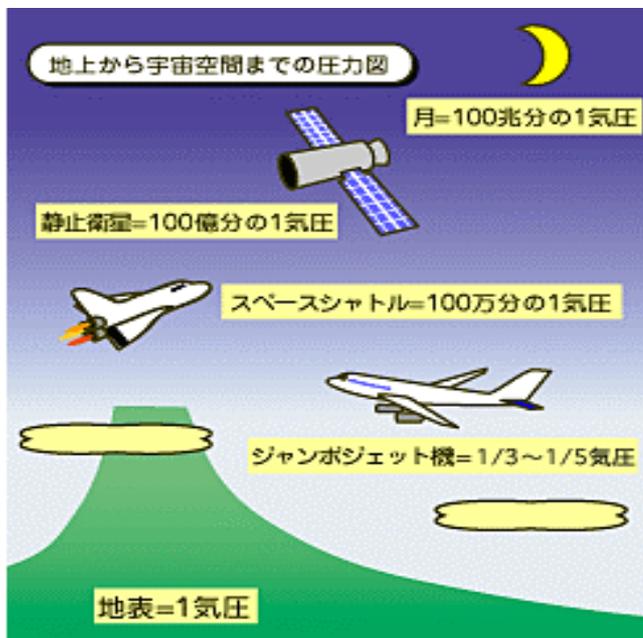


真空技術的發展與應用

一、前言

"真空(vacuum)"意謂著"不含任何物體的空間"，因此從邏輯的觀點，既然"空間"必含有物，所以無所謂的"真空"。這個觀念持續了將近 1800 年之久，直到 16 世紀末才略有改觀。即使在 17 世紀，著名的法國哲學家笛卡爾(Descartes)仍強烈地否認 "真空"存在的可能性。對於以幫浦抽水只能達到某一高度極限以及越過某一高度以上的虹吸管即不發生作用等現象當時的解釋為由於幫浦作用不完全或者在虹吸管中有一股神祕未知的力所致；而空氣具有重量以及承受壓力的觀念也是後來逐漸地為人所理解與接受。自古以來，科學的觀念大多基於哲學家的沈思而很少是根據實驗證據的解釋，這種觀念歷經了多個世紀人們早已習以為常。但從第十七世紀開始，由於一些偉大科學實驗家的努力，才使得真空科學打破傳統邁出革命性的一大步。



二、真空歷史演進

真空的歷史約可追溯到 400 年前，當時多數人不相信真空的存

在，其中最大的障礙是受到亞里士多德邏輯思考緊箍咒的束縛；在其邏輯中，「空間」的定義是由物質聚集所佔據的體積，怎麼可能存在一個空間而裏面卻沒有物質呢？後來，有許多科學家，例如伽利略、托里切利、巴斯卡、波義耳等人不斷發現及發明，以及葛瑞克到處作秀，藉著大家所熟悉的馬德堡半球，把真空的知識傳播到整個歐洲。真空科技於是成為當時最熱門的基礎科學之一，而真空幫浦也躋身為 17 世紀人類的三大發明之一（另外兩種為鐘擺和顯微鏡），此為真空科技對人類貢獻的第一次大爆發

在第一次大爆發中，人類了解到大氣壓力的強大力量和真空絕熱的特性，創造了 17 和 18 世紀真空科技應用的發展，直接或間接促進工業革命及其相關發展。19 世紀後半期，真空科技創造了第二次的大爆發，不僅發明燈泡使人類遠離黑暗，另一方面，由於真空度的提升，開拓了更多科學的視野，促成電子和基本粒子的發現，進而創造 20 世紀電子工業及量子科學的世界。

機械加工上，也突破傳統機械的加工法，發明例如離子蝕刻及真空鍍膜等細微加工，這些技術綜合起來即為現在所謂的「高科技」。化學方面，本世紀不僅波義耳定律的應用更為駕輕就熟，且由於真空度提升，可直接操縱分子束反應以探討基本的化學作用，因為真空度提升，也使得真空系統中的污染降低，讓科學家有更充裕的時間探索材料表面微細結構和各種反應作用，因而發現了更多原子分子的特性。這些寶貴的基礎知識，在不久的將來必然促成人類生活品質更上一層樓。

