

第三章、實驗方法

3-1 實驗流程

本實驗主要可分為兩部分，第一部分是以前高溫爐管系統來成長氧化鋅一維奈米結構，並嘗試改變基板溫度、成長時間及選用不同基板等，再以各項儀器設備分析產物的變化情形。第二部分是利用金屬有機氣相沉積系統，分別選用鍍金或不鍍金之各式基板來成長氧化鋅奈米結構，再利用各項儀器設備分析產物的變化情形，探討金對氧化鋅成長的影響及金在成長中所扮演的角色。實驗內容以簡單的流程圖表示，如圖 3-1、3-2 所示。

3-2 高溫爐管製程

3-2-1 實驗裝置



熱蒸鍍法是目前成長奈米線較普遍的方法之一，主要是利用高溫將成長源加熱汽化或分解，藉由載氣將反應氣體傳送到較低溫放置基板之處，藉由 VLS、VS 等成長機制製備奈米線。利用此方法成長之製程設備較簡單，僅需要一高溫爐管系統。本實驗之主要設備如圖 3-3 所示，主體為一高溫管型爐，在爐體中放置石英管，石英管兩端用不銹鋼封套及 O-ring 做真空密封。石英管右側外接一入口進氣閥及浮子式氣體流量計，高純度氫氣由此通入作為載氣，左側外接一真空壓力計及機械真空幫浦，廢氣由此排出，而系統真空範圍則由 760torr 至 10torr。另外石英管的左側可外接一熱電偶作為爐管溫度分布的量測。

3-2-2 爐管溫度分布量測

實驗開始時，先將裝有氧化鋅與碳粉的混合粉末（Molar ratio=1：1）置於氧化鋁坩堝中，置於石英管的中央處，而做完前處理之基板則置於石英管之左側後段較低溫處，此處並非均溫區，因此基板溫度會隨著與反應物坩堝間之相對位置而改變。為了解石英管中各區實際的溫度分布，在實驗完成後，另外就管內溫度分布作實際量測。在石英管的左側鋼套中外接一可伸縮之熱電偶以量測溫度，在本實驗中使用了兩個製程溫度，分別為900°C、950°C，其管內溫度分佈情形如圖 3-5 所示。因實驗進行時，反應物除了沈積在基板上，亦會沈積附著於周圍的石英管壁上，因此可能讓石英管內的溫度比原來設定的溫度還高。因此利用熱電偶量測管內溫度時，可發現當製程溫度分別設定在 900°C、950°C 時，其實際溫度分別為 930°C、985°C。



3-2-3 實驗步驟

試片前處理部份主要分為兩種：(1)將四吋的 Si (100) 晶圓經 RCA 潔淨處理後，再用電子鎗蒸鍍系統 (E-gun) 鍍金，金膜厚度 10nm，再裁切為 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 的尺寸。(2)分別將 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 尺寸的 A_2O_3 基板和 Sapphire ($11\bar{2}0$) 基板置於丙酮溶液中，放入超音波震盪器中震盪 15 分鐘後取出，用氮氣吹乾試片表面，再將奈米金球溶液滴在基板上，並置於加熱盤 (Hot plate) 上烘乾。詳細實驗步驟敘述如下：將氧化鋅與碳粉的混合粉末（Molar ratio=1：1）置於氧化鋁坩堝中，與前處理完之基板分別置於石英管之中央處與左側後段處，紀錄其位置後，鎖緊不銹鋼封套將爐管密封，如圖 3-4 所示。

打開機械幫浦預抽至 100torr 左右，並在溫度控制器上設定爐管升溫速度為每分鐘 20°C 至製程溫度，分別為 900°C、950°C，而持溫時間依實驗需求分別為 5、15、30、60、90 分鐘，待抽氣約 15 分鐘後，通入高純度氫氣，調整氣體流量，並讓系統壓力維持在 300torr 左右，再開啟溫度控制器電源讓爐管開始加熱。當溫度達預設溫度後會進行持溫動作，待持溫時間（成長時間）完成，先關上氫氣的氣瓶開關，沒有氫氣作為載氣帶動反應源氣體至基板處沉積，則反應不再進行。待爐管降至室溫後，分別將溫度控制器及機械幫浦關閉，再取出試片進行後續分析。本實驗詳細之實驗條件列於表 3-1，使用之實驗藥品列於表 3-2。

3-3 金屬有機化學氣相沉積法 (Metalorganic chemical vapor deposition, MOCVD)



3-3-1 實驗裝置

MOCVD 亦可稱為 OMCVD (Organometallic CVD)、MOVPE (Metalorganic vapor phase epitaxy) 或 OMVPE。本實驗所使用之 MOCVD 機台由學長自行組裝，系統主要分為：反應腔體、前驅物、溫度控制系統、氣體管路、流量控制系統、廢氣排放系統等，如圖 3-6 所示。MOCVD 與一般 CVD 裝置之差別在於前者在沈積過程中使用有機金屬化合物作為反應源，而作為鋅來源之前驅物包括：Diethyl Zinc [DEZn; $(C_2H_5)_2Zn$]、Dimethyl Zinc [DMZn; $(CH_3)_2Zn$]、Zinc Acetylacetonate [$Zn(C_5H_7O_2)_2$] 和 Zinc Acetate Dehydrate (ZnAc)，使用這類化合物之優點在於其在較低溫度即可呈氣態存在。本實驗所使用之前驅物為 Zinc Acetylacetonate Hydrate [$Zn(C_5H_7O_2)_2 \cdot$

$x\text{H}_2\text{O}$, 99.995%], 外觀為白色粉末, 分子量為 263.61, 熔點約 136~138°C, 結構式如圖 3-7 所示。MOCVD 依成長環境之壓力可分為 AP-MOCVD (Atmosphere MOCVD)和 LP-MOCVD (Low pressure MOCVD)兩種。本實驗採用 AP-MOCVD 之方式成長, 而在常壓的狀況下進行化學氣相沈積之系統, 其優點是具有高沈積速率、有良好的薄膜均勻度, 且可沈積面積較大的試片。在常壓的狀況下, 反應腔體內的氣體分子彼此碰撞機率很高, 因此很容易會發生氣相反應。但由於氣體分子也容易附著在腔體管壁上, 因此實驗完畢後均需使用丙酮擦拭管壁, 再以氮氣槍清潔腔體。

3-3-2 實驗步驟



試片前處理部份, 按實驗需求分別準備有鍍金和沒有鍍金的基板, 鍍金基板部分有三種: (1)將四吋的 Si (100) 晶圓經 RCA 潔淨處理後, 再以 E-gun 鍍金, 金膜厚度 10nm, 再裁切為 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 的尺寸。(2)將 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 尺寸的石英玻璃基板置於丙酮溶液中, 放入超音波震盪器中震盪 15 分鐘後取出, 用氮氣吹乾試片表面, 再以 E-gun 鍍金, 金膜厚度為 10nm。(3)將 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 尺寸的 Sapphire ($11\bar{2}0$) 基板置於丙酮溶液中, 放入超音波震盪器中震盪 15 分鐘後取出, 用氮氣吹乾試片表面, 再以鍍金機鍍膜, 條件為電流 20mA, 時間 20 秒。另外沒有鍍金的基板則分別準備經潔淨處理後的 Si (100)、石英玻璃和 Sapphire ($11\bar{2}0$) 基板, 尺寸為 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 的尺寸。詳細實驗步驟敘述如下: 將基板置於 CVD 反應腔體內並固定, 量取適當前驅物 $\text{Zn}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 於氧化鋁坩堝內並放置系統中。實驗開始時, 溫度控制器分別設定: 基板溫度 500°C, 前驅物溫度 134°C, 氧氣溫度 500°C, 氧氣

