

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

砷化銾自聚式量子點內應力鬆弛效應與材料交互混合產生的電性缺陷的影響(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2112-M-009-029-

執行期間：94年08月01日至95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：陳振芳

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 95 年 5 月 29 日

砷化銻自聚式量子點內應力鬆弛效應與材料交互混合產生的電性缺陷的影響
(1/3)

Effects of strain relaxation and material intermixing on the production of electrically active defects in InAs self-assembled quantum dots

計畫編號：NSC 94-2112-M-009 -029-

執行日期：94/08/01 ~ 95/07/31

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

我們藉由載子分布、穿透式電子顯微鏡 (TEM) 和深層能階暫態頻譜 (DLTS) 的分析來研究 $\text{InAs}_{0.94}\text{Sb}_{0.06}$ 量子點的應力鬆弛現象。當 InAsSb 厚度達臨界厚度時，會產生應力鬆弛並導致量子點的部分載子被空乏，而在上層 GaAs 的載子空乏現象更加顯著。由 TEM 數據可得知載子分布的情形，在 dot 上界邊緣有 misfit dislocations，而上層 GaAs 有 threading dislocations 現象。但在 dot 下界及下層 GaAs 沒有觀察到 dislocation 的現象，原因是應力鬆弛可能發生在量子點的邊緣。此外 DLTS 頻譜顯示上層 GaAs 的 threading dislocations 導致 0.64 eV 的缺陷，而 dot 的 misfit dislocations 導致 0.35 eV 的缺陷，兩者皆引起載子被空乏現象。

英文摘要

We present the carrier distribution, transmission electron microscopy (TEM) and deep-level transient spectroscopy (DLTS) studies of strain relaxation in $\text{InAs}_{0.94}\text{Sb}_{0.06}$ quantum dots (QDs). We show that as the InAsSb thickness reaches the critical thickness, strain is relaxed and causes partial carrier depletion in the dots and drastic carrier depletion in the top GaAs layer. This

carrier distribution is consistent with the TEM data which show misfit dislocations on the edges of the dot upper boundary and threading dislocations in the top GaAs layer. No dislocations in the dot lower boundary and in the bottom GaAs layer were observed. Accordingly, the onset of strain relaxation may occur on the edges of the dots. The DLTS spectra show that the threading dislocations in the top GaAs layer give rise to a trap at 0.64 eV and the misfit dislocations in the dots give rise to a trap at 0.35 eV, both of which cause the carrier depletion.

二、計畫緣由與目的

爲了達到光纖通訊的發光波長 1.3 μm ，近年來研究發現把 Sb 加入 InGaAs 量子井中，使得發光波段拉長。Sb 的功用可以增加二維的成長模式且抑制三維的成長模式，所以二維轉變爲三維的臨界厚度會增加，此外可減輕磊晶層材料的表面能且延後差排(dislocation)缺陷的形成，進而可使量子結構長的更厚，發光波段可拉更長。由於關於 $\text{InAsSb}/\text{GaAs}$ 自聚式量子點的應力鬆弛現象研究甚少，我們藉由電性和結構特性來研究缺陷引致應力鬆弛現象。

三、研究方法與成果

本實驗使用分子束磊晶(MBE)法在 n^+ -GaAs(100)基板上成長 InAsSb QDs。QDs 的形成採用 Stranski-Krastanow 長晶方式，長晶溫度 485°C 、長晶速率 0.256 \AA/s 。由 GaAsSb layers 的 X-ray data 可估計有 6% 的 Sb 成分。而 Reflection high-energy electron diffraction(RHEED) patterns 指出 Sb 的加入會阻礙 QDs 形成。為了做電性量測，將 QDs 夾在兩層 $0.3 \mu\text{m}$ 厚的 Si-doped GaAs($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)，並在樣品上蒸鍍 Al 來形成 Schottky diodes。

