ダイアフラム型真空計について

塚 越 修*・桐 谷 仁*

(昭和39年7月5日受理)

The Diaphragm Manometer

Osamu TSUKAKOSHI and Masashi KIRIYA

(Japan vacuum Engineering Co. Ltd. Yokohama, Japan)

1. まえがき

薄いダイアフラムの両面に加はる圧力に差がある場合、ダイアフラムは圧力差に応じてたわむてあらう。このたわみを何らかの方法によって検出して、気体の圧力差または全圧を測定しようとする試みは1940年頃から始まったと考えられる。初期にはダイアフラムの変位を光学系を用いて検出する試みもなされたが、やがて、ダイアフラムに近接して設けられた平行電極とダイアフラムとの間の電気容量の変化として検出する方法が有効であることが認められるようになった。まず、振動あるいは運動によって影響を受けない応答速度の早い小さな感圧素子を用い、曲りやすい測定ケーブルを用いて圧力を正確に記録できることから、生物学で水銀柱1mm～数百mmの液体の圧力を記録するのに適した測定器として研究され、また、気体の種類に関係なく全圧を示すことから、質量分析計の資料気体導入系で 10^{-8} Torr～1 Torrの資料ガスの圧の測定に用いられるようになり、さらに、この種の感圧素子は400～500°Cでヘークできるような構造にすることも可能であるので、超高真空系で純粋な気体の圧力を測定しようとするときなどに用いられるようになった。

ダイアフラムの変位を検出する方式としては、その後、ダイアフラムに近接しておかれた二つのコイル間の相互インダクタンスの変化、あるいはダイアフラムの変位によって位置の変るコイルと固定コイルとの間の相互インダクタンスの変化として検出する方式、および、ダイアフラムにこりつけた歪み計素子の電気抵抗の変化として検出する方式が試みられた。

これらのダイアフラム真空計の特徴としては、

- (1) 10^{-8} Torrから大気圧までの範囲で、気体の種類に関係なくその全圧あるいは圧力差を測定することができる。
- (2) 汚れによって感度の変化することがなく、耐久性をもつ構造にすることも可能である。
- (3) 気体の圧力を電気的信号としてとり出すので、遠隔測定、記録を行い、あるいは真空系の自動制御化に役立たせることも可能である。

ダイアフラムの変形を検出する方式としては、この他に磁歪効果を利用するもの等があり、また、ダイアフラムの変形を機械的に拡大して指針をふらせる型もあるが、ここでは、電気容量、相互インダクタンス、電気抵抗の変化として検出する型のみについて考えることにする。

2. ダイアフラムの圧力差による変形

まず、周を固定した円形のダイアフラムが圧力差によってどう変形するかを考察する必要がある。半径 a 、厚さ t のダイアフラムに、圧力差 p によって生じる変形を次のように分けて考えることができる。第1図に示すように板の厚みの $\frac{1}{2}$ のところを通る中心面 (mid-plane) MM' を考える。ダイアフラムの変形は MM' の伸びと、 MM' より上の部分が伸び下の部分が縮む変形とに分けて考えることができ、前者を便宜上「ダイアフラムの伸び変形」、後者を「ダイアフラムのねみみ」と称することにする。

ダイアフラムの中心が微量 δa だけ変位したとすると、ダイアフラムの伸びはおよそ

$$2(a\sqrt{1+\delta^2}-a) \approx \delta^2 a$$

となり、二次の微分小になる。ダイアフラムの変形がこ

* 日本真空技術株式会社 (横浜市西区井土ヶ谷1町)

第1図 周を固定したダイアフラム

第2図 ダイアフラムの変形—薄板近似

くわづかである場合には、ダイアフラムのたわみだけを考慮すればよく、ダイアフラムの厚さが半径にくらべて非常に小さく、かつ、変形が大きいときには、伸び変形のみを考慮すればよいことになる。弾性体論ではこの二つの場合が厳密に解かれていて、前者を薄板近似 (Thin plate Approximation)、後者を薄膜近似 (Membrane Approximation) という。

2.1 薄板近似

一様な物質でできた一様な厚さの板を考え、第2図に示すように、重を受けないときの中心面を xy 面とし、ダイアフラムの中心を通り xy 面に垂直に w 軸をとる。板がたわむばあい、板の中心面の各部分の変位を $w(x, y)$ とすると、板の各部分のポテンシャル・エネルギーは単位面積あたり

$$V = \frac{E t^3}{24(1-\sigma^2)} \left\{ \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^2 - \frac{2(1-\sigma)}{R_1 R_2} \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

