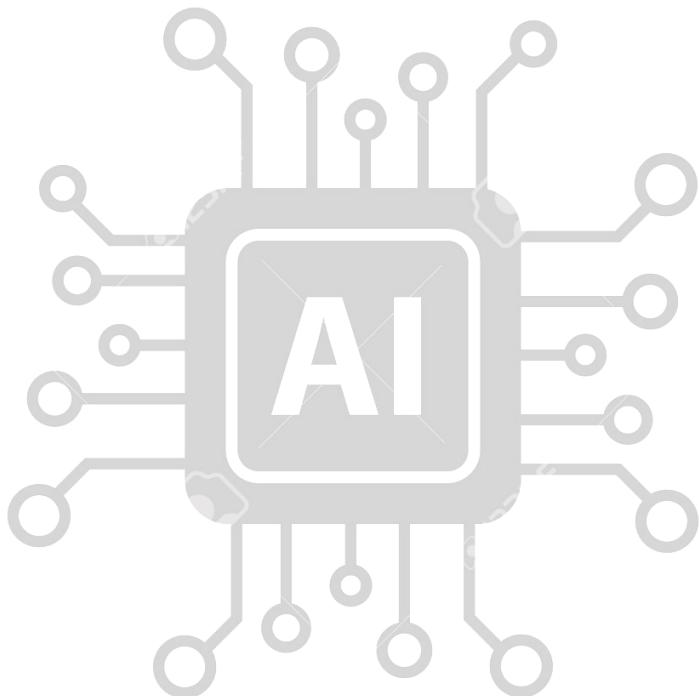


Atomic Force Microscope (AFM)

