

## 微小な圧力変化に伴う温度の精密測定

佐々木 一雄

(平成元年12月5日受理)

## Precision Measurement of Temperature Accompanying Minute Pressure Change

Kazuo Sasaki

It was found that when a step-function like pressure change was generated in a evacuated vessel, a minute change in the temperature accompanied it. The temperature change was detected with a sensitive thermistor. For a pressure rise of about  $4 \times 10^2$  Pa, the temperature increased by  $0.5 \sim 0.6^\circ\text{C}$  with a time lag of about 1 s, and thereafter decreased to the original value within 100 s. A corresponding decrease of the temperature was detected when the pressure was reduced.

著者は先に圧電半導体の仕事関数を真空中でしかもラ  
ンニングバキュームの状態で測定していたが、その際、  
測定容器内に  $10^2$  Pa 程度の少量の空気を導入すると、半  
導体の表面電位が大きく変化し、その変化の方向は半導  
体の結晶学的極性に依存していることを見出した<sup>1)</sup>。表  
面電位の変化の原因として、著者は、熱的作用による焦  
電効果の可能性が最も高いものと予測し、真空槽(ベル  
ジャー)内のリークと排気に伴う温度の上昇や冷却に着  
目した。このような温度変化は、真空装置の運転の際に  
は、必然的に現れるはずのものであるが、従来、これに  
注目し定量的に測定したという報告はないようである。

本実験では、ベルジャー内におけるこのような圧力の  
微小な変化がどの程度の温度変化を伴うのか、そしてそ  
の変化の方向と時定数を測定しようとするものである。

装置全体の略図を Fig. 1 に示す。真空ベルジャー内で  
小さな正の圧力差を発生させる方法として、次の2つの  
手段を試みた。i) ガス溜から少量の空気を導入する。  
ii) あらかじめ、乾燥空気を1気圧(101.325 k Pa)に  
封じ込んであるガラスアンブルをベルジャー内で砕く。  
この内、i)の方法は、ガス溜からベルジャーまで繋いだ  
ガラス管による小さなコンダクタンスのために、ベルジ

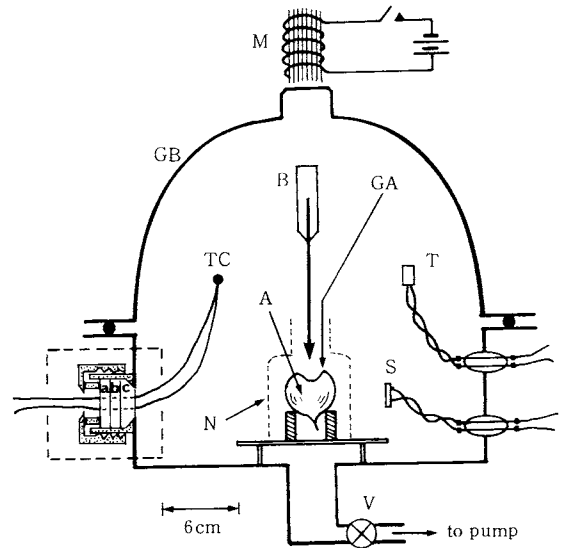


Fig. 1 A schematic diagram of the apparatus for generating a minute pressure change of the step form in a vacuum vessel. The part surrounded with dotted lines is a magnified drawing showing the method for attaching the thermocouple. GA, glass ampule; A, air; B, hammer; N, wire netting; M, electromagnet; T, thermistor; TC, thermocouple; S, pressure sensor; a, b, c, teflon disk; GB, glass bell jar; V, vacuum valve.

弘前大学理学部物理学科：弘前市文京町3 〒036  
Department of Physics, Faculty of Science Hirosaki  
University: 3, Bunkyo-cho, Hirosaki-shi, Aomori  
036, Japan.