である。ここに R_1, R_2 は曲面の主曲率半径であり、 E は板をつくる物質のヤング率、 σ そのポアソン比である。ここに

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} &= \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \\ \frac{1}{R_1 R_2} &= \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

第3図 ダイアフラムの変形—薄膜近似

一様な圧力 p を受けて中心面が $u(x, y)$ という形に変形して平衡したとすると、面素片 δS に作用する w 方向の力は $\left(p - \frac{\partial V}{\partial w} \right) \delta S$ となり、平衡条件は、仮想変位の原理から

$$\iint (p \delta w - \delta V) dS = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

(1)に(2)を代入し周が固定されているという条件を入れて変形すると

$$\iint \delta V dS = \frac{E t^3}{12(1-\sigma^2)} \iint \delta w dS \left(-\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} - \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。従つて

$$-\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} - \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p / \frac{E t^3}{12(1-\sigma^2)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

を得る。 xy 面をガウスの平面とすると(5)は

$$\nabla^4 w = 16 \partial^4 w / \partial Z^2 \partial Z^2 = p/D \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$D = \frac{E t^3}{12(1-\sigma^2)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。 D をたわみのかたさ (flexural rigidity) という。

xy 面上のどのような曲線を固定した縁とすれば、(6)の式を解くことができるかという問題は二、三の応用数学者によって手がけられているが⁽¹⁾、縁が半径 a の円である場合を解くと、中心から y の場所の変位は

$$w(r) = \frac{p(r^2 - a^2)^2}{16Et^3} \dots\dots\dots (8)$$

中心の変位は

$$w_0 = \frac{p}{16t} \frac{a^4}{t^3} \dots\dots\dots (9)$$

となる。どの位の変位まで(8)が使えるかは、ダイアフラムの伸び変化もあわせて考えた一般の解が得られなければ判定することはできないが、実測された例では、 $a=0.6\text{cm}$ 、 $t=0.022\text{cm}$ のダイアフラムにつき、 $w_0=0.001\text{cm}$ まで薄膜近似が正確に成立することが確かめられている。

2.2 薄膜近似

ダイアフラムが非常に薄く、圧力差が相当大きくてダイアフラムがかなり変形する場合にはダイアフラムの伸び変形に対応する応力が、たわみ変形に対応する応力にくらでずっと大きくなる。後者を無視できるとした場合薄膜近似となり、周を固定された円形の薄膜の圧力差による変形は厳密に取り扱はれていて薄膜の中心を垂直に貫く直線を対称軸とする廻転抛物面となることが知られているが、さらにこれを球面で近似して下記のように概算することができる。

第3図に示すように変形後の薄膜を半径 r' の球面で近似すると薄膜の伸びの歪の平均値は

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{r' \cdot 2\theta_0 - 2a}{2a} = \frac{r' (2\theta_0 - 2\sin\theta_0)}{2r' \sin\theta_0} \approx \frac{1}{6} \theta_0^2$$

膜にはたらく張力の平均値は

$$T = E \frac{\Delta l}{l} \cdot t$$

中心に近い場所では薄膜の素片 dS をとって考えると、 w 軸に垂直な方向での力の釣り合いから $T=T'$ が得られ、 w 軸方向の力の釣り合いを考えると

$$T(r + \Delta r) \Delta\varphi \sin(\theta + \Delta\theta) - Tr \Delta\varphi \sin\theta = p \cos\theta r \Delta\varphi \Delta r$$

$\theta \ll 1$ すると

$$T = \frac{pr'}{2} = \frac{p}{2} \frac{a}{\theta_0}$$

という関係が得られ、さらに $T = \bar{T}$ とすると

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{6} \left(\frac{3pa}{Et} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (10)$$

$$\theta = \frac{1}{2} a \left(\frac{3pa}{Et} \right)^{\frac{1}{3}}$$

第4 ダイアフラムの伸びの歪み—実測値と薄膜近似による計算値との比較

という関係が得られる。第4図に $t=0.05\text{mm}$ 、 $a=15\text{mm}$ のインパールのダイアフラムについて、歪み計で測定した中心部の歪 $\frac{\Delta l}{l}$ と、 $E=1.9 \times 10^{12} \text{ dyne/cm}^2$ として(10)から計算した値とを比較してみた。

