

## 砷化銦自聚式量子點內點缺陷與電子量子能階之交互作用(2/3)

Interactions between a point-defect state and electron quantum states in InAs self-assembled quantum dots

計畫編號：97-2112-M-009-014-MY3

執行日期：98/08/01 ~ 99/07/31

個別型計畫： 計畫主持人：陳振芳 交大電子物理系教授

### 一、中文摘要

我們利用改變溫度的方式，從10 K變化到300 K，對應力鬆弛InAs量子點的光激螢光光譜(PL)的特性進行研究。在應力鬆弛量子點樣品的光激螢光光譜中，我們可以看到有兩群量子點的分布。應力鬆弛(未鬆弛)量子點的PL峰值在比較高(低)能量的位置。利用TEM，可以證實量子點的確分成兩群，並且發現量子點釋放應力是將量子點內的In元素擴散出來。

在120-200 K的溫度範圍中，我們觀察到隨著溫度的增加，應力鬆弛的量子點PL半高寬下降以及未應力鬆弛的量子點PL積分強度增加。這些不尋常的溫度行為，是由於在此溫度範圍中，載子從應力鬆弛量子點轉移到未應力鬆弛量子點所致。

### 二、英文摘要

Photoluminescence (PL) properties of the strain relaxed InAs quantum dots (QDs) are studied as a function of temperature from 10 to 300 K. Two groups of QDs induced by strain relaxation are observed in the PL spectra. The PL peak position of the relaxed (non-relaxed) QDs locates at a higher (lower) energy. TEM images prove QDs are distributed into two groups and indicate the QDs relax the strain by

diffusing indium to GaAs.

In the 120- 200 K temperature range, we observe a decrease of the PL FWHM of the relaxed QDs and an enhancement of the integrated PL intensity of the non-relaxed QDs with temperature increasing. These abnormal temperature behaviors are attributed to the carrier transfer from the relaxed to non-relaxed QDs by means of a non-resonant multi-phonon assisted tunneling process.

### 三、計畫緣由與目的

當樣品中量子點的分布形成兩群時，兩群量子點之間載子的傳輸機制吸引了許多人的研究興趣。而當量子點的成長厚度超過其臨界厚度(~ 3 ML)時，會產生應力鬆弛。在本研究中，利用光性分析及TEM影像分析，我們可以清楚看出，在產生應力鬆弛的樣品中，量子點會形成應力鬆弛及未鬆弛的兩群分布。並且在兩群量子點間，有載子轉移的現象。

### 四、研究方法與成果

本實驗使用分子束磊晶(MBE)法在 $n^+$ -GaAs(100)基板上，先成長一層，再成長不同厚度的InAs QDs，分別為2.7及3.06 ML。QDs的採用形成Stranski-Krastanow長晶方式，上面覆蓋一層6 nm的 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$  QW，並

成長一層  $0.2 \mu\text{m}$  的 Si-doped GaAs ( $10^{17}\text{cm}^{-3}$ )，作為 cap layer。最後在樣品上蒸鍍 Al 來形成 Schottky diodes。

(圖一) 顯示在 300K 時 2.7 ML 及 3.06 ML InAs QDs 樣品的 PL 量測，插圖是樣品結構圖。在 2.7 ML InAs QDs 的 PL 中只有看到兩個峰值，分別為量子點的基態及第一激發態。而在成長到 3.06 ML 之後，量子點發生了應力鬆弛，我們可以看到 PL 強度下降以及主峰值藍移的現象。除了應力鬆弛量子點的基態及第一激發態峰值之外，我們可以看到在低能量的位置多了一個峰值，而且峰值位置跟應力未鬆弛量子點的基態大致相同。當樣品成長厚度剛超過量子點臨界厚度，樣品中仍存在著部分屬於應力未鬆弛的量子點，也是因為這個原因，在 3.06 ML 的樣品中存在著兩群量子點。

(圖二) 則是我們觀察到的樣品 cross-sectional TEM 圖。(圖二 a) 是 3.06 ML InAs QDs 的 TEM；(圖二 b) 則是 2.7 ML InAs QDs 的 TEM。在圖中長條狀的區域是 InGaAs quantum well capping layer，而 InAs QDs 則埋在其中。在(圖二 a)中我們可以明顯發現量子點有著兩種型態，一種可以看到量子點完全埋在 InGaAs capping layer 之中；另一種則產生了 In 往外擴散的現象。而(圖二 b)中則只有一種型態的量子點。我們可以推論出，當量子點的成長厚度越來越厚時，量子點很有可能是因為應力太大，必須將 In 排出量子點而使得應力鬆弛。也因此產生 In 和 Ga 的 interdiffusion，因此峰值產生藍移。

