

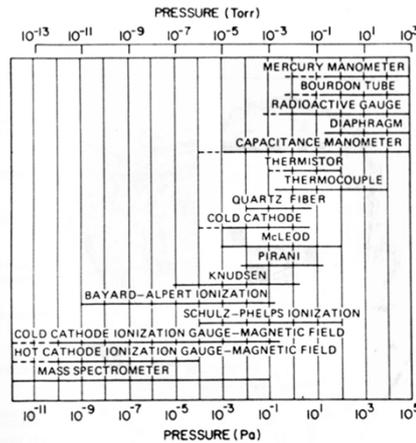
# 真空量測

## 分類

- 直接壓力計：直接量測氣體所產生之壓力，其感受壓力的方式是決定在氣體分子的直接撞擊而表現出來，所量得的壓力是一種絕對壓力，它與氣體的種類無關，可惜的是該方法所測得的壓力其極限在10至5 Torr。
  - 固體式：隔膜式，Bourdon tube
  - 液體式：U-tube以及McLEDO
- 間接壓力計：間接量測氣體的其他物理特質，然後反推該物理特質與氣體分子數的密度而定，最後再決定其壓力。量測的不外乎是氣體的導熱度，黏滯係數或是產生氣體離子數的多寡等。一般常見的間接壓力計有Rotating disk, thermocouple, pirani, hot cathode ion gauge, cold cathode ion gage等，所量測的壓力範圍可以達到 $10^{-11}$  Torr，由於氣體的物理特性會隨著氣體的種類會有所不同，因此採用間接式的壓力計，系統壓力的校正是件非常重要的工作。

## 壓力計種類與其壓力量測範圍之關係

原則上一定是低真空壓力計與高真空壓力計相互搭配，倘若所要量測的氣體壓力會因與真空計起作用時，則不能使用會具有發熱性的壓力計，例如 thermocouple gauge, pirani gauge, hot cathode ion gauge。

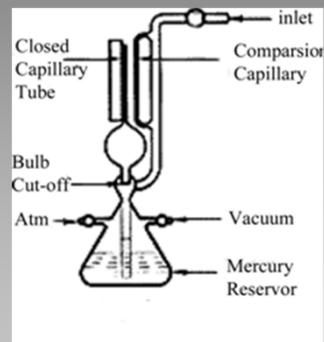


卓越·活力·熱情  
國立高雄大學  
www.nuk.edu.tw

Chin-Chung Yu

## McLeod Gauge

已經非常少使用，通常它被用來當作校正使用，利用水銀柱高來判斷壓力之大小。其做法是將已經知道體積但是不知道其壓力的氣體裝在一個玻璃氣泡內，然後升高水銀柱高，使其壓縮該未知壓力之氣體，等到該氣體被壓縮到很小之體積，然後得知其體積，再由波義耳定律算出其最終壓力。該壓力計其工作範圍再1 Torr至  $10^{-4}$  Torr。

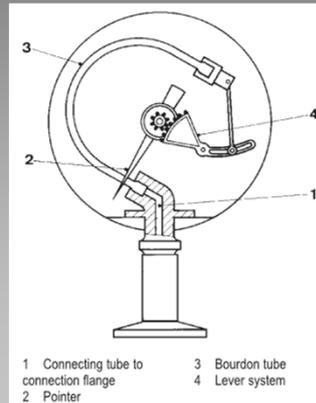


卓越·活力·熱情  
國立高雄大學  
www.nuk.edu.tw

Chin-Chung Yu

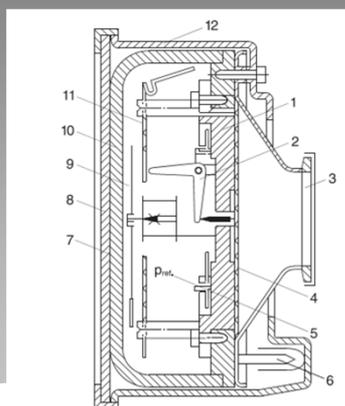
## Bourdon gauage

彎曲的銅管接到腔體，腔體的壓力變化促成銅管變形，間接帶動指針。這種壓力計通常用在高壓的量測，例如高壓氣瓶的調壓器，但有時也用在低壓力從0到30mmHg之間，例如一般冷凍乾燥庫，不過大體而言該壓力計只用來察覺該系統是否有真空，而不在乎其真正的量測值。



- |  |                |
|--|----------------|
| 1 Connecting tube to connection flange | 3 Bourdon tube |
| 2 Pointer                              | 4 Lever system |

