゾ抵抗）の抵抗率が変化する。

例えば、図1に示すようにn型シリコン基板の結晶面方位を{110}とし、ゲージ抵抗（ピエゾ抵抗）の長手方向の配置を<110>とした場合の抵抗値の変化率を式(1)に示す。

$$\frac{\Delta R_i}{R_i} \cong \frac{1}{2} \pi_{44} \sigma_r \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

π_{44} : ピエゾ抵抗係数

このゲージ抵抗（ピエゾ抵抗）でホイートストンブリッジを構成し、電流や電圧を印加すると、圧力に比例した出力電位差が得られる。例えば、定電流駆動した時（図2）の出力電位差は、式(2)で表される。

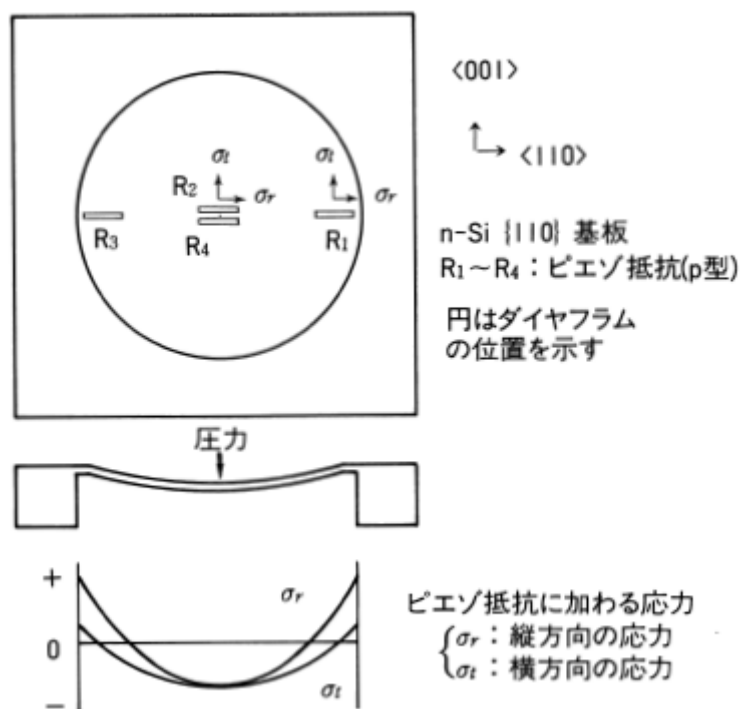


図1. 半導体圧力センサの動作原理



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
 E-mail : sensor@fujikura.co.jp

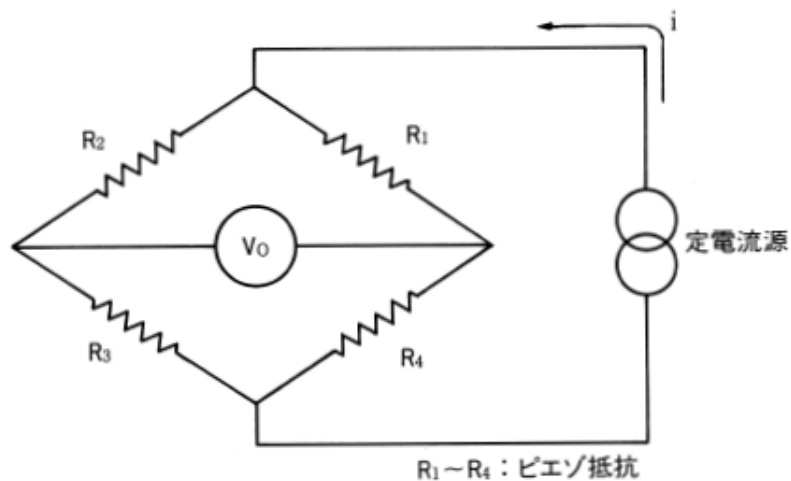


図2. 定電流駆動方式

$$V_o = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \cdot i \quad \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