三、真空技術基本概念

真空基本的定義是指有一空間內的氣體分子利用外力將其移

走，使其氣壓小於一大氣壓，則此時該密閉空間內之物理狀態稱之為真空。事實上我們知道想將所有氣體分子移出空間之外是一項不可能的事，氣體移出量的多寡，決定在我們使用何種方法，而且在應用上也隨著需求而有所不同。在一個大氣壓力下，物件的表面不斷受到氣體分子的撞擊，這些氣體分子有些可能在撞擊後便反彈離開表面，有些則是吸附在物件表面上，更有些是與物件表面發生化學反應。

在一個大氣的環境下，一個物件的表面，在很短的時間內，便會遭受無數多個的分子的碰撞，因此不管多乾淨乾淨的物件表面很快的便會被污染，所以通常我們所謂認定的乾淨表面，必須是在一個超高真空的環境之下，且在很長的一段時間內沒有額外的分子吸附其上，如此才能說是乾淨的表面。在大氣壓力下，氣體分子是非常的擁擠，氣體行走時就好像在一個擠滿人潮的廣場一般，隨時與他人碰撞。倘若有一個空間其壓力是在大氣壓的狀態之下，則其內部的氣體分子從一個內壁行走至另外一個內壁時，不可避免的將會與其他分子做碰撞，反之若將該空間的壓力降低，則分子間碰撞的次數將會降低。這樣的一個改變會使得一些實驗可以進行，例如我們蒸鍍金屬膜，在高真空之下，金屬的原子在行進過程中不會與其他分子作用，因此到達目的地時，金屬原子依舊保持原特質，同時蒸鍍速率也不會下降，另外在濺鍍實驗上，惰性氣體或是反應氣體在游離後必須行進一段距離，藉由增加能量以致於可以用來佈植或是濺射物件表面。除此之外在分析材料的實驗上，真空環境的存在，有利於物件表面被撞擊而出的電子或離子有足夠的時間可以達到接受器以便做下一步的分析，這也就是為什麼一般材料分析儀器必須在真空環境下才能進行的原因。

真空程度的分野與需求決定在應用的程面上。為了方便起見我們將真空的範圍區分為幾個區段。表一是一般真空的區分表，在半導體

常見的低壓薄膜成長，以及雷射蝕刻實驗都是在低真空的環境下完成，而一般常見的濺射，電漿蝕刻或是沈積以及 CVD 等等都是在中等真空環境下進行，至於若要有關於電子顯微鏡的分析，晶體成長，電子束微影術則真空環境就要求更高了，倘若想進行材料表面分析或是進行高純度的薄膜成長則真空度則是要求超高真空的環境。總之真空的要求來自於你的應用要求，若是不想因周圍外在分子影響你的結果，真空環境變成你控制品質的一個重要參數。

表一 真空範圍

真空範圍	壓力範圍(Pa)
低真空	$10^5 > P > 3.310^3$
中真空	$3.3 \times 10^3 > P > 10^{-1}$
高真空	$10^{-1} > P > 10^{-4}$
非常高真空	$10^{-4} > P > 10^{-7}$
超高真空	$10^{-7} > P > 10^{-10}$
非常超高真空	$10^{-10} > P$

一個真空系統往往結合了數項組件，它必須包含幫浦，閥門，管路等項以便可以形成低壓的環境。將氣體分子由腔體內轉移致腔體外的方式，通常都是利用位移式的幫浦，也就是說該幫浦的功能是將分子由一個區域移動另一個區域。

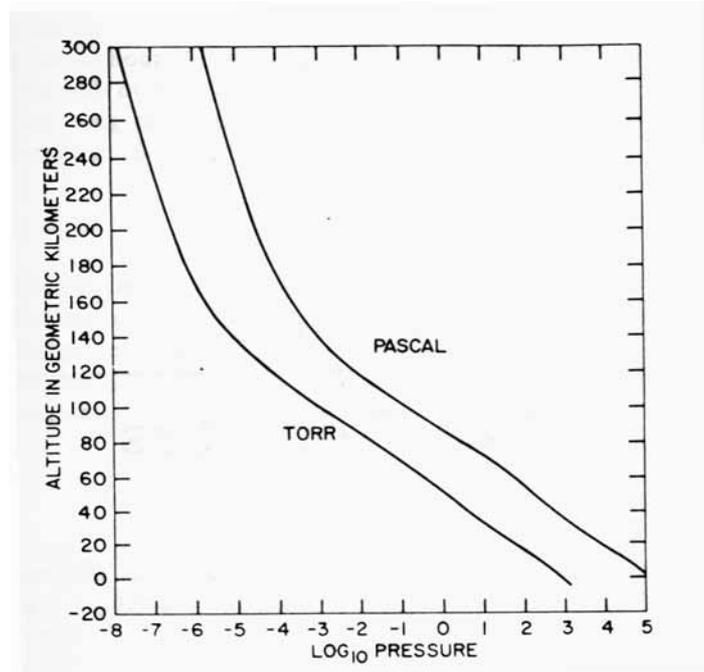
常見的幫浦如旋轉式和活塞式的機械幫浦，該種幫浦所抽到真空的極限在於 10^{-1} 至 10^{-3} Pa 之間，當真空度要求比這個更高時，不同種類的幫浦必須相互配合才可達到符合所求，有幾種幫浦可以搭配上方的機械幫浦而使得系統可以達到更高的真空程度，擴散幫浦便是第一個常見的高真空幫浦。擴散幫浦如同機械幫浦是一種位移式的幫浦，但是它無法工作在大氣環境之下，換句話說它的工作範圍無法從大氣