## Diaphragm vacuum gauges

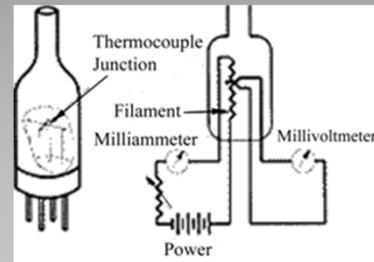


DIVAC DV1000

- |                            |                    |
|----------------------------|--------------------|
| 1 Base plate               | 7 Mirror sheet     |
| 2 Lever system             | 8 Plexiglass sheet |
| 3 Connecting flange        | 9 Pointer          |
| 4 Diaphragm                | 10 Glass bett      |
| 5 Reference pressure pref. | 11 Mounting plate  |
| 6 Pinch-off end            | 12 Housing         |

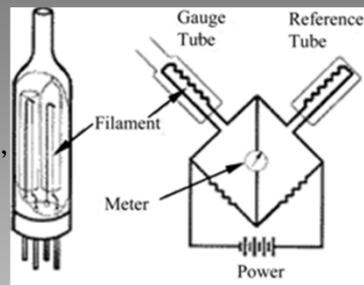
## Thermocouple Gauge (TC gauge)

- 乃是利用一個燈絲持續加熱，在燈絲旁有一熱電偶，熱電偶所感受到的熱乃是經由氣體分子傳導而來，當有熱的變化時，熱電偶的另一端將會出現電壓的變化，藉由電壓的差異，我們可以確認溫度的變化，而溫度的變化又被氣體分子的多寡來決定，如此一來壓力的變化便可以被間接的量測出來。
- TC Gauge 被大量使用在foreline的壓力偵測，同時兼作腔體在由低真空幫浦轉為高真空幫浦的閥門轉換控制點。



## Pirani Gauge

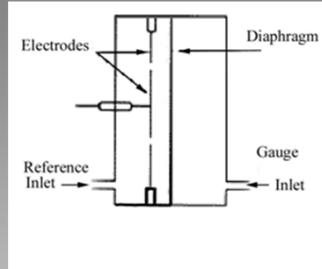
- 由兩個燈絲所組成，這兩組燈絲被視為兩個電阻，然後形成 Wheatstone bridge 其中一個燈絲置放於一個固定壓力的空間，作為參考座標，另外一個則是與待測壓力的腔體相通。兩個燈絲同時加熱，倘若這兩個燈絲的分別所在環境的壓力不一樣，則當電流通過之後其所產生之熱散熱程度將會有所不同，因而電阻會因溫度不同而不同，所以流過之電流將會改變，因為在固定壓力空間的燈絲其周圍環境沒有改變，所以其電流不會改變，如此一來將會產生補償的作用，藉此可以比對求出待測腔體的壓力。



- Pirani壓力計其壓力工作範圍與TC gauge一樣，不過其優點在於其反應的速度比TC Gauge來的快。

## Capacitance Manometers

- 利用一金屬薄膜將該空間區分為二，其中一區域為已經知道其壓力值，另外一區域為待測區的壓力區，當兩邊有壓力差時，該金屬薄膜會有偏折的現象發生，而偏折的程度我們可以藉著薄膜與一邊電極的距離來決定，換句話說便是量其電容值，由電容的變化反求金屬薄膜之偏移量，然後反推壓力差。
- 只要校正正確，該種壓力計是所有壓力量測中最為精確的，且與氣體的種類無關。
- 對環境溫度相當敏感，因此溫度的控制必須非常注意，以免造成量測的誤差。



## Ionization Gauges

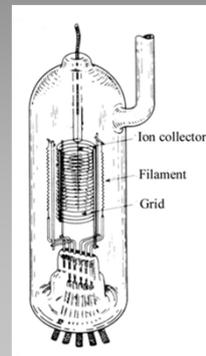
- 高能量的電子游離周圍附近的氣體分子，被游離的分子最後被另一極給接收，然後被轉換成電流。離子數的多寡代表氣體分子的多寡間接的表示氣體的壓力。
- 離子壓力可區分為熱離子壓力計與冷離子之壓力計。所謂熱離子壓力計乃是指離子的產生是靠熱電子的方式將氣體游離，而熱電子則由燈絲加電流後所產生。而冷離子壓力計則是指電子由電漿的方式所產生。

