

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

半導體量子環和其在自旋電子元件之應用(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2215-E-009-034-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學電子工程學系暨電子研究所

計畫主持人：李建平

計畫參與人員：李秉奇 林志昌 王興燁 羅明城

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中（第一年）報告

半導體量子環和其在自旋電子元件之應用 (1/3)

Semiconductor quantum rings and its application on spintronics

計畫編號：NSC 93-2215-E-009-034

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：李建平教授 國立交通大學電子工程學系

一 摘要 (Abstract)

This report summarizes the major results obtained from the second year program of the “Semiconductor quantum rings and its application on spintronics”. Two subjects are discussed in the following including, formation mechanism of quantum rings and carrier capture and relaxation in InAs quantum dots.

量子結構光電元件是目前前瞻研究的重點，本實驗室在今年的研究重點為量子環之最佳成長條件並探討其形成機制。其次並研究量子點之載子捕捉機制。

在量子環的成長機制方面，我們設計一系列不同長晶條件之實驗(包含退火及砷化鎵覆蓋層)來探討其形成的環狀結構之機制。

而在載子捕捉機制之研究，我們將重點放在量子點結構上，利用 upconversion 技術研究載子(電子和電洞)在不同結構之量子點中之捕捉及能量之鬆弛現象以探討載子在量子結構之動態行為。

二 量子環之形成機制 (Formation Mechanism of Quantum Rings)

原先 InAs 量子環之發現是源自於研究 InAs 量子點在覆蓋 GaAs 後，量子點表面型態之變化以及其光學特性。當時發現量子點在部分覆蓋上 GaAs 後，經特殊之退火條件可以形成量子環。一般認為形成量子環之機制

可能有兩種：the diffusion-driven transformation and the dewetting process。由於量子環之最佳成長條件是取決於成長機制，為此，我們設計各種不同的成長條件(如表一)來探討其成長機制，以求得最佳化。

實驗上我們選取不同之 GaAs 覆蓋條件(覆蓋速率和覆蓋溫度)以及退火條件(退火溫度和退火時間)。

圖一(1a, 1b, 1c 和 11a, 11b, 11c)是不同成長條件下之量子環的表面型態圖。實驗結果顯示出三個重要的特徵：(一)只要在形成量子點後在覆蓋上部分之 GaAs，縱使立刻降溫而無退火之過程，依然會形成量子環；然而無覆蓋 GaAs 之樣品則無法形成環狀結構。此結果明白說明 dewetting process 誘發 In atom 向外移動而形成量子環。(二)長晶條件強烈的影響量子環之半徑。當我們在較高的基板溫度以 GaAs 覆蓋量子點並增加退火時間下，由於向外遷移的 In atom 可以移動較長的距離，因此我們的到半徑較大的量子環。(三)GaAs 覆蓋速率亦會影響量子環的形狀。在較慢的覆蓋速率下，對於較大的量子點而言，因為有足夠的時間在量子點由周圍緩慢的向內進行強烈 In-Ga 交互混合並形成較難移動的合金，導致量子環內徑較小。而在較快的覆蓋速率下，對於大或小量子點則無顯著影響。

由此，我們總結實驗結果得到：量子環之形成是一個兩步驟之過程。初期由於覆蓋 GaAs 後形成一個未平衡的系統。由於此未平衡之力導致 In 原

子向外遷移而在量子點中心留下一圓形洞。而在後續過程中，退火溫度、時間以及 In-Ga 合金效應則嚴重的影響量子環之表面型態。

三 砷化銻量子點中之載子捕捉機制及鬆弛 (Carrier Capture and Relaxation in InAs Quantum Dots)

