

Vacuum Technology

ESS3271 Lecture

Basics

- Pressure units

	Pa	Bar	Atm	Torr
Pa (N/m)	1	1×10^{-5}	9.87×10^{-6}	7.5×10^{-3}
Bar	1×10^5	1	0.987	750
Atm	1.013×10^5	1.013	1	760
Torr (mmHg)	133.3	1.333×10^{-3}	1.316×10^{-3}	1

- 1 psi = 6895 Pa = 0.068 atm

- Ideal gas law

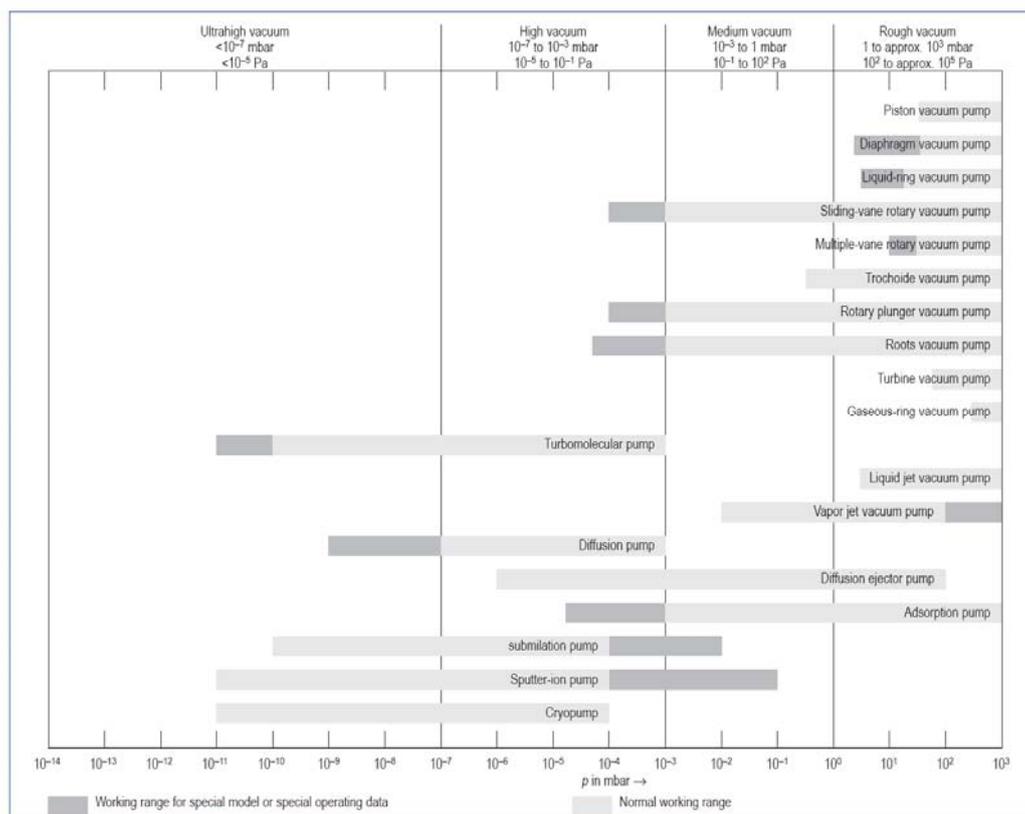
- $PV = NkT$

- $k = 1.38 \times 10^{-23}$ Joules/molecule-K

Pressure Ranges

- Rough vacuum
 - 0.1 torr - 760 torr, 10 Pa - 10^5 Pa
- Medium vacuum
 - 10^{-4} torr - 10^{-1} torr, 10^{-2} Pa - 10 Pa
- High vacuum
 - 10^{-8} torr - 10^{-4} torr, 10^{-6} Pa - 10^{-2} Pa
- Ultrahigh vacuum
 - $<10^{-8}$ torr, $<10^{-6}$ Pa

Working Ranges of Vacuum Pumps



Positive Displacement Pumps

- Diaphragm Pump
 - A flexible membrane seals a small, usually cylindrical, chamber at one end
 - At the other end are two spring-loaded valves: one opening when the chamber pressure falls below the pressure outside the valve and the other opening when the chamber pressure exceeds the pressure outside the valve
 - A cam rapidly flexes the diaphragm, causing gas to transfer in through one valve and out through the other