管路溫度 500°C，氮氣管路溫度 170°C。在成長過程中，基板溫度維持 500°C，腔體壓力為一大氣壓，並打開排氣閥排出廢氣。通入氮氣主要作為傳送前驅物的載氣，而氧氣則是在腔體中與前驅物進行反應，氮氣和氧氣流量均控制為 500c.c./min。成長時間則依實驗需求分別為 60 分鐘與 120 分鐘，當達到所需的成長時間後，關閉氮氣氣瓶、氧氣氣瓶與各溫度控制器開關，並將排氣閥關閉。待系統冷卻後將試片取出後，再進行後續的分析。本實驗詳細之實驗條件列於表 3-3，使用之實驗藥品列於表 3-4。

3-4 實驗分析[59]

本實驗分析所使用之儀器包括 X 光繞射儀 (X-Ray diffraction, XRD)、掃描式電子顯微鏡 (Scanning electron microscope, SEM)、X 光能量散佈光譜儀 (Energy dispersive spectrometer, EDS)、穿透式電子顯微鏡 (Transmission electron microscope, TEM) 和高解析電子顯微鏡 (High resolution TEM, HRTEM) 等，表 3-5 列出各項分析儀器之比較。

3-4-1 X 光繞射儀 (X-Ray diffraction, XRD) 分析

本實驗所使用之 X 光繞射儀為 SEIMENS D5000 系統，靶材為 Cu 靶($k\alpha = 1.54050\text{\AA}$)。X 光繞射分析是最常用的晶體結構鑑定技術，試片製作簡易，且為一非破壞性的分析技術。X 光為電磁波之一種，其波長在 $10^{-12}\sim 10^{-8}$ 米，產生 X 之方法常見的有兩種：一由電子突然減速而放出輻射，一由電子加速產生光子。前者在 X 光管內，將已經高速加速之電子束撞擊金屬板，高

速電子受到金屬板的阻擋，急遽停止下來，將能量傳遞給原子中的電子，而使原子離子化，當原子內層軌域之電子被激發後，其空出之位置很快會被外層電子躍入填滿，見圖 3-8，在此電子躍遷的過程中，由於不同軌域間的能量差，其多餘的能量由放射光子的方式放出，因此產生 X 光。而後者則讓電子繞圓周做加速運動，當電子速度接近光速時，就會放出光子，因不涉及能階轉換，因而成連續光譜，稱為電子同步輻射。X 光繞射分析原理是使試片受到單色 X 光照射後，試片中某些晶體之結晶面與入射光夾 θ 角 (Bragg's angle)，而此角度符合布拉格繞射條件，也就是 $n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$ 時，入射光會被此結晶面所繞射，如圖 3-9 所示。被晶面所繞射之 X 光會形成中心角不同之圓錐狀，若將計數管沿試片中心旋轉時，X 光之強度會以 2θ 之函數記錄起來，如圖 3-10(a)(b)。將 2θ 值帶入布拉格繞射公式即可求出繞射晶面的面間距，最後比對晶體資料可鑑定待測物的晶體結構。X 光繞射儀基本原理如圖 3-10(c) 所示。近年來，薄膜材料的應用廣泛，而 X 光繞射分析可以在各種不同的環境下進行測試工作，因此結合掠角 X 光繞射法 (Grazing incident X-ray diffraction)，對薄膜進行分析測試，由於利用掠角 X 光入射可明顯增強薄膜的繞射訊號，因此被廣泛用於薄膜分析。圖 3-11 為掠角 X 光繞射法的幾何關係示意圖，由於入射光束與試片表面的夾角很小，所以 X 光進入試片後主要行進路線在薄膜內，量測時可得到較明顯的薄膜繞射訊號。

3-4-2 掃描式電子顯微鏡 (Scanning electron microscope, SEM)

電子顯微鏡 (Electron microscope, EM)，簡稱電鏡，一般是指利用電磁場偏折、聚焦電子及電子與物質作用所產生散射之原理來研究物質構造及微細組織的精密儀器。電鏡主要可分為掃描式電子顯微鏡 (Scanning electron microscope, SEM) 與穿透式電子顯微鏡 (Transmission electron microscope, TEM) 兩類。伴隨電子光學理論的快速發展，及結合 X 光能量分散光譜儀 (Energy dispersive spectroscope, EDS) 與能量損失譜儀 (Electron energy loss spectroscope, EELS)，電鏡可廣義定義為可鑑定晶體結構、顯微結構、化學成分和電子分布狀況的電子光學裝置。

本實驗所使用之 SEM 分別為 HITACHI S-4000 冷場發射 SEM 和 JOEL JSM-6500F 熱場發射 SEM，主要目的在觀察材料表面型態及分布狀況，另外使用其 EDS 設備做初步的成分分析，圖 3-12 為 SEM 主要構造示意圖。掃描式電子顯微鏡主要的工作原理為電子槍外加 0.5~30KV 的加速電壓使電子槍產生電子束，經過三個電磁透鏡所組成的電子光學系統，使電子束聚焦成一束後照射在試片上。當電子束與試片表面作用後會激發出來各種訊號，包括二次電子、背向散射電子、穿透電子、繞射電子、歐傑電子、非彈性碰撞電子，特性 X 光、螢光等，如圖 3-13 所示。一般掃描式電子顯微鏡所偵測的訊號為二次電子與背向散射電子，由於二次電子微弱鍵結電子，因此只有在距離試片表面 50~500Å 的範圍內的二次電子才有機會逃出表面而被偵測到，所以二次電子的數量會受到材料表面起伏影響，這些電子經偵測器偵測後會將訊號放大處理，然後由螢幕輸出影像，因此透過二次電子影像 (Secondary Electron Image, SEI) 可觀察到試片表面的表面型態。

3-4-3 X 光能量散佈光譜儀 (Energy dispersive spectrometer, EDS)

掃描式電子顯微鏡可外接一 X 光能量分散光譜儀 (Energy Dispersive Spectrometer, EDS)，藉由偵測試片表面激發之特性 X 光，來做材料的元素成分分析。主要的原理是讓試片發出的特性 X 光進入 Si (Li) 或 Ge (Li) 固態 X 光偵測器，其中 Li 是為了中和 Si 接收器中可能存在的其它雜質，減少電子-電洞對 (EHP) 的再結合中心 (Recombination Center)，使得偵測的效率準確，由於此種偵測器必須要在低溫下操作，因此利用液態氮冷卻之。當 X 光進入偵測器後引發電子-電洞對，再轉換成電流，以偵測 X 光的能量大小。這些電荷脈波訊號傳送到前放大器中的場效應電晶體中，轉化成階梯狀的輸出訊號，這些階梯的高度與入射 X 光的能量有比例關係存在。這些訊號接著以主放大器進行處理，並以線性的方式放大訊號。在多頻道分析儀中將類比訊號轉化成數位化的數字，最後在顯示器上呈現 X 光的強度光譜。EDS 構造如圖 3-14(a)(b) 所示。

3-4-4 穿透式電子顯微鏡 (Transmission electron microscope, TEM)

