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(1/3)

計畫編號 ：NSC 89-2112-M-032 -009 -

執行期限 ：88 年 8 月 01 日 ~ 89 年 7 月 31 日

主持人 ：鄭振益　　淡江大學物理系

一、 中文摘要

今年二月美國克林頓總統向國會提出五億美金之有關奈米技術的科學研究預算報告。由此可見奈米技術已經繼愛滋病、癌症之後成為美國重點科技研究項目之一。從最近許多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。

本年度計劃為三年計劃的第一年，主要以本研究室之熱壁式磊晶系統來生長 II-VI 族半導體奈米結構樣品中之量子井樣品；並對其作發光、吸收、誘導發光..等各種光譜測試，以求得 II-VI 族半導體奈米結構的各種物理特性。由本研究室所生長的薄膜與多層膜(多層量子井)已可產生誘導發光可見其品質已具相當之水準。

關鍵詞：奈米結構、多層量子井、熱壁式磊晶系統、誘導發光

Abstract

President Clinton's FY 2001 budget request includes a major new initiative, called the National Nano-technology Initiative (NNI), that proposes a $227 million increase in the government's investment in nano-technology research and development. The budget request was submitted to Congress on 7 February 2000. The plan calls for an increase in nano- technology research spending to a total of $497 million in the coming fiscal year. Above shows the important of the nano-technology in the future.

The purpose of this year is to make the sample of II-VI semiconductor multi-quantum wells by our Hot-Wall Epitaxy system. Our samples shows a good quality by it’s good results of the stimulated emission experiment.

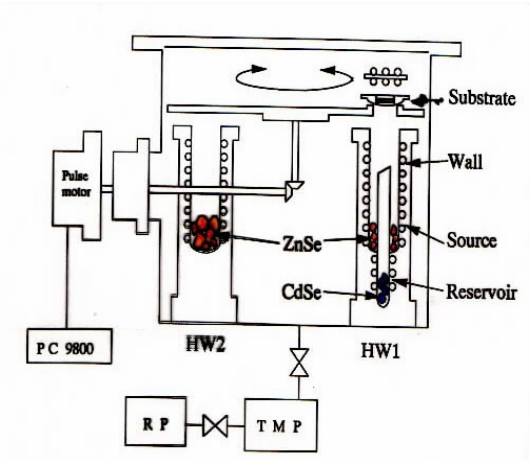
Keywords: Nano-structure, Multi-quantum wells, Hot-Wall epitaxy system, Stimulated emission.

二、緣由與目的

目前國內外已有許多研究者投入 III-V 族半導體材料的研發上。III-V 族半導體材料並已應用在雷射材料、發光二極體、光檢測器、感光二極體等日常用品上。可是 III-V 族半導體材料以產生黃紅光為主，雖然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。此外美國、甚至日本的東芝、日本電氣等亦無法突破某些技術上的瓶頸。而 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.

本年度為本計畫之第一年，主要以本研究室之熱壁式磊晶系統(右圖)來生長 II-VI 族半導體 $Zn_{1-x}Cd_xSe/ZnSe$ 之薄膜或多層膜;並對所生長之樣品作Ｘ線繞射、電子顯微鏡之測量。本熱壁式磊晶系統之生長原理與分子束磊晶系統類似，不同處在其基板為置於旋轉之載物盤上;隨生長量子井層或是障壁層而移動到 HW1 或 HW2 的上面。而量子井層或是障壁層的厚度則依生長速度來決定停留的時間。

