

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

半導體奈米結構之成長與光電特性研究(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2112-M-009-031-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系(所)

計畫主持人：周武清

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94年5月27日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

半導體奈米結構之成長與光電特性之研究 (1/3)

Growth and opto-electronic properties of semiconductor nano-structures

計畫編號：NSC 93-2112-M-009-031-

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：周武清 教授 交通大學電子物理系

計畫參與人員：楊祝壽 交通大學電子物理系
院繼祖 交通大學電子物理系
傅振邦 交通大學電子物理系
林彥丞 交通大學電子物理系
賴怡仁 交通大學電子物理系
郭明錦 中原大學物理系
范文忠 中原大學物理系
辜瑞泰 中原大學物理系
謝思瑜 中原大學物理系
邱繼淳 中原大學物理系
黃鴻鈞 中原大學物理系

一、中文摘要

我們已成功地利用分子束磊晶技術成長出不同材料的二六族化合物半導體自聚性量子點，包括在硒化鋅上成長半磁性半導體碲化錳鋅量子點以及在半磁性半導體硒化錳鋅上成長碲化鋅量子點，藉由反射式高能電子繞射圖、原子力顯微影像以及光激螢光譜都可以觀察到當碲化(錳)鋅覆蓋厚度超過2.4原子層時，其磊晶模式由二維轉為三維以形成自聚性量子點。改變三元碲化錳鋅的各元素成長順序或是改變量子點與緩衝層之應力皆會對量子點的磊晶動力學造成影響。此外，利用減少碲化錳鋅/碲硒化鋅量子井中之碲硒化鋅層的厚度，或是將樣品置於外加電場的方式，可強化在能帶結構為第二型的碲化錳鋅/碲硒化鋅多重量子井中，觀察到第一型躍遷螢光。在碲化鋅量子點的時間解析螢光光譜研究方面，我們發現量子點的時間常數隨著量子點的尺寸增加而增加。

關鍵字：分子束磊晶術、碲化(錳)鋅、量子點、碲化鋅、時間解析螢光光譜

Abstract

A series of II-VI compound semiconductor self-assembled quantum dots

(SAQDs) were grown by using molecular beam epitaxy, including the diluted magnetic semiconductor (DMS) ZnMnTe SAQDs grown on/in ZnTe buffer/matrix and ZnTe SAQDs grown on/in DMS ZnMnSe buffer/matrix. By using the reflection high energy electron diffraction (RHEED), atomic force microscopy (AFM), and photoluminescence (PL), we found when the coverage of Zn(Mn)Te exceeded 2.4 mono-layer (ML), the epitaxial dynamics of Zn(Mn)Te changed from a 2-dimensional growth mode to a 3-dimensional growth mode. By changing the growth sequence of the Zn, Mn, and Te elements for each growth cycle and by varying the lattice mismatch between the QD and matrix, the epitaxial dynamics of SAQDs were strongly influenced. In addition, the Type-I emission was enhanced in the Type-II Zn_{0.97}Mn_{0.03}Se/ZnSe_{0.8}Te_{0.2} Quantum Wells by decreasing the thickness of ZnSeTe and by applying an external electric field. Furthermore, in the study of time-resolved PL of colloidal CdSe QDs, the recombination time constant increases with the dot size.

Keywords: molecular beam epitaxy, Zn(Mn)Te, quantum dots, CdSe, time-resolved photoluminescence

二、緣由與目的

最近幾年奈米科技在各國科學界掀起一股熱潮。奈米科技之所以吸引科學家的注目可以分為尖端元件上的技術應用，及奇妙的基礎科學現象之探索。在尖端元件的應用上包括偵測單一光子的量子點場效電晶體[1]，低臨界電壓的量子點雷射二極體[2]，及未來可能很有應用潛力的量子計算[3]。至於在基礎科學的研究方面包括奈米結構的長晶動力學及特殊的光電效應[4]。

本計畫主要是利用分子束磊晶技術成長半導體奈米結構，以三年時間研究(一)磊晶動力學；(二)半導體奈米結構之光電特性及(三)開發自旋光電元件研究自旋動力學。本年度為計畫執行第一年度，主要的工作方向訂在奈米結構的磊晶動力學研究與進一步開發後續研究所需之量測技術。