壓力一直持續至高真空範圍。第二個常見的高真空幫浦則是渦輪分子幫浦，該種幫浦就沒有擴散幫浦的限制，它可以在低真空的條件下運作。這兩種幫浦其氣體排放口的壓力必須在 0.5 至 50Pa 之間，也就是說該氣體排放必須進入機械式幫浦的進氣口，所以習慣上當機械式幫浦與這高真空幫浦的組合時，我們稱這機械式幫浦為backing pump 或是fore pump 。假如擴散幫浦或是渦輪式分子幫浦其抽氣量夠大的話，在這兩種幫浦之間會加上一種lobe blower，藉此加快抽氣的速度，尤其當壓力降到不高不低的範圍內時，這樣的組合會增加抽氣的效率。

除了位移式的幫浦可以用來減低腔體內的氣體分子之外，另一種氣體捕捉式的幫浦也可以達到同樣的效果。所謂捕捉式的幫浦顧名思義便是該種幫浦是將氣體捕捉，使其欲被抽真空腔體內的氣體逐漸減少而達到真空的效果，捕捉氣體的原理不外乎是將氣體給予凍結使其無法移動，或是與氣體分子反應形成固體，要不然便是將氣體藉由高壓的加速作用，最後埋入金屬內部。捕捉式的幫浦通常都使用在高真空的環境，而不使用在由大氣壓進入低真空的階段，原因很簡單因為高真空的環境下，其分子數遠比低真空下來得少，對於捕捉式的幫浦其壽命可以增長許多，否則當捕捉式幫浦內部的捕捉量到達飽和時，該功能將會消失。

空氣是在所有系統在抽真空時，最常碰見的氣體，事實上它是無所不在。空氣的成分若加以分析，將發現起碼有十二種不同原子在內。每一種原子佔的比例不盡相同，表四所顯示的資料乃是一個乾燥的空氣在海平面的高度下所測得結果。數據顯示空氣中以氮氣的比例佔最大部分。一大氣壓力為 101,323Pa 時，氮氣的分壓為 79117Pa。在此處我們並沒有將水氣的分壓考慮進來，因為水氣的壓力會隨著溫

度不同而有所變化，例如在室溫 20C，且溼度為 50%時，水氣的分壓為 1165Pa，若與表二來做比較，則發現其分壓比是佔第三位。



圖一 大氣壓力與離地球表面距離之關係

大氣的壓力隨著與地球的表面高度的不同有很大的變化，圖 1 乃是其壓力與高度之變化圖。當我們針對一個腔體進行真空抽取時，當壓力降至 10Pa 時，材料表面所溢出氣體分子的速度可能會比腔體內原有的氣體由幫浦抽出去的速度還要快，如此一來，若幫浦的抽氣速度無法增加，則該系統的壓力將會達到一個極限，除非我們改進幫浦，否則該腔體的壓力將會無法更動。然而在考慮更換幫浦之前，我們也必須對於製造腔體所使用的材料做一考量，換句話說選擇一個溢氣量不高的材料以及小心處理連接點的連結技術也可以解決一個腔體無法將真空降的更低的問題。