3. 電気容量の変化として検出するダイアフラム真空計の測定子

ダイアフラムに近接して、平行におかれた電極とダイアフラムとの間の電気容量の変化を測定してダイアフラムの変形を検出する型には、変位法(deflection method)と零位法(Zero method)の二つの方式がある。変位法ではダイアフラムのたわみによって生じた容量の変化の大きさを測ってダイアフラムに加わる圧を測定し、零位法では圧に合うような静電力をダイアフラムに加えて、丁度電気容量の変化が零になるようにし、釣合のときの静電力から圧力を測らうとするものである。

3.1 変位法

変位法による場合、測定子の設計に必要なことは、測定しようとする圧力変化に対して、用意された測定回路に必要な大きさの、容量変化が生じるようにすることである。Lilly等⁽²⁾に従ってこの問題を考えてみることにする。

この型では、一般にダイアフラムのたわみは小さく、薄膜近似で取り扱うことができ、圧力差 p のときのダイアフラムの形は(8)であらわされる。ダイアフラムと平行電極との距離は電極の直径にくらべて極めて小さいので、両者の間の静電容量は下記のように計算できる。

電極面上に、中心軸 w との交点を中心とする巾の無限に小さい環を考え、これに対応するダイアフラム上の環

との間の容量を dc とする。 dc は両者間の 距離に逆比例し、環の面積 $2\pi r dr$ に比例する。電極とダイアフラムとの間の電気容量は $\int_0^B dc$ として求めることができる (但し B は電極の半径)。電極の半径と電極間の空隙との比は普通 200~2000 であるから、端縁効果は無視できる。

i) 圧力差 0 のとき

平行電極・ダイアフラム間の空隙 S cm

$$\text{電気容量} \quad C_0 = \frac{B^2}{4S} \text{ cm}$$

ii) 圧力差 p のとき

ダイアフラムの各部分の変位 $w(r) = Kp(r^2 - a^2)/t^3$

但し $K = 3(1 - \nu^2)/16E$

中心の変位 $w_0 = w(O) = Kpa^4/t^3$

電気容量

$$C = \int_0^B \frac{2\pi r dr}{4\pi \{S - w(r)\}} \\ = \frac{a^2}{8\sqrt{w_0 S}} \log \left\{ \frac{\sqrt{\frac{S}{w_0}} + 1}{\sqrt{\frac{S}{w_0}} - 1} \cdot \frac{a^2 \sqrt{\frac{S}{w_0}} - (a^2 - B^2)}{a^2 \sqrt{\frac{S}{w_0}} + (a^2 - B^2)} \right\} \text{ (cm)} \quad \dots\dots\dots (11)$$

さらに

$$N = (B/a)^2, \quad H = 1 - N$$

$$u = w_0 / S, \quad v = u^{\frac{1}{2}}$$

とにおいて変形すると、

$$C = \frac{a^2}{4\sqrt{w_0 S}} \tan h^{-1} vN / (1 - Hu) \text{ (cm)} \quad \dots\dots\dots (12)$$

となる。

次に感度の相対値を論ずるために、相対容量変化 (容量の変化分に比例する量) s を定義して考えてゆく。

$$s \equiv (C - C_0) / \frac{a^2}{4S} = \frac{1}{v} \tanh^{-1} vN / (1 - Hu) - N \quad \dots\dots\dots (13)$$

第 5 図に相対容量変化 s と相対変位 $u = w_0 / S$ との関係をあらわす ($B/a = 1$ のとき)。

原点におけるこの曲線の勾配は半径比 B/a のみの函数となる。

$$M = \left(\frac{ds}{du} \right)_{u=0} = \frac{1}{3} \cdot (1 - H^3)$$

M は相対変位感度の初期値と称する。相対変位 u が有限の大さになった場合、二つの相対変位感度を定義することができる。

$$m = s / u$$

を正割相対感度、

$$n = \partial s / \partial u$$

を正切相対感度と定義する。

第 5 図 ダイアフラムの相対変位と相対容量変化との関係

第 6 図 相対変位、相対容量変化、正割非直線係数の関係

第 7 図 相対変位、相対容量変化、正切非直線係数の関係

第8図 容量型測定子—零位法 (→)