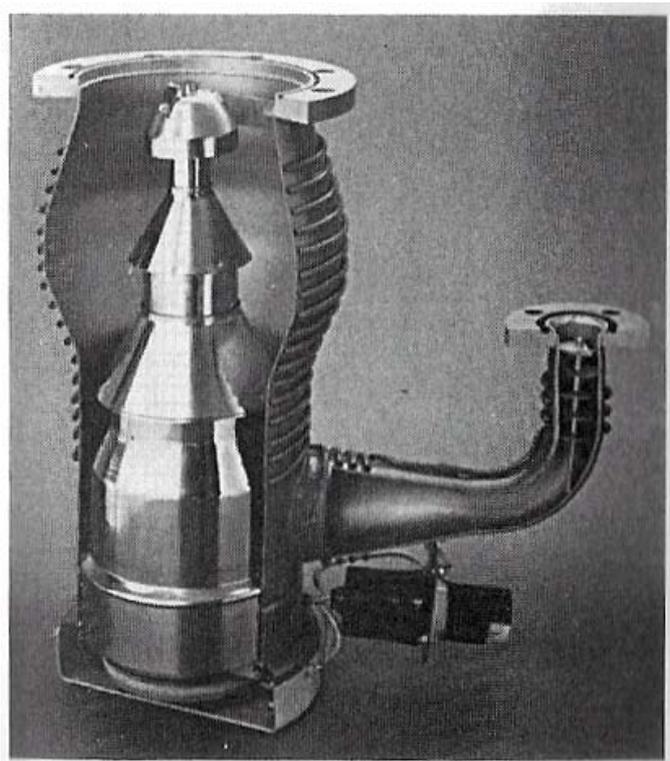
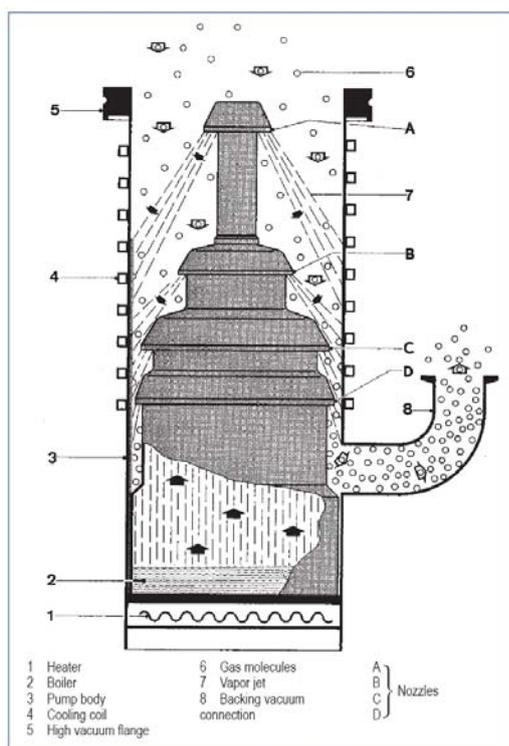
High-Vacuum Pumps

- Pump the gas by
 - Transferring momentum to gaseous molecules
 - Diffusion pump
 - Turbomolecular pump
 - Trap gaseous molecules
 - Cryopump

Diffusion Pump

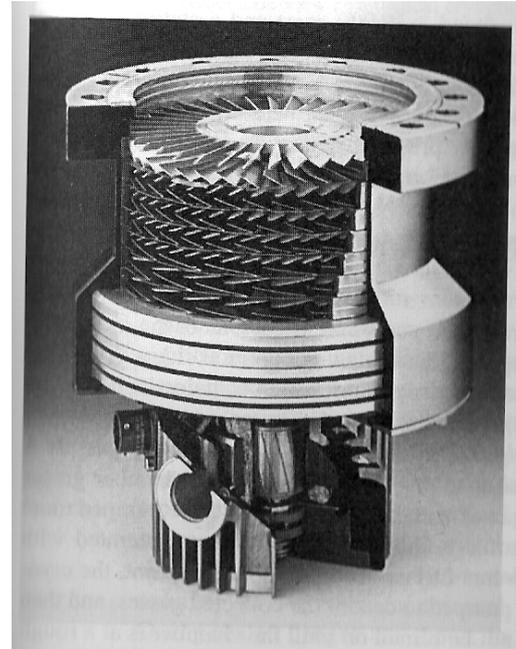
- Operate by boiling a fluid, often a hydrocarbon oil, and forcing the dense vapor stream through central jets angled downward to give a conical curtain of vapor
- Gas molecules from the chamber that randomly enter the curtain are pushed toward the boiler by momentum transfer from the more massive fluid molecules

