

RRPA88010310 (4.P)

## 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

### 藍光半導體雷射材料-Zn<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Se/ZnSe 超晶格之雷射機構與界面之關係

計畫編號：NSC 88-2112-M-032-006

執行期限：87年8月01日～89年7月31日

主持人：鄭振益 淡江大學物理系

計劃參與人員：曾少伯、林文瑤、王漢霖 淡江大學物理系

#### 一、中文摘要

II-VI 族半導體超晶格因相鄰層膜間之格子係數的差異較大，因此處於兩積層膜間之格子會被旁邊不同材料之格子的影響而造成扭曲，而且在不同材質積層間形成凹凸之島狀界面，積層間凹凸之界面以及 Cd 濃度之不均勻將可形成一激子的局在化能帶(範圍約數百埃)。激子於形成後即掉入此能帶中在此數百埃的範圍內移動。當到達生命期時，激子內的電子電洞即進行複合而發射光子。本計畫為以光激發反射及光激發發光來求出兩個 Zn<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Se/ZnSe 超晶格樣品之局在化能量的大小。然後再研究局在化能量的大小對半導體雷射機構之影響。

**關鍵詞：**藍光半導體雷射，超晶格，局在化能量

#### Abstract

According to the lattice mismatch in the II-VI semiconductor superlattice, the island will be constructed in the interface. Therefore, the fluctuation in the interface causes the fluctuation of the exciton energy in the superlattice (range is about several hundred anstroms). The fluctuation of the exciton energy in the interface is named localization energy. The exciton will localize in the localization area, and the movement of the exciton will be restricted in this area. Localized excitons will recombined in the localization area then emit a photon. This project use the photoreflectance and photoluminescence to investigate the localization energy of severals Zn<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Se/ZnSe Superlattice samples, then study the influence for the localization energy to the laser mechanisms.

**Keywords:** Blue light semiconductor laser, superlattice, localization energy.

## 二、緣由與目的

最近許多國際會議之報告皆指出在未來的十年到二十年間、奈米結構與生化科技將是尖端科技的主流。因此美國國家科學委員會特地針對奈米結構作世界性的研究調查報告。其中可見美國及日本都投入大量的人力及物力來對奈米結構作各方面的研究探討；而歐洲則以德國研究最力，此外歐洲亦有數個跨國合作的奈米結構研究計劃。國內目前也以此為重點科技項目正在加速地研究開發中。

II-VI 半導體奈米結構因可鍍膜在砷化鎵基板上，因此其成本將比使用藍寶石基板的氮化鎵便宜。而使用磁性材料(錳、鈷...)後將可用磁場來調變發光二極體或是雷射的顏色。此外，近年來國外亦投入許多人力及物力來研究 II-VI 半導體在太陽電池上的應用、因為它的能階正好涵蓋了整個可見光的範圍。此外，近年來研究白色光的發光二極體已成為一股熱潮，其中 II-VI 半導體材料扮演一個很重要的角色。

## 二、實驗內容

本計畫共使用光激發發光(photoluminescence: PL)、誘導發光(stimulated emission: SE)以及光激發反射(photoreflectance: PR)等三個系統。PR 使用氬鎢雷射及鎢鹵燈為激發光及探測光；而 SE 及 PL 則使用鈮鋁石榴石雷射的三倍頻(355nm)為激發光源。信號的偵測方面，SE 及 PL 使用 CCD 光檢測器，而 PR 則使用光電倍增管。在檢測 PL 時，雷射光以 45 度角入射至樣品的表面，然後再偵測樣品表面的發光。在 SE 之實驗時，雷射則聚焦成一線狀垂直入射至樣品的表面，然後從樣品的斷面偵測其信號。

本計劃使用 II-VI 族半導體  $Zn_{1-x}Cd_xSe/ZnSe$  超晶格樣品作積層膜間界面對半導體雷射機構之影響的研究。樣品之構造為先將約一微米厚之硒化鋅薄膜長在砷化鎵基板(001)面上作為晶格匹配的緩衝層，然後再生長 40 個週期的超晶格構造；最後再生長約 1000 埃的硒化鋅薄膜作為保護層。本計劃所使用之四個樣品之構造如表一所示。不過由於篇幅有限，本報告祇報告樣品一及樣品二之結果。

樣品	1	2	3	4
量子井厚度 (Å)	100	89	62	100
障壁厚度 (Å)	100	98	147	140
鎘濃度 (%)	0.2	0.24	0.24	0.24