測定子の非直線性は下記のような非直線性係数を定義して議論することができる。

$b_s \equiv m/M$ 正割非直線係数

$b_t \equiv n/M$ 正切非直線係数

この二つの係数は、半径比 B/a のきまった値に対して定義され、 u の関数である。

相対変位が 0 に近づくと、 b_s , b_t は 1 に近づく。従ってこの型の測定子が最も直線的であるのはダイアフラムの変位が電極間の空隙にくらべて非常に小さい場合である。ダイアフラムが固定電極に近づく場合には、非直線係数は 1 より大きく、遠ざかる場合には 1 より小さくなる。第6図に b_s と s , B/a との関係、第7図に b_t と s , B/a との関係を示す。

絶対感度係数も正割および正切係数を定義することができる。

絶対感度正割係数は電気容量変化と圧力差との比で

$$\frac{C - C_0}{p} = \frac{s \cdot a^2 / 4B}{w_0 / Ka^4 / t^3} = mKa^6 / 4 \cdot t^3 s^2 \dots (14)$$

絶対感度の正切係数は圧力の変化によって電気容量の変化する割合で

$$\frac{\partial (C - C_0)}{\partial p} = nKa^6 / 4 t^3 S^2 \dots (15)$$

となる。以上の式及び図から測定子の絶対感度、非直線性を知ることができる。

第9図 容量型測定子—零位法 (⇔)

3.2 零位法⁽²⁾

第8図に示すように、電極 E_1 を含む区画 K_1 内の圧力 p_1 が、ダイアフラムによって区切られた区画 K_2 内の圧力 p_2 より大きいとする。圧力差 $p = p_1 - p_2$ によって、ダイアフラムは僅かながらたわむであらう。直流電圧 U (補正電圧) を電極 E_1 とダイアフラムとの間にかけることによって、ダイアフラムを最初の静止位置に引きもどすことができる。このようにダイアフラムがもとの静止位置にもどったとき、次の関係が満足される。

$$p = p_1 - p_2 = \lambda U^2 \dots (16)$$

λ はコンデンサーの幾何学的寸法によってきまり、

$$\lambda = 3.33 \frac{F^2}{S^2 a^2} \cdot 10^{-10} \left(\frac{\text{Torr}}{\text{Volt}^2} \right) \dots (17)$$

で与えられる。

第9図のように K_2 に第二の電極 E_2 を入れることにより、(16)を U について一次の式にすることができる。このとき、二つの電極には、ダイアフラムに対し最初一定の電圧 U_0 を与えておき、 E_1 の電圧を U_0 よりさらに U だけ高くし、 E_2 の電圧を U_0 より U だけ低くしたときダイアフラムがもとの静止位置に引きもどされたとすると、

$$p = \lambda (U_0 + U)^2 - \lambda (U_0 - U)^2 = 4 \lambda U_0 U \dots (18)$$

を得る。こうして、最初の静止位置にもどったときの U の値をはかって p をもとめることができる。

零位法では圧力差 p が数 Torr に達すると、電極 E_1 とダイアフラムとの間に加えなければならぬ静電圧が増大することとあいまって、 E_1 とダイアフラムとの間に放電が起り、ここで測定可能の最大圧がきまることになる。ただ、この限界より低い圧ではダイアフラムの弾性諸常数がゲージの感度に入って来ない点で、変位法にくらべてすぐれていると云える。

第10図 容量型測定子の温度による影響

3.3 容量型測定子の温度による影響

容量型ダイアフラム真空計の測定可能な最小圧はダイアフラムの弾性的性質の変化、あるいは履歴効果、電気容量の微小変化を測定することの困難さなどによってきまるものでなく、測定子の温度が変化することによって測定子の内部に生ずる色々な変形によってきまるものである。

Pressey⁽⁴⁾はこの問題を検討して、温度による容量の変化率 α_c は $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 程度になるとの結論を得た。

温度による容量の変化率としては次の二つの効果を考えることができる。第一は、測定子の各部の熱膨張によって、電極間の空隙そのものが変化することであり、第二は、ダイアフラムの材質とダイアフラムを支える部分との熱膨張係数が完全に等しくはないために生ずるたわみ (buckling) である。

