

第一章 緒論

1-1 原子力顯微鏡簡介

掃描式探針顯微鏡（Scanning probe microscopy, SPM）是在一九八〇年代初期所發展出一種新的顯微鏡技術的總稱，主要是利用極微小的探針對樣品表面進行檢測，其檢測的解析度可達奈米或甚至原子尺寸的等級，並呈現出量測試片表面與次表面的三度空間表面特徵。除了試片的表面形貌外，它亦具有量測試片表面材料特性的功能，且可在大氣環境下或液相中進行檢測，故其應用領域不斷地擴大。有別於之前已發展成熟的光學顯微鏡（Optical microscope, OM）及電子顯微鏡（Electron microscope, EM），因而又被稱為繼光學顯微鏡、電子顯微鏡後的第三代顯微鏡。

1982 年瑞士蘇黎世 IBM 實驗室的研究員 G. Binning 和 H. Rohrer 發明掃描穿隧顯微鏡（Scanning tunneling microscope, STM），為最早的 SPM。主要是利用導電性的探針接近導電性的樣品表面時因量子力學的穿隧原理會產生極小的穿隧電流（Tunneling current），利用不同的取樣方式，進而描繪出樣品表面形貌。二人也因這項發明於 1986 年獲得諾貝爾物理獎殊榮。G. Binning, C.F. Quate 和 C. Gerber 三人於 1986 年發明原子力顯微鏡（Atomic force microscope, AFM）。主要是利用探針的原子與樣品表面原子，二者間的交互作用力（凡得瓦爾力）而描繪出樣品的表面形貌。一般常見的 SPM 是 STM 與掃描力顯微鏡（Scanning force microscope, SFM）兩大類，此外還有延伸型工具，例如掃描式近場光學顯微鏡（Scanning near-field optical microscope, SNOM）與掃描電容顯微鏡（Scanning capacitance microscope, SCM）等也甚為常見。SPM 家族中，以量測探針與樣品表面間作用力的 SFM 為最大分支。SFM 是許多掃描力顯微鏡的統稱，其中最常見也最早出現的是 AFM，它的應用層面也最為廣泛。

以 AFM 做為主體架構，做局部的適當改良，便可以量測電荷、電

原子力顯微鏡實作訓練教材

位差、電容、磁力、側向力（摩擦力）、電阻……等，而衍生出如靜電力顯微鏡（Electrostatic force microscope, EFM）、磁力顯微鏡（Magnetic force microscope, MFM）、側向力顯微鏡（Lateral force microscope, LFM）、壓電力顯微鏡（Piezoelectric force microscope, PFM）……等。其量測方式與掃描式電子顯微鏡（Scanning electron microscope, SEM）、穿透式電子顯微鏡（Transmission electron microscope, TEM）不同，不使用高能量的電子束而是使用非常微小的探針進行量測，故不會對樣品造成損壞，其樣品的限制也是最低。其操作環境不似SEM、TEM需在真空環境下進行操作，AFM不僅可在大氣中進行量測，亦可在液相或變溫的環境下進行樣品即時量測，液相中的量測對於生物樣品觀測有相當大的幫助，此多樣的操作環境及樣品製備的低限制使得 AFM 的應用範圍更加廣泛。

AFM造價低於電子顯微鏡，且體積小，設計彈性又高，易與其他系統整合。除了與電子顯微鏡一樣，可做為奈米材料的表面形貌量測工具外，更可用來當做奈米加工的工具，近年來亦引起學術研究的注意，如應用於半導體蝕刻、儲存材料等，但因成本及生產速度因素導致無法商業化。無法像 SEM 或 TEM 一樣，進行樣品的成份分析。而 AFM 掃描速度仍比不上電子顯微鏡。不適用於量測表面高度落差過大之樣品。樣品要求方面，不需要如SEM，樣品須具備導電性質；製備手續也不似TEM繁複。與電子顯微鏡比較，其樣品製備簡易且限制度低。除了可描繪出 2D 平面影像外，更可因為掃描機制及架構的不同，描繪出電子顯微鏡所無法辦到的 3D 立體影像，利用此立體影像，亦可進行樣品表面粗糙度的分析。