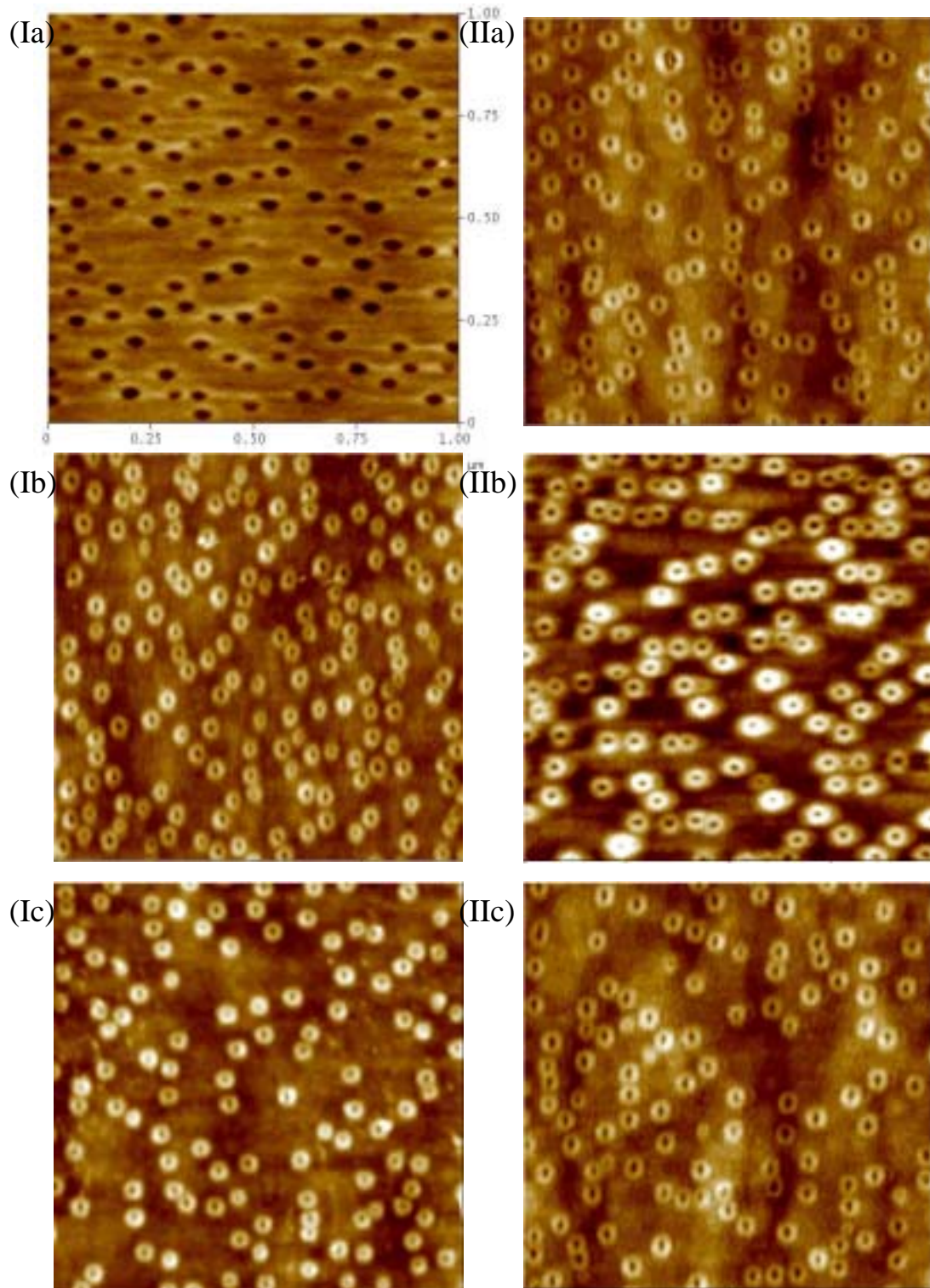
在量子結構中載子的捕獲以及能量鬆弛嚴重的影響其元件應用時的操作特性。我們先從較為人知的量子點系統開始，研究載子在量子點中之捕捉機制。並陸續改變不同結構（如電子或電洞參雜）以及日後用於研究量子環之捕捉及鬆弛機制。

實驗中，我們研究不同量子點密度且未參雜的樣品中其捕獲和鬆弛現象。圖二為樣品的 AFM 影像。其中一個樣品為較低密度 ($3.2 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$) 的量子點試片，另一片為高密度 ($1.5 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$)。圖三是室溫下低密度樣品 PL 強度對時間的關係圖，其強度上升代表載子被捕獲至量子點中。雷射光激發（光波長 770nm）強度由 $1 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$ (low) to $8 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ (high)。在高激發強度下，PL 強度在 2ps 內即達到飽和。然而在低激發強度下則可用兩個參數來描述其捕獲行為。