## 四、結果與討論

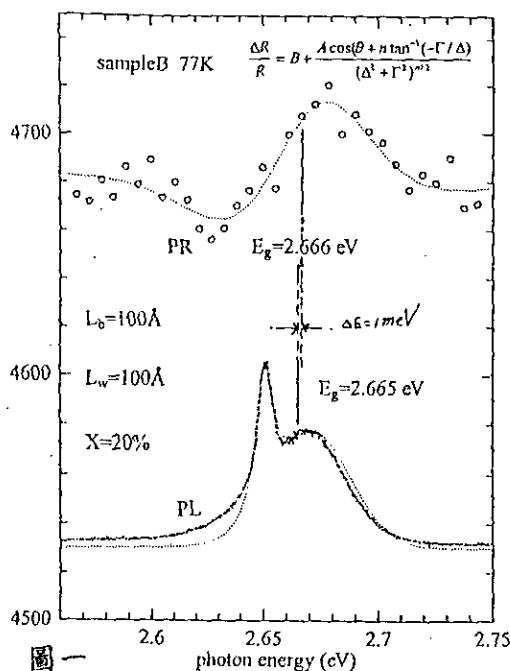
圖一所示者為樣品 1 在 77K 時之 PR 與 PL 譜線圖，白色圓點之振盪曲線是 PR 譜線圖。此曲線經由公式一之吸收曲線的二次微分式擬合(點線)後可得到此樣品的吸收位置( $E_g$ )為 2.666eV。而點線之曲線則為樣品 4 之誘導發光譜線圖。位於 2.665 eV

處較寬之發光帶是由位於局在化能帶內之激子 (Localized Exciton) 之電子電洞之再結合所產生的自然發光。而位於自然發光帶低能量處較窄之發光帶則為誘導發光。由自然發光與誘導發光帶之能量差(局在化能量)祇有 1meV 可知此樣品的品質非常好，不管是薄膜之厚度或是錳濃度都相當均勻。

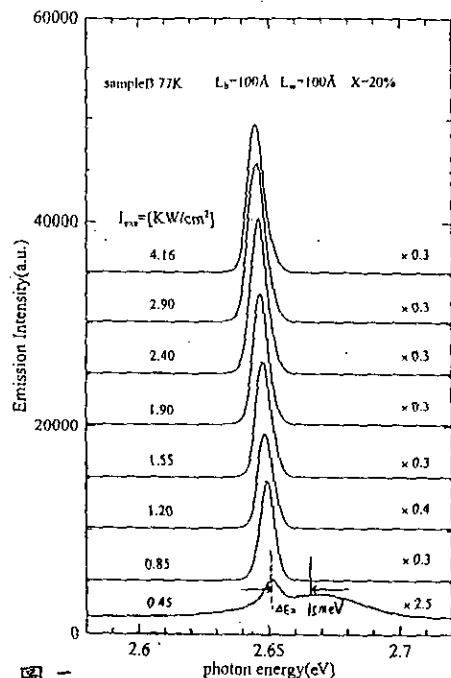
圖二中所顯示的許多曲線為樣品 1 在不同的雷射激發強度時所產生的 SE 譜線圖。在激發強度較弱時，位於 2.667eV 處半高寬較寬之發光帶為自然發光；其與位於較低能量處之誘導發光帶之能量差為 15meV。此能量比圖一中所量測之局在能量(1meV)大；此係因此時為線狀激發，所以所激發的面積為圖一中之點狀激發面積之數百倍，而強度則約為百分之一而已。所以此 15 meV 所代表者主要為表面少數層之同一層內間之不均勻度。反觀圖一之 1 meV 所代表者則為多數層間之不君勻度。所以由以上可知本樣品在層與層間非常君勻(1 meV)，而同一層裏之均勻度則較差。

將圖二中各發光帶的能量、半高寬以及發光強度以雷射強度之函數表示在圖三中。雷射強度在  $0.0014\text{MW}/\text{cm}^2$  以下在激發強度增加時，由發光強度與激發強度呈非線性之關係、半高寬成現先增後減與發光位置約為不變的情況下；可判定此時的發光機構為激子分子的再結合發光為主。而雷射強度在  $0.0014\text{--}0.0026\text{MW}/\text{cm}^2$  之間當激發強度增加時，由發光強度呈非線性地增加、半高寬不變與發光能量朝低能量位移的現象下；可判定此時之發光機構為由激子-激子散射所主導。當雷射強度大於  $0.0026\text{MW}/\text{cm}^2$  且激發強度增加時，由其半高寬之增加與其發光能量朝低能量位移的現象下；可判定此時之發光機構是由電子-電洞電漿所主導。

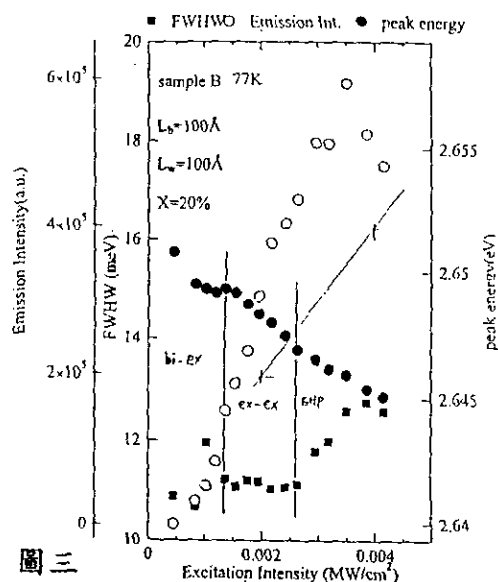
圖四中所顯示者為樣品 2 在 300K 時之 PR 與 PL 譜線圖，白色圓點之振盪曲線是 PR 譜線圖。此曲線亦經由公式一之吸收曲線的二次微分式擬合(點線)後可得到此樣品的吸收位置( $E_g$ )為 2.596eV。而點線之曲線則為樣品 2 之自然發光