1-2 原子力顯微鏡操作原理

原子力顯微鏡以探針與樣品間的原子作用力做為交互作用，其基本儀器架構主要由四個部分所組成（如圖 1-1）：(1)壓電陶瓷掃描器、(2)探針及懸臂、(3)雷射二極體以及(4)四象限的光偵測器。首先樣品被放置於 X、Y、Z 三軸向的壓電陶瓷掃描器上，使用雷射二極體照射於探針的懸臂背面並反射到四象限光偵測器上，在量測過程中因樣品與

探針間的原子交互作用力，使得探針產生偏移，透過四象限光偵測器量測反射光點的偏移，再藉由電路訊號回饋透過伺服器，控制三軸向壓電陶瓷掃描器，使探針在Z方向回到原本的反射點的位置，即探針與樣品間作用力維持固定，則可由反射點的位移來得知探針的偏移量，而X、Y方向則控制探針掃描，經由X、Y、Z三軸的訊號回饋記錄，即可獲得樣品的表面形貌影像。原子力顯微鏡在掃描樣品時其操作模式可分為以下三種：

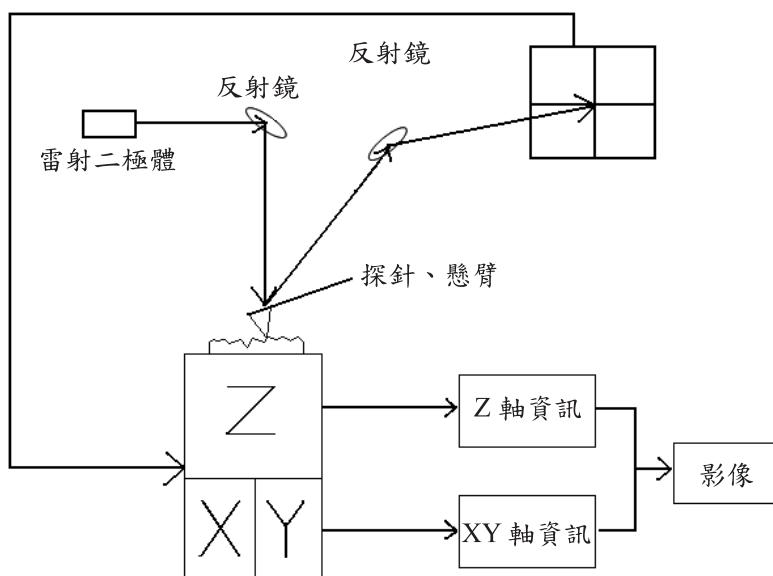


圖 1-1 原子力顯微鏡基本構造簡圖

一、接觸式（Contact mode）

以接觸式模式操作時，探針在掃描時總是接觸著樣品的表面。在此操作模式下，探針與樣品表面間的作用力是原子間排斥力（Repulsive force）。由於排斥力對距離非常敏感，所以接觸式AFM較容易得到原子解析度，但因探針與樣品間的接觸面積極小，雖然其作用力很小，約只有 $10^{-6}\sim10^{-10}$ 牛頓，仍會損壞樣品，尤其是軟性材質（如生物樣品），但是較大的作用力通常會取得較佳的解析度，所以選擇適當的作用力便十分重要了。一方面可降低探針的損壞，而以尖銳的針尖掃描樣品表面，可得到較佳的影像；另一方面，保護樣品的完整性而不