Diffusion Pump



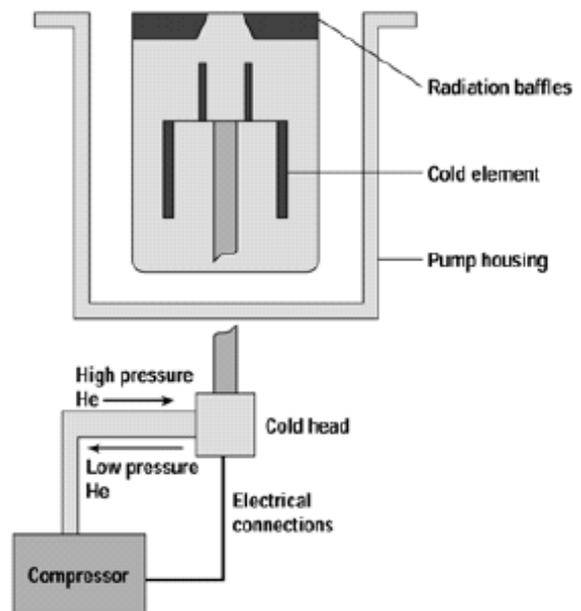
Turbomolecular Pump

- Has a large number of stages in series
- Fan blades rotate at extremely high speed
- The high-pressure side must be attached to a roughing pump to have inlet pressure in the molecular flow regime



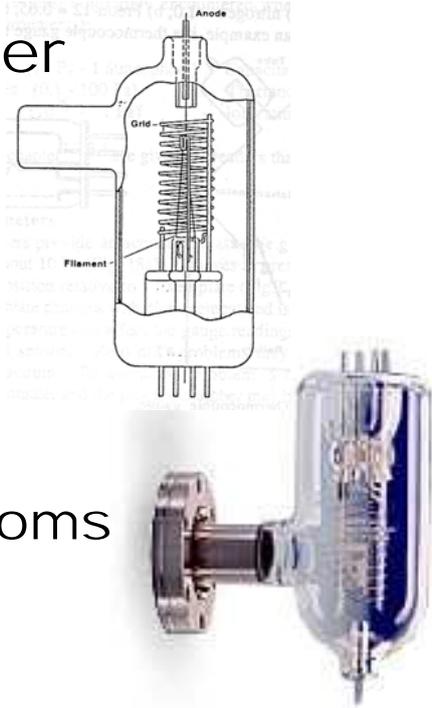
Cryopump

- Closed cycle refrigerator
- Condensation
 - 77°K
 - Water vapor
 - 15°K
 - N, O, and Ar
- Sorption
 - 15°K
 - He, Ne, and H



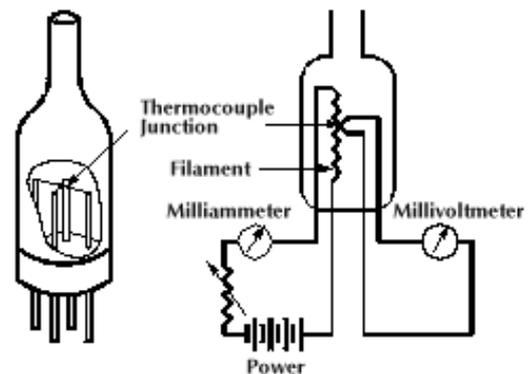
Pressure Measurement

- Capacitance manometer
- Thermocouple gauge
- Ionization gauge
 - Electrons
 - Provided by filament
 - Attracted by grid
 - Strike and ionize gas atoms
 - Ions flow to cathode