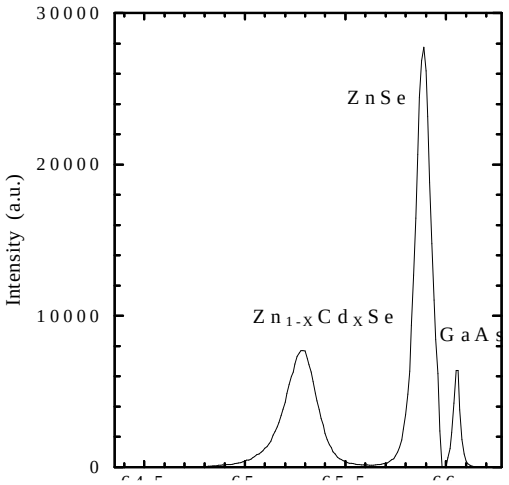


磊晶的生長速度為由 Wall、Sourcer 及 Reservoir 外部所繞之加熱線所給與的溫度來控制。原料在 Sourcer 及 Reservoir 蒸發後上昇至 Wall 時，經和石英管壁碰撞並行熱交換；經達熱平衡後再上昇附著於基板上。因此，稱為[熱壁式磊晶系統]。至於多層膜的週期即由基板在 HW1 或 HW2 的上面所繞經的次數來決定。由Ｘ線繞射可知樣品中鎘的濃度，而由光譜的半高寬可知樣品中鎘的均勻度好壞。由樣品側面之電子顯微鏡掃瞄可以看出多層膜的厚度。而電子顯微鏡對樣品表面掃瞄則可以之觀察樣品表面的均勻度及缺陷的形狀以及分佈情形。

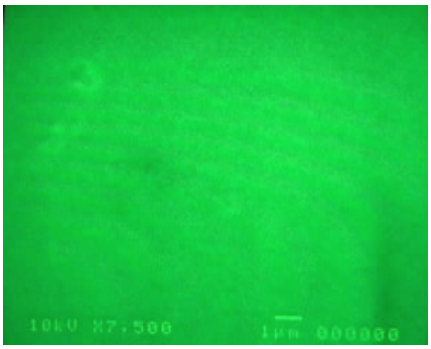
本計劃中並對奈米結構樣品作光激發發光、光激發反射、誘導發光...等光譜測試。由試料之發光可瞭解試料之品質好壞及可測量半導體超晶格試料之能帶大小。此外，由能帶大小對量子井寬度的變化則可瞭解電子在量子井中的局限效果(confine effect)。由光激發反射光譜可以得到材料的能隙、內建電場、表面位能、載子平均自由行程....等諸多物理特性。而誘導發光主要為測量雷射材料之雷射發生時之閥值，以及觀察該種雷射材料中所發生的雷射機構。此外由樣品可產生誘導發光，可見其品質已達相當水準。

三、結果與討論

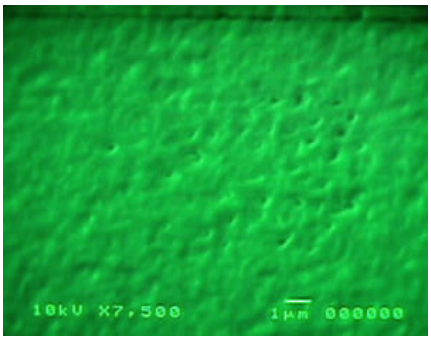
右圖所示為 $Zn_{1-X}Cd_XSe$ 薄膜(500Å)之X線繞射圖，由 $Zn_{1-X}Cd_XSe$ 薄膜所造成明顯而高強度的X線繞射光譜顯示出此薄膜為由良好的單晶所構成。右側之構造分別是由砷化鎵基板以及硒化鋅緩衝層所形成。而位於 2è = 65.28 之構造則是硒鎘鋅薄膜之X線繞射光譜。由此角度可以計算出此薄膜中鎘的濃度約為 12.2%。 而由其半高寬可知其濃度不均度約為±13%。



由電子顯微鏡則可直接地觀察到樣品成長的結果;由樣品斷面的電子顯微鏡結果可以估算出薄膜之厚度,再由此厚度除以生長時間即得該磊晶過程之生長速率。本樣品的生長速率約為每秒鐘 1.5 Å 左右。

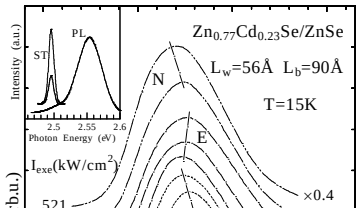


由樣品表面的電子顯微放大影像則可直接觀察樣品表面的情形。右上圖為一品質良好樣品之顯微影像(放大 7500 倍)；由圖中可以看出整個表面非常均勻而且無缺陷。右下圖之顯微影像同樣為放大 7500 倍，由圖上則明顯地可以看出有凹凸不平的表面,再差的樣品則會產生坑洞式的缺陷。