V_o : 出力電圧



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
E-mail : sensor@fujikura.co.jp

2. 圧力の種類

図3、表1に示すように計測する圧力には基準圧力（リファレンス）の取り方により、絶対圧、ゲージ圧、差圧の3種類がある。

ピエゾ抵抗型半導体圧力センサでは、構造を工夫することで上記3種類の圧力を計測することが可能になる。

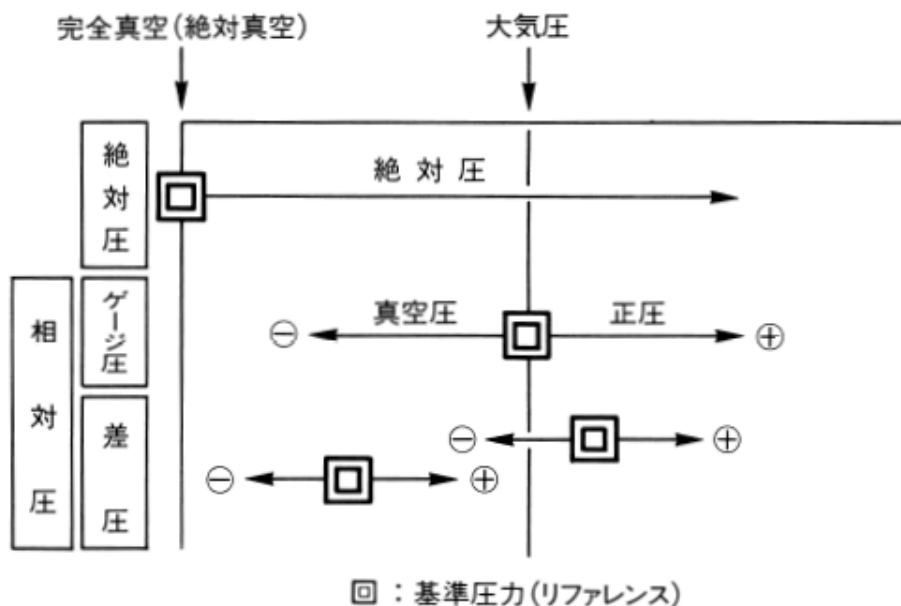


図3. 圧力の種類

圧力の種類	意味
絶対圧	完全真空（絶対真空）を基準とした圧力。
ゲージ圧	大気の圧力を基準とした圧力。正側は正圧、負側は真空圧と称する。
差圧	任意の圧力を基準とした圧力。

表1. 圧力の種類



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
 E-mail : sensor@fujikura.co.jp

3. 性能・特性

3-1. 使用条件および推奨動作条件（定格）

各性能を満足し、品質を維持するために守らなければならない条件を意味する。電氣的性能は、この条件で動作させた時の性能で規定している。

（1）定格圧力

連続的に性能が維持できる最大の圧力を意味する。

（2）圧力の種類

基準圧力の取り方が異なる3つの圧力の種類（絶対圧形・ゲージ圧形・差圧形）に分類される。大気圧は絶対圧形の圧力センサでないと計測できない。

（3）適用媒体

圧力管から連続的に導入しても性能を維持できる圧力媒体を意味する。

（4）駆動電流、駆動電圧

圧力センサを動作させるための直流定電流値ないしは直流定電圧値を意味する。電氣的性能を規定する際、圧力センサを駆動する電流値ないしは電圧値である。

piezo抵抗型半導体圧力センサでは、定電流駆動をする場合と定電圧駆動する場合とで特性（特に温度特性）が変わる場合があるので、指定された駆動方法を採用するように注意する必要がある。

（5）補償温度

電氣的性能の温度特性が維持される温度範囲を意味する。



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
E-mail : sensor@fujikura.co.jp