ャー内が一定の圧力に達するまでには4~5秒の時間的な遅れが存在する。このため、圧力変化によって発生した熱が熱拡散によって散逸し、上昇温度の正確な見積りが困難になるものと予測し、本実験ではできるだけ階段状に近い圧力差を発生させる目的で、ii)の方法を専ら採用することにした。マイナスの圧力差を発生させる方法としては、ロータリーポンプをランニングの状態にした後、Fig.1のメインバルブVを開いて減圧する方法を採った。

Fig.2は排気したベルジャー内でガラスアンプルを割いたときの圧力変化の一例である。加圧開始直後の速い立ち上がりは $3 \times 10^{-2}$ s程度でi)に比べると十分に速くなっている。Fig.2の圧力変化の測定は、ひずみゲージ式の圧力センサー(共和電業製 高感度圧力センサー PSL-500 GA型)を用いて行った。

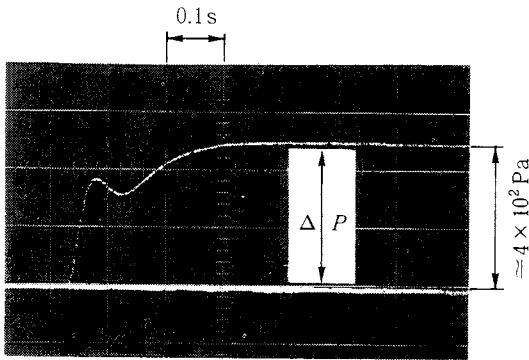


Fig.2 An example of pressure change that occurred in the bell jar when the pressurizing device of Fig.1 was operated.

次に、ベルジャー内の圧力変化に応じて現われる温度変化を測定するために、 $10^{-3}^{\circ}\text{C}$ の精度をもつ高感度温度計(宝工業製 1/1000温度リファランサ D632型)のサーミスタの部分、Fig.1に示すように、ハメチックシールを利用してベルジャー内に挿入した。

Fig.3は、Fig.2の測定のとおり同様に、暗中でベルジャー内を $10^{-1}$ Paまで排気してからバルブVを閉じ、電磁石を利用した遠隔操作でガラスアンプルを割って(Break)  $\Delta T$ の圧力差を発生させたとき、再びバルブを開いて(Re-evacuate)ベルジャー内に広がった空気をロータリーポンプで排気をはじめた後の温度変化( $\Delta T$ )である。この測定では、温度リファランサの $\Delta T$ 測定開始スイッチをオンしてから2秒後に加圧装置の遠隔操作を作動させた。加圧及び減圧直後の温度変化の符号は断熱圧縮・膨張の方向と一致している。加圧直後の温度

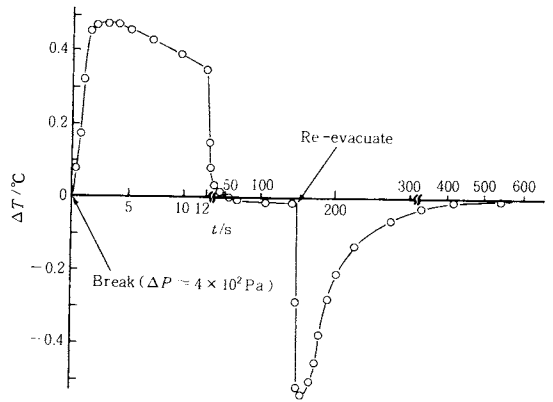


Fig.3 A typical temperature change near the surface of the thermistor recorded when the pressure was increased in the device shown in Fig.1 and then the rotary pump began evacuating the bell jar.

上昇の原因の一つとして、ガラスアンプルを割るのに使った“おもり”の位置エネルギーが熱に変わる効果も考えられる。しかし、Fig.1に示すように、導入したサーミスタはベルジャー内では物体に触れないように空間に浮かせた状態にしてあるので、熱伝導によってこの熱が直ちに(1~2秒で)サーミスタの感温部まで達することは考えにくい。したがって、Fig.3の結果はサーミスタを取りまく雰囲気圧力変化による温度変化と考えられる。しかしながらFig.3の $\Delta T$ を与える原因として、下記の1)、2)のような温度以外の要因も考えられるので、以下、このことについて考察してみる。1)センサーに供給されているパワーの放散定数の変化による。2)圧力変化によってサーミスタの抵抗値が変わる。まず、1)の場合についてであるが、圧力変化によって熱放散定数が変わり、サーミスタ自体の温度が変動したとすれば、Fig.3の変化とは逆に圧力が上がれば温度が下がるはずである。即ち、圧力上昇によって、それだけセンサーから熱を奪う気体分子の数が増えるのであるから、同じパワーを掛けておれば温度は下がる。次に2)であるが、その考え方の中には、① 圧力に応じてサーミスタの抵抗値が決まる、② 急激な圧力変化によってサーミスタに機械的ショックが加わり、一時的に抵抗値が変化する、の2つのケースが含まれる。この内、①については、Fig.3において、圧力変化前後の安定したところでの温度が同じ、即ち、抵抗値が同じということから除かれるし、②についても、温度の変化が数10秒にわたって安定して続いており、圧力ショックの考え方とは矛盾する。このように、1)、2)の可能性は殆どないものと考えられるが、なお、この点を実験的に確かめるために、ベンジャ

