

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(1/3)

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：97/08/01 ~ 98/07/31

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

無缺陷的量子點結構中，電子的放射速率(emission rate)極快，以致於不易量測到電子在量子能階放射的特性。本研究藉由分子束磊晶(MBE)法成長InAs/GaAs QDs結構，並形成量子點同時通入大量的氮原子(nitrogen)生成InAsN/GaAs QDs，由於晶格不匹配緣故，使得量子點內形成大量的缺陷而影響電子在量子能階放射特性。藉由C-V量測、載子分布和深層能階暫態頻譜(DLTS)的分析來研InAsN/GaAs QDs內缺陷與電子量子能階之交互作用。從DLTS量測系統中，藉由改變空乏電壓來調變缺陷缺捕捉的載子濃度改善受缺陷影響的電子在量子能階放射速率特性與電子被量子能階捕捉速率(capture rate)，其以達到接近無缺陷量子點之電子放射與捕捉特性。由載子濃度分佈與C-V量測發現N的摻入產生許多的缺陷在量子點附近，且量子點中的電子放射速率隨溫度與頻率而改變。DLTS量測時，空乏寬度在量子點區域時，隨著能階越深，其電子受缺陷載子影響更甚，導致電子的時間常數(time constant)增加。隨著空乏寬度達到缺陷能階，進而調變缺陷中，載子濃度使得電子時間常數不受缺陷影響而恢復成類似一般量子能階的電子的時間常數。

英文摘要

In the no defect quantum dots (QDs) structure, the electron emission rate is so fast that it is not easy to find the properties of electron emission. In our investigate, we present C-V measure, carrier distribution, and deep-level transient spectroscopy (DLTS) studies of InAs/GaAs QDs with a high N incorporation. We found that it can modulate the carrier concentration of the defect to improve the electron emission rate and capture rate in quantum levels by changing the depletion bias of DLTS measure. It can reach a normal property of electron emission and capture rate in the no defect QDs. A large number defects are produced near the QDs with a high N incorporation by C-V measure and carrier distribution, and the electron, and the electron emission rate dependent with temperature and frequency. The electron time constant which the electron is influenced by carrier in the defect is increased with deeper energy level in the depletion region of the QDs by the DLTS measure. With depletion region in the defect, it can modulate the carrier concentration of defect to lower the electron time constant.

二、計畫緣由與目的

利用 1300 nm 發光源做光纖通訊用途是相當普遍,近年來研究發現將 N 加入 InAs QDs 中可以將發光波長拉長。N 在加入 QDs 中時因 bowing 效應造成能帶彎曲使得 QDs 的能隙變小,而幫助發光波長變長。而在這方面的研究,專注在如何改善發光效率,而,本研究則是藉由加入 N 後利用電性與結構性來研究 N 所造成的缺陷與 QDs 中電子能階的互相作用。

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 InAsN QDs。QDs 的採用形成 Stranski-Krastanow 長晶方式,同時以射頻電漿(RF Plasma)游離氮分子方式將 17% 的氮原子加入 InAs QDs,長晶溫度 485°C 、長晶速率 0.256 \AA/s 。將 QDs 夾在兩層 300 nm 的 Si-doped GaAs ($8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$),並在樣品上蒸鍍 Al 來形成 Schottky diodes。

(圖一 a) 顯示在 300K 時 InAsN QDs 樣品的 C-V 量測。偏壓在 $-1.5 \sim -3 \text{ V}$ 為量子訊號的區域,而缺陷的訊號卻是隨處可見;(圖一 b)顯示在 300K 時 InAsN QDs 樣品的載子分佈。深度約 $0.4 \mu\text{m}$ 的位置,量子訊號有明顯的 frequency dependent attenuation,意指電子的 emission rate 變慢了;(圖一 c)顯示 InAsN QDs 樣品在空乏偏壓到 -1.5 V 再回到 -1 V 時電子 emission 的 DLTS 量測。明顯的發現低溫訊號為量子訊號,且有較慢的電子 emission rate,而高溫訊號則是缺陷的訊號。一般的電子在量子能階 emission rate 是相當快而不易量測到,而 InAsN QDs 樣品卻可以量到在低溫有量子能階的

訊號,確實是深層缺陷去影響電子在量子能階的 emission rate。

(圖二 a) 顯示樣品在改變空乏電壓的條件下 DLTS 量測電子 emission 訊號,隨著空乏的電壓加大,電容值隨之飽和,表示此能階為有限的狀態密度;(圖二 b)則是其 Arrhenius plot;其活化能(activation energy)約在 $181 \sim 293 \text{ meV}$,因此證實此能階為典型的量子能階。在量子訊號的偏壓內,隨著偏壓加大,電子的時間常數越大,而其活化能也越大。由此可知電子在量子能階中,當電子所在能階越接近缺陷,越容易受到缺陷的影響。