3-2. 絶対最大定格

一瞬たりとも超過してはならない限界値を意味する。

(1) 最大負荷圧力

性能に非可逆的な変化をきたさないで印加できる最大の圧力を意味する。

(2) 最大駆動電流、最大駆動電圧

性能に非可逆的な変化をきたさないで印加できる最大の駆動電流ないしは駆動電圧を意味する。

(3) 使用温度

圧力センサを動作させて連続的に性能を維持して使用できる最大の温度範囲を意味する。

(4) 保存温度

圧力センサを動作させずに保存する際、許容される最大の温度範囲を意味する。

3-3. 電氣的性能

使用条件及び推奨動作条件の全項目を満足して圧力センサを動作させた時の電氣的な性能を意味するものである。雰囲気温度は、特に指定がない限り 25°Cでの状態で規定している。

(1) オフセット電圧

圧力を全く印加しない（圧力センサチップのダイヤフラムが全くたわんでいない状態）時の出力電圧を意味する。ホイートストンブリッジの不均衡度を表す。

なお、絶対圧型の圧力センサの場合、完全真空（絶対真空）近傍での出力電圧で代用したり、その値に基づき完全真空での出力電圧を計算により求める場合がある。

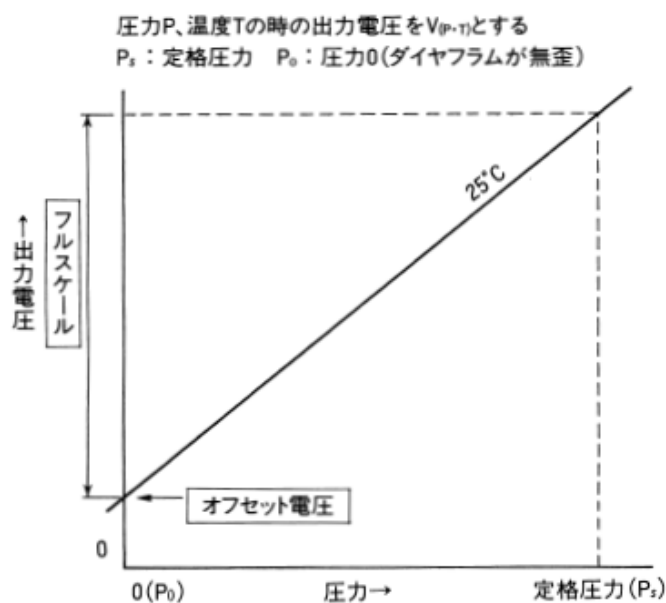


図4. 出力特性



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
 E-mail : sensor@fujikura.co.jp

(2) 定格出力電圧

圧力センサに定格圧力を印加した時の出力電圧値を意味する。

(3) フルスケール（出力スパン電圧）

定格圧力電圧からオフセット電圧を引いた値を意味する。

$$\text{フルスケール FS}(25^\circ\text{C}) = V(P_s, 25^\circ\text{C}) - V(P_0, 25^\circ\text{C}) \quad \dots\dots\dots \text{式 (3)}$$

圧力 P、温度 T のときの出力電圧を V(P, T) とする

Ps : 定格圧力、P0 : 圧力ゼロ (ダイアフラムが無歪)

(4) 感度

フルスケールを定格圧力で割った値。単位圧力変化当たりの出力電圧の変化を意味する。

(5) ブリッジ抵抗

ピエゾ抵抗の抵抗値を意味する。

(6) オフセット電圧温度特性

補償温度で最大どのくらいオフセット電圧が変化するかをあらわしている。雰囲気温度が 25°C の時のオフセット電圧を基準にして、%FS 表示する場合が多い。すなわち、補償温度上限の時のオフセット電圧から 25°C の時のオフセット電圧を引いた値と、補償温度下限の時のオフセット電圧から 25°C の時のオフセット電圧を引いた値とを比べ、絶対値の大きい方の値を 25°C の時のフルスケールで正規化した値で評価する場合が多い。

