

行政院國家科學委員會專題研究計畫進度報告

II-VI 族半導體光電材料之研究與開發(3/3)

計畫編號：NSC 90-2112-M-032 -010 -

執行期限：90 年 8 月 01 日 ~ 91 年 7 月 31 日

主持人：鄭振益 淡江大學物理系

一、中文摘要

從最近許多國內外國際會議中也可看出奈米結構與生化科技將是未來尖端科技的主流。奈米科技結合了物理、化學、電子以及機械等科技，其成果將可對日常生活、產業、醫學等各方面造成很大便利。因此，世界各國之研究機構及大學都已加緊研究中。

在本計畫的研究期間，本研究室繼續以熱壁式磊晶系統來生長 II-VI 族半導體量子點之奈米結構樣品；經由對基板溫度、生長速度的最佳條件研究以及熱退火處理對樣品品質之精密的控制而進一步提昇了樣品的品質。本研究室所製作的多層膜(多層量子井)由 X 線繞射可看出本研究室之熱壁式磊晶系統已處於一最佳且穩定之狀態；而所製作之樣品品質則非常優良。其品質優良之程度除由 X 線繞射可看出外，由表面激發 (YAG 雷射光之平均強度 10mW) 即可看出誘導發光之現象亦可證明其品質優良之程度。本研究室接著進行量子點及量子線等各種 II-VI 族半導體奈米結構之樣品作設計開發並對其作發光、吸收、誘導發光...等各種光譜測試之研究。

關鍵詞：奈米結構、多層量子井、熱壁式磊晶系統、誘導發光、量子線、量子點

Abstract

Nano-technology and bio-technology have become a leading project in research from the reports in many international conferences. Many institutes and Universities also put a lot of money and peoples to study the relative field.

In his year, we continue to make the sample of II-VI semiconductor nano-structure samples by our Hot-Wall Epitaxy system. After investigate the optimal temperature as well as growth rate. We have improved the quality of our samples. The x-ray shows that our epitaxy system is situated in a very good and stable condition. Samples also shows a very good optical properties, we have observed the stimulated emission from the surface in a week intensities of pump light. Except the quantum wells, we also designed the quantum wires and quantum dots structure sample.

Keywords: Nano-structure, Multi-quantum wells, Hot-Wall epitaxy system, Stimulated emission, Quantum wires, Quantum dots.

二、緣由與目的

近年來極熱門的氮化鎵半導體雷射已由日本的日亞化學公司宣佈開始販賣；可是其價格仍舊很貴，而且許多的專利已由日亞化學公司所掌握。而且氮化鎵半導體雷射所產生之光為紫色而不是藍色。欲產生藍光則需加上銦，則會使材料品質變差；所以目前祇有藍色發光二極體而尚沒有純藍色之半導體雷射。

II-VI 族半導體材料因其能階範圍較大，所以從短波長的紫外到藍色之光到長波長的紅光都可因其組成成份的變化而可產生。因而可涵蓋整個可見光之區域。因此，若使用 II-VI 族半導體材料來開發像太陽能電池、發光二極體、半導體雷射...等光電產品，將會提昇產品的效能；並且使其用途更加廣泛。所以 II-VI 族半導體材料的研究開發實在有其必要性。

藍色光由於其波長較紅色光短，因此可聚成更小的光點。如果應用在 CD-ROM 時則可以使資訊的儲存量提高數倍，而且可提高數據的傳輸速度。當資訊儲存量增加時可以在影像處理上得到全畫面(Full Screen)，高解析度的效果；以及可以儲存長時間的影片。而數據傳輸速度的增加除可提高畫質的穩定外，亦可提高電腦的效率。此外；由藍，綠，紅等三種半導體雷射光源的組合，將可合成任何種顏色的光；而可取代高壓電式的映像管。當三種雷射光組合成白色光時，則可作為照明的光源。因白色發光二極體之能源效率比目前的光源要高許多，所以白色發光二極體的成功將為世界節省大量能源。

本年度為本計畫之第三年，本研究室繼續以熱壁式磊晶系統來生長 II-V 族半導體奈米結構樣品；本年度經由對基版溫度、生長速度的最佳條件研究以及熱退火處理對樣品品質之影響的調查而進一步提昇了樣品的品質。本研究室接著對各種結構之量子井樣品作發光、吸收、誘導發光..等各種光譜測試外，並對量子線以及量子點的結構作設計及製作之研究。

