

学生実験のための圧力計の製作と考察

解良春恵、滝澤勉、小田嶋豊

東京大学 大学院総合文化研究科・教養学部 共通技術室

1、はじめに

東京大学教養学部では、理系の1,2年生の必修科目に基礎実験があり、物理、化学、生物、身体運動の4種目に分かれている。

ここ数年、基礎実験物理では新種目の開発、実験装置の更新など見直しが行われている。その種目の一つに「干渉計による空気の屈折率の測定」というのがあり、真空システムを用いて、真空領域から大気圧までの領域で少しずつシステム内の圧力を変化させ、圧力と干渉縞の関係を測定し、空気の屈折率の精密測定をしている。現在この実験で使用している圧力計は頻繁に温度補正を行う必要があり、また購入してから10年以上経過しているため老朽化もしている。今回はこれら点を考慮し、圧力計を設計・製作したので報告する。

2、製作した圧力計の概要

2 - 1、半導体圧力センサーの選択

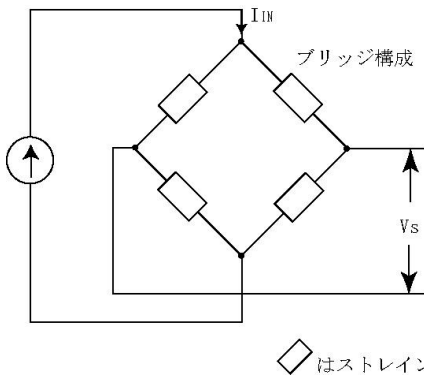


図1 半導体圧力センサー

圧力センサーは素子のひずみによって抵抗が変化する素子（ストレイン・ゲージ）を用いている。ストレイン・ゲージのひずみによる抵抗変化は(1)式で表される。

$$\frac{R}{R_0} = K \left[\epsilon + \frac{1}{2} \nu \frac{\Delta R}{R_0} \right] \dots (1)$$

ここで、 R はストレイン・ゲージの抵抗、 R_0 はひずみによる抵抗変化量、 K はゲージ率、 ϵ はひずみ、 ν はポアソン比、 $\frac{\Delta R}{R_0}$ はストレイン・ゲージの抵抗率、 $\frac{\Delta R}{R_0}$ はひずみによる抵抗率の変化である。(1)式の第1項は素子の寸法変化によって生じる分、第2

項は寸法の変化によって抵抗率が変化することによって生じる分である。半導体のストレイン・ゲージはひずみが増加すると半導体のキャリアの移動度が変化し（ピエゾ抵抗効果）、 K の値が100以上と大きな数値になるため、圧力センサーとして利用しやすいものといえる。

半導体ストレイン・ゲージを図1のようにブリッジ回路に組み込んだものが「半導体圧力センサー」として市販されている。このようにブリッジ構成にすると圧力によってそれぞれの半導体ストレイン・ゲージにひずみが生じ、(1)式で示したようなピエゾ抵抗効果による抵抗変化が生じるため、圧力に比例したブリッジ電圧が得られる。実際はこの電圧を増幅し、圧力を測定する。

これまで学生実験で使用していた圧力計も半導体圧力センサーを用いたもので使用誤差は $\pm 2\text{mmHg}$ であった。半導体圧力センサーにはオフセット電圧、温度ドリフト、ヒステリシスがあり、半導体圧力センサーを用いる場合には特に温度特性（スパンやゼロ点）について改善することが重要となってくる。また圧力を測定する場合、その測定範囲に合ったもの、また表示の方法によってゲージ圧、差圧、絶対圧の3種類に分けている。学生実験では真空を 0mmHg として大気圧（ 760mmHg 前後）までの測定をしますので、絶対圧の圧力センサーを選択するのが適当であった。いくつかのメーカーから圧力センサーが販売されているが、今回は株式会社フジクラ製の圧力センサーFPM-15PARを使用した。仕様を表1に示す。