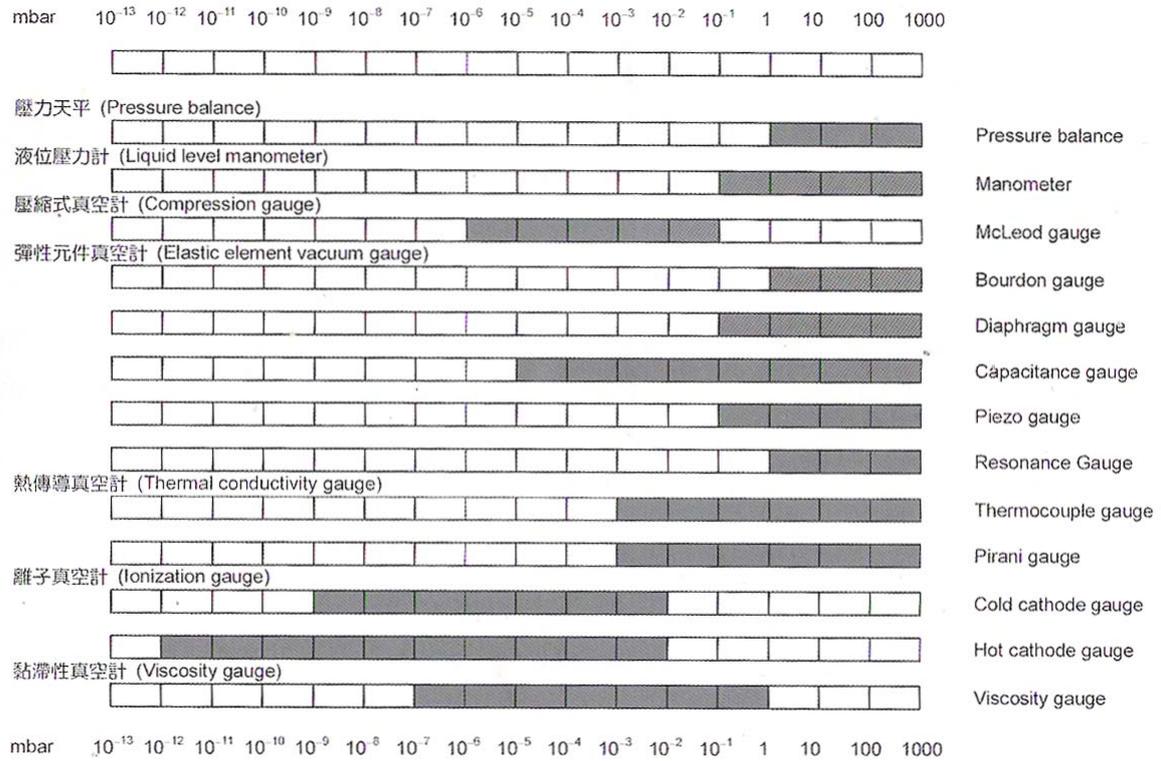


Thermocouple gauge

- A constant current supply feeds the filament, though the filament's temperature depends on thermal losses to the gas
- At higher pressure, more molecules hit the filament and remove more heat energy, changing the thermocouple voltage



Working Ranges of Vacuum Gauges



真空系統操作實驗

一、實驗目的

經由本實驗課程介紹，使學生進一步了解真空的基本概念，真空幫浦抽氣、真空量測以及真空系統的特性，並且藉由實際操作的方式，畫出 Pumping down curve, 以增加學生對於真空系統的熟悉。