本實驗所使用之 TEM 分別為 Philips TECNAI20 熱游離式 TEM 及 JOEL TEM2010FX 場發射式 TEM。TEM 系統主要可分為四部份：(1) 照明系統，(2) 成像電磁透鏡系統，(3) 試片室，(4) 影像訊號偵測紀錄系統。圖 3-15 為完整之掃描穿透式電子顯微鏡剖面圖。

(1) 照明系統：

包括電子槍及聚光鏡系統，其中電子槍是產生電子的來源，電鏡之解

析度極限與整體性能表現主要由電子槍型態決定，作為陰極的電子源有三種：(a)鎢絲，(b)六硼化鏷 (LaB_6) 絲，以上兩種皆由熱游離發射 (thermionic emission) 原理產生電子；(c)場發射槍 (Field emission gun, FEG)，由電場發射原理產生電子。熱游離發射是利用加熱至高溫使電子克服功函數而脫離金屬表面。使用鎢絲時，採直接加熱方式，鎢絲成 V 形，當達到足夠溫度時即可發射出電子束，一般鎢絲的操作溫度約 2700K，電流密度約 1.75 A/cm^2 ，其壽命在 10^{-5} torr 真空下約 40~80 小時。 LaB_6 電子源由晶體成長方式生成，一般成棒狀而頂端磨尖，採間接方式加熱，由加熱圈將 LaB_6 絲加熱，一般操作實在尖端的溫度約 1700~2100K，電流密度 10^2 A/cm^2 ，使用壽命超過 10000 小時。場發射是利用很大的電場，使電位障壁變得很小，如此電子可以穿隧效應 (Tunneling effect) 方式脫離固體表面，場發射之電流密度可達 10^6 A/cm^2 ， 10^2 A/cm^2 燈絲壽命約 1000 小時以上。三種電子源亮度 (Brightness) 比大致為， $B_{\text{鎢絲}} : B_{\text{LaB}_6} : B_{\text{場發射槍}} = 1 : 10 : 10^3$ 。

(2) 成像電磁透鏡系統：

TEM 成像系統磁透鏡一般為三段式，即分為(a)物鏡 (Objective lens)，(b)中間鏡 (Intermediate lens)，(c)投影鏡 (Projective lens)。物鏡又稱為聚焦鏡，除放大之外，主要用於聚焦，在成像電磁透鏡中距試片最近，負責對試片影像作第一次放大，對於最後影像品質的影響最大。中間鏡又稱為放大鏡，主要功能為決定放大倍率與選擇繞射圖形或顯微影像在螢光幕上顯現。投影鏡則在對影像作最後的放大工作，將影像投影於下方之螢光幕上。

(3)試片室：

試片基座為讓試片經由此進入電子束路徑之裝置，能精確控制試片的三軸位移與兩軸傾斜角度。

(4)影像偵測及紀錄系統

系統主要包含螢光幕、照相底片等，螢光幕通常由 ZnS，ZnS/CdS 粉末塗層構成，當電子照射到螢光幕上，引起陰極發光而呈現影像。照相底片方面，因膠片上之感光乳膠通常含大量水分，一般須先在 10^{-2} torr 之真空室預抽脫水，使用前則迅速裝入相機盒內備用。



3-4-5 高解析電子顯微鏡 (High resolution TEM, HRTEM)

HRTEM 在空間解析率可達到原子尺度，主要在分析材料之晶體結構及觀察晶格影像。傳統 TEM 的成像主要源自電子繞射所產生的繞射對比 (diffraction contrast)，因此其結果分析是依據電子繞射的單次或多次繞射理論，考慮穿透電子束 (Transmitted electron beam) 或是繞射電子束 (Diffracted electron beam) 經過與試片之作用後其波函數的結果。HRTEM 的成像主要是由於穿透電子束與繞射電子束相互之間干涉所產生的結果，其成像原理是來自各電子束間彼此的相位差，因此所產生的對比稱為相位對比 (phase contrast)。由於高解析影像的對比主要是來自相位對比，因此在螢光板上所呈現的影像其對比往往不易觀察，故而 HRTEM 外接一台與電腦相連的 CCD (Charge-Coupled Device) 顯示器，可得到較高品質的影像，並可馬上由電腦直接處理分析。

3-4-6 TEM 試片的置備

TEM 試片的製備主要分為兩種方式，以下分別就觀察單根 ZnO 奈米結構與試片之界面狀況來做介紹。首先，觀察單根 ZnO 奈米結構之試片製備與一般薄膜材料的製作方式不太一樣，主要是將基板置於酒精溶液中，利用超音波震盪機將基板上所成長之奈米線震下而懸浮在溶液中，震盪時間約 15 分鐘，然後用針筒吸取少量溶液後，再滴數滴溶液在表面鍍有碳膜的銅網上，待乾燥後即可進行觀察分析，程序如圖 3-16 所示。

而欲觀察試片之界面狀況，則 TEM 試片採橫截面式 (Cross-section) 製作，方法概述如下，如圖 3-17 所示：

- (1) 以鑽石筆將試片切成約 2mm×5mm 之大小
- (2) 採用三明治的夾法，利用樹脂接著劑 (G1 Epoxy) 將試片中欲觀察的面對貼，並在對貼試片的兩側分別貼上相同大小的 Si 試片作為墊片，其目的在保護及平衡中間的試片，以避免在研磨時因磨耗速率太快造成欲觀察的部分脫落。以燕尾夾將對貼後的試片小心夾緊後，放置在加熱盤 (Hot plate) 上加熱約二十分鐘使接著劑能完全凝固。
- (3) 待接著劑完全硬化凝固後，將切好的試片置於加熱盤上與載玻片以熱熔膠黏合，黏合面須均勻加壓使膠膜愈薄愈好，待冷卻後依次以 180、400、800、1200、1500、2400 及 4000 號的砂紙逐次研磨，研磨至厚度約剩下一半時，以 Colloidal Silica 溶液拋光至鏡面以去除研磨時在試片上留下的刮痕。接著試片再換另一面，依上述方式研磨至試片厚度約 20 μ m 以下，直至可透紅光後，同樣以 Colloidal Silica 溶液拋光至鏡面。

- (4) 將銅環用 AB 膠黏著於已磨薄之試片上，銅環之中空部分必須圈住欲觀察之試片界面處，等待約一兩個小時 AB 膠乾後，再將超出銅環邊緣的試片切除。接下來將將試片浸於丙酮中溶去熱熔膠，讓試片與載玻片分離。
- (5) 最後以離子減薄機（Gatan Precision Ion Polishing System 691；PIPS）將試片修薄，當修薄至試片周圍產生薄區已足使電子束穿透，則試片便可放入 TEM 進行觀察。



表 3-1 爐管系統實驗條件與試片編號

試片編號	基板	Au	爐管溫度(°C)	基板溫度(°C)	成長時間(min)
1-01	Si(100)	Au film(10 nm)	950	680	90
1-02	Si(100)	Au film(10 nm)	950	600	90
1-03	Al ₂ O ₃	Au particle (10nm)	950	880	90
1-04	Al ₂ O ₃	Au particle (10nm)	950	880	30
1-05	Al ₂ O ₃	Au particle (10nm)	950	880	5
1-06	Sapphire	Au particle (10nm)	900	870	60
1-07	Sapphire	Au particle (10nm)	900	800	60
1-08	Sapphire	Au particle (10nm)	900	800	15