真空常用之單位

由於真空是一種壓力狀態，因此其單位與壓力之單位相同，而壓

力的定義為每單位面積 所承受之力，故其單位為力/面積。以下便是各種力的單位表示

一、M.K.S. 制為Newton/m²,定義為 1 pascal=1 pa=1 Newton/m²

二、C.G.S. 制為Dyne/cm²，定義為 1 bar=1x10⁶ Dyne/cm²

三、F.P.S. 制為Pound/in²(PSI)

四、1 Torr=1/760 atm=1mm Hg

早期常以 Torr 或 mbar 為真空單位,但目前各種物理量又逐漸以 SI 單位(即 MKS)為標準單位之趨勢，因此真空單位將慢慢改用 pascal 為標準單位。表二乃是一般真空常用單位之換算表

	Torr	Passcal	Bar	Atm
1 Torr	1	1.333332x10 ²	1.3332x10 ⁻³	1.3158x10 ⁻³
1 pascal(pa)	7.5006x10 ⁻³	1	10.x10 ⁻⁵	9.8692x10 ⁻⁶
1 bar	7.5006x10 ²	1.0x10 ⁵	1	0.98692
1 atm	760	1.0133x10 ⁵	1.0133	1

表二 一般真空常用單位之換算表

四、真空技術的應用

真空技術是現代科技的基石，從民生相關的食品包裝、眼鏡鍍膜、電視映像管，到高科技產業中的光電元件與半導體製程、尖端的材料分析儀器，甚至龐大的同步輻射加速器，真空技術都扮演著重要的核心角色。沒有真空技術就無法享受高品質的現代生活，也不足以從事高科技的研究。真空技術的進步，不僅可精進儀器設備的性能，並能提升各種產業製程效能及產率，進而實現許多技術的創新。因此，真空技術可說是未來科技產業及科學研究發展的重要基礎。

真空技術的應用範圍極為廣泛，種類繁多，其應用涵蓋各種工業

領域，如機械、電子、食品、化學、冶金等等，從較低層次的真空包裝、文件或貨物的輸送、物品的乾燥、濃縮儲藏，到材料的精練、燒結、熔接、熱處理以及電子顯微鏡等分析儀器的使用，到至高科技之粒子加速器與半導體電子工業等，不可儘數。

真空技術在科技產業發展的舞台上幾乎沒有缺席過,舉凡材料科技的應用:資訊(光碟,磁碟),半導體(單晶,多晶矽,三-五和二-六族化合物),微機電工業-離子植入,真空鍍模,蝕刻;光電(光纖接頭,平面顯示器)工業-真空鍍膜;金屬工業-真空鍍膜,例如材料表面分析所用的電子顯微鏡,質譜儀,產生高能量粒子的加速器,外太空真空環境的模擬等,由此可知真空技術的重要性。

真空熱處理之應用

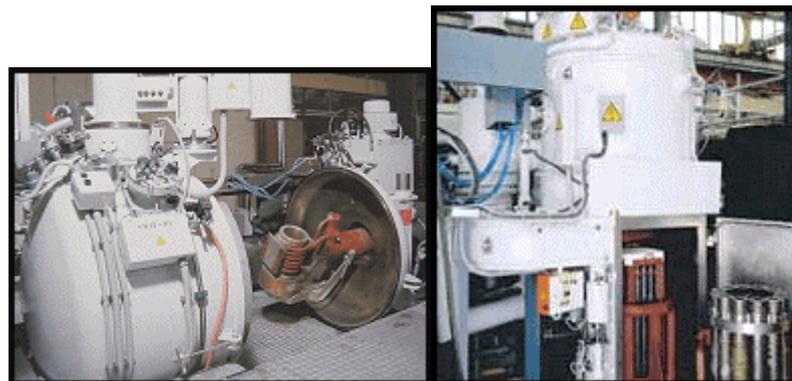
- 真空淬火
- 真空硬焊
- 真空退火
- 真空回火
- 表面光輝處理
- 析出硬化處理
- 固溶化及時效處理