二、實驗設備

真空腔體、迴轉油封幫浦、渦輪分子幫浦、熱電偶真空計、離子式真空計、奈米安培電流計、電源供應器

三、實驗原理

3.1 真空幫浦分類與抽氣原理

3.1.1 真空幫浦之分類

真空幫浦依照其處理被抽氣體的方式可分為以下兩大類：

- (一) 排氣式：此類真空幫浦其作用為將低氣壓處的氣體排送至高氣壓的地方，如果只利用一個幫浦抽氣，通常多將系統中的氣體直接排出至系統外的大氣中，如果應用兩階段抽氣，則使用兩種不同的幫浦串聯抽真空，將氣體從系統較低氣壓處由一幫浦抽至較高氣壓處，然後再由另一幫浦抽送到大氣中。一般而言，後者被稱為前段幫浦 (fore pump 或 backing pump)，亦可稱為粗略幫浦 (rough pump)，而前者則稱為高真空幫浦。
- (二) 儲氣式：此類幫浦將被抽之氣體抽入幫浦中永久或暫時儲藏在幫浦中而不排出，通常被抽之氣體分子在幫浦進口附近，受幫浦中的某些特殊物質物理吸附 (physical absorption)，或受高電壓離子化後結合成化合物 (此種方式稱為化學吸附，chemical absorption)。另外，亦有受到正離子，電子甚至放射線的作用，使氣體分子電離，然後在高電壓或磁場的作用下被某些物質吸收，也有使用低溫將氣體分子冷凍而儲存至幫浦內 (通常為空氣)。

關於使用排氣式與儲氣式幫浦的種類繁多，茲將其區分整理，如表 3.1 所示：

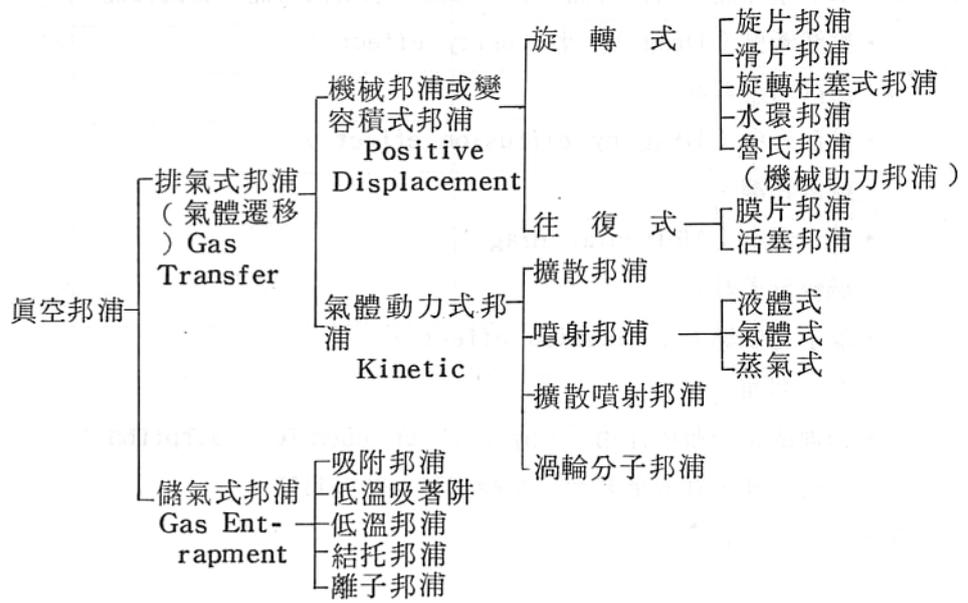


表 3.1 真空幫浦依抽氣型態區分之種類

3.1.2 迴轉油封幫浦與擴散幫浦之構造與抽氣原理

(一) 迴轉油封幫浦 (rotary oil-sealed pump)