原子力顯微鏡實作訓練教材

會被破壞。

二、非接觸式（Non-contact mode）

為了解決接觸式可能破壞樣品表面及造成探針鈍化的缺點，而發展出非接觸式的操作模式，此模式操作時，探針通常被一振盪器（Oscillator）驅動，以一固定振幅做振盪，而探針與材料表面總維持著一定的距離（10~100 nm）。利用原子間的吸引力（Attractive force）來運作，不過此力對距離變化的敏感度小，靈敏度也較斥力差，故操作起來也較不穩定。非接觸式 AFM 一般只有 50 nm 的解析度，一般來說都使用於真空環境，因為在大氣中掃描時，易受表面汙染物（如水膜）的影響，造成影像失真，且在真空環境下，影像可以得到原子級的解析度，此操作方式的發展原因乃是為了解決接觸式損害樣品的缺點。

三、輕敲式（Tapping mode）

為改良非接觸式的缺點，進而發展出輕敲式的操作模式，輕敲式 AFM 乃是介於接觸式和非接觸式之間。其原理和非接觸式的原理相似，但其振幅較非接觸式小，而且每一振動週期中，探針在振盪底部和樣品表面接觸一次，由於樣品表面的高低起伏，使得懸臂的振幅改變，經由回饋系統，即可得描繪出樣品表面的形貌。與非接觸式比較，由於此模式直接接觸樣品表面，因此解析度提高為 5~10 nm；而與接觸式比較，雖然解析度較差，但破壞樣品的機率卻大為降低，同時幾乎沒有作用於探針與樣品的側向力，也沒有移動探針描繪樣品時所產生的摩擦力。此模式操作時，由於樣品表面性質的不同，造成探針頻率的改變而產生相位差（Phase lag），因而能額外獲得相位圖（Phase image）。相位圖成像原理如圖 1-2 所示，以上三種原子力顯微鏡操作模式，探針與樣品距離和作用力相互關係的簡單示意圖如圖 1-3 所示。

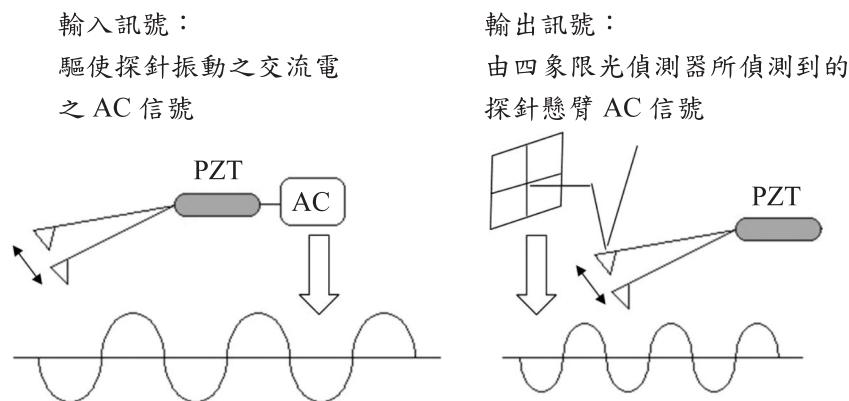


圖 1-2 相位圖成像原理

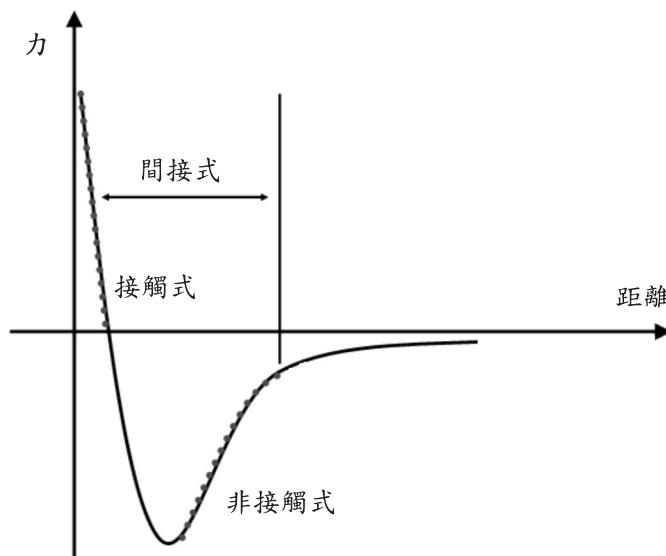


圖 1-3 探針與樣品距離和作用力關係示意圖

1-3 原子力顯微鏡操作順序說明

本教材使用原子力顯微鏡為 SPA-400 (SEIKO, 圖 1-4)，為讓使用者能有效率的使用原子力顯微鏡儀器，並且以正確步驟使用以維護儀器壽命，本章節以完整步驟，並以圖表簡易的方式，介紹 AFM 以期原子力顯微鏡使用者能快速入門並使用儀器。