課程學習單

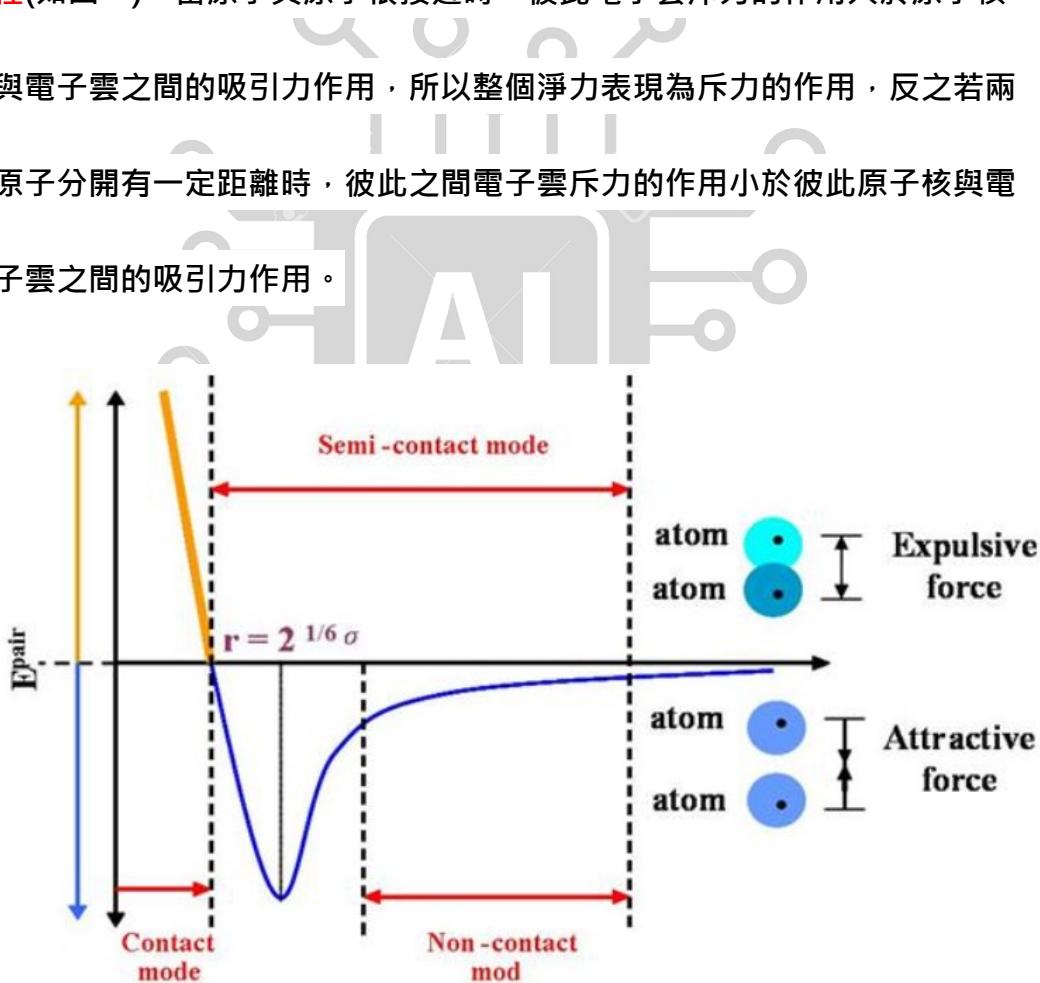


410987025 電機四 許定楷

Q1 原子力顯微鏡的工作原理為何？

一、工作原理：

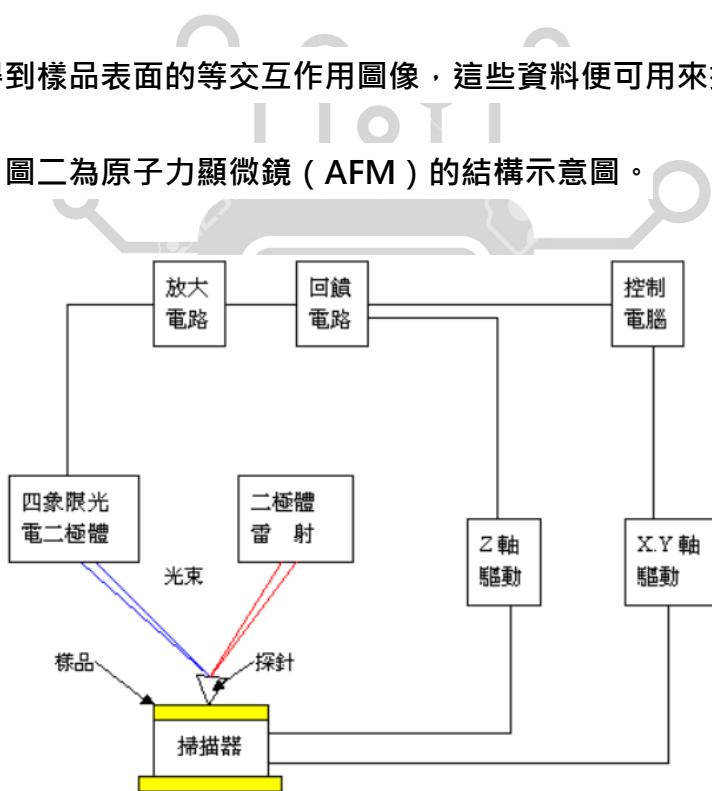
原子力顯微鏡利用微懸臂感受和放大懸臂上尖細探針與受測樣品原子之間的作用力，感測原子之間的凡得瓦力作用來進一步呈現樣本的表面特性(如圖一)，當原子與原子很接近時，彼此電子雲斥力的作用大於原子核與電子雲之間的吸引力作用，所以整個淨力表現為斥力的作用，反之若兩原子分開有一定距離時，彼此之間電子雲斥力的作用小於彼此原子核與電子雲之間的吸引力作用。



圖一、原子位能圖

二、原子力顯微鏡結構

利用特製的**微小探針**，來偵測探針與樣品表面之間的某種交互作用，然後使用一個具有三軸位移的壓電陶瓷掃描器，使探針在樣品**表面做左右前後掃描**（或樣品做掃描），並利用此掃描器的垂直微調能力及迴饋電路，讓探針與樣品間的交互作用在掃描過程中維持固定，此時兩者距離在數至數百 A° (10-10m) 之間，而只要記錄掃描面上每點的垂直微調距離，我們便能得到樣品表面的等交互作用圖像，這些資料便可用來推導出樣品表面特性，圖二為原子力顯微鏡 (AFM) 的結構示意圖。