系統真空度：300torr 氬氣流量：150c.c./min

表 3-2 爐管系統實驗藥品

藥品	規格
ZnO powder	Summit-Tech Resource Corp. ZnO powder 99.999% 325mesh
Graphite powder	Riedel-de Haën Graphite fine powder
Au particle	SIGMA Gold colloid (10 nm)
Argon	99.995%

表 3-3 MOCVD 系統實驗條件與試片編號

試片編號	基板	Au	基板溫度(°C)	N ₂ /O ₂ 氣體流量	成長時間(min)
2-01	Si(100)	Au film(10 nm)	500	500/500 c.c./min	60
2-02	Si(100)	Au film(10 nm)	500	500/500 c.c./min	120
2-03	Si(100)	–	500	500/500 c.c./min	60
2-04	Si(100)	–	500	500/500 c.c./min	120
2-05	石英玻璃	Au film(10 nm)	500	500/500 c.c./min	60
2-06	石英玻璃	–	500	500/500 c.c./min	60
2-07	Sapphire	Au film	500	500/500 c.c./min	60
2-08	Sapphire	–	500	500/500 c.c./min	60

系統壓力：1atm

表 3-4 MOCVD 系統實驗藥品

藥品	規格
Zn(C ₅ H ₇ O ₂) ₂ · xH ₂ O	SIGMA-ALDRICH Zinc acetylacetonate hydrate, 99.995%
N ₂	99.999%
O ₂	99.999%

表 3-5 分析儀器之比較

入射粒子	粒子能量(KeV)	產生的粒子種類	材料分析儀器	分析目的
電子	0.3~30	電子	掃描式電子顯微鏡 (SEM)	表面形貌
	1~30	X 光	X 光電子能譜 (EDS)	表面成分
	100~400	電子	穿透式電子顯微鏡 (TEM)	結構分析
	>1	X 光	X 光繞射儀(XRD)	晶體結構分析