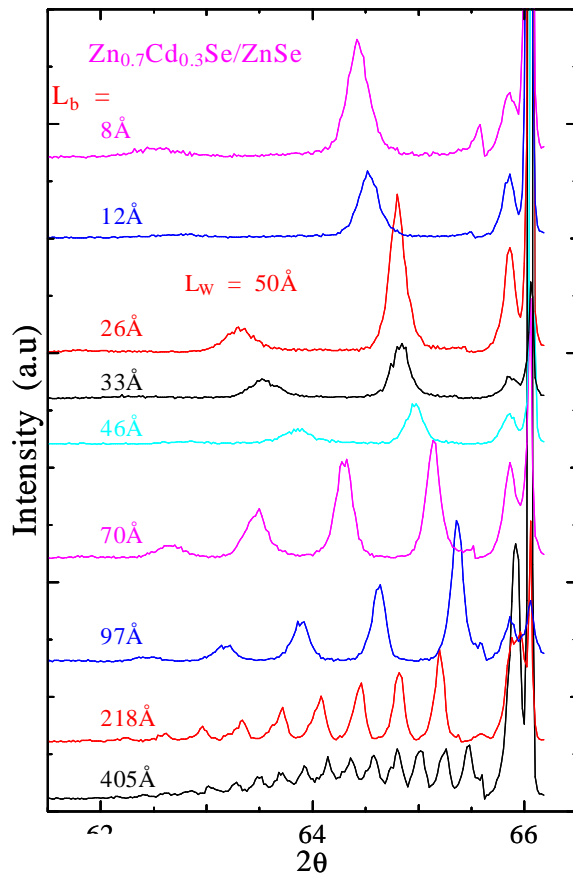
三、實驗

本研究室首先固定蒸發速率然後對不同基版溫度之情況下作鍍膜的研究，蒸鍍好之薄膜初步可由顯微鏡來觀察其表面的情況來作為判斷薄膜品質的好壞。而最後再加上 X 線繞射以及光激發放射來作最終之判斷。由此得到最佳之基版溫度後，再接著作固定基版溫度而以不同生長速率來生長薄膜。同樣由薄膜之顯微鏡觀察、X 線繞射以及光激發放射來作為最佳生長速率之判斷。接著對薄膜作熱退火處理的研究。本研究室首先對薄膜作固定 3 分鐘而於各種溫度下之熱退火處理。將退火後之樣品作 X 線繞射以及光激發放射來作其效果之判斷然後找出最佳之熱處理溫度。接著再固定溫度而對樣品作不同長短時間的熱退火之處理。處理後之樣品同樣由 X 線繞射以及光激發放射來作其效果之判斷然後找出最佳之熱退火處理時間。經由熱退火處理之研究後，再於磊晶過程中加入熱退火之步驟。經由以上步驟後再由求得的最佳條件來設計與製作各種奈米結構之樣品。

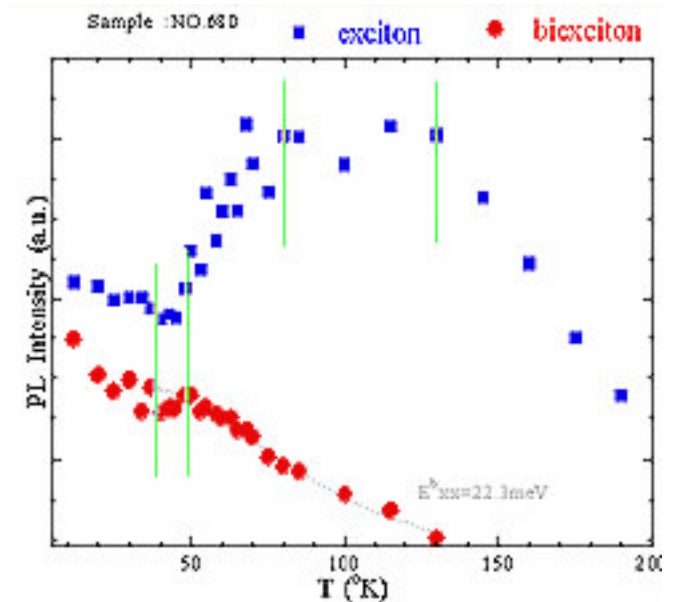
多層量子井之製作方法已於去年本計劃第一年之期中報告內已有說明，此處僅說明量子線以及量子點的製作方法。量子線之製作中以蝕刻之方法最為有效，為其設備費用甚高。所以本研究室所使用之方法為先製作多層量子井，經測試過而獲得品質優良之多層量子井樣品後，再將樣品製作出斷面然後在於斷面處生長一薄膜。如此則可形成 T 形狀之結構，而在 T 形狀之交接點處即唯一量子線。至於量子點之製作方法則與國內許多製作 III-V 族量子點之方法一樣使用熱凝聚法，以熱處理使得量子點以凝聚的方式行程。