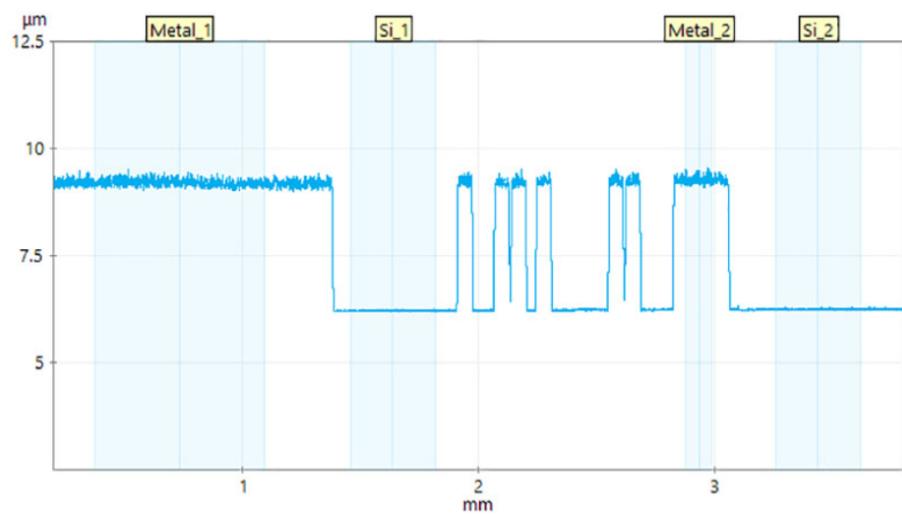


圖二、原子力顯微鏡 (AFM) 結構示意圖

Q2 在矽晶片製程中主要檢測哪些東西？

1. 厚度和均勻性：檢測矽晶片上不同層次的薄膜**厚度**和**均勻性**(如

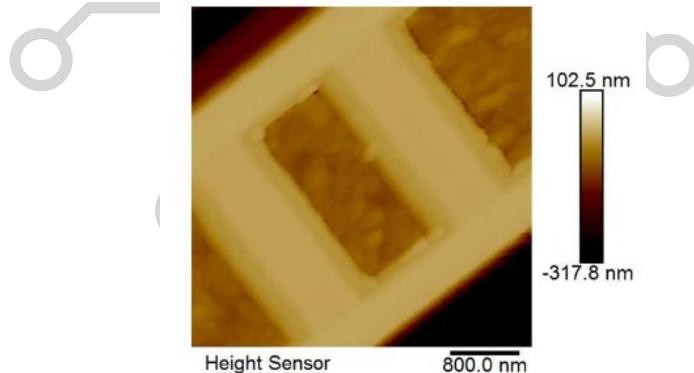
圖三)，確保製程中各層膜的正確沉積。



圖三、樣品表面粗糙度、結構高低差的分布狀況

2. 圖案和尺寸：檢測製程中圖案的形狀、尺寸和位置(如圖四)，確保

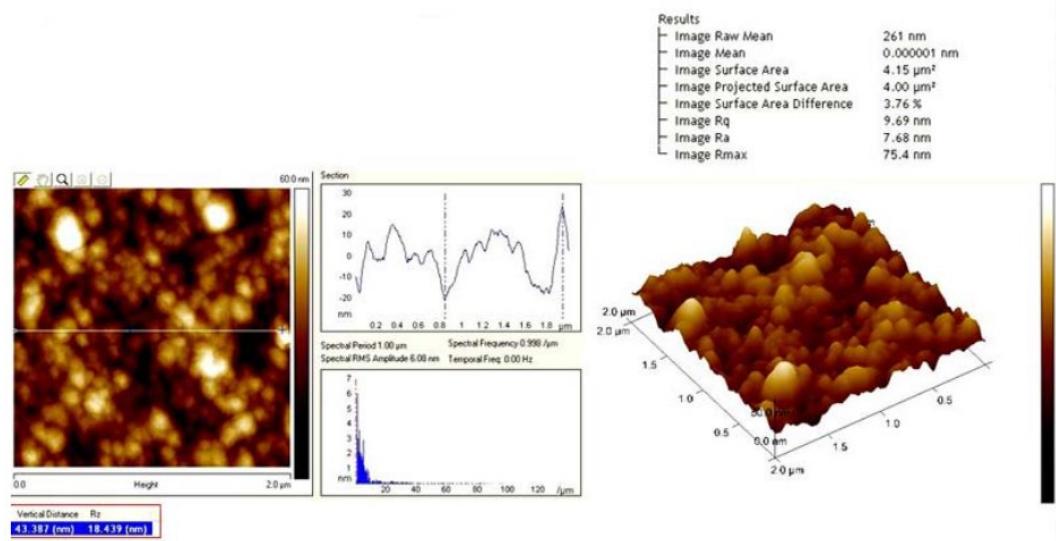
製程中的圖案製作準確無誤。



圖四、AFM 分析後的表面形貌

3. 表面平整度：檢測矽晶片表面的平整度(如圖五)，確保表面平整度

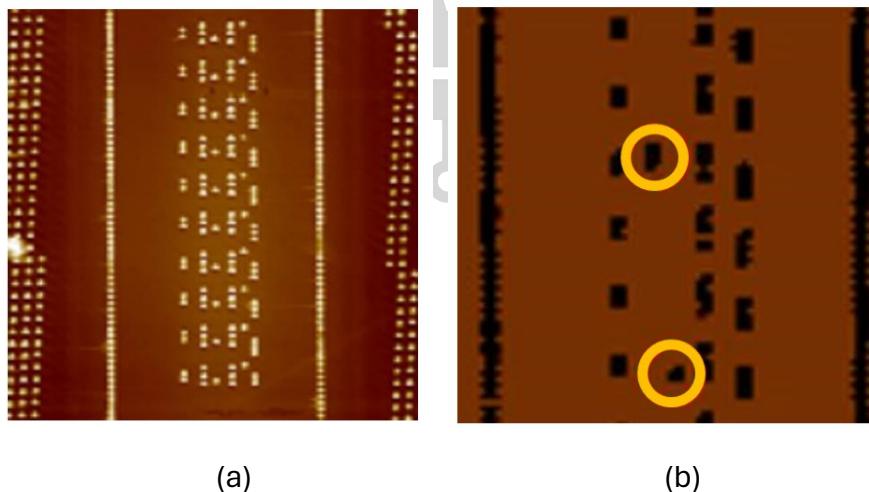
符合要求，以確保後續製程的準確性。