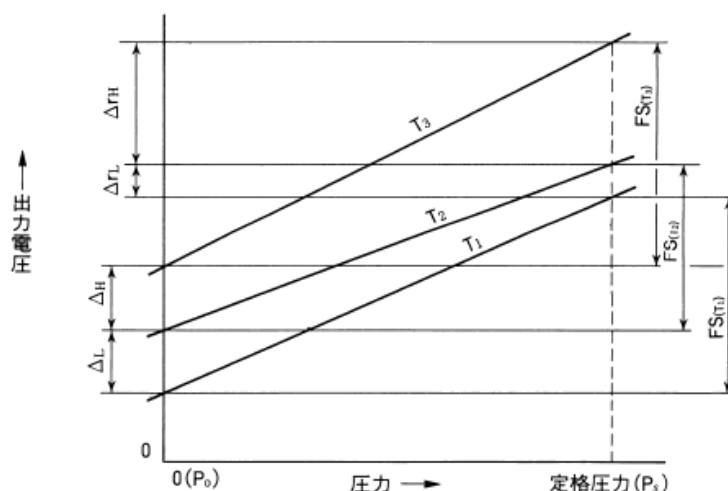


図 5. 温度特性

$$\text{オフセット電圧温度特性} = \frac{\Delta H \text{ と } \Delta L \text{ のうち絶対値の大きい方}}{\text{FS}} \times 100 (\% \text{FS} / (T_3 - T_1)) \quad \dots\dots\dots \text{式 (4)}$$

$$\Delta H = V(P_0, T_3) - V(P_0, T_2)、\Delta L = V(P_0, T_1) - V(P_0, T_2)、\text{FS} = \text{FS}(T_2)、T_2 = 25^\circ\text{C}$$



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
 E-mail : sensor@fujikura.co.jp

(7) 定格出力電圧温度特性

補償温度で最大どのくらい定格出力電圧が変化するのかわらわしている。雰囲気温度が 25℃の時の定格出力電圧を基準にして、%FS 表示するが多い。すなわち、補償温度上限の時の定格出力電圧から 25℃の時の定格出力電圧を引いた値と、補償温度下限の時の定格出力電圧から 25℃の時の定格出力電圧を引いた値とを比べ、絶対値の大きい方の値を 25℃の時のフルスケールで正規化した値で評価するが多い。

定格出力電圧温度特性

$$\Delta V_r = \frac{\Delta r_H \text{ と } \Delta r_L \text{ のうち絶対値の大きい方}}{FS} \times 100 \text{ (\%FS)} \dots\dots\dots \text{式 (5)}$$

$$\Delta r_H = V(P_s, T_3) - V(P_s, T_2)、\Delta r_L = V(P_s, T_1) - V(P_s, T_2)、FS = FS(T_2)、T_2 = 25^\circ\text{C}$$

(8) フルスケール温度特性

補償温度で最大どのくらいフルスケールが変化するのかわらわしている。雰囲気温度が 25℃の時のフルスケールを基準にして、%FS 表示するが多い。すなわち、補償温度上限の時のフルスケールから 25℃の時のフルスケールを引いた値と、補償温度下限の時のフルスケールから 25℃の時のフルスケールを引いた値とを比べ、絶対値の大きい方の値を 25℃の時のフルスケールで正規化した値で評価するが多い。

フルスケール温度特性 $\Delta FS = \frac{\Delta FS_1}{FS} \times 100 \text{ (\%FS)}$
 及び $\Delta FS = \frac{\Delta FS_2}{FS} \times 100 \text{ (\%FS)} \dots\dots\dots \text{式 (6)}$

$$\Delta FS_1 = FS(T_1) - FS、\Delta FS_2 = FS(T_3) - FS、FS = FS(T_2)、T_2 = 25^\circ\text{C}$$

(9) 感度温度特性

補償温度で最大どのくらい感度が変化するのかわらわしている。雰囲気温度が 25℃の時の感度を基準にして、%FS 表示するが多い。すなわち、補償温度上限の時の感度から 25℃の時の感度を引いた値と、補償温度下限の時の感度から 25℃の時の感度を引いた値とを比べ、絶対値の大きい方の値を 25℃の時の感度で正規化した値で評価するが多い。