第一の効果については、第10図のように、金属および絶縁物の熱膨張係数を α 、 δ とすれば、測定子全体の温度が一様に上昇するときは、

$$\alpha_c = \alpha - L(\alpha - \delta) / S \quad (19)$$

となる。

第二の効果については、ダイアフラムとダイアフラムを支える部分との熱膨張係数の差を γ とすると、温度が $\Delta T^{\circ}\text{C}$ だけ上昇したとき、熱的たわみによる中心点の変位 w_1 は、

$$w_1 = 1.28 a \cdot \sqrt{\gamma \cdot \Delta T} \quad (20)$$

以上の式から、絶縁物の厚さ L と、ダイアフラムとダイアフラム支持部との膨張係数の差 γ はできるだけ小さくしなければならぬことがわかる。

4. 容量変化として検出する型の回路

この型の回路には変位法によるものと零位法によるものがある。最初は変位法によるものから発達して来

第11図 Brookes-Smith による回路 (変位法)

第12図 Lilly による回路 (変位法)

た。圧力に対応した容量の変化を電氣的に取り出す方法として共振回路を利用しているが、そのコンデンサー容量 C と共振周波数 f とはその平方根で反比例しているから

$$f = 1 / 2\pi \sqrt{CL}$$

普通の場合、圧力に対応する容量 C の変化分が非常に小さいので、高い共振周波数を使わなければならない。

4.1 変位法

4.1.1 L と C のみからなるもの

これは、Brookes—Smith⁽⁵⁾ (1939年) によって高圧測定用 (6000封度/平方吋) に作られたもので高周波 (1 M c/s) を利用している。この回路はコルピッツ発振をさせ制御格子と陽極にコンデンサーを持つため固定周波数で用いるのに便利である。

この発振回路と整流回路を可変コンデンサーを持つ共振回路で結合している第11図、圧力が変化することによって起る変位 (0.0001吋で $20\mu\text{F}$) は容量の既知の可変コンデンサーで補正する事によりバランスされ、圧力を直読する。コンデンサーの変化容量が共振回路の総容量に比較して小さいと動作範囲が共振曲線の非常に小さい部分をしめ直線性を示す。

4.1.2 水晶発振回路を利用したもの

発振によって高い周波数の共振波を利用すると、その精度から高い安定性が要求され、水晶を利用したものが作られた。Lilly⁽⁶⁾ (1942年) によって動脈を流れる血液の圧力を直接測定するために作られた。それは並列共振利用の水晶発振器でピーアス回路といはれるものである。(第12図)

第13図 cook による回路 (変位法)

ダイヤフラムからなるコンデンサーを含む C ($0 \sim 30 \mu\text{F}$) と L の共振回路を陽極側に入れてある。しかしこれは発振周波数を決定するためのものではなく、ただ発振周波数に対して共振回路のリアクタンスを変化させる事により発振強度が調整出来るためである。圧力の変化をコンデンサーの容量変化として見ると陽極電圧を変化させる。ここに利用した周波数は 14 Mc/s のものであり、410ボルトの電源を約 50ボルトに下げて与えている。

電源に対する安定度は発振出力が小さいほど良好である。増幅器は一般的な双3極管による差動増幅器を3段接続して陰極線オシロのスポットを 1 Torr で1吋偏向させる感度を持ち、周波数帯域を拡げ又1吋偏向につき 200 Torr になるように感度を下げて使うときは帰還量で調節されている。この回路構成で発振管及び発振回路を測定子の容量変化をさせるコンデンサー部分とを同一の容器に入れ、増幅器部分とケーブルで結びその長さが測定量に影響しないように考慮されている。(ケーブルの長さは20フィートまでならいくらでもよい。)

4.1.3 ブリッチ回路を応用したもの

コンデンサーの容量変化を周波数の変化としてとりだし、簡単かつ精度のよいものが Cook⁽⁷⁾ (1953年) による質量分析計の資料ガス導入系用として、測定範囲 10^{-8} Torr から 10^{-1} Torr まで $0.5 \times 10^{-8} \text{ Torr}$ より良い精度で測定出来るものが作られた。第13図