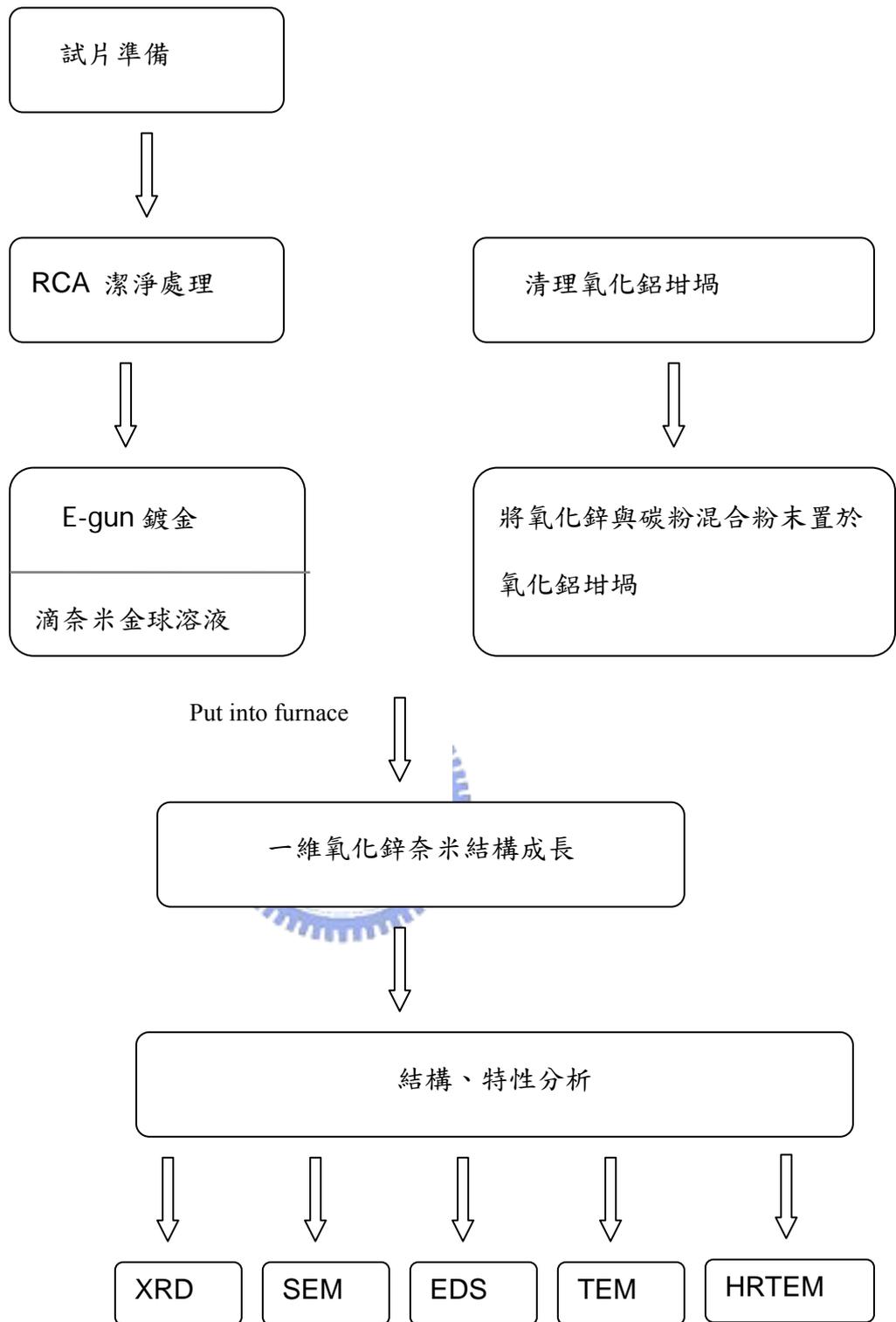


圖 3-1 爐管系統實驗流程圖

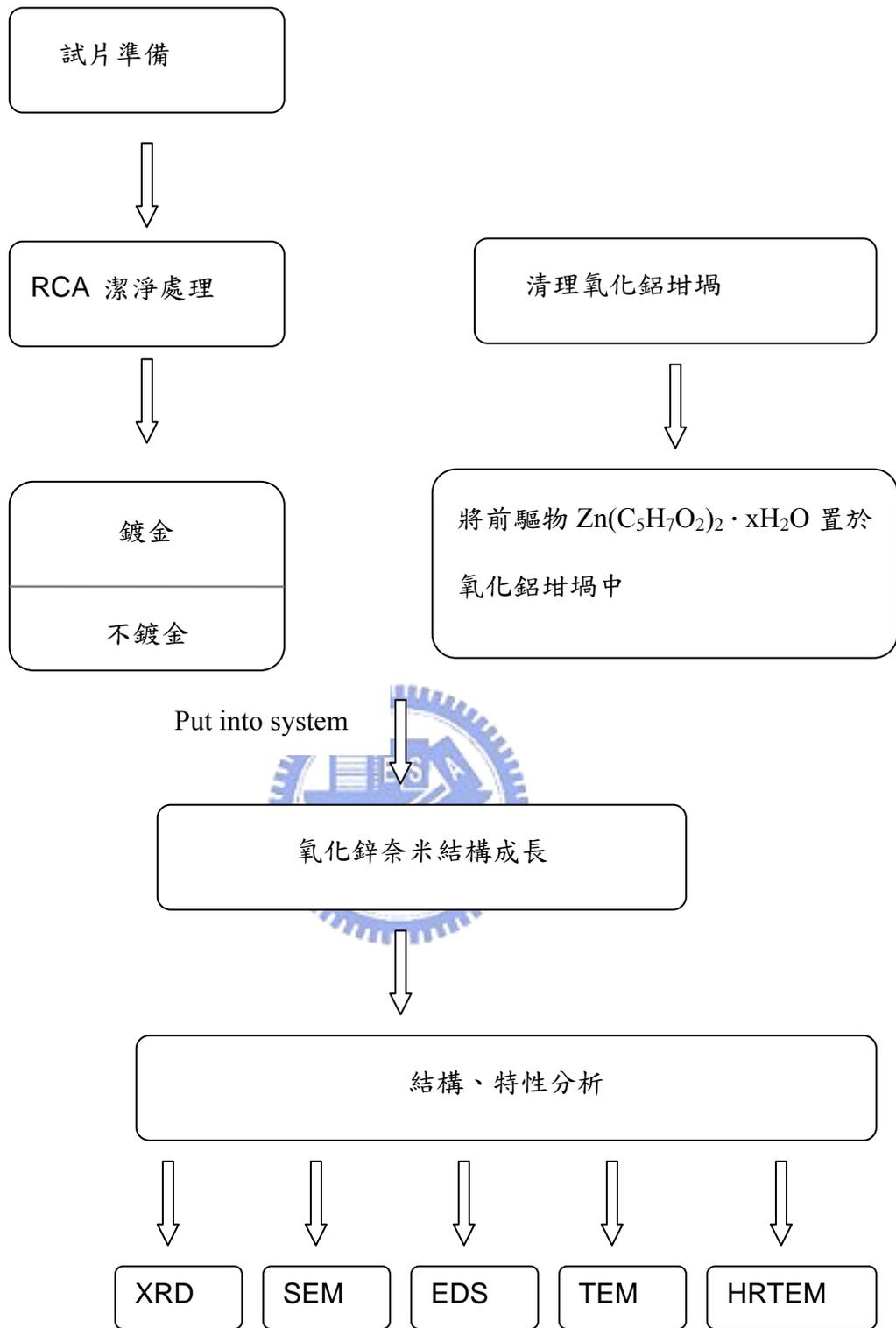


圖 3-2 MOCVD 系統實驗流程圖

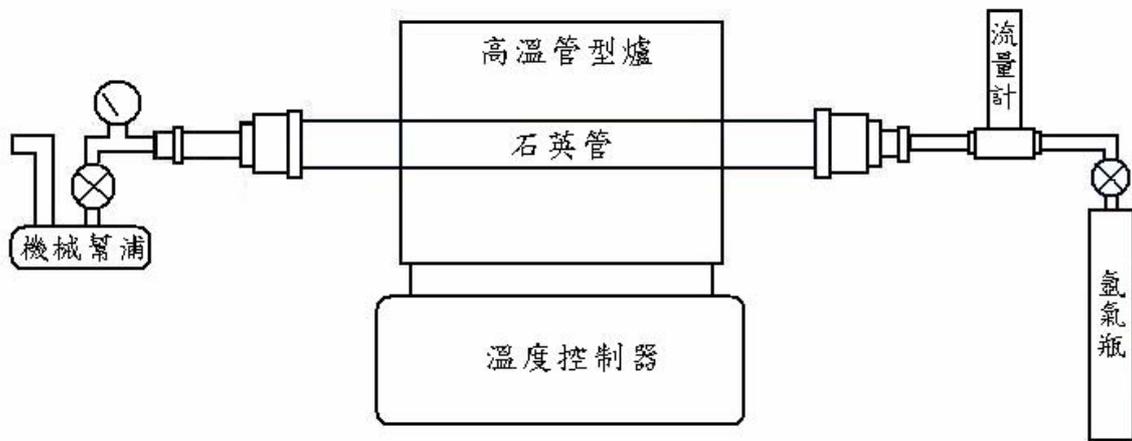


圖 3-3 高溫爐管系統設備配置圖

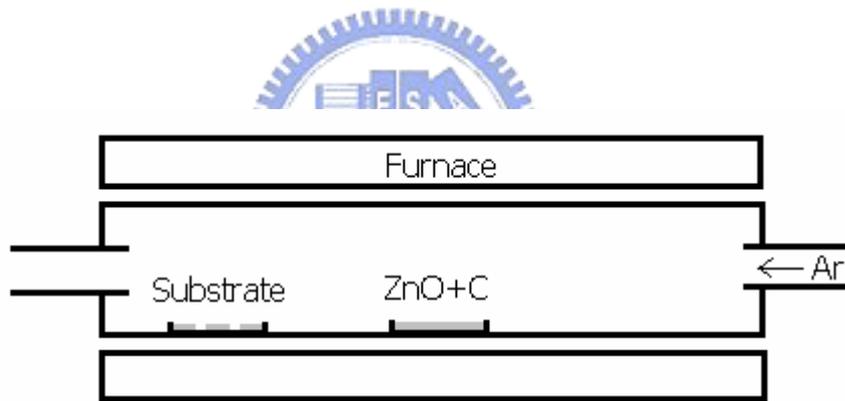
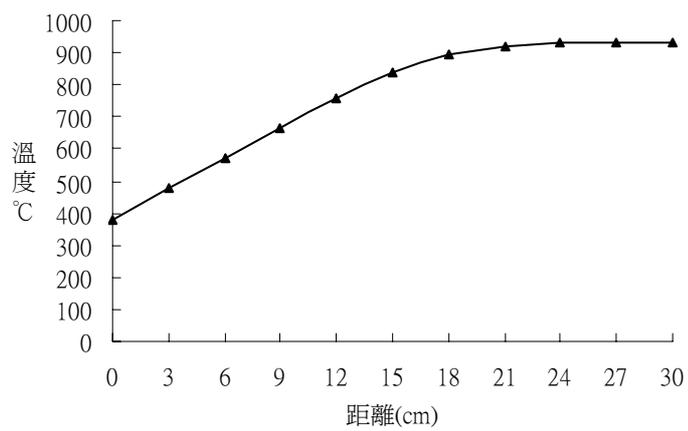
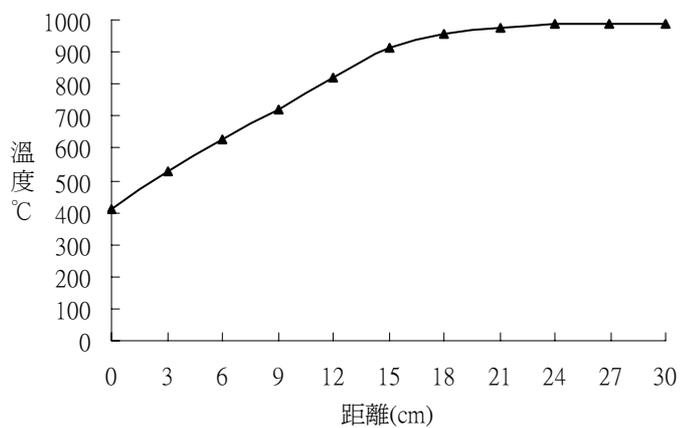