原子力顯微鏡實作訓練教材



圖 1-4 AFM 儀器全景

1-3-1 原子力顯微鏡操作完整步驟

儀器操作主要步驟可分為十三個操作步驟順序：

1. 開電源（三處）。
2. 開氮氣瓶並確認防震桌狀態。
(如防震桌屬於用空氣壓縮機充氣，則不需使用氮氣瓶)。
3. 打開操作軟體。
4. 安裝掃描器、樣品、探針夾具於量測平台。
5. 調整雷射光軸。
6. 進行近針至測定範圍。
7. 設定掃描參數與掃描樣品影像。
8. 保存已測定的影像。
9. 退出探針至安全範圍。
10. 關閉操作軟體。
11. 打開隔音罩，取出樣品及探針夾具。

12. 關氮氣瓶。
13. 關電源（三處）。

* 以下詳細介紹每一步操作步驟

1. 開電源（三處）

打開總電源、電腦開關，以及工作伺服器開關（如圖 1-5）。



圖 1-5 開電源（三處）

2. 開氮氣瓶並確認防震桌狀態

先逆時針將氮氣瓶流量開關開啟如步驟一，再依步驟二順時針開啟氮氣流量計至 50 lb/in^2 （如圖 1-6）。

原子力顯微鏡實作訓練教材



圖 1-6 開氮氣（二處）

當氮氣開啟後，防震桌狀態如圖 1-7 所示。請按防震桌的四角，確認其浮動著。請務必確認！若有一處接觸，則可能會造成測定上的不順利。



圖 1-7 防震桌

3. 打開操作軟體

在電腦桌面上由捷徑『Spisel.32』進入所需要量測的模式，如 AFM、DFM、……等，最後進入 SPIWin 之主視窗（如圖 1-8）。