四、結果與討論

本研究室已可製作出品質非常優良的量子井奈米結構。圖一中顯示出一序列的量子井奈米結構(固定量子井厚度為 50\AA 改變障壁厚度為 $8\text{\AA}\sim 405\text{\AA}$)之 X 線繞射圖，由圖中各樣品多數的繞射峰可看出本研究群已可作出品質相當優良的多層量子井樣品。唯有磊晶之單晶相當優良時才可獲得强度高而且



圖一



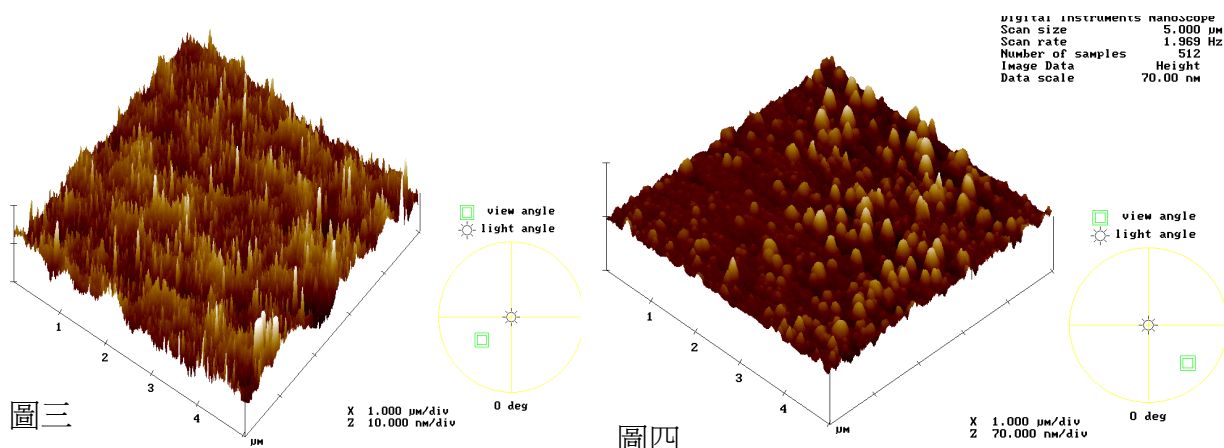
圖一

半高寬窄的繞射光譜。而多數的繞射峰代表著多層膜的厚度相當均勻，才能造成明顯的干涉光譜。而圖二則為圖一中樣品($L_w=50\text{\AA}$ 、 $L_b=33\text{\AA}$)的輻射光譜的強度隨溫度的變化圖。方形與圓形之符號分別是為激子與激子分子之輻射強度隨溫度的變化關係。輻射強度一般與粒子的數量成正比。在 37K 顯示出激子分子的輻射強度的增

加，而相反的激子的輻射強度維持不變。此乃是激子生成激子分子的緣故。在極低溫時電子與電動因動能較小，因此激子形成的數量較小。而到達 37K 時因獲得足夠的動能使得電子容易與電動靠近而形成激子。因此在此溫度時激子的數量急劇增加，進而形成激子分子。但是溫度達到 50K 時，激子分子開始減少相反地激子開始增加。此乃因激子分子的束縛能較小(約為 10meV)，而且激子分子游離時將會產生激子因此激子的數量明顯增加。當溫度在 80K 到 130K 時激子的數量呈現一穩定的現象，此可視為激子的生成與游離達到平衡的現象。

超過 130K 後激子的數量即明顯地減少。

本年度已可製作出品質非常優良的量子點奈米結構樣品。圖三及圖四中顯示出量子點奈米結構之原子力顯為鏡觀測圖。圖三所示之量子點的直徑約為 20 奈米之量子點，其 D/H(直徑/高度)比為 0.5 與目前國外研究單位之結果(0.54)相同。而圖四之量子點的直徑則為 90 奈米其 D/H(直徑/高度)比為 0.7；此數據代表著此量子點的形狀更加明顯。亦即在良好的條件下時，本研究群可製作出品質相當優良的量子點樣品。