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
 E-mail : sensor@fujikura.co.jp

感度温度特性 $\Delta S = \frac{\Delta S1}{S} \times 100$ (%FS)

及び $\Delta S = \frac{\Delta S2}{S} \times 100$ (%FS)式(7)

$\Delta S1 = S(T1) - S$ 、 $\Delta S2 = S(T3) - S$ 、 $S = S(T2) = FS / P_s$ 、 $T2 = 25^\circ\text{C}$

(10) 直線性

圧力対出力電圧特性グラフ上において、オフセット電圧と定格出力電圧とを結ぶ直線から実際の出力電圧が最大どのくらいずれるかを意味する。圧力0と定格圧力の中間の圧力印加時の出力電圧で計算し、差を25°Cの時のフルスケールで正規化した値で評価する場合が多い。(図6参照)

直線性 = $\frac{\Delta NL}{FS} \times 100$ (%FS)式(8)

$\Delta NL = V(\frac{P_s}{2}, 25^\circ\text{C}) - (\frac{V(P_s, 25^\circ\text{C}) + V(P_0, 25^\circ\text{C})}{2})$

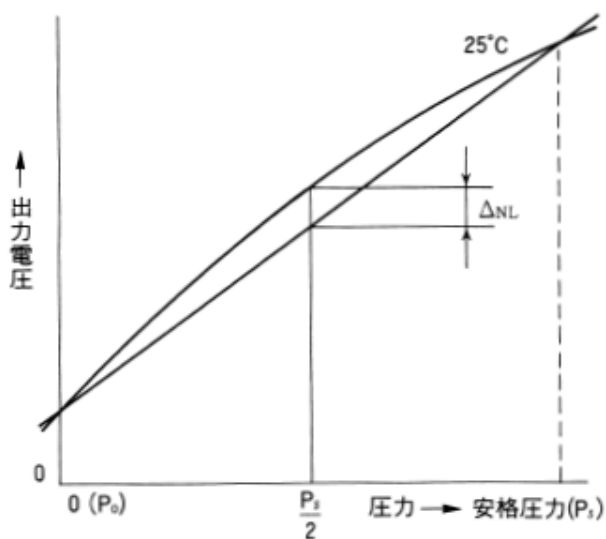


図6. 直線性

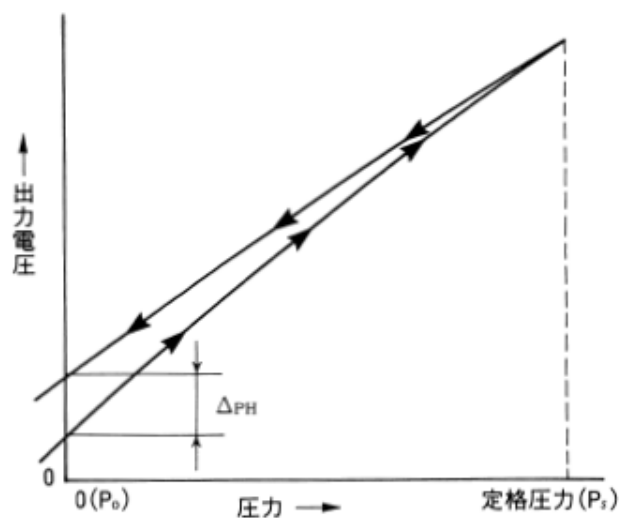


図7. 圧力ヒステリシス



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
 E-mail : sensor@fujikura.co.jp