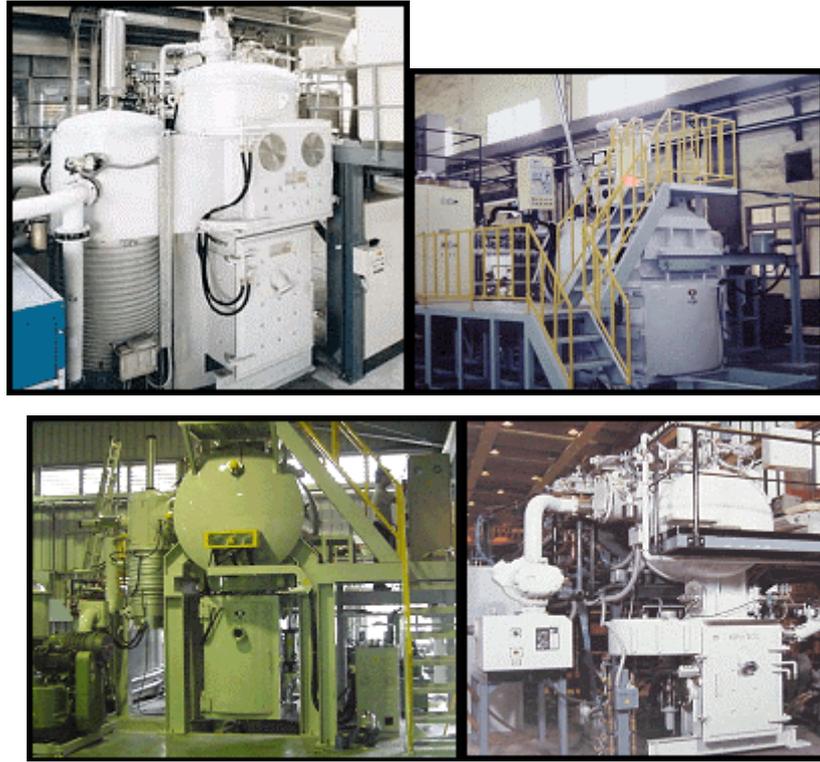




真空熔解爐之應用

- 高活性金屬熔解
- 精密鑄造渦輪葉片與人造骨骼合金
- 合金工具鋼之脫氣處理
- 分離與還原金屬

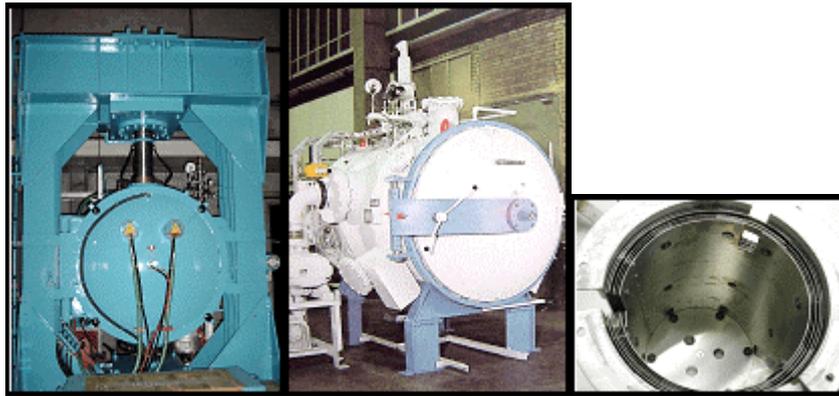




真空燒結爐之應用

- 各種產品之脫臘加壓燒結
- 超硬合金
- 薄膜濺鍍靶材
- 磁性材料
- 粉末射出成型
- 粉末高速鋼及陶瓷之燒結

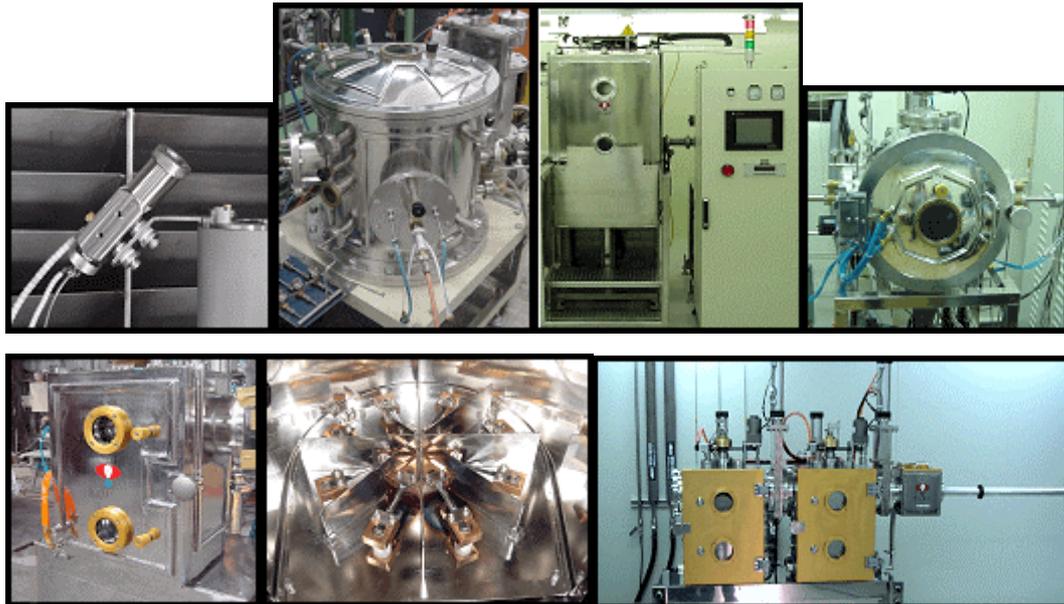