三、結果與討論

本年度主要的研究工作分成四個部分，茲說明如下：

1. 半磁性半導體量子點的製作與物性研究：我們成功地利用分子束磊晶技術在硒化鋅緩衝層上成長一系列不同碲化(錳)鋅覆蓋厚度的自聚性量子點結構。觀察反射式高能電子繞射圖(圖 1-1)、光激螢光譜(圖 1-2)以及原子力顯微影像(圖 1-3)等皆可以明確發現當碲化(錳)鋅覆蓋厚度超過 2.4 原子層時，其磊晶模式將由二維的成長模式轉變為三維的磊晶模式。此外，我們也觀察到在覆蓋碲化錳鋅時，以先覆蓋錳原子後再依序覆蓋鋅與碲原子的磊晶方式可以得到較高的量子點密度與均勻度(圖 1-3)。相關的研究成果目前已在整理並撰稿中。
2. 在平坦的半磁性半導體硒化錳鋅層上成長碲化鋅量子點：我們成功地改善碲化錳鋅磊晶層的表面平整度，並在碲化錳鋅層上成長不同覆蓋厚度的碲化鋅

量子點，藉由改變碲化錳鋅層中錳原子的含量可以增加其與碲化鋅量子點間的應力(晶格不匹配度)，進而影響碲

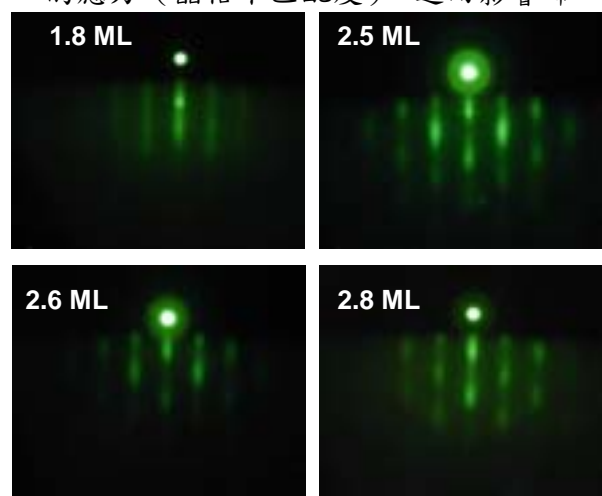


圖 1-1. 不同碲化鋅覆蓋厚度之反射式高能電子繞射圖。

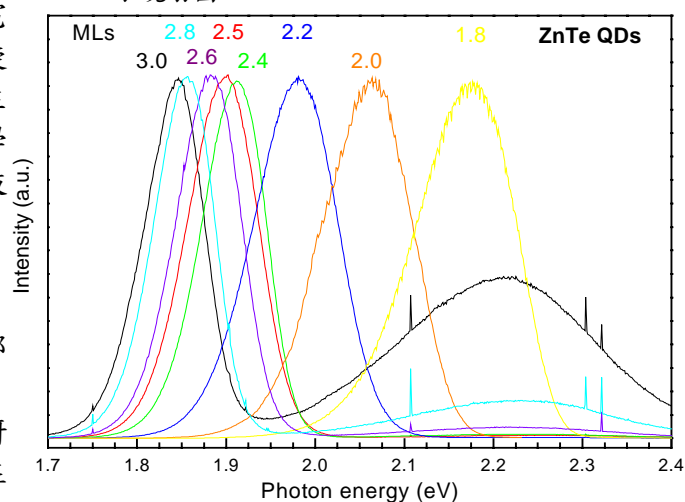


圖 1-2. 不同碲化鋅覆蓋厚度之光激螢光譜。

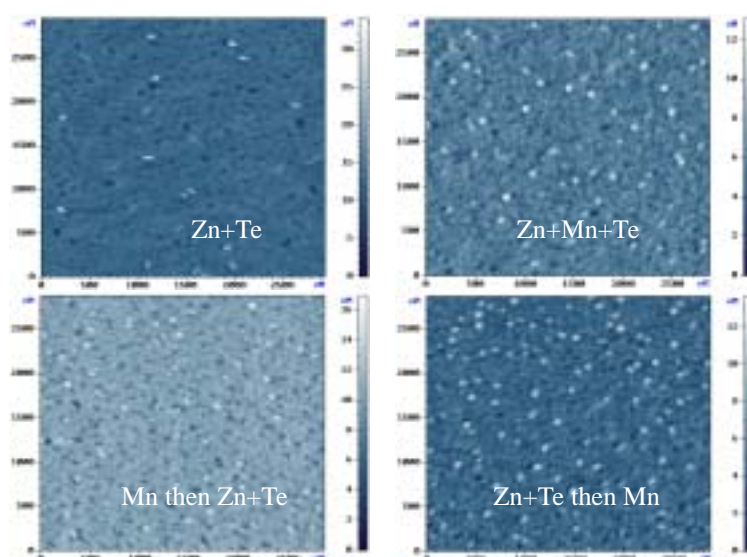


圖 1-3. 碲、錳與鋅元素以不同的開關順序成長碲化錳鋅量子點之原子力顯微影像。

化鋅量子點的磊晶動力學。相關的研究已撰寫為學生論文。