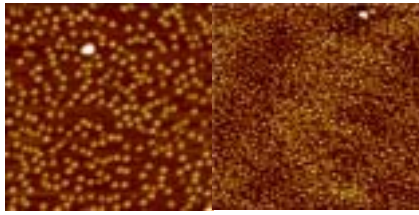
圖四是室溫下高密度樣品 PL 強度對時間的關係圖，我們用低激發強度來量測，其 PL 強度亦在 2ps 內即達到飽和。為此，我們解釋載子在樣品中之擴散將嚴重影響載子捕獲行為：在低密度量子點中我們以低激發強度激發形成電子電洞對後，載子捕獲將可分為兩種（如圖五）：一種是一部分載子直接激發在量子點旁因此可以直接捕捉進量子點位井中，另外一部分載子須一段時間擴展到量子點旁進而被捕捉到位井內。因此在低激發密度下低密度之量子點試片之 PL 上升行為可用兩個參數描述（一個約

1.5ps~2.8ps，另一個約 8ps~16ps）。而對於高密度量子點則因為存在許多的量子點，因此大多數電子電洞對皆直接激發在量子點旁，所以其 PL 上升可在 2ps 內立即完成，縱使在較低的光激發強度亦然。

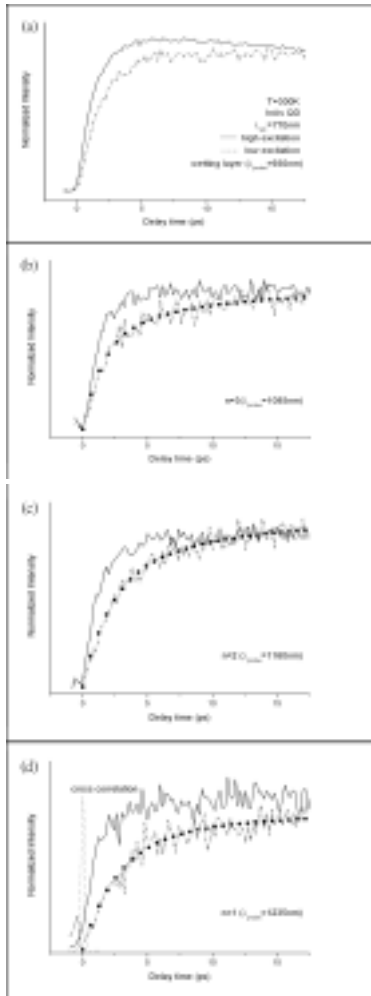
除此之外，我們又設計兩種不同載子參雜之結構，以有初步之特殊結果，目前正嘗試提出模型解釋其機制。我們將就其結果應用在量子環及其相關元件上。



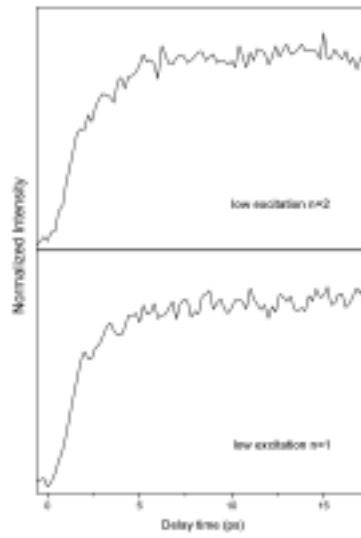
圖一 不同成長條件之量子環表面型態



圖二. 量子點樣品之 AFM 影像



圖三. 低量子點密度樣品 PL 強度對時間之關係



圖四. 高量子點密度樣品 PL 強度對時間之關係高



圖五. 載子擴散模型 (上圖為低密度量子點, 下圖為高密度量子點)

| | GaAs 覆蓋速 率 | GaAs 覆蓋溫 度 | 退火溫度 | 退火時間 |
|-----|----------------|------------------|------------------|------|
| Ia | 1 μ m/hr | 500 $^{\circ}$ C | 500 $^{\circ}$ C | 90s |
| Ib | 1 μ m/hr | 500 $^{\circ}$ C | none | - |
| Ic | 1 μ m/hr | 450 $^{\circ}$ C | 450 $^{\circ}$ C | 90s |
| IIa | 1 μ m/hr | 500 $^{\circ}$ C | 500 $^{\circ}$ C | 60s |
| IIb | 0.3 μ m/hr | 500 $^{\circ}$ C | 500 $^{\circ}$ C | 60s |
| IIc | 1 μ m/hr | 500 $^{\circ}$ C | 475 $^{\circ}$ C | 60s |

表一 . 量子環之成長條件