## Hot cathode gauges

- 熱離子壓力計有兩種形態，一種是Bayard/Alpert(B-A)，另一種是Schulz-Phelps(S-P)。這兩種壓力計其不同點僅在於其幾何形狀與電極距離的不同而已。兩者都是用熱電子，其熱電子的能量約在70eV，該能量足以游離各種的氣體分子，被游離的正離子隨後在具有150伏的電壓環境下往接收極運動，然後形成電流，電流的大小決定在離子數的密度，間接的壓力的大小就被量測出來。
- 離子壓力計對與氣體的種類相當敏感，有論文指出若該壓力計對氮氣的敏感度是1的話，則對於aceton的敏感度為5，而對氬氣的敏感度為0.18，換句話說對於一個具有相同的絕對壓力但是不同氣體分子的真空環境，離子壓力計所顯示的值有28倍的差距。

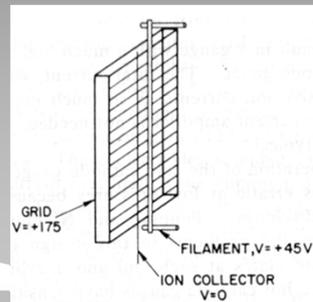
## B-A ion gauge

- B-A型的壓力計較常被使用，其涵蓋的壓力範圍從 $10^{-4}$  Torr至 $10^{-9}$  Torr，該壓力計敏感度在5到20之間。
- 通常該壓力計具有兩個燈絲，使用時只用一個燈絲。燈絲的材料可以是鎢絲，也可以是thoria-coated iridium，前者較便宜，適合具有鹵族元素的氣體環境，而後者則是針對具有氧氣的環境，比較不怕氧化而燒斷。
- B-A型的離子壓力計其壓力量測極限僅能到 $10^{-9}$  Torr的原因在於由燈絲所產生的熱電子，在撞擊陽極之後會產生X光，而該X光若又撞到離子接收極，將會產生光電子，該光電子所提供的電流將會與原本由正離子所提供的電流混淆不清。當壓力低於 $10^{-9}$  Torr時，光電子的數量將會大於由氣體離子所提供的數量，因此所得壓力值的讀數將會不準。



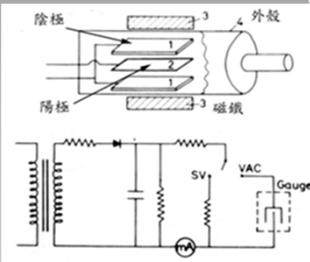
## S-P ion gauge

Schulz-Phelps type的壓力計乃是為了克服B-A gauge在高壓力時其離子電流與氣體分子數非線性變化的缺點而設計。它增加離子接收極的面積，減低電極間的距離，同時降低陽極的電壓。這樣的作法降低了壓力計的靈敏度，而且升高了X-光所形成電流的上限，所以其量測範圍在1 Torr至 $10^{-5}$  Torr之間。

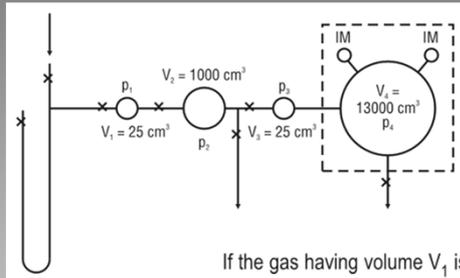


## Cold Cathode Gauge, Penning Gauge

- 由Penning所發明。其原理是氣體離子在被氣體放電後撞擊到金屬靶，於是產生二次電子，該二次電子在外在磁場的協助之下以螺旋的運動前進，增加了電子碰撞周圍氣體分子的機會，因而形成更多的離子，而這些離子又加入撞擊靶材的行列，如此重複的反應會得到大量的離子。離子被陰極給吸收，形成電流，藉此電流來推斷壓力大小。
- 由於濺射之故容易遭到污染，因此比較不穩定，其工作壓力範圍在 $10^{-2}$  Torr至 $10^{-5}$  Torr之間。
- 在高真空不能工作的原因在於當壓力過低時無法形成電漿，而且若電壓過高則會造成場效電子的情形發生。



## Generation of low pressures through static expansion



If the gas having volume  $V_1$  is expanded to a volume  $(V_1 + V_2)$ , and from  $V_2$  to  $(V_2 + V_3)$ , etc., one obtains, after  $n$  stages of expansion:

$$p_n = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_1 + V_2} \cdot \frac{V_2}{V_2 + V_3} \cdots \frac{V_{n-1}}{V_{n-1} + V_n} \quad (3.7)$$