真空鍍膜設備之應用

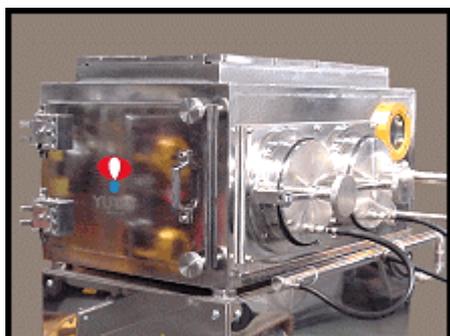
- 各種 PVD 鍍膜
- CVD 鍍膜
- 表面硬化鍍膜
- 有機發光體鍍膜
- 光學多層膜
- 研究用濺鍍系統





真空含浸脫泡之應用

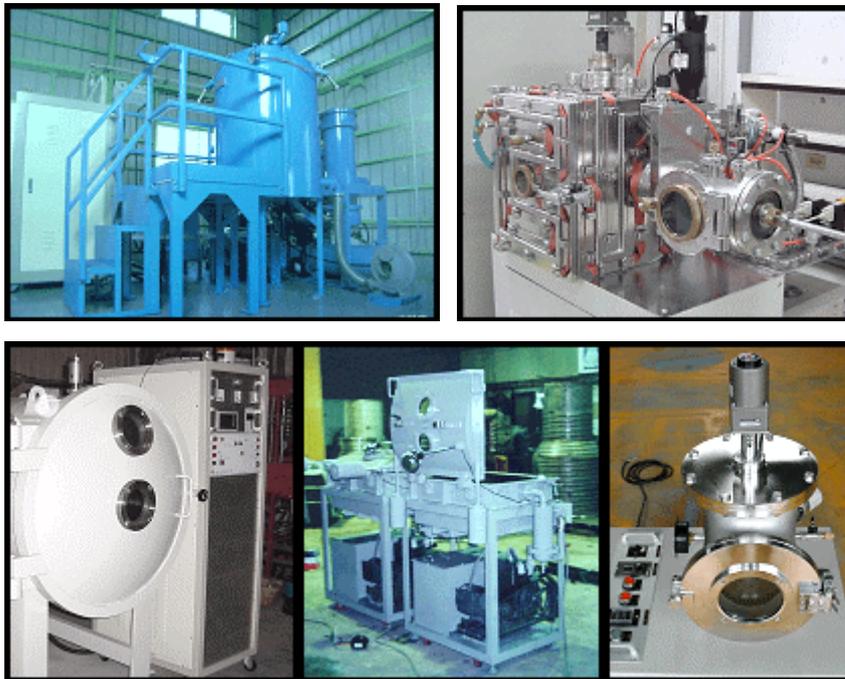
- 真空烘烤，乾燥，除氣
- 各種液體含浸於微小縫，達到完全充填
- 高壓電容器，變壓器之含浸
- 電子零件及液晶之充填