電子結合発振回路を利用したものて陰極、制御格子、遮蔽格子の3電極で発振回路が構成され(ハートレー回路)陽極から出力を取り出している。遮蔽格子により陽極回路と発振回路とが遮蔽され、その間に静電的な結合は無く、陽極電圧が高ければほとんど電子流は陽極に達し陽極負荷から電力を取り出す事が出来る。

したがってこの回路は発振部と負荷とが隔離された緩衝増幅器の役目を果している。又電源電圧の変動による周波数の変化も少ない。発振器の周波数はダイヤフラムを

第14図 零位法による回路の代表例

第15図 測定子のコンデンサーを置き換えた回路 (変位法)

はさむ圧力差によって決まり、 10^{-1} Torr の圧力差で 6.6 Mc/s から 5.8 Mc/s に減少する。これは測定子コンデンサー C_1 の変化によって起きる。その周波数は吸収型周波数計として働く L_2 と C_5 ($15 \mu\text{F}$) で測定され、この場合共振回路の「引込み現象」を起し誤差を生じるのを防ぐため第2高調波に共振するようにしてあ

る。このように共振している時には回路のインピーダンスは増大するので最も陽極電流の少ない点を M_1 (フルスケール 5 mA) で読み、かつ微調整用として高感度のガルバノメーター M_2 をもった共振回路をブリッジの辺に入れて平衡させる。この時 C_s の変化が目盛の中央で共振曲線のピークになり、その最高値が M_2 を通るようにブリッジを調整する。この精度は非常に高く、これに加えて共振回路の Q を高くしておくこと共振曲線を鋭くさせる事が出来る。

4.2 零位法

ここに述べるものはフィリップスの opstelten⁽⁸⁾ (1960年) によって行なわれた質量分析計用のものである。

ダイアフラムと電極で構成されたコンデンサーはそれぞれ1個のコイルと直列になってホイストン・ブリッジの2辺になっている。他の2辺はコンデンサーのみから出来ている。このブリッジに $\frac{1}{2}M$ c/s の高周波電圧をかけ直列共振するようにし、不平衡状態になった時の信号はやはり、 $\frac{1}{2} Mc/s$ に同調してある増幅器によって増幅され検知、指示される。この回路の構成は第14図に示す。

増幅器の出力を指示させた後、ダイアフラムに直流電源から静電的な力を加え、ダイアフラムを圧力が零であった位置にもどして、この時の電圧で圧力を知っている。しかし圧力測定で 1 Torr 以上になって来るとガスを含む側に電圧をかけると電極上に放電が起る。

この場合には標準となるコンデンサーで置き換えたブリッジの一辺を作って平衡させるようにする(第15図)。

5. 容量変化として検出する型の代表例

4.2 で1部分述べたが、ここに代表例として説明する⁽⁸⁾。これは質量分析計用に作られたもので 10^{-6} Torr から 10 Torr の測定範囲を持ち、測定子は厚さ20ミクロンのステンレスで作ったダイアフラムによって2つの部屋に区切られている。ダイアフラムの両面から25ミクロン離れた所にそれぞれ平らな電極面があり、ダイアフラムと2つのコンデンサーを形成している(第16図)。

測定子全体はステンレスで作り、絶縁を必要とする所はセラミックスで、又導体の接触を防ぐために小さなガラス片を使っている。

測定子のコンデンサーはコイルと直列に結び、2辺を作り、他の辺は各1個のコンデンサーでホイストン・ブリッジを構成している。ここに $\frac{1}{2} M$ c/s, 数ボルトの電圧を発振器から与えて、測定子とコイルが直列共振するようになっている。このためインピーダンスは非常に

第16図 容量型測定子の代表例 (フィリップス社にて試作したもの)

第17図 感度曲線 (零位法)

小さくなって測定子に結ぶケーブルによって起る容量の僅かな変化は全体として無視出来、ケーブルを長くする事が出来る。

第18図 感度曲線（変位法）

第19図 自動記録を行う場合の回路

測定子に圧力差が生じると、ブリッジは不平衡な状態となり、その状態に比例したブリッジの不平衡電圧を $\frac{1}{2}$ Mc/s に同調した増幅器に与える。この増幅器は陽極に高インピーダンスを持つ共振回路を置き、2 段増幅した後、整流してメーターにより指示する（第14図）。