這是機械幫浦的一種，其結構示意圖與分解圖分別如圖 3.1 與 3.2 所示。主要是依據氣體壓縮時，由體積改變時，使空間中的壓力亦隨之改變，進而達到抽氣的作用。

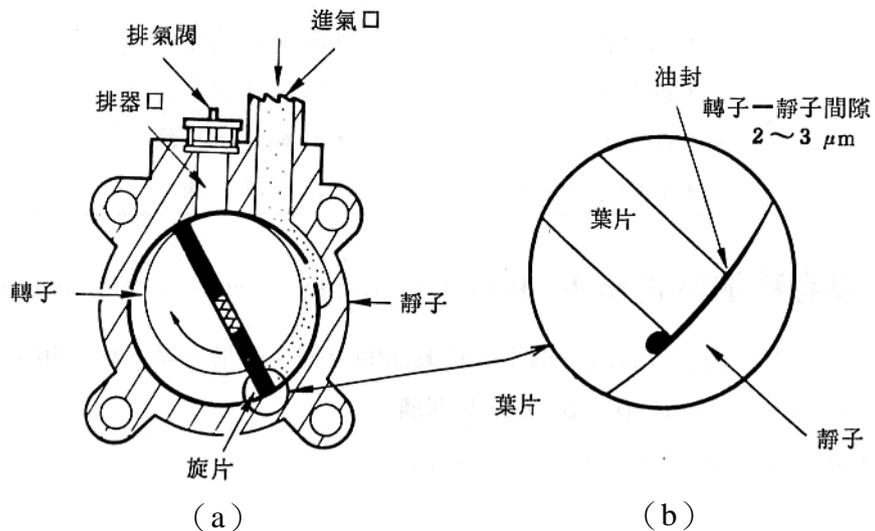


圖 3.1 (a) 迴轉油封幫浦結構剖面與各部名稱；(b) 轉子與靜子間油封示意圖

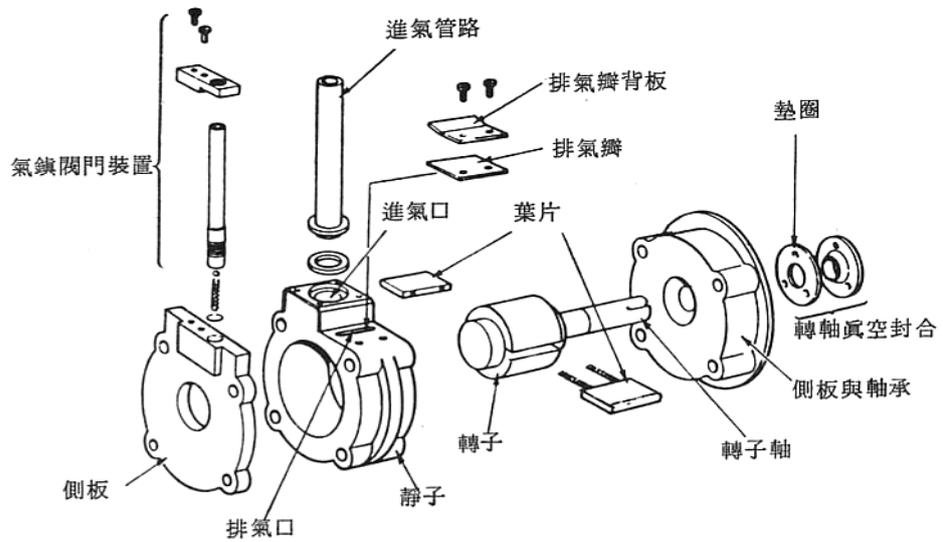


圖 3.2 迴轉油封幫浦結構分解圖

當抽氣過程作動時，氣體由進氣口進入，此狀態稱為吸入 (suction)，如圖 3.3 (a) 所示，由於轉子持續轉動使氣體不斷進入由定子、轉子與葉片所形成的空間，此過程稱為壓縮 (compression) 如圖 3.3 (b) 所示。當葉片繼續轉動時，氣體被壓縮並趕往排氣口處，此時壓力已即將到達一大氣壓稱為過壓 (overpressure) 如圖 3.3 (c) 所示，葉片進一步轉動時，該等氣體進一步被壓縮，因此壓力增大，當其累積之壓力大於一大氣壓時，排氣口閥門打開，氣體排出幫浦，此過程稱為排氣 (exhaust)，如圖 3.3 (d) 所示。

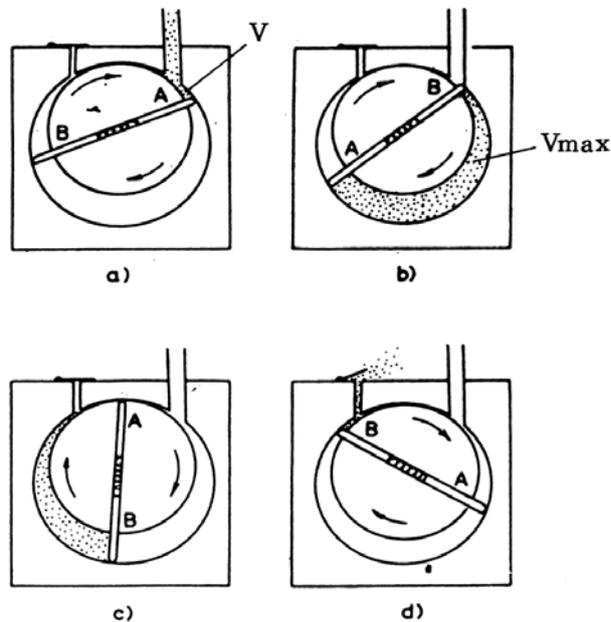
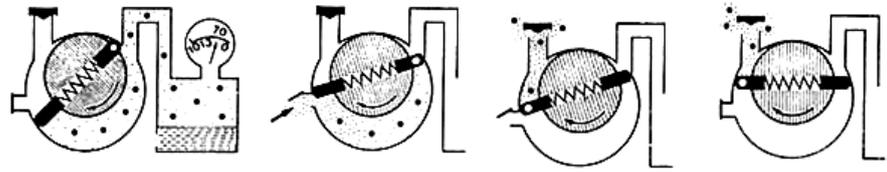