圖一



圖二



圖三

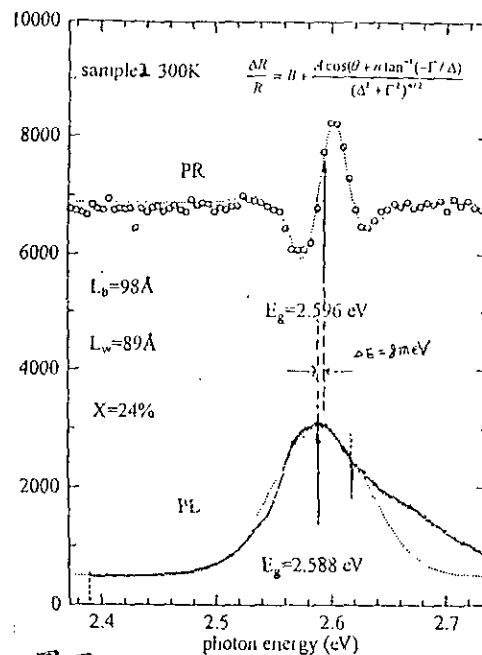
譜線圖。由自然發光與誘導發光帶之能量差(局在化能量)為 8meV 可知此樣品的品質比樣品 1 差。(亦即不管是薄膜之厚度或是鎘濃度都比樣品 1 差)。

而圖五即為樣品 2 在不同雷射激發強度時所產生的 SE 譜線圖。在激發強度較弱時(14.98 KW/cm<sup>2</sup>)，位於 2.672eV 處半高寬較寬之發光帶為自然發光；其與位於較低能量處之誘導發光帶(2.597eV)之能量差為 75meV。此能量比圖二中中所量測之局在能量(15meV)要大很多；由圖二中之分析可知此樣品不管在層與層間或是同一層內之不均勻度都比樣品一要差很多。所以當雷射激發能量大於 16.24 KW/cm<sup>2</sup>時我們可以在 2.625eV 處看到另一個發光帶，此發光帶應為激子能帶擾動裏另一個低能帶區域所產生的發光。此外，誘導發光帶之形狀由於激子能量之擾動而變稍有變形。

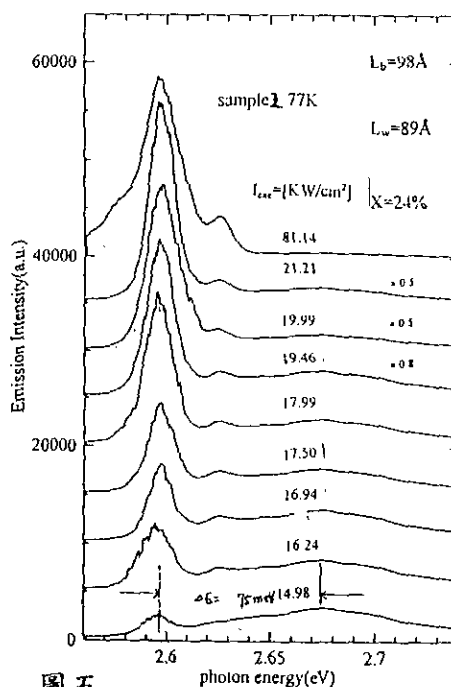
因為此樣品之均勻度較差，因此使得激子能帶的擾動變大；造成前面所述之另一個發光帶，也造成此樣品之誘導發光之激發閾值(The threshold of excitation intensity) 14.98 KW/cm<sup>2</sup> 比樣品一(0.45 KW/cm<sup>2</sup>)要大很多。而且由於激子能量之擾動太大，使得激子因分佈在較廣的能帶上，使得從各激子的誘導發光帶重疊，造成誘導發光帶的形狀變形，半高寬變寬，而且誘導發光機構無法觀查。

#### 四、結論

光激發反射對於半導體多層膜吸收帶之量測是一個非破壞性且容易實施的方法，且組成此系統所須之儀器費用亦較低。由吸收及發光帶之能量差可求出局在化能量，局在化能量之大小則為辨別多層膜間膜厚及混合物濃度之均勻程度。由本研究可知，局在化能量之大小對半導體奈米結構之誘導發光機構有很重要的影響。因此如何降低局在化能量，亦即減少多層膜間膜厚及混合物濃度之不均勻度為製作半導體多層膜中非常重要的課題。由測量出之局在化能量之大小亦可回饋至薄膜製作小組以供條件設定之參考。本計劃所得之結果正在整理中預計於近日內投稿。



圖四



圖五