(圖三) 顯示樣品在改變空乏電壓的條件下 DLTS 量測電子 capture 訊號;當空乏電壓在 -3 V 之前,電子的 capture rate 隨著偏壓增加而變小(往高溫移動),但在偏壓超過 -3 V 之後,電子的 capture rate 突然變快且電容值也突然變大,意味著此時電子被捕捉的量增加。

(圖四 a) 顯示改變空乏的電壓,在空乏寬度為量子區域時,在越深的能階中電子受缺陷的載子濃度牽制而增加時間常數;而當空乏寬度到達缺陷時,將缺陷的載子濃度改變使得電子在量子能階的時間常數變加加油短。(圖四 b) 顯示改變空乏寬度,電子捕捉截面積(capture cross section)持續增加而活化能卻在空乏電壓遠離量子訊號後飽和。這顯示出當空乏電壓越過量子訊號進而空乏缺陷的載子,使得缺陷中載子被空乏至導帶,此時再將電子灌入量子能階中進而增加電子的捕捉截面積,使得電子在量子點的特性恢復。

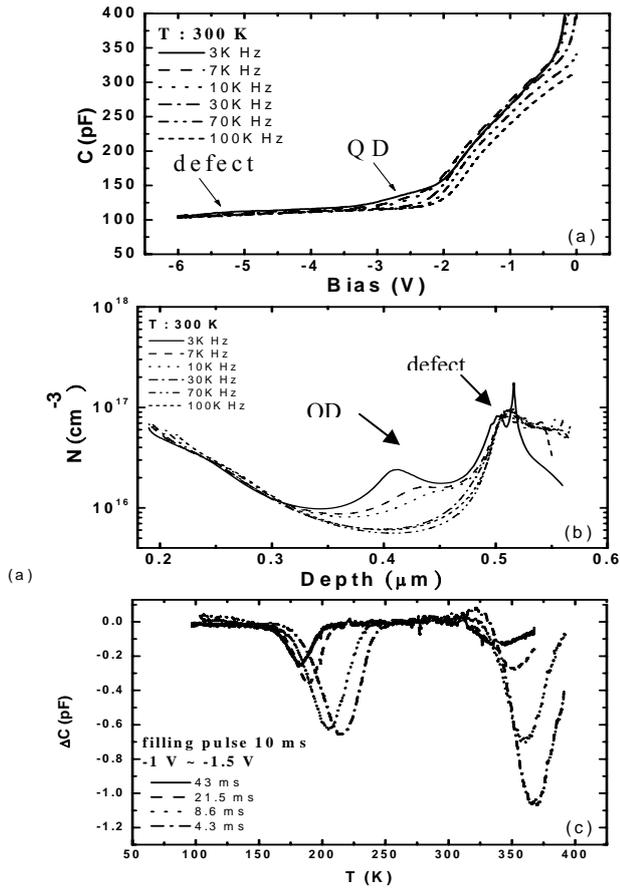


Fig. 1

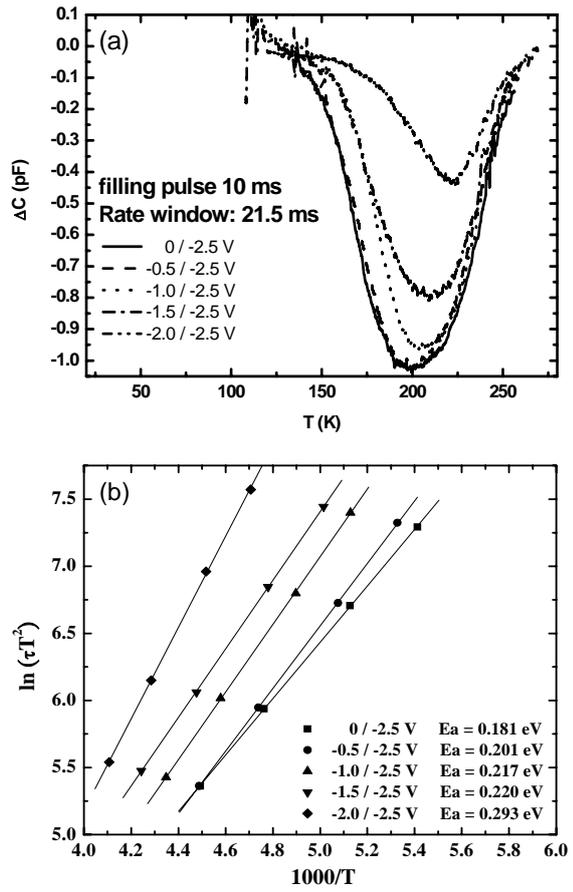


Fig. 2