圧力の種類	絶対圧	
定格圧力	34.66~168 kPa・abs	
測定圧力範囲	0~168 kPa	
圧力媒体	非腐食性気体	
駆動電流	1.5 mA	
出力スパン電圧	80~160 mV	
オフセット電圧	50~130 (at 101.3kPa・abs) mV	
ブリッジ抵抗	4000~6000 Ω	
応答速度	2 msec	
精度	オフセット電圧温度特性	$\pm 3 \text{ } \mu\text{V}/0\sim 50^\circ\text{C}$
	感度温度特性	$2.5 \text{ } \mu\text{V}/0\sim 50^\circ\text{C}$
	直線性	$\pm 0.3 \text{ } \mu\text{V}$
	圧力ヒステリシス	$\pm 0.2 \text{ } \mu\text{V}$

表1 圧力センサーFPM-15PAの仕様

2 - 2、圧力計の設計

圧力センサーを用いて圧力計を設計するには駆動回路、増幅回路、温度補償回路が必要となってくる。圧力センサーFPM-15PARを用いた場合の回路図を図2に、回路基板の写真を図3に示す。

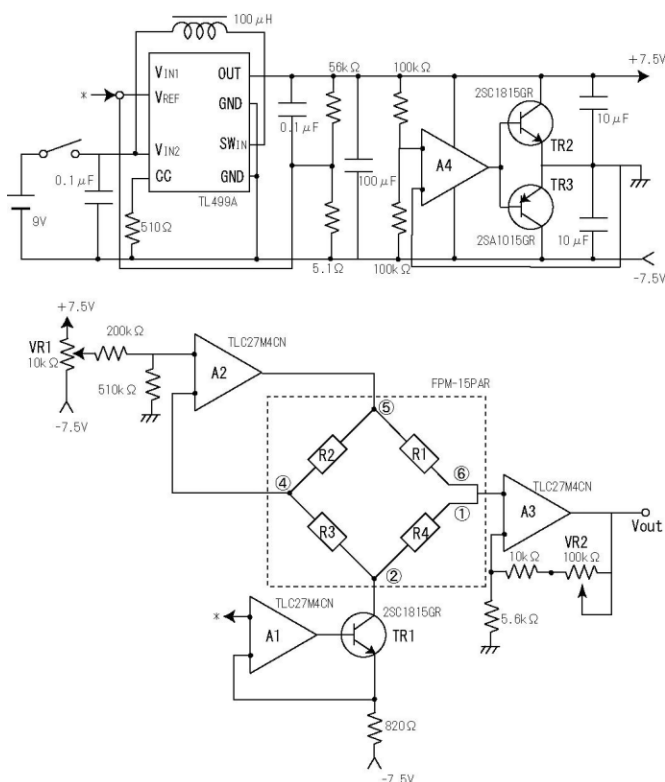


図2 製作した圧力計の回路図

駆動回路はFPM-15PARが1.5mAの定電流駆動であったためアンプA1とトランジスタTR1で定電流回路を構成した。増幅回路はオペアンプA2とA3で構成している。オペアンプA2でセンサーの2番端子を常にGNDにし1番端子からの出力電圧はGNDを基準とした電圧が出力される。温度補正回路は可変抵抗VR1とVR2である。VR1でオフセットを調整し、VR2でスパンを調整できるようになっている。電源回路は9Vのバッテリー（またはACアダプター）を15Vに昇圧して $\pm 7.5\text{V}$ を得ている。

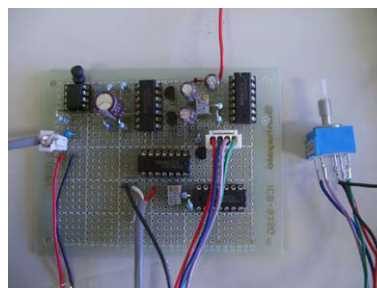


図3 圧力計 基盤の写真

3、まとめ

今回、圧力センサーの選択から、そのセンサーの仕様にあわせて周辺回路を設計し、製作した結果、今のところ当初の目的を果たしている。今後は製作した圧力計の精度をテストする必要があるが、それは現在進行中の課題であるので、今回は以上のことを報告する。