3. 強化在能帶結構為第二型的碲化鋅/碲化鋅多重量子井中觀察到第一型躍遷螢光：我們成功地利用減少碲化鋅層的厚度（圖 3-1），或是將樣品置於外加電場的方式（圖 3-2），達到在能帶結構為第二型的碲化鋅/碲化鋅多重量子井中，觀察到第一型躍遷螢光。並且建立一簡單載子躍遷路線說明此現象發生。詳細的討論已撰寫為論文，並投稿參加 2005 第二屆台灣分子束磊晶研討會[5]。

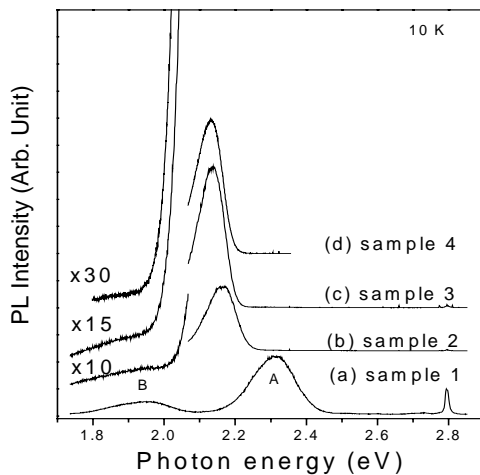


圖 3-1. 不同碲化鋅層厚度的光激螢光譜，其厚度由樣品一至樣品四分別為 1, 2, 3, 與 4 nm。

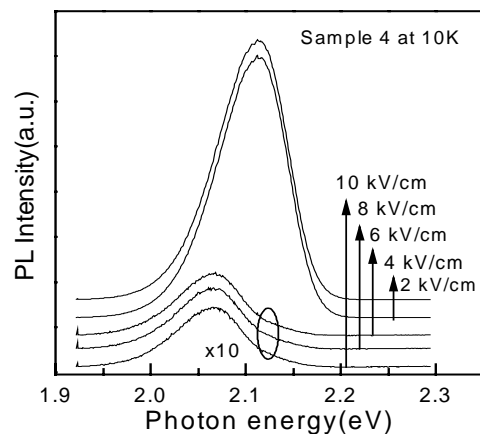


圖 3-2. 在 10K 與不同外加電場強度下，樣品四之光激螢光譜。

4. 碲化鋅量子點時間解析光譜分析：在此段時間中我們研究群利用平台掃描式

共焦顯微鏡(stage scanning confocal microscope)，配合時間相關單光子計數(time correlated single photon counting)電子模組來量測合成碲化鋅量子點的螢光生命期，我們的激發光源為鎖模的鈦藍寶石脈衝雷射(mode-locked Ti:sapphire pulsed laser)，其波長中心在 800 nm，脈衝寬約為 150 fs，雷射的重複率為 80 MHz，此光源經過一個非線性的 BBO 晶體以產生約 400 nm 的倍頻光以激發樣品。