圖五、2D 和 3D 表面粗糙度分析圖

4. 電性能測試：檢測矽晶片的電性能(如圖六)，例如電阻率、電容率

等參數，確保晶片的電性能符合要求。



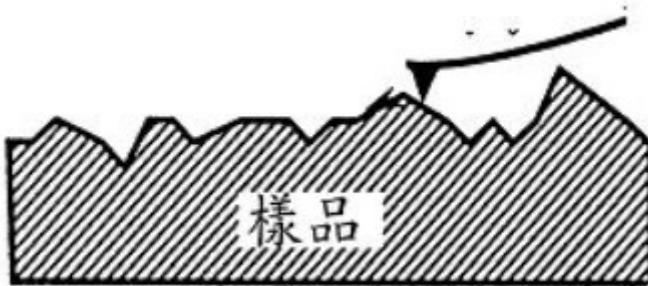
圖六、(a)外加正電壓(+1v)時的 Contact VC，無異常亮點發生。(b) 外加負電壓(-1v)時的 Contact VC，異常亮點發生。

5. 結構和缺陷檢測：檢測矽晶片的結構和缺陷，包括晶格結構、晶界、晶面等，確保晶片的結構完整性和品質。

Q3 如何檢測？

在 AFM 的系統中，是感測微小探針與待測物之間交互作用力如圖七。

AFM 的微小探針通常是黏附在懸臂式的彈簧片上，當探針尖端與樣品表面接近時，因**力場而產生作用力**，造成懸臂簧片的微小偏折，此簧片的**彈性變形量**，可以利用簧片後方的 STM 探針所測得，也可以利用**電容感應法**、**光學偵測法**來感測。