圖 3.3 迴轉油封幫浦抽氣過程示意圖

在迴轉油封幫浦中，尚有一重要裝置稱為氣鎮裝置 (gas

ballast)，這是為了避免凝結性氣體在幫浦內凝結，使幫浦不但可抽除所謂的永久性氣體，同時可抽除凝結性氣體的一種裝置。其作動原理與方式如下圖所示。



1. 氣體與蒸氣同時進入邦浦。
2. 邦浦腔內蒸氣與氣體和系統隔絕，氣鎖閥門打開
3. 達到過壓狀態但水蒸氣分壓小於飽和蒸氣壓，不凝結而與氣體同被排出。
4. 進一步排出氣體與蒸氣。

(二) 渦輪分子式幫浦 (Turbo molecular pump)

渦輪分子式幫浦是另一種壓縮式機械性幫浦。它的轉子是由一系列放置在一支軸心(shaft)上的渦輪葉片所組合而成的。幫浦的轉子與固定子間間隙約維持在數毫米(Millimeters)之間。當幫浦的軸心以每秒約 3 萬轉的轉速帶動葉片的轉動之後，與渦輪分子式幫浦第一組葉片相接觸的氣體分子，將因葉片所提供的動量(Momentum)，而傳往下一組葉片，而後經多組葉片的壓縮，從幫浦的排氣端排出，而達到容器內氣體分子濃度調降以降低壓力的目的。因為每一組葉片可以當作是一個階段性(stage)的真空抽氣裝置，所以由一系列葉片所組合的渦輪分子式幫浦，可以視為由許多階段性真空裝置經串聯所行程的一個幫浦。

3.2 真空計分類與量測原理

3.2.1 本系統所採用之真空計之分類

(一) 波登測壓計(Bourdon gauge):

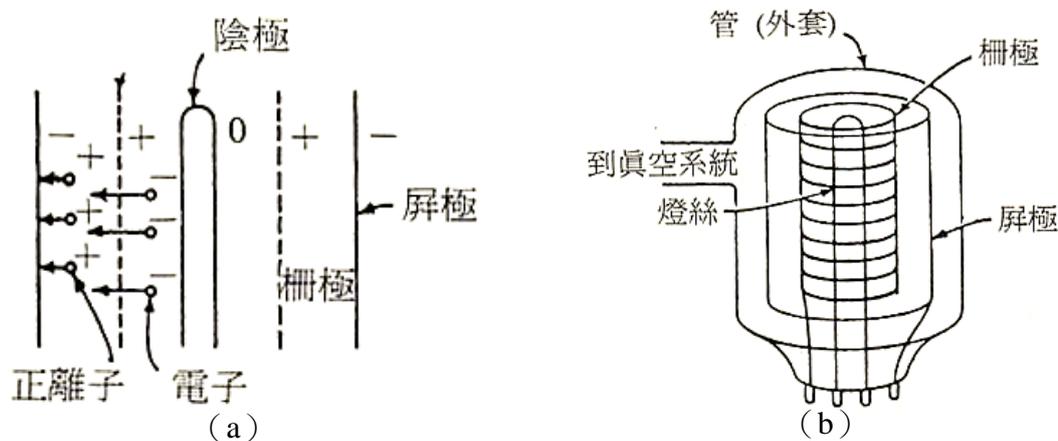
利用不同壓力下的形變來執行壓力的量測,屬於一種機械式的測壓計。

(二) 熱電偶真空計(Thermocouple gauge):