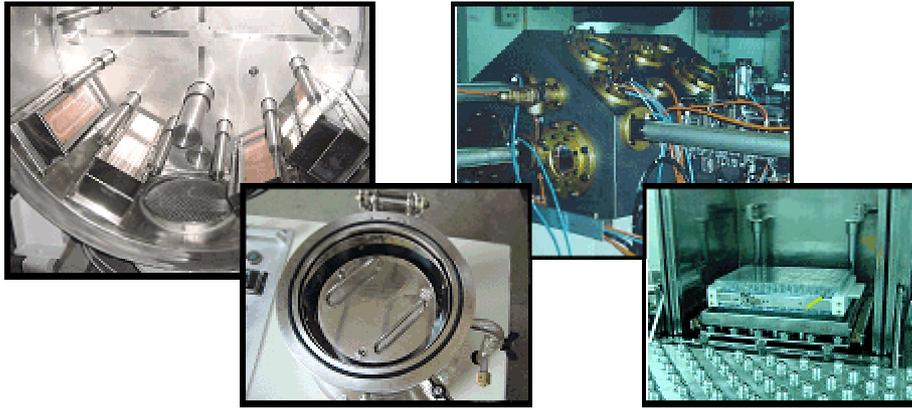




其他真空設備之應用

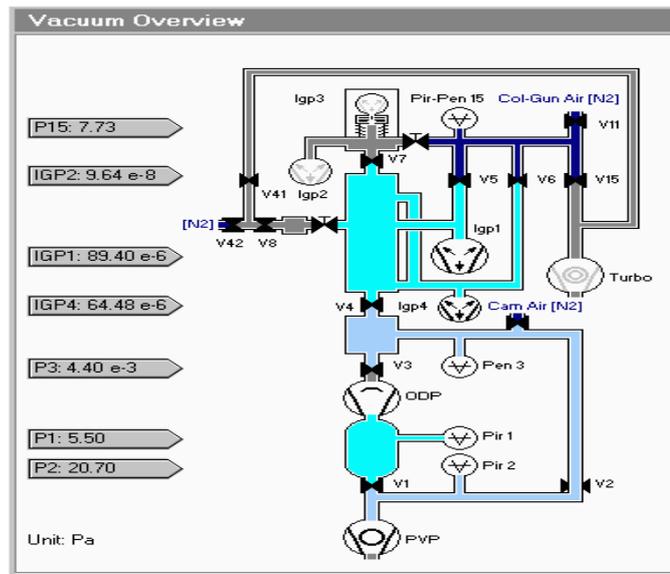
- 真空加熱資源回收系統
- 電漿表面改質
- 真空封裝
- 超高真空設備
- 真空相關元件及耗材





- 實驗室真空儀器

使用超高真空技術是表面分析儀器的必然趨勢，因合宜的材料表面的生命期約 10 小時，此時需 1E^{-10} Torr 至 1E^{-11} Torr 的超高真空。超高真空技術是一套方法可將實驗腔從 760 Torr (等於 1 atm) 抽至 1E^{-10} Torr 以下。常用的是用渦輪幫浦系統 (Turbo station; 渦輪幫浦系統包括機械幫浦以及渦輪幫浦兩機) 將實驗腔從 760 Torr (等於 1 atm) 抽至 1E^{-6} Torr 左右，再執行 bake-out 程序，bake-out 的運作方式是將實驗腔加熱到約 180 度，在此溫度下用將吸附在實驗腔的氣體用渦輪幫浦系統大量抽出數小時 (或數十小時，此依實驗腔大小以及乾淨程度決定)，最後在冷卻時關閉渦輪幫浦系統，打開離子幫浦系統，如此可將實驗腔抽至 1E^{-10} Torr 以下。下圖是 Phillip Tecnai F20 掃描穿透式電子顯微鏡 STEM 的超高真空系統，可將電子槍室中的真空抽至 1E^{-10} Torr 以下。



飛利浦 Tecnai F20 掃描穿透式電子顯微鏡真空系統示意圖。

- 真空儲藏及包裝

隨著國人生活水準的提升，消費者對農產品品質的要求相對提高。剛採收的新鮮農產品仍具有生命力，但之後其劣變現象不斷在進行，同時產品本身的田間熱及累積的呼吸熱造成的高溫更加速農產品的劣變，低溫可抑制引起產品劣變的生理變化及減緩病原因滋生，因此農產品採收後應儘快降溫以維持其新鮮度。道理很簡單，但如何使大量的產品均勻而快速的降溫，以掌握保鮮處理的先機則需要有特殊的預冷處理技術。

真空預冷技術是一種大量產品在運輸前或貯藏前將大量的產品快速降溫的技術，處理時產品以起重機作業，放入真空槽中，然後抽氣降低槽內壓力，隨著壓力降低，產品表面的水份不斷的蒸發，水蒸發時由液態變氣態帶走大量熱，產品的溫度亦迅速降低。