(圖一) C-V 量測顯示 20K 時厚度 2, 2.2 和 2.8ML InAs_{0.94}Sb_{0.06} QDs Schottky samples 的載子分布。2 和 2.2ML 樣品顯示在 dots 中有 strong carrier-accumulation peak，且沒有 frequency-dependent attenuation，表示量子狀態有非常快速地 electron emission。相對地 2.8ML 樣品顯示 dot 在 $0.28 \mu\text{m}$ 處有 weak accumulation，並在上層 GaAs(約 $0.23 \mu\text{m}$ 處)有顯著的載子空乏。此外在 1285 nm 處 PL emission 非常微弱，這歸因於載子空乏的缺陷所引致的晶格鬆弛現象。而 weak accumulation peak 顯示沒有 frequency-dependent attenuation，意指在下層 GaAs 附近沒有缺陷，因為任何缺陷都會增加 emission time。缺陷的臨界厚度介於 2.2 和 2.8ML 間，較 InAs QDs (約 2.7 和 3.06ML 間)稍小，可能是因為 Sb 加入而增加晶格不匹配的程度。

(圖二 a) 顯示 2.8ML sample 的 cross-sectional TEM 圖形。在上層 GaAs 有 threading dislocations 表示有顯著的載子空乏。(圖二 b) 顯示高解析度 TEM(HRTEM)中，典型量子

點(橢圓虛線)對應到右手邊的量子點。(圖二 c) 顯示對應的 Fourier transformed 圖像。在右手邊較大的兩個圓中有兩個 misfit，而其他的圓中有一個 misfit。在 QD 上界邊緣有六個 misfit，其中 dot 內有兩個 misfit，顯示出應力鬆弛效應。量子點的部份載子空乏歸因於這些 misfit 會捕捉電子。由 misfit 的分布，可推論應力鬆弛的原因，可能是因為在 QD 上界邊緣處有相當大的應力累積，很可能產生 threading dislocations 以提供 misfit dislocations 集結的來源。

由 DLTS spectra 可得知晶格鬆弛引致的缺陷。(圖三) 最頂端的圖顯示 2 和 2.2ML 的樣品，從 0 掃到 -3.5 V 並無缺陷的產生，表示 QDs 的形成是連貫的。相對的，2.8ML 的樣品顯示在上層 GaAs 有缺陷 E_1 ，在 dots 附近有缺陷 E_2 。再由 Arrhenius plot 產生活化能(捕獲截面積)，對 E_1 缺陷是 0.64 eV ($2.11 \times 10^{-15} \text{ cm}^{-2}$)，對 E_2 缺陷是 0.35 eV ($1.18 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-2}$)。當填充偏壓增加， E_1 缺陷的 intensity 也增加但不飽和。

(圖四 a) 顯示 300K 時從 0 掃到 -0.5 V 的 transient 量測，經 fitting 後呈現對數函數。這項特徵顯示載子沿著線性排列的 dislocation lines 被缺陷捕捉的庫倫排斥作用，並確定 E_1 缺陷在上層 GaAs 有 threading dislocations。(圖四 b) 顯示偏壓由 -2 掃到 -2.5 V 的 transient 量測。除了非常起始的時間外，fitting 後呈現指數函數，意指 E_2 缺陷是由於 misfit dislocation 的孤立點缺陷。和 InAs QDs 對照，Sb 的摻雜可降低 dislocation density 或抑制 dislocation 的運作，我們猜想 Sb 的摻雜可阻止這些缺陷發生。