(圖三 a) 是 3.06 ML InAs QDs 樣品在改變溫度的條件下，量測的 PL 訊

號。我們發現兩群量子點的 PL 強度隨著溫度下降的速率不一樣。(圖三 b) 是 3.06 ML InAs QDs 樣品在 20 K 及 180 K 的 PL 圖，並且分別作了 Gaussian fitting。可以更清楚看到兩群量子點 PL 強度的比例隨著溫度增加而改變。在低溫，應力鬆弛量子點的 PL 強度比應力未鬆弛的量子點大了約十倍。但當溫度升高，應力未鬆弛那一群量子點的訊號則越來越明顯。

(圖四) 顯示利用 Gaussian fitting 所得到的兩群量子點歸一化的 PL 積分強度，隨著溫度變化的情形。一般而言，量子點的侷限能力會隨著溫度升高而下降，因此 PL 積分強度也會逐漸下降。但在我們 Gaussian fitting 得到的結果中，可以看到應力未鬆弛量子點隨著溫度上升，反而有上升的趨勢。這樣不尋常的溫度效應，我們認為是因為在兩群量子點之間有載子轉移的現象。(圖四) 的插圖是應力鬆弛量子點的 PL 半高寬隨溫度變化的圖。同樣在溫度上升時，量子點的侷限能力下降，PL 的半高寬一般應該隨之上升。而在圖中可以看到應力鬆弛量子點 PL 半高寬有先下降再上升的趨勢，這個現象同樣也被解釋為載子轉移所造成。

(圖五) 是兩群量子點載子轉移的模型。在低溫的時候，載子比較容易被侷限在應力鬆弛(能階較淺)的量子點中。到了比較高溫，應力鬆弛量子點中的載子會容易被釋放，又被重新抓入應力未鬆弛(能階較深)的量子點中。

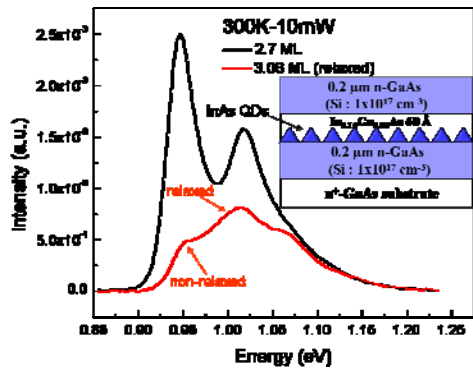


Fig.1

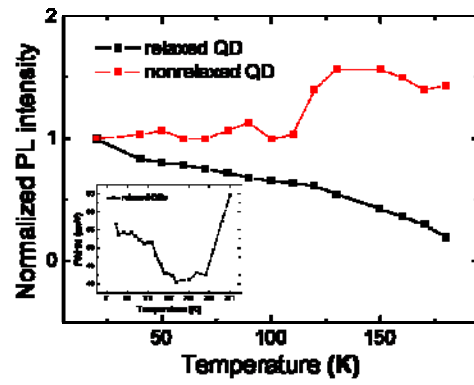


Fig. 4

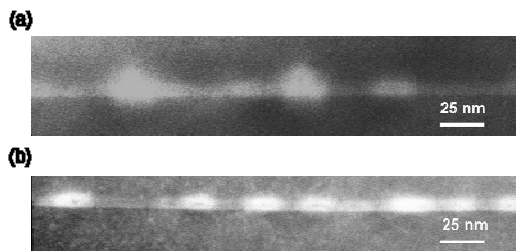


Fig. 2

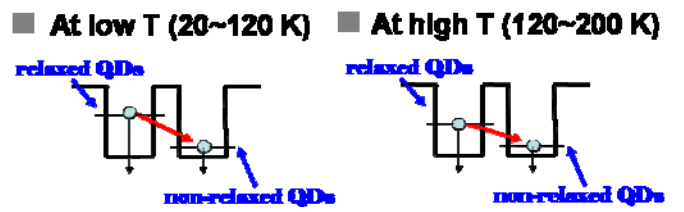


Fig. 5

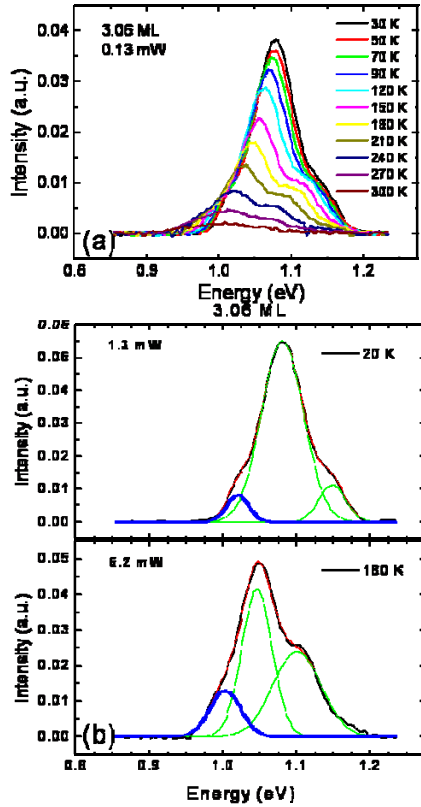


Fig. 3