(11) 圧力ヒステリシス

印加される圧力による歪で出力電圧に生ずるヒステリシスを意味する。オフセット電圧を定格圧力を印加する前後で測定し、その差を 25℃の時のフルスケールで正規化した値で評価する場合が多い。(図7参照)

$$\text{圧力ヒステリシス} = \frac{\Delta PH}{FS} \times 100 (\%FS) \quad \dots\dots\dots\text{式 (9)}$$

$$\Delta PH = V'(P_0, 25^\circ\text{C}) - V(P_0, 25^\circ\text{C})$$

V' : Ps を印加し、P0 に戻した時の出力電圧

(12) 熱ヒステリシス

さらされる雰囲気温度による歪で出力電圧に生ずるヒステリシスを意味する。オフセット電圧を温度サイクルにさらす前後で測定し、その差を 25℃の時のフルスケールで正規化した値で評価する場合が多い。

3-4. 応答速度

圧力管から印加される圧力に対する応答性を意味する。

定格圧力の圧力パルスを印加した際、定格出力電圧が最大振幅の 10% から 90% に増加または減少に要する時間で評価する場合が多い。

雰囲気温度は、特に指定がない限り 25℃での状態で規定している。

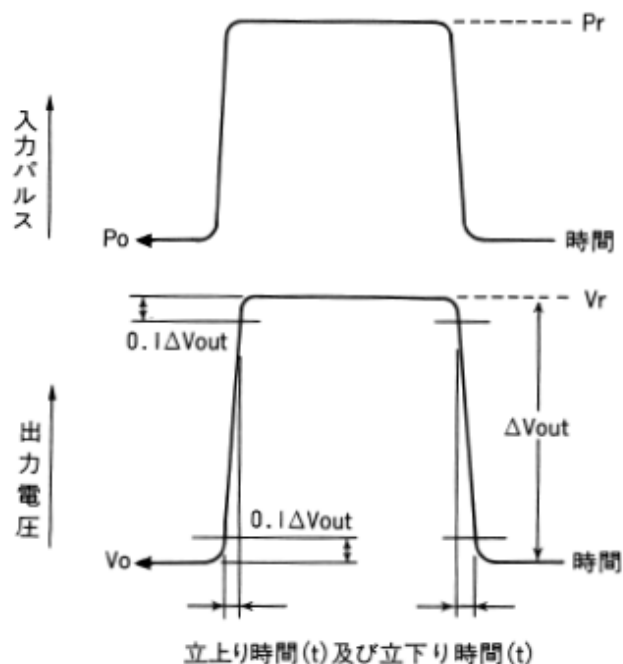


図 8. 応答速度



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
 E-mail : sensor@fujikura.co.jp

4. 圧力媒体

piezo抵抗型半導体圧力センサが適用できる圧力媒体は、原則として空気および非腐食性のガスである。

また、ダイバースウォッチ（水深計）や給湯器（水位検知）等の限定された使用条件下での水圧計測に、シリコンゲル面を受圧面したタイプも製品化されている。

5. 使い方

5-1. 取り付け・圧力導入

図9は、プラスチックモールド形のpiezo抵抗型半導体圧力センサ素子単体の取り付け・圧力導入例である。特に定格圧力が200kPaを超える場合には、Oリングシールをして固定することが望ましい。

プラスチックモールド形のpiezo抵抗型半導体圧力センサ素子単体の取り付けの場合、パッケージがプラスチックであることから、パッケージの外部、特に圧力管から加わった力がストレスとしてセンサチップに伝達され易く、取り付け前後で若干の出力変動がある。