真空預冷的優點是：

- 一、 產品預冷澈底且降溫均勻，保鮮效果顯著。
- 二、 操作簡便，產品不須特別堆積處理，且經由自動控制設備

通常只須按一鍵即可完成所有操作。

三、降溫速度快，以短期葉菜類為例，每次只要 20 | 30 分鐘即可完成數百公斤甚至上噸的產品。

四、沒有包裝容器的限制，不像水冷式須考慮容器的防水性，氣冷式須考慮冷空氣與產品的接觸性。

五、能源使用效率高，由於大幅縮短預冷時間及處理量大，因此操作時之耗能相對的較其他預冷方式少。

真空預冷技術歐美已發展多年，在大型農場上使用非常普遍，但只限定在某些效果特別明顯的作物上，如結球萵苣、西洋芹菜等，在日本則已開發中小型真空預冷機，且廣泛使用於大多數的蔬菜。以往國內沒有引進這種預冷技術是因為國人對產品預冷及低溫保鮮的觀念並不普遍，且真空預冷設備進口價錢昂貴。以國內農產品的生產及運銷環境來說，真空預冷技術主要可用在建立產品低溫運輸保鮮系統，以提高國產品品質及競爭力，延長產品冷藏保鮮期，調節產銷，以減低菜土菜金的問題發生，並可使用於外銷農產品保鮮處理上。因此真空預冷技術可大大提升國內農產品的保鮮處理技術以提高產品品質，同時由於保鮮處理技術的改善更可提高農產品外銷競爭能力，有效的協助擴展農產品外銷市場。

● 冷凍乾燥技術

「冷凍真空乾燥技術」之應用相當廣泛，從食品、花卉、生物、化學藥劑、化妝品物料之乾燥至動物標本剝製、珍貴浸水書籍文件及泡水的考古木質之復原等包羅萬象。冷凍乾燥法通常用於保存易變性極高的水性物質，冷凍乾燥其活性成分，在避免水與氧氣的環境下包裝，是一個有效的濃縮保全原物性方法，並可以大幅延長儲存的時

限。

低溫真空冷凍乾燥則把植物急速冷凍到零下四、五十度，再把水分由冰（固體狀），直接轉化為氣體狀，沒有經過液體這個階段，因此利用冷凍乾燥的方法，直接從固體把水分昇華蒸發掉了，在這種情況下，營養素可以保存的相當完整，且不破壞組織。低溫冷凍乾燥法是生物科技界所追求並公認最可以保持植物的新鮮、營養及品質，甚至包括滋養人體免疫系統的各植物營養素…等 包括一般人最熟悉的維生素 C、 E 及 β 胡蘿蔔素，到最近被廣為推薦的黃酮類及某些有機酸等，都能達到最完善的保存，而且在使用上也比較方便、衛生。

新近生物科技業更開發出低溫噴霧乾燥機它可讓液態的活性成分瞬間冷凍成細緻粉末，就是經由不斷的噴霧、混合和乾燥來使物質從液體變為粉末。在眾多儲存植物的技術中，噴霧乾燥法有其獨特的優越性。因為此技術所使用的溫度並不是很高，所以在去除微生物污染的同時，仍可以有效保植食物的味道、色澤和營養。噴霧乾燥法通常被用於去除原料中水份。除此之外，它還有著其它多種用途，例如：改變物質的大小、外形或密度，它能在生產過程中，協助均勻的添加其它成份。

五、結論

儘管目前真空科技演進所造成的世界已經讓世人眼花撩亂，但從氣體分子密度的角度來看，現有科技所用到的真空度仍有極大的改善空間。若將真空度比喻成天氣的晴雨溼度，真空科技的第一次大爆發 ($<10^{-3}$ Torr)，可說是在極為渾沌、濃密嗆人的氣氛下進行的；而真空科技的第二次大爆發 (10^{-6} Torr)，則是在傾盆大雨之下進行的。有鑒於

目前高科技工業的需求，不少的真空設備和製程已經朝向毛毛細雨 (10^{-9} Torr) 的環境下進行。至於晴天 (10^{-12} Torr) 的環境，雖然只在少數尖端的科學研究設施中靜悄悄地運作著(其中最大的是一座加速器真空系統，加速器總長度為 27 公里，座落於瑞士與法國邊界的歐洲原子核共同研究中心，CERN)，不過絕大部分科學家相信，「晴天」的環境下，將會有更多更新奇的發現，且將促成三、五十年後，由真空科技所引發的另一次演進大爆發。