圖七、接觸式掃描方式

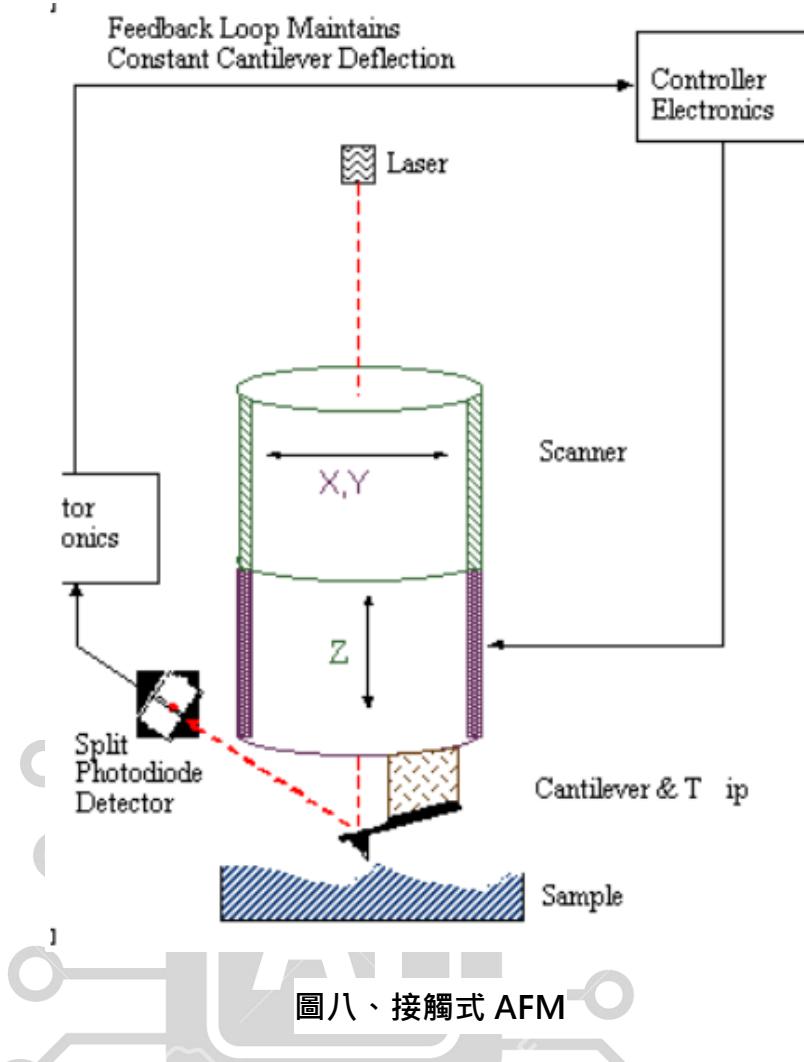
AFM 的主要結構可分為**探針**、**偏移量偵測器**、**掃描器**、**迴饋電路**及**電腦控制系統**五大部分，距離控制方式為光束偏折技術，光係由二極體雷射產生出來後，聚焦在鍍有金屬薄膜的探針尖端背面，然後光束被反射至四

象限光電二極體，在經過放大電路轉成電壓訊號後，垂直部份的兩個電壓訊號相減得到差分訊號，當電腦控制 X、y 軸驅動器使樣品掃描時，探針會上下偏移，差分訊號也跟著改變，因此迴饋電路便控制 z 軸驅動器調整探針與樣品距離，此距離微調或其他訊號送入電腦中，記錄成為 X、Y 的函數，便是 AFM 影像。

AFM 之量測模式依據探針與樣本間的距離可分為三種操作模式：接觸式、非接觸式與敲擊式。

1. 接觸式 (contact mode) :

利用針尖的原子與樣本表面原子之間排斥力的變化而產生表面輪廓的方式稱為接觸式，其互斥能的大小主要與原子間距倒數的十二次方成正比，當探針與試片的距離約為數個 A 時(一般為 3 A)，兩原子的電子雲會有互斥現象其原子間的排斥力約為 10^{-6} 至 10^{-10} N，由於接觸面積極小且近，因此過大的作用力可能會造成樣品表面損壞，尤其是軟性材質，因此在掃描生物樣品時或軟性材質，必須特別注意力的大小對樣本表面的影響。不過因為是接觸性的緣故，不僅僅樣品表面受損傷、探針也容易受損壞。