測定子は一方の部屋をペンギングゲージにより 10^{-7} Torr に非気し、他の部屋に測ろうとするガスを入れ、ダイヤフラムを変位させる。測定時は常に両電極に U_0 なる電圧を与えておき、ダイヤフラムの変位と等しい力を静電的に加え、ダイヤフラムを圧力零の位置にもどす。このとき、真空側の電圧を減し、ガスを含む側の電圧を増す。この値を U とすると、圧力と U とは線形の関係となり、 U を正確に読む事により圧力を知り

第20図 ガスの吸着による影響を考慮した回路（零位法）

得る。

圧力につら合う静電的な力は図で示した。第17図に感度曲線を示す。

このようにして 10^{-5} Torr から 1 Torr までの測定が出来るが 1 Torr 以上となると電極上に電圧がかかっているためガスにより気体放電を起す。この範囲で測定するために測定子のこの部分を標準となるコンデンサーで置き換える。圧力によりダイヤフラムが変位すると、標準となるコンデンサーでブリッジを平衡状態にし、その読みから圧力を知り得る（第15図、第18図）。

この測定子を用いて自動記録を行う場合は同じ周波数で基準となる電圧を作り、圧力の変化に応じた電圧に重畳して、和と差の直流電圧を取り出し、両電圧を比較して指示させる（第19図）。

分子量の大きな物質の蒸気圧を測るためには測定子を常に 150°C に加熱しておく。

正確な測定をしようとする時には安定したサーモスタットの中に測定子を入るとよい（精度約 1%）

10^{-5} Torr の圧力は測定子の容量で 10^{-4} pF、ダイヤフラムの変位は $0.25\text{\AA}$ となる。又原理的には気体の性質には関係しない筈である。しかし複雑な現象が起る。電極面上に吸着された気体の吸着層の誘電率は気体に比較して高く、測定子の容量をかなり変える。測定子容量の相対的变化は非常に小さい (10^{-3} Torr で 10^{-4} 位) から、この現象による誤差は大きい、吸着層による容量の

変化も静電引力にはほとんど影響を与えないので（この場合のコンデンサーの容量は 100 pF 位）真空にした側の測定子の容量をブリッジに入れ、前と同じくダイヤフラムの零位置を指示させる。

一方静電的な力は両面が同様に加えると前と同じように直線目盛る得るが感度は半分になる。（第20図）六弗化ウランのような反応性の気体の場合には測定子のガスを入れる部屋に電極を作らずセラミックスやガラスを使わないで他の側をブリッジに入れ容量の変化を標準のコンデンサーで補正する。これは $10 \sim 10^{-3}$ Torr の範囲で可能であり直線性の目盛となる。他の方法は1方の部屋にアルゴン等の気体を測定ガスより少し高い圧力で導入しダイヤフラムを静電的に引きもどして行なわれる。この場合は非直線性の目盛となる。

以上の方法において、ダイヤフラムを引きもどす方法を応用する時は自記々録を行う事が出来る。又サーボモーターを標準のコンデンサーと連結しても同様である。

又ホイストンブリッジの平衡のズレを直接に自記々録する事も出来るが増幅器の安定度に左右された測定結果

となる。

〔文 献〕

- (1) W. A. Bassali: *Z. Angew. Math. u. Mech.*, 40 (1960) 493—507
- (2) J. C. Lilly, V. Legallais and R. Cherry: *J. Appl. Phys.*, 18 (1947) 613—628
- (3) H. W. Drawin: *Advances in Vac. Sci. Tech.*, (1960) 20—24
- (4) D. C. Pressy: *J. Sci. Instrum.*, 30(1953)20—24
- (5) C. H. W. Brookes-Smith: *J. Sci. Instrum.*, 16 (1939) 361—366
- (6) J. C. Lilly: *R. Sci. Instrum.*, 3 (1942) 34—37
- (7) D. B. Cook and C. J. Danby: *J. Sci. Instrum.*, 30 (1953) 238—240
- (8) J. J. Opstelten et N. Warmoltz: *Advances in Vac. Sci. Tech.*, (1960) 295—298

合本用ファイルをご利用下さい

ビン1本で簡単に、そして美麗に、一カ年分を合本できる独特のものです。

書棚を飾るにも、本誌の整理にも、是非必要なファイル。

頒価 1 部 170円 送料 60円

お申込み先

東京都中央区日本橋兜町 3の5三共ビル内

真空協会合本係

電 話 4 3 2 7 番