

半導体圧力センサを使った加速度計の試作

村田憲治 (加納高)

①秋月電子の気圧センサモジュールボード

あの秋月電子通商から、半導体圧力センサ、OPアンプ、4ビットCPU等が基板上に実装された「気圧センサモジュールボード」というものがたったの¥700で販売されています。(名古屋では第二アメ横ビルのタケイムセンで売ってます)

圧力センサだけを単体で買うと¥1500もするので、いかに買い得かがわかるとおもいます。

これは、+5Vを印加すれば即DC出力が得られる便利なもので、これを使って加速度計を試作してみました。

②ストレン・ゲージとピエゾ抵抗効果

この基板についているセンサは、ストレンゲージ圧力センサというものです。

ストレンゲージとは、素子(金属あるいは半導体)のひずみによる抵抗変化を利用する素子で、最近の精密なはかりにも使用されているようです。

ストレン・ゲージの抵抗変化率は次式のように表され、Kはゲージ固有のひずみ感度でゲージ率と呼ばれています。

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

普通の金属のゲージ率はおよそ2ですが、それは次のように導けます。

金属抵抗体の電気抵抗Rは、抵抗体の長さ l 、断面積S、抵抗率 ρ を使って、

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

と表せますが、いま抵抗体を少し引き延ばして、 $l \rightarrow l + \Delta l$ 、 $S \rightarrow S - \Delta S$ となったとすると体積は

$$(l + \Delta l)(S - \Delta S) \doteq S l - l \Delta S + S \Delta l$$

となり、これは $S l$ に等しいはずだから、断面積変化 ΔS は、

$$\Delta S = S \cdot \frac{\Delta l}{l} \dots \textcircled{1}$$

となります。抵抗率は不変であるとし、抵抗の変化を ΔR とすると、引き延ばされた抵抗体の電気抵抗は、

$$R + \Delta R = \rho \frac{l + \Delta l}{S - \Delta S}$$

ですが、 ΔS に①式の結果を代入して、

$$R + \Delta R = \rho \frac{l + \Delta l}{S - S \frac{\Delta l}{l}}$$

$$= \rho \frac{l(l + \Delta l)}{S(l - \Delta l)}$$

$$= R \frac{l + \Delta l}{l - \Delta l}$$

$$\Delta R = \frac{2R\Delta l}{l - \Delta l} = \frac{2R\Delta l}{l} \frac{l}{1 - \frac{\Delta l}{l}}$$

$$\therefore \frac{\Delta R}{R} \doteq 2 \frac{\Delta l}{l}$$

したがって、ゲージ率Kは、およそ2であることがわかります。

ところが、半導体ゲージの場合は抵抗変化は主として抵抗率 ρ が変化することによって生じ、ゲージ率は100~200と大きな値になっています。この現象は「ピエゾ抵抗効果」と呼ばれているようです。

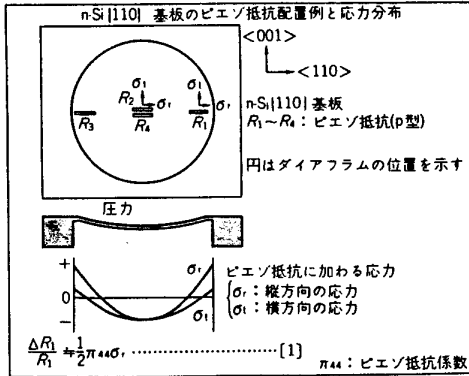
ピエゾ抵抗効果は、半導体の材質、伝導型、キャリア濃度や結晶軸に対する方向などによって大きさが決まるらしいのですが、どういことが起こってるのか僕には分かりません。誰か教えてください。

③半導体圧力センサ

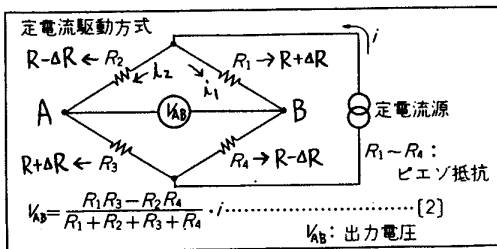
この基板についている圧力センサは、次頁上図のように感圧部上にピエゾ抵抗(p型半

導体) $R_1 \sim R_4$ が形成されていて、圧力が加わると感圧部がたわみ、ピエゾ抵抗には応力が加わります。

感圧部上の応力分布は、下図のようになっており、正(引っ張り方向)と負(圧縮方向)が周辺部と中心部の中間付近で逆転しています。



この $R_1 \sim R_4$ でホイートストンブリッジを構成し、定電流を流せば、圧力に比例した電圧出力が得られます。



上図の A B 間の電位差 V_{AB} を求めることは直流回路の初等的な問題ですが、念のためにやってみると、次のようになります。

R_1, R_2, R_3, R_4 の抵抗はすべて R [Ω] で、感圧部のたわみのため、 R_1, R_3 は、 $R + \Delta R$ [Ω]、 R_2, R_4 は $R - \Delta R$ [Ω] になったとし、 R_1, R_4 を流れる電流を i_1 、 R_2, R_3 を流れる電流を i_2 、回路全体を流

れる電流を i とすると、
 i_1, i_2 ともに $0.5i$ ですから、

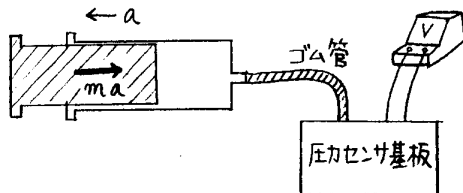
$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_A - V_B \\ &= R_3 i_2 - R_4 i_1 \\ &= (R + \Delta R) \cdot 0.5i - (R - \Delta R) \cdot 0.5i \\ &= \Delta R \cdot i \end{aligned}$$

となり、 ΔR は圧力に比例するので、出力電圧 V_{AB} も圧力に比例します。

④ 加速度計を作る

この基板を使って簡単に大気圧計をつくることもできますが、ここではひとひねりして加速度計をつくってみました。

100ml のガラス製注射器の中に半分ほど空気を入れ、図のようにゴム管で圧力センサ基板につなぎます。



注射器を水平方向に加速すれば、ピストンが受ける慣性力のため、加速度に比例した圧力がセンサに加わることになり、加速度が実測できるはずですよ。

1気圧で1.5V くらいの出力があるので、フルスケール 3V の電圧計をつないでやるといいでしょう。

オフセットのボリウムがあるので、メーターの針がちょうど 1.5V を指すように調整してやります。

これで、正・負の加速度が測定できます。注射器を垂直に立てたときに、メーターが指す値を $9.8m/s^2$ として、目盛りをとれば完成です。

ピストンの質量が小さいので、頭を切りとって鉛散弾の中に詰め込み、ゴム栓でふたをしてアラライトで固めてやると、ずつしりと重くなりましたが、それでも $1m/s^2$ あたり 0.05V くらいの出力スケールですから、OPアンプをもう一段くらいつけて増幅してやったほうが実用的かもしれません。 ㊟