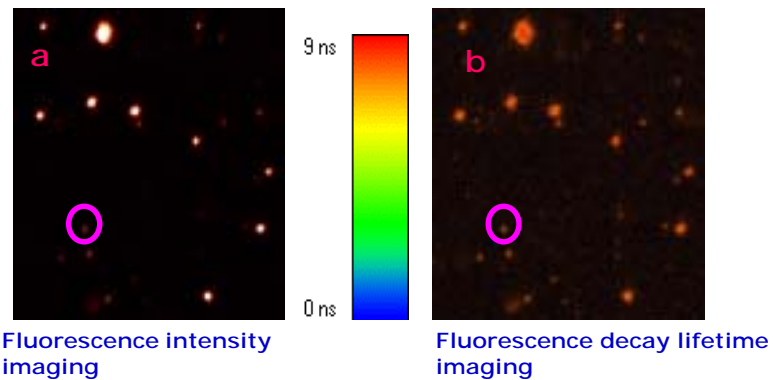


圖 4-1. 碲化鋅量子點的螢光影像和其所對應的螢光時間常數影像。

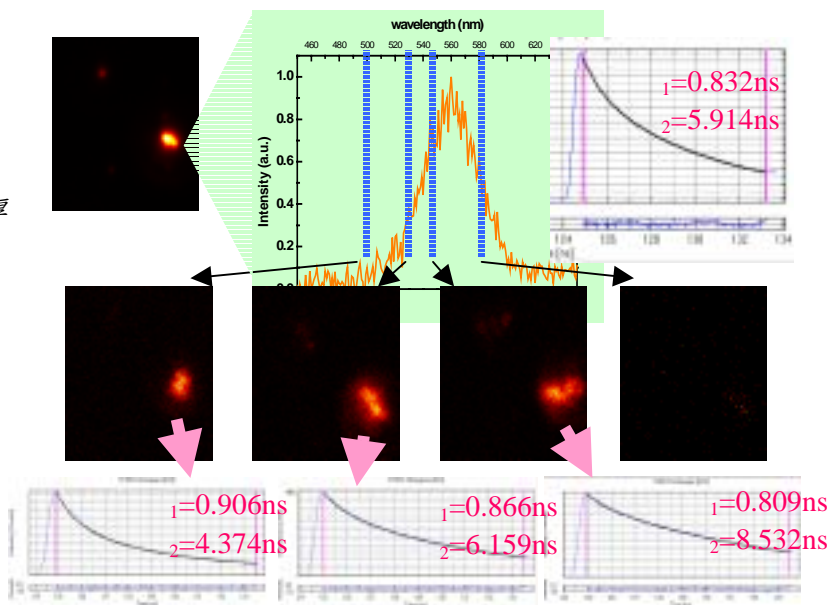


圖 4-2. 針對某一個碲化鋅量子點團波長解析的螢光光譜

圖 4-1a 為某一區域碲化鋅量子點的螢光影像($25 \times 25 \mu\text{m}^2$)，我們可以看到集結不同大小的量子點團，圖 4-1b 為其相對應的螢光生命期，我們可以看到在同一個量子點團的不同位置有著不同的時間常數，我們針對某一個量子點團

波長解析的螢光光譜如圖 4-2，其頻譜寬主要來自於量子點的尺寸分布，接著我們利用濾光片當作波長閘門，以讓特定波長的光通過，以量測特定波長的時間常數，我們發現隨著波長的增長，其時間常數有變長的趨勢。

四、計畫成果自評

本計畫已執行將近一個年度，我們已成功地成長出不同材料的量子點，包括在硒化鋅上成長半磁性半導體碲化錳鋅量子點以及在半磁性半導體硒化錳鋅上成長碲化鋅量子點，有些成果也已整理投稿並被接受將出刊。此外對於形成量子點結構前的材料特性也進行了分析，有助於進一步瞭解其形成量子點結構時的物理特性。

以上的研究成果將有助於本計畫對於第二年度的進行。

參考文獻

- [1] A.J. Shields et al. *Appl. Phys. Lett.* **76**, 3673 (2000).
- [2] H. Cao et al. *Appl. Phys. Lett.* **76**, 3519 (2000); M. Grundmann et al. *Appl. Phys. Lett.* **77**, 4 (2000).
- [3] D. Loss and D.P. DiVincenzo, *Phys. Rev.* **A57**, 120 (1998).
- [4] D.J. Eaglesham and M. Cerullo, *Phys. Rev. Lett.* **64**, 1943 (1990); I. Daruka and A. Barabasi, *Appl. Phys. Lett.* **72**, 2102 (1998); I. Daruka et al., *Phys. Rev. Lett.* **82**, 2753 (1999); J. Tersoff et al., *Phys. Rev. Lett.* **76**, 1675 (1996); J. Tersoff, *Phys. Rev. Lett.* **77**, 2017 (1996); E. Herrmann et al., *Appl. Phys. Lett.* **77**, 163 (2000).
- [5] C.S. Yang, D.S. Chuu, W.C. Chou, H.M. Huang, W.C. Fan, M.C. Kuo, J.S. Wang, J. Lee, and J.L. Shen, It was submitted to the 2005 MBE conference.