このため、周辺回路等の調整は、圧力センサ取り付け後に実施する方がよい。

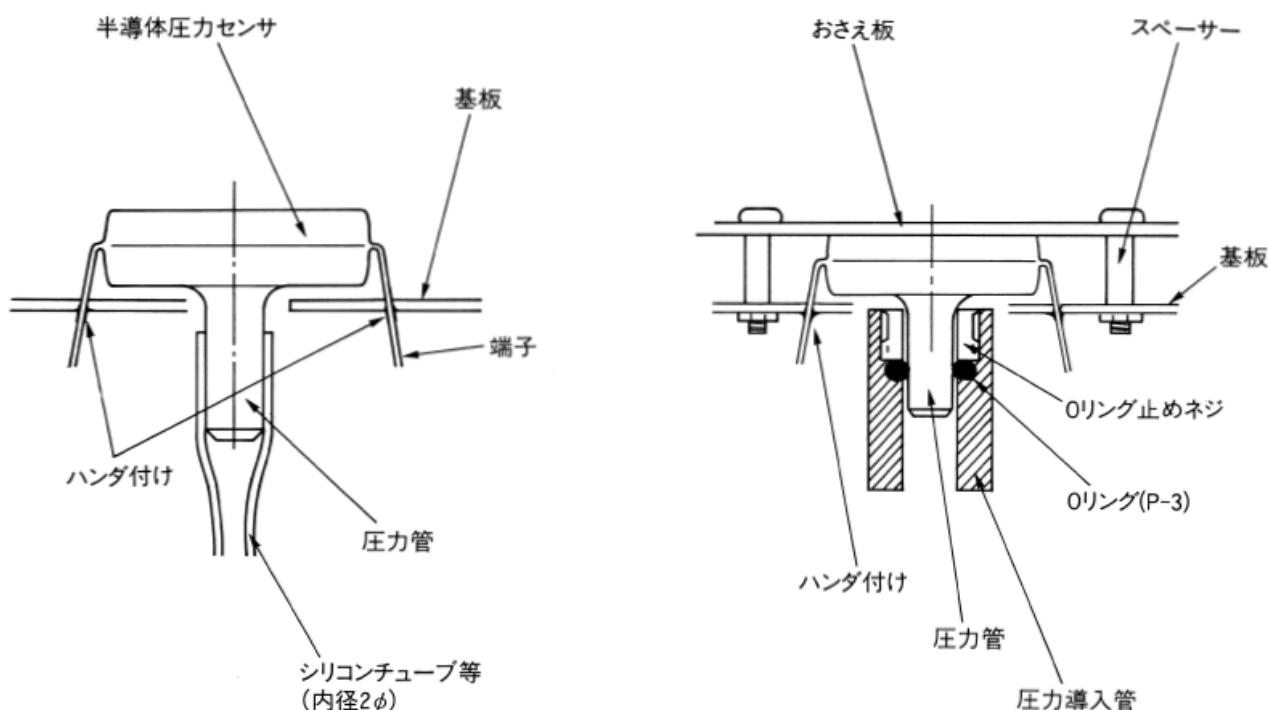


図9. プラスチックモールド形の半導体圧力センサ 素子単体の取付け例



株式会社フジクラ 電子材料事業部 センサ部
 〒135-8512 東京都江東区木場 1-5-1
 電話 03-5606-1072 Fax 03-5606-2418
 E-mail : sensor@fujikura.co.jp

5-2. 周辺回路とその調整方法

piezo抵抗型半導体圧力センサ素子単体を使うためには周辺回路が必要となる。周辺回路の構成はおもに駆動回路と増幅回路で、その増幅回路にオフセット調整機能、感度調整機能そして場合によって温度補償機能を織り込む。

piezo抵抗型半導体圧力センサ素子単体の出力インピーダンスは、数 $k\Omega$ である製品がほとんどで、増幅回路の入力インピーダンスによって温度特性が変わる場合がある。このため、高入力インピーダンスの増幅回路を用いるのが望ましい。

周辺回路の調整には、水銀柱やマンオメーター等の圧力標準を必ず用意する必要がある。

5-3. その他の取扱い

piezo抵抗型半導体圧力センサの取扱いで特に留意しなければならない点は、他のデバイスと異なり、構造上シリコンチップが圧力媒体ないしは大気にさらされていることである。

このためpiezo抵抗型半導体圧力センサ素子単体を電子部品として取り扱う際、はんだ実装後の洗浄等避ける必要がある。

さらに圧力管から針金等の異物を挿入したり、ダイヤフラムや受圧面に直接触れると破壊するため取扱いには十分注意する必要がある。