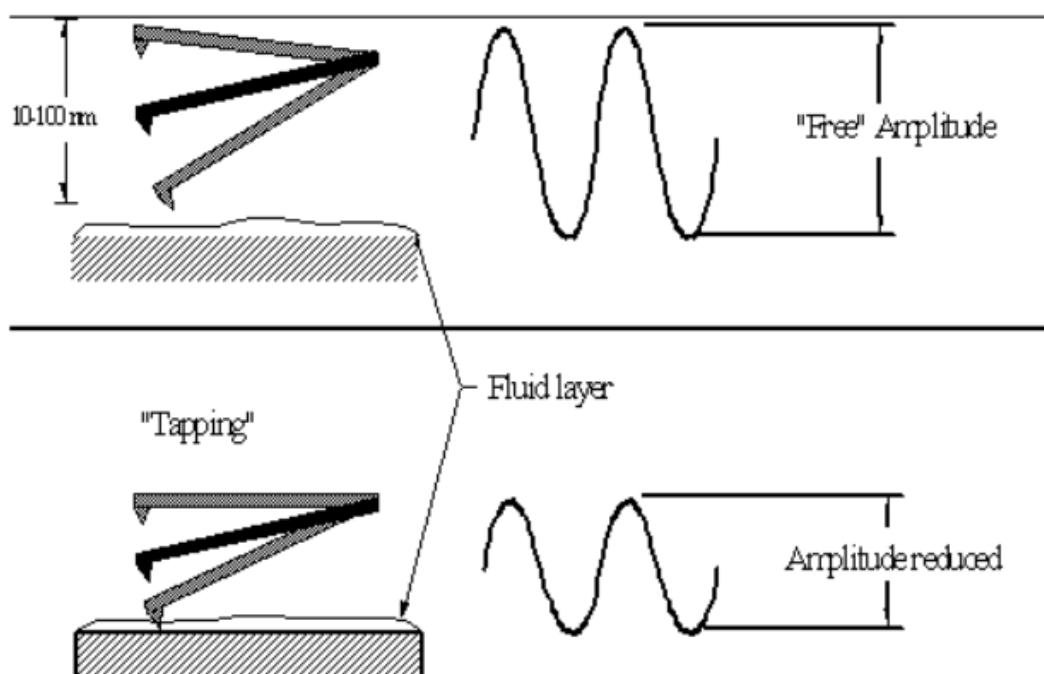


2. 非接觸式 (non-contact mode) :

利用針尖的原子與樣本表面原子之間吸引力的變化而產生表面輪廓的方式稱為**非接觸式**，其吸引力的大小主要與原子間距倒數的六次方成正比。非接觸式是利用原子間長距離吸引力-凡得瓦爾力對距離的變化非常小，針和樣品表面的距離為數十到數百 Å，由於探針和樣品沒有接觸，所以**樣品不易被損壞**，但由於探針和樣品並未接觸，因此**非接觸模式的呈像之空間解析度較差**，為其缺點。

3. 半接觸式 (semi-contact mode) :

有一種介於 contact mode 與 non-contact mode 的操作模式稱做半接觸式 (semi-contact mode) 或是敲擊模式 (tapping mode)。因接觸式探針一定要接觸待測物表面，探針下壓力量必須調整適當，否則會有掃描方向之破壞產生。半接觸式是改良非接觸式與接觸式，其原理是讓懸臂上下擺動並輕拍於物體表面，藉由振幅的改變而成像，其作用力同時受到吸引力及排斥力的交互作用。解析度介於接觸式與非接觸式間，且不受橫向力的干擾，且減少表面吸附現象。其操作模式適用於表面較軟的材料或是液樣中掃描的樣本可以降低水層的干擾或是毛細現象的產生。



圖九、半接觸式 AFM

參考資料

論文:

- [1] Binnig, Gerd, Calvin F. Quate, and Ch Gerber. "Atomic force microscope." *Physical review letters* 56.9 (1986): 930.

網路資料:

- [1] [科學 Online](#)
[2] [原子力顯微鏡原理](#)
[3] [「粗糙度」入門](#)
[4] [iST 宜特 IntegratedService Technology](#)
[5] [閎康科技](#)

影片:

- [6] [原子力显微镜的原理 | How AFM Works](#)
[7] [造顯微鏡也要用到量子力學？原子力顯微鏡是什麼原理？ | 技不如人 | AC 茂的模](#)
[8] [原子力顯微鏡 \(AFM\) 或掃描力顯微鏡 \(SFM\) - 一種高解析度類型的掃描探針顯微鏡 \(SPM\) · 其解析度達到奈米級 · 比光學衍射極限好 1000 倍以上](#)
[9] [台科大材料系 | 原子力顯微鏡簡介影片](#)