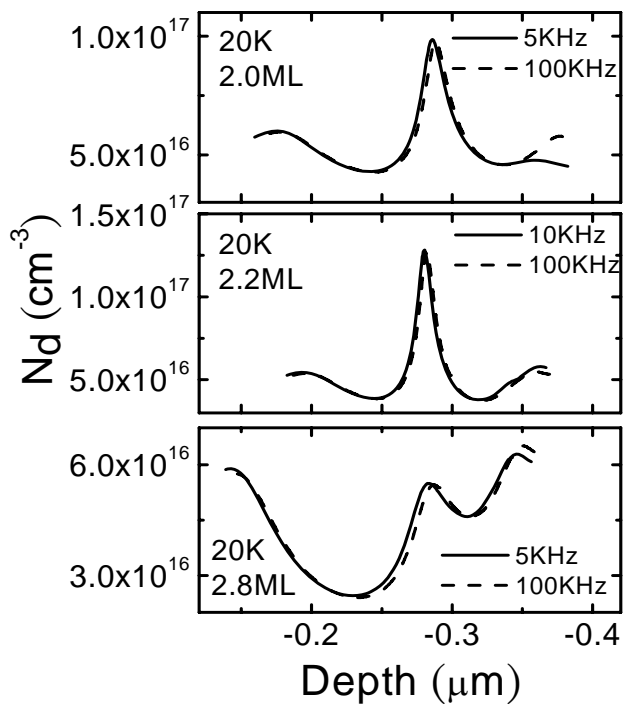


Fig1

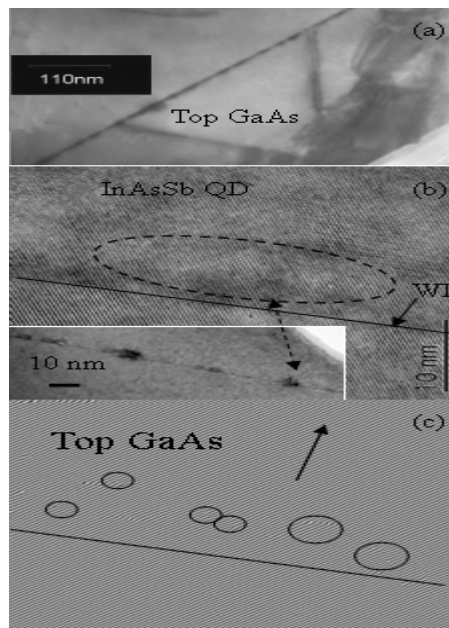


Fig2

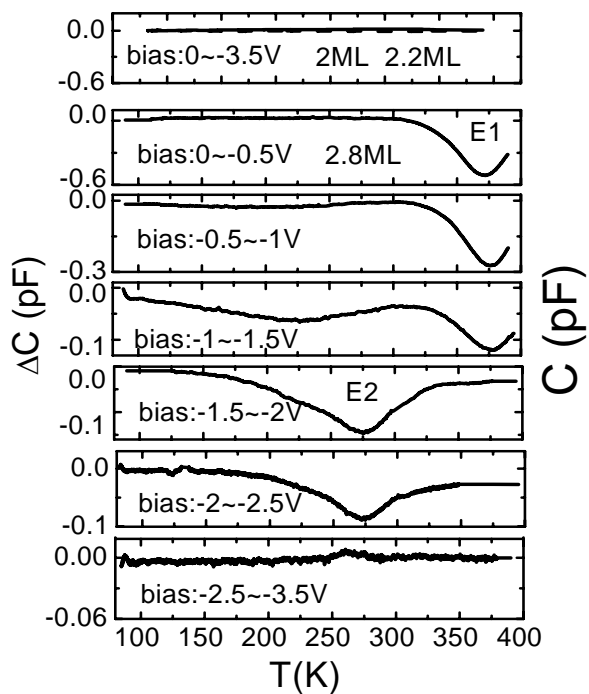


Fig3

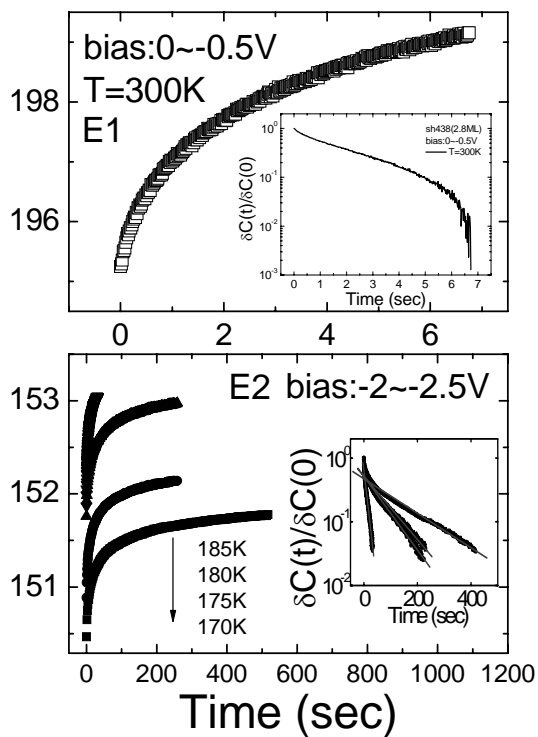


Fig4