圖 3-4 石英管中反應源與基板之相對位置示意圖



(a) 900°C 爐管溫度分布圖



(b) 950°C 爐管溫度分布圖

圖 3-5 石英管內溫度分布圖，由左至右分別表示石英管管口至石英管中心的溫度

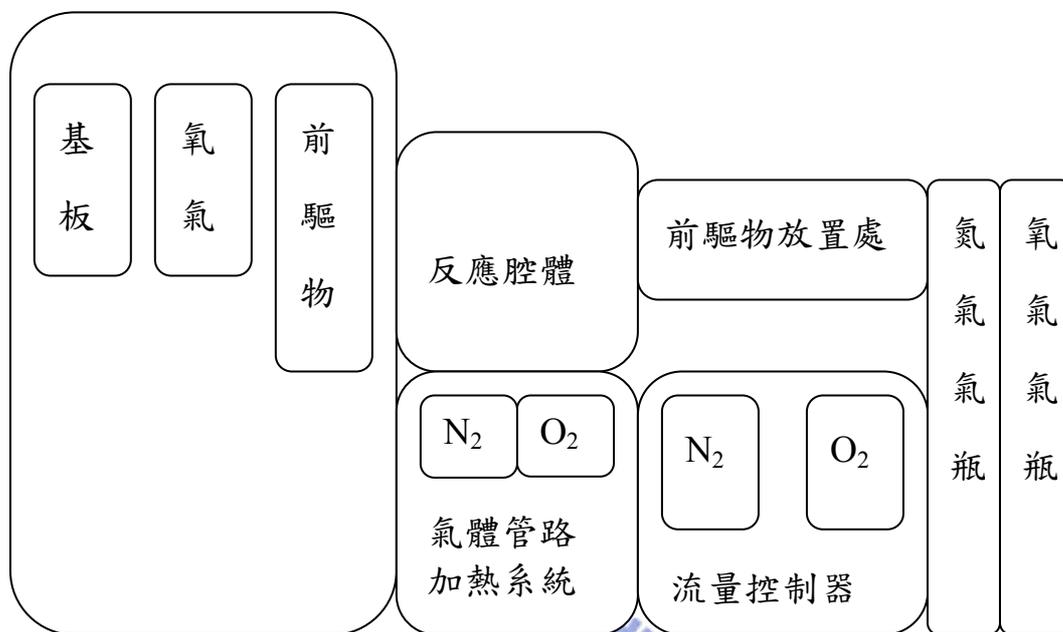


圖 3-6 MOCVD 系統設備配置圖

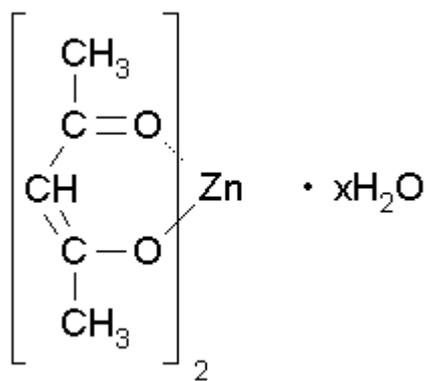


圖 3-7 MOCVD 實驗使用前驅物 $\text{Zn}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 之結構式

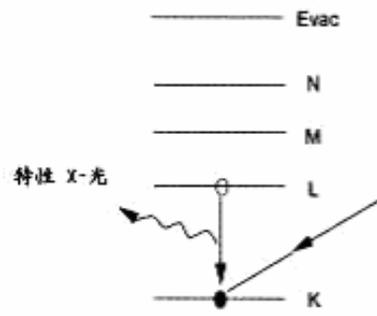


圖 3-8 X 光激發示意圖[59]

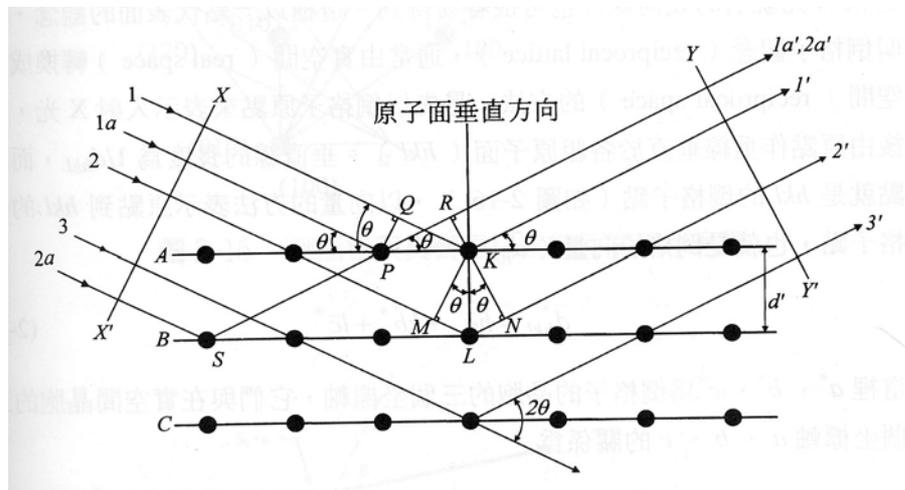
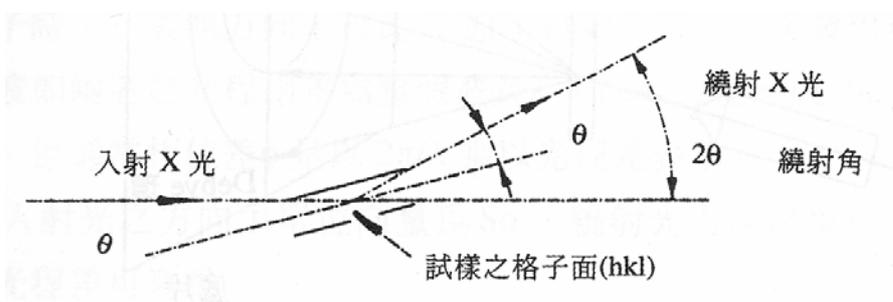
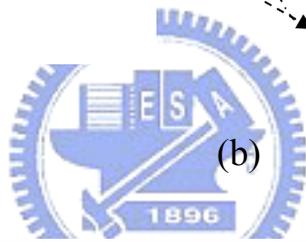
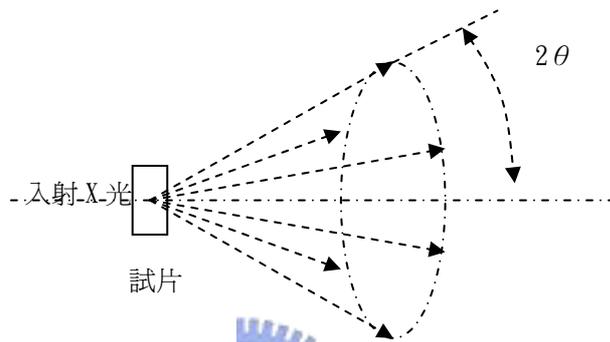


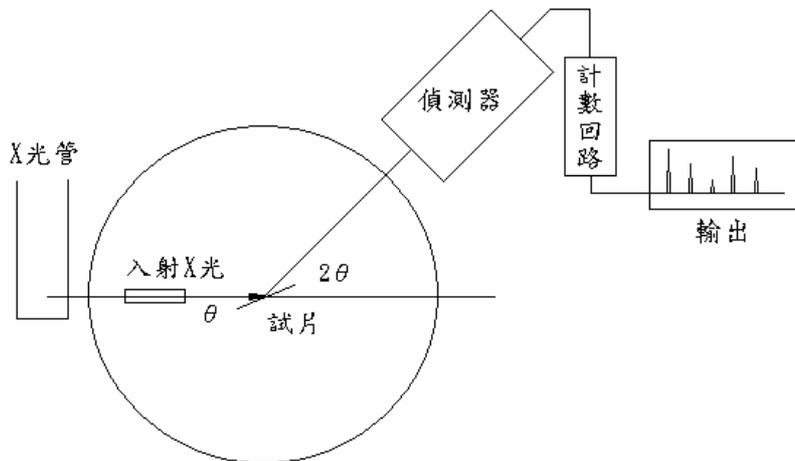
圖 3-9 X 光對晶體繞射示意圖[59]