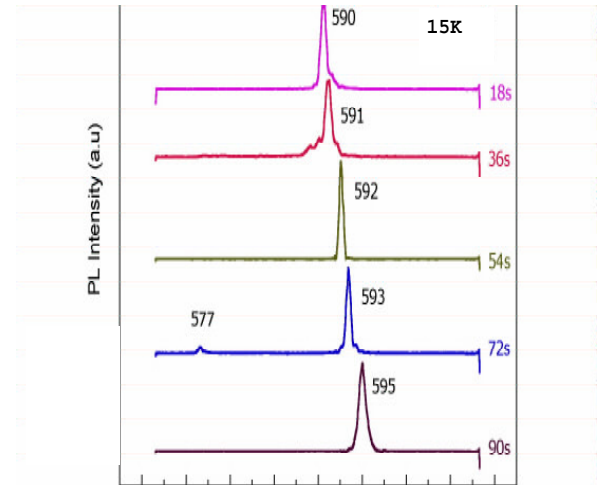
圖五則顯示出量子點直徑為 20 奈米(18 秒)、40 奈米(36 秒)、60 奈米(54 秒)、90 奈米(72 秒)與 110 奈米(90 秒)之輻射光譜圖。量子點的直徑從 20 奈米增加到 110 奈米時，發光譜線的波長從 590 奈米增加到 595 奈米。此為量子點內激子之輻射能量因 0 維量子構造之侷限作用隨著量子點之變大而減少所造成。量子點發光譜線之半高寬為 1 奈米(54 秒)到 3 奈米(90 秒)此數值比目前所發表之 10~30 奈米要小許多，證明本研究群所製作之量子點甚為優良。

為研究量子點形成之機構，在磊晶時使用不同的基板溫度、或是改變原料蒸氣的溫度；然後再測量形成之量子點的發光譜線。圖六中之光譜為量子

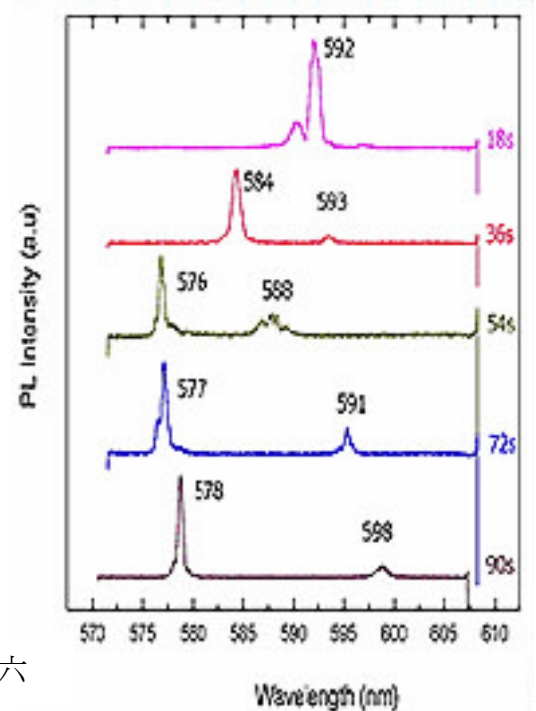
點的輻射光譜，此時之基板溫度與蒸氣的溫度分別為 220K 與 580K。在磊晶時間為 18 秒時可看到譜峰位於 590 奈米，而在兩旁有一些強度較小的譜線。此為量子點因大小不同所造成輻射能量之差異。此時，量子點的直徑較小而且直接成形於基板上。在磊晶時間為 36 秒時可看到有兩個譜線分別位於 584 與 593 奈米，此兩譜線之差異為量子點形成於一薄膜上與量子點直接生長在基板上。所以對於直接成形於基板上的量子點大小而言，36 秒將大於 18 秒的量子點。因此其輻射能量將因量子效應而較小。而對於成形於薄膜上的量子點而言，因其中的鎘濃度較小所以其輻射能量較大。當磊晶時間達到 54 秒時，我們只觀察到一譜峰位於 588 奈米為屬於量子點的輻射。經與一相同組成之薄膜的輻射光譜作比較，我們證實位於 576 奈米的譜峰乃屬於薄膜的輻射。因為已觀察到薄膜的輻射，所以此時整個樣品已有一薄膜覆蓋。因此，588 奈米之譜線當然是由成形於薄膜上量子點之輻射所造成。此時因為量子點仍較小，而且大小亦有不齊的情況；因此譜線的半高寬較寬。當磊晶時間達到

72 或 90 秒後，隨著薄膜厚度的增加，薄膜之輻射能量逐漸變小因此其波長從 576 奈米逐漸變成 577 奈米然後 578 奈米。同時對於成形於薄膜上的量子點而言，其輻射能量隨量子點的增大而變小。因此其輻射波長由 584 而 588 然後 591 最後到 593 奈米。

在以上之研究中，我們發現此量子點的生長模式與目前所發表過的 S-K 與 V-W 模式有所不同。在本研究中可發現 S-K 模式以外，有量子點亦可在一小範圍內之薄膜上成形。此發現將於近日投稿。



圖五



圖六