最直接而明確地判斷樣品好壞的方法便是對該樣品作光激發發光之測試。因為本計劃所研究者即為光電材料，所以良好的樣品應具有強度高半高寬窄的發光帶。然後當發光強度非常強時，則可考慮對其作誘導發光的測試。誘導發光之實驗為研究半導體奈米結構產生雷射現象的重要方法。由誘導發光之結果可以瞭解雷射產生之機構以及該樣品產生雷射現象所需的最少激發能量(閥值)。

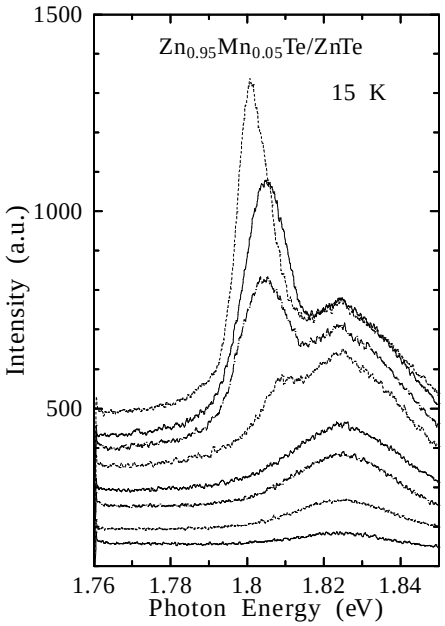
由誘導發光的產生約可判定該樣品品質已



達相當之水準。本計劃所製作樣品之薄膜與多層量子井皆可產生誘導發光。右圖為一 40 週期之多層量子井，其中量子井與障壁的寬度約各為 56 Å 與 90 Å 左右。圖中所示之光譜皆為誘導發光之光譜，由圖內左上之插圖中可看出此誘導發光光譜(ST)為從自然發光光譜(PL)之低能量處產生。

右圖中之誘導發光光譜隨著激發強度而呈現不同的變化，當激發強度增加時, 首先的 B_1 及 B_2 帶呈現藍位移以及無位移，此兩發光帶被認為是由激子分子所產生。當激發強度再增加時此誘導發光帶能量則開始向低能量處位移; 而且其發光強度也隨激發強度之增大而呈非線性增加. 我們稱此時之發光帶(P 帶)系由激子−激子散射所造成之誘導發光. 當激發強度再繼續增加, 此時發光帶(E)又變成無位移；我們認為此發光光帶係由激子−電子散射所產生。最後當激發強度非常大時，使得激子密度超過 mott 密度時, 則發光帶的能量不但繼續向低能量處位移; 而且其發光帶的半高寬逐漸變寬. 可是其發光強度卻變成隨與激發強度呈線性關系. 我們稱此時的發光為由電子−電洞電漿的再結合所產生的自然發光.

本計劃亦與日本東北大學科學計測研究所之岡泰夫研究室合作。由岡研究室提供稀磁性奈米結構之 $Zn_{0.95}Mn_{0.05}Te/ZnTe$ 多層量子井，而由本實驗室實施誘導發光之實驗。由右圖可看出在激發能量較低時位於 1.825eV 之發光帶為由激子之再結合所產生之自然發光。而當激發強度增強時，於自然發光帶之低能量位於約 1.805eV 處發光帶半高寬較窄之發光帶即為誘導發光。此誘導發光的另一個証據為其發光強度與激發強度呈非線性之關係(約為二次方)。此外，當激發強度繼續增強時誘導發光帶逐漸向低能量方向位移；此現象顯示激子-激子散射亦與此樣品之雷射機構有所關聯。



II-VI 族材料因可借添加磁性物質(Mn, Fe..); 而可以磁場來控制雷射波長。已經引起一股新的研究熱潮. 此外, II-VI 族中之稀磁性半導體量子結構亦因其獨特的物理性質(磁性-光學性質, 巨大 G 值..,)而被廣泛地研究著。本研究証明加錳之 II-VI 族半導體奈米結構樣品已可產生誘導發光，此為其商品應用開啟了一個新的里程。