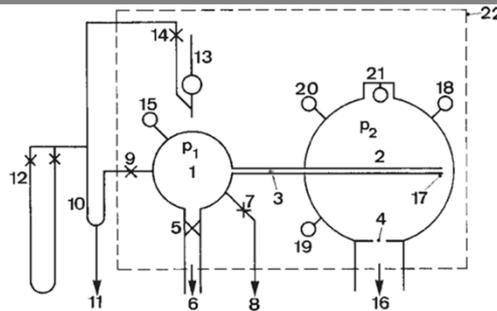
$p_1$  = initial pressure measured directly in mbar

$p_n$  = calibration pressure



Chin-Chung Yu

## Dynamic expansion method



$$p_2 = p_1 \frac{L_1}{S} (Sp \gg L_2)$$

- |                                    |                                     |                                    |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1 Volume 1                         | 9 Valve                             | 16 to pump (pumping speed $PS_p$ ) |
| 2 Volume 2                         | 10 $LN_2$ cold trap                 | 17 Gas inlet                       |
| 3 Inlet valve (conductance $L_1$ ) | 11 to pump system                   | 18 Mass spectrometer               |
| 4 Aperture with conductance $L_2$  | 12 U-tube vacuum gauge              | 19,20 Gauges to be calibrated      |
| 5 Valve                            | 13 McLeod vacuum gauge              | 21 Nude gauge to be calibrated     |
| 6 to pump system                   | 14 Valve                            | 22 Bake-out furnace                |
| 7 Valve                            | 15 Calibrated ionization gauge tube |                                    |
| 8 to gas reservoir                 |                                     |                                    |



Chin-Chung Yu

According to this method, the calibration pressure  $p$  is produced by admitting gas at a constant throughput rate  $Q$  into a vacuum chamber while gas is simultaneously pumped out of the chamber by a pump unit with a constant pumping speed  $S$ . At equilibrium the following applies according to equation 1.10 a:

$$p = Q/S$$

$Q$  is obtained either from the quantity of gas that flows into the calibration chamber from a supply vessel in which constant pressure prevails or from the quantity of gas flowing into the calibration chamber at a measured pressure through a known conductance. The pressure in front of the inlet valve must be high enough so that it can be measured with a reference gauge. The inlet apertures of the valve (small capillaries, sintered bodies) must be so small that the condition  $d \ll \lambda$  is met, i.e. a molecular flow and hence a constant conductance of the inlet valve are obtained (see Section 1.5). The quantity of gas is then defined by  $p_1 \cdot L_1$ , where  $p_1$  = pressure in front of the inlet valve and  $L_1$  = conductance of the valve. The pumping system consists of a precisely measured aperture with the conductance  $L_2$  in a wall that is as thin as possible (screen conductance) and a pump with a pumping speed of  $Sp$ :

$$S = \frac{L_2 \cdot S_p}{L_2 + S_p} = \frac{L_2}{1 + \frac{L_2}{S_p}} \quad (3.8)$$

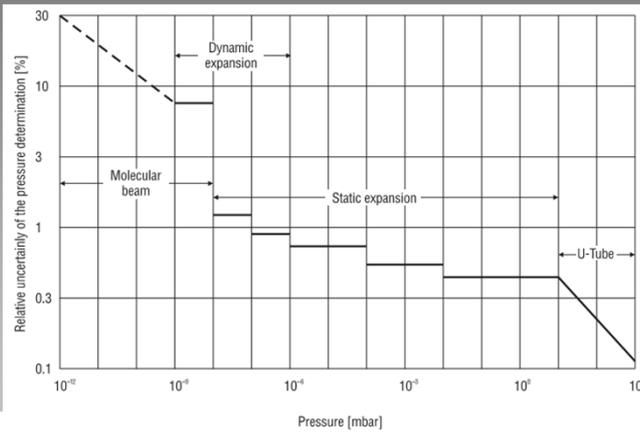
and thus

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{L_1}{S} = p_1 \cdot \frac{L_1}{L_2} \cdot \left(1 + \frac{L_2}{S_p}\right) \quad (3.9)$$

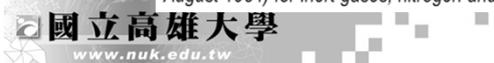
This method has the advantage that, after reaching a state of equilibrium, sorption effects can be ignored and this procedure can therefore be used for calibrating gauges at very low pressures.



Chin-Chung Yu



Pressure scale of Federal Physical-Technical Institute (PTB), Berlin, (status as at August 1984) for inert gases, nitrogen and methane



Chin-Chung Yu