(a)



(b)



(c)

圖 3-10 (a) 由一個晶格產生之繞射，(b) 被試片格子面(hkl)所繞射之 X 光會形成中心角不同之圓錐，(c) X 光繞射儀之基本原理[59]

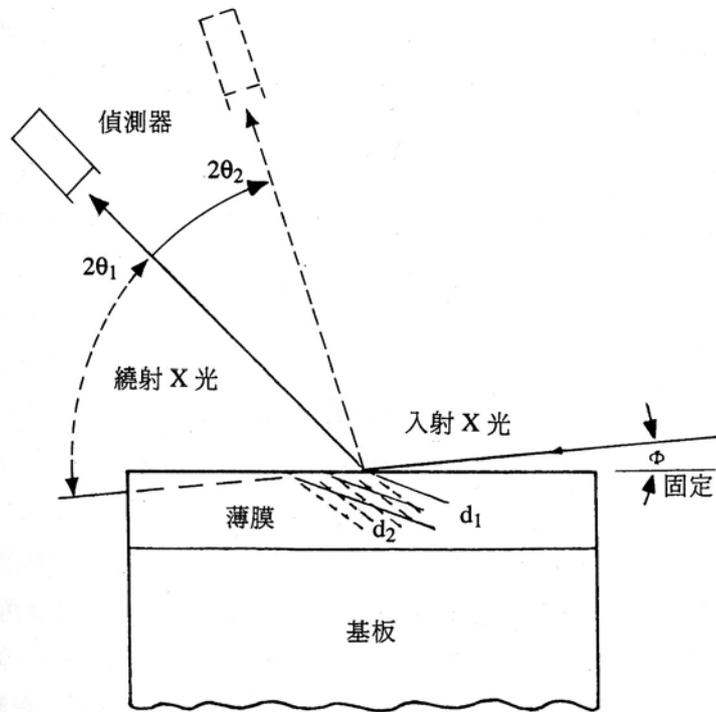


圖 3-11 掠角 X 光繞射法的幾何示意圖[59]

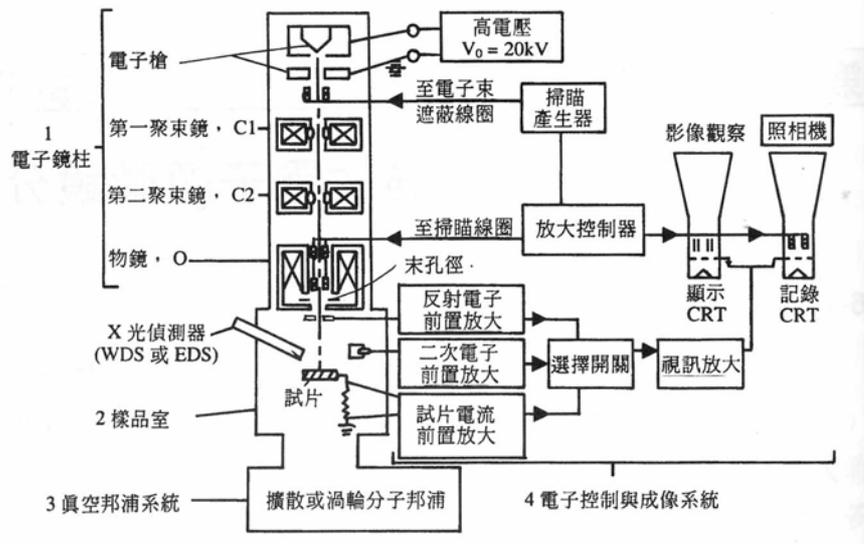


圖 3-12 SEM 主要構造示意圖[59]

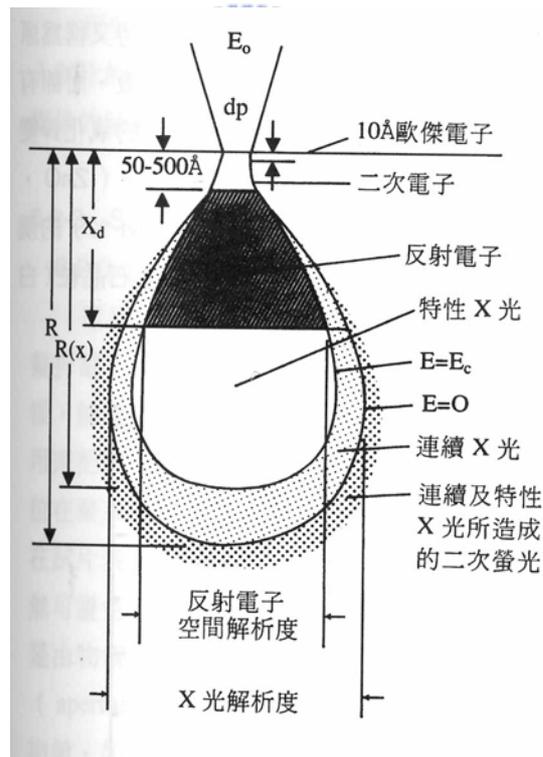
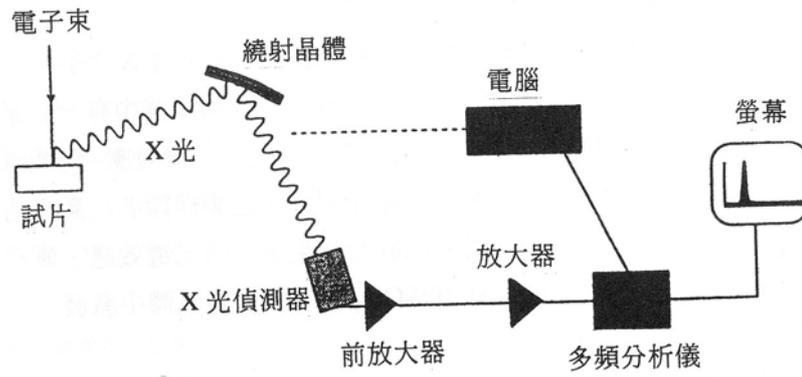
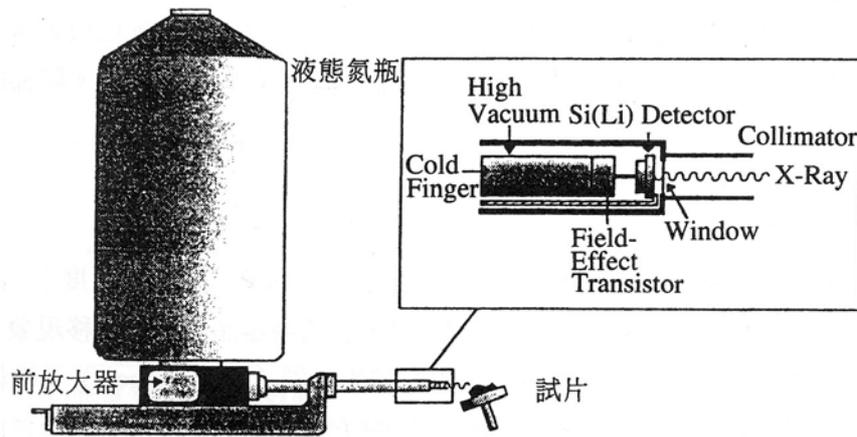