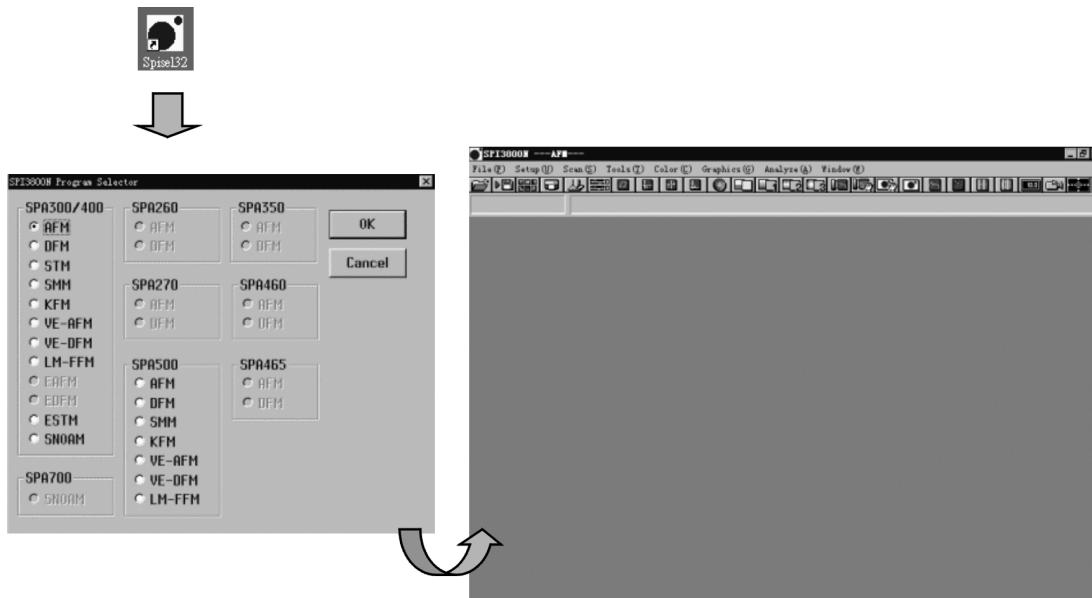


圖 1-8 Spisel .32 程式開啟

4. 安裝掃描器、樣品、探針夾具於量測平台

安裝掃描器（如圖 1-9），原儀器所附之掃描器有一固定的掃描範圍，若需要掃描不同範圍之掃描影像，則需要更換不同之掃描器。

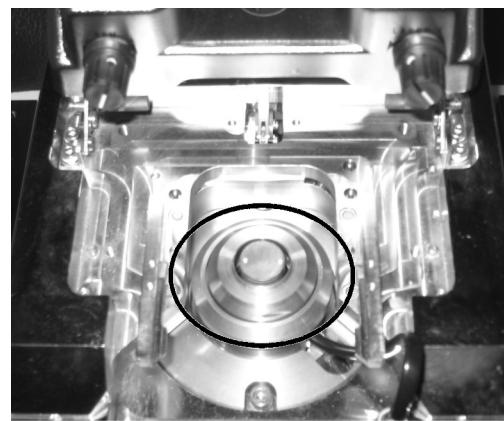


圖 1-9 壓電陶瓷掃描器

原子力顯微鏡實作訓練教材

(1) 放置樣品

有時因為樣品具有污染性，為了避免掃描器被污染，可在掃描器上放置一墊片，以避免樣品直接接觸掃描器（如圖 1-10(a)）。若樣品重量過輕時，可將樣品背面貼雙面膠直接固定於載台上。樣品重量過重時可能會影響結果，一般來講樣品最大直徑可達 4 公分左右（如圖 1-10(b)）。

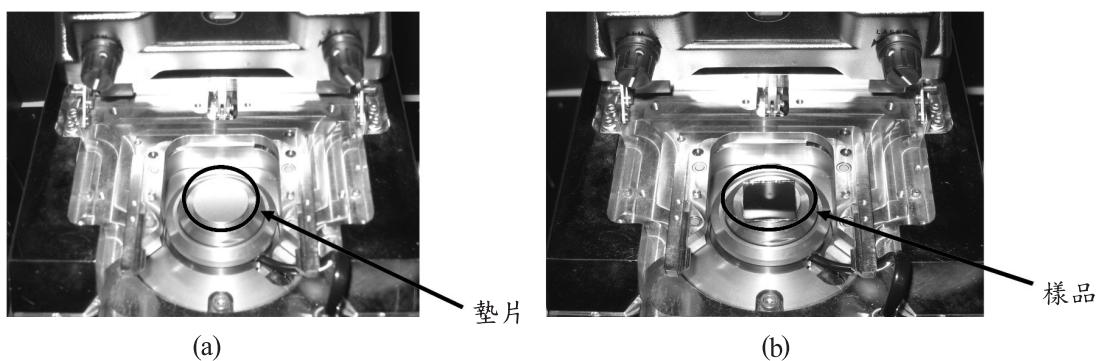


圖 1-10 放置樣品順序圖

(2) 安裝探針於探針夾具

小心的將探針正確的放置於探針夾具上（畫圈處，如圖 1-11），當使用不同的 SPM 操作功能時可能會使用不同的探針夾具及探針。放置探針時必須將右手貼緊桌面以避免抖動太大，影響放置結果使得探針掉落導致毀損。放完探針後應從夾具側面觀察是否在正確位置（如圖 1-12）。將裝好探針之支架放置於載台上，並確定固定在載台上，放入探針支架前需要先確定載台之高度，勿使探針與載台上之樣品產生直接的接觸碰撞，而使得樣品或探針受到破壞。