熱電偶真空計是一種熱傳式的壓力量測計。它的操作原理是利用熱傳導率速率與氣體分子密度呈正比的關係,藉著 $p = nRT / V$, 來進行容器的壓力量測。

(三) 離子化真空計 (ionization gauge) :

離子化真空計係將真空系統中的氣體分子變成離子而測定其離子電流（或經由一電阻而測定其電壓）。由此可測得氣體分子數而算得氣體壓力。



四、實驗步驟

A. 實驗開始的開機步驟

1. 打開機械幫浦開關(angle valve 關閉)。
2. 打開 angle valve, 開始對真空腔抽氣。
3. 利用計時器紀錄粗抽的速率。
4. 等候機械幫浦將真空腔壓力降至 10^{-3} torr。
5. 打開渦輪分子幫浦之電源供應器。
6. 利用計時器紀錄細抽的速率。
7. 當發現真空度已經達到渦輪分子幫浦抽器允極限時,將 angle valve 關上, 在將渦輪分子幫浦關上。
8. 量測真空腔內壓力回升的速率。

B. 實驗結束勿關機步驟

1. 先關 angle valve
2. 再關渦輪分子幫浦
3. 然後關機械幫浦

五、實驗結果

1. 詳細紀錄實驗操作流程及注意事項。
2. 請畫 pumping curve (真空度 torr VS 時間 sec)

六、參考文獻

1. 真空技術，蘇青森著，東華書局出版。
2. 實用真空技術，呂登復編著，國興出版社出版。
3. VLSI 製造技術，莊達人編著，高立出版社出版。

七、問題與討論

1. 請畫出抽氣曲線”壓力 $760 \sim 1 \times 10^{-7}$ torr” VS “時間 sec”，並指出表面釋氣控制抽氣速率的區域
2. 請說明離子真空計的工作原理並依所得數據畫出壓力與離子真空計電流之關係，是否呈線性？預測真空度為 1×10^{-9} torr 時之電流？
3. 為何製作薄膜時需要真空環境？
4. 實驗中用了幾個幫浦，其作用之真空範圍為何？

一、附錄

(一) 粗抽 (760 torr 至 5×10^{-3} torr) 壓力變化紀錄表：

起始壓力值 _____ Torr 開始抽氣時間： _____

時間 (秒)	壓力值	時間 (秒)	壓力值
5		160	
10		170	
15		180	
20		190	
30		200	
40		220	
50		240	
60		260	
70		280	
80		300	
90		320	
100		340	
110		360	
120		420	
130		480	
140		540	
150		600	

二) 細抽 (5×10^{-3} torr 至 1×10^{-7} torr) 壓力變化紀錄表：

起始壓力值 _____ torr 開始抽氣時間： _____

時間 (秒)	壓力值	時間 (秒)	壓力值	時間 (秒)	壓力值
5		115		540	
10		120		600	
15		130		720	
20		140		840	
25		150		960	
30		160		1200	
35		170			
40		180			
45		190			
50		200			
55		210			
60		220			
65		230			
70		240			
75		260			
80		280			
85		300			
90		320			
95		340			
100		360			
105		420			
110		480			

(Please attention)

A.

1. Protect ion gauge filament :

- a. 壓力需小於 10^{-3} torr 才可暫時打開 Ion gauge, 讀完值後,請 turn off
- b. 實驗結束,turn off Ion gauge 之後,切勿打開 vented valve, 以防止 filament 燒掉

2. Protect turbo pump :

- a. 壓力值須低於 10^{-2} torr
- b. 切勿搖動桌子, 或使 Turbo pump 產生震動
- c. 實驗結束後,須等待 15 min 確定 turbo 停止後, 才可開 vented valve,以避免氣流回衝
- d. 關 machanic pump 之前,須先將 angle valve 關上, 以防止油氣逆流

B.

1. 切勿搖動桌子, 及注意行走有無阻礙。
2. 實驗時要有助教在場, 現場有高壓裝置, 勿任意觸碰。
3. 實驗儀器很貴重,請小心使用,不確定的東西,請勿擅自動手。