圖 3-13 電子束撞擊試片時，各種訊號產生範圍及空間解析度示意圖[59]



(a)



(b)

圖 3-14 (a) EDS 示意圖，(b) EDS 之液態氮桶與偵測器示意圖[59]

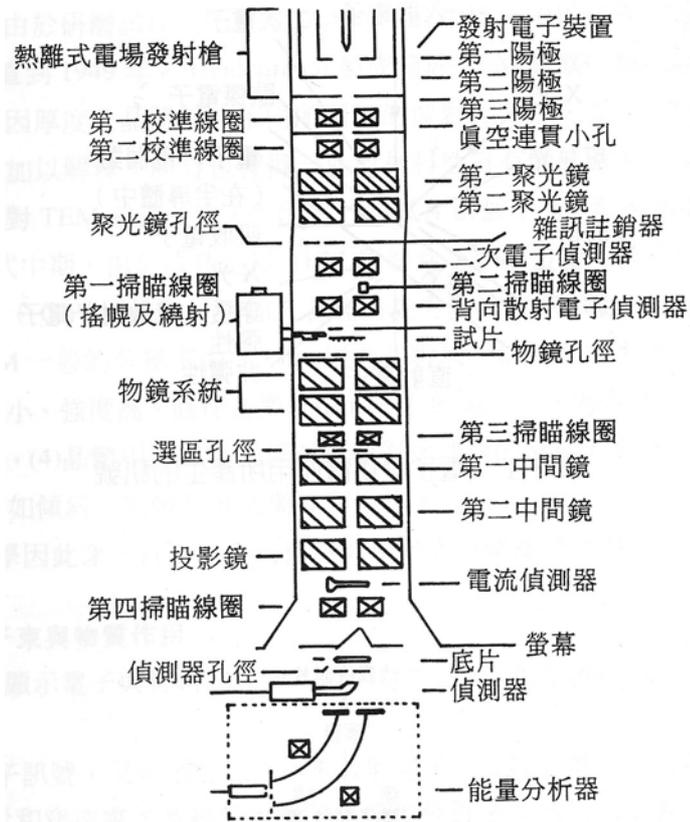


圖 3-15 完整之掃描穿透式電子顯微鏡剖面圖[59]

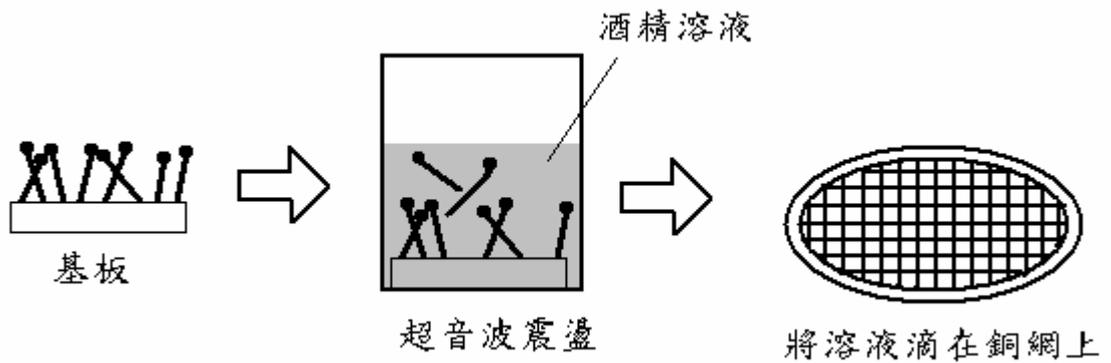
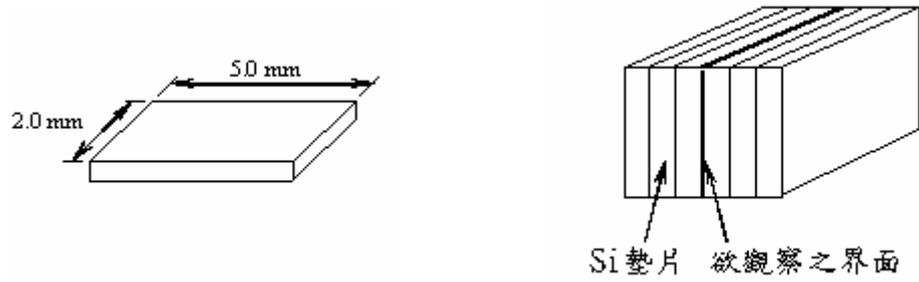
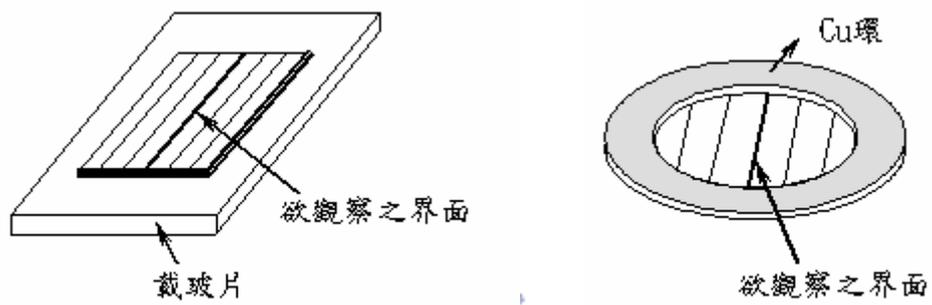


圖 3-16 單根奈米線之 TEM 試片製備[98]



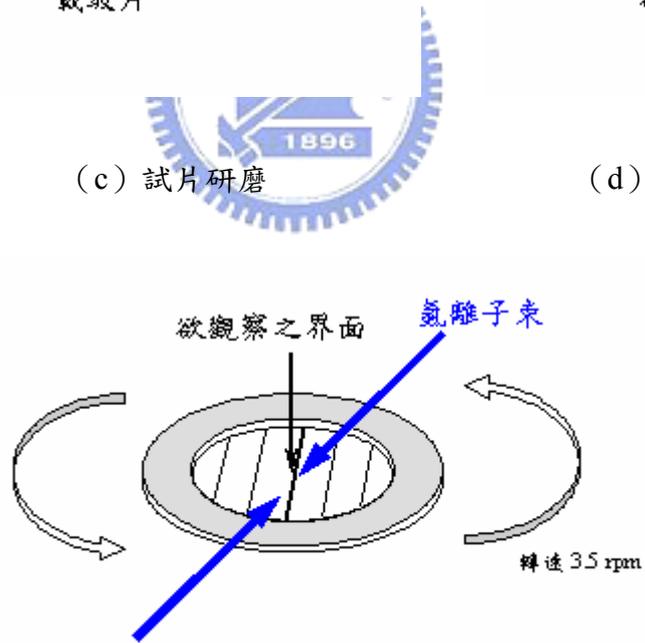
(a) 試片準備

(b) 試片黏合



(c) 試片研磨

(d) 上 Cu 環



(e) 離子減薄

圖 3-17 橫截面 (Cross-section) 之 TEM 試片製作流程