一内に熱電対を挿入し、電圧-温度変換を利用した温度の測定を試みた。熱電対には、直径0.3 mmφ、長さ1mの銅およびコンスタンタン線を用いた。熱電対の導入においては、ハーメチックシールは使えない。このため、導入には特別の工夫を凝らした。即ち、Fig.1の点線で囲んだ拡大図に示してあるように、直径0.2 mmφの2個の小孔を空けた3枚の薄いテフロン円板 a, b, c に、熱電対の夫々の線をねじ込むようにして通し、これを3枚重ねてポート内に納め、テフロン板を強く圧着する方法で、導入によるリークを防ぐことができた。

Fig.4はFig.3と同じ方法で約  $4 \times 10^2$  Paの圧力変化を与えたときと減圧したときの、熱電対によって検出された熱起電力 ( $\Delta V$ ) の変化である。熱起電力の変化の符号は、Fig.3のサーミスタの場合と一致した。Fig.3および4において、温度の最高値に対するまでの時間とその後の温度降下の速度は、若干、異なっているが、これは夫々のセンサーの時定数および熱伝導率の違いによるものと思われる。これに対して、バルブを開いて減圧した直後およびそれ以後の変化については、以下に記すような2つの理由から、それぞれのセンサーに対する定量的な比較はしなかった。再排気直後の温度と熱起電力のマイナスピーク値は、バルブが開く瞬間のスピード、換言すればバルブ操作の手加減によって、かなり影響された。また、ピーク値を過ぎた後の数100秒にわたる温度上昇の速度も、その間の実験室内の温度変動に、特に熱電対の場合に影響が出た。銅-コンスタンタン熱電対は、温度の精密測定に使われることはあまりない。しかし、いま  $0^\circ\text{C}$  と  $10^\circ\text{C}$  のときの熱起電力の値<sup>2)</sup>とこの間の温度に対応する熱起電力が直線的に変化するものとして、Fig.4のピーク値から上昇温度を見積ると  $0.59^\circ\text{C}$  となった。

Fig.3, 4の  $\Delta T$  及び  $\Delta V$  の測定は、同一のアンプレを割ったときの、所謂、同時測定によるものではない。故に、それぞれの測定で使ったガラスアンプレの僅かな

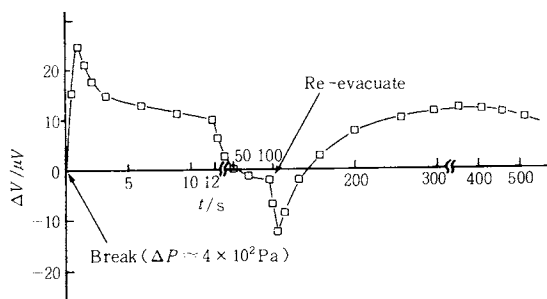


Fig.4 A typical change in the thermoelectromotive force detected with the thermocouple when a pressure change of about  $4 \times 10^2$  Pa was applied and then the pressure was reduced by the same method as in Fig.3.

容積あるいは割れ方の違いを斟酌すると、測定原理の異なる2種類のセンサを用いて得られたブレイク直後の上昇温度の値は、かなり良い一致を示したものと言えるであろう。

以上の結果から、真空容器内で微小な圧力差を与えたときに、高感度サーミスタで感知された変化は、サーミスタの熱放散定数の変動あるいは圧抵抗効果によるものではなく、その場の実際の温度を検出したものであることが確認された。

本実験を進めるにあたり、有益なコメントを頂いた佃室エンジニアリング 鈴木和俊氏には深く感謝の意を表します。

### 文献

- 1) K. Sasaki, *Jpn. J. Appl. Phys.* 13, 933 (1974).
- 2) 飯田修一 他編, “新版物理定数表”, 朝倉書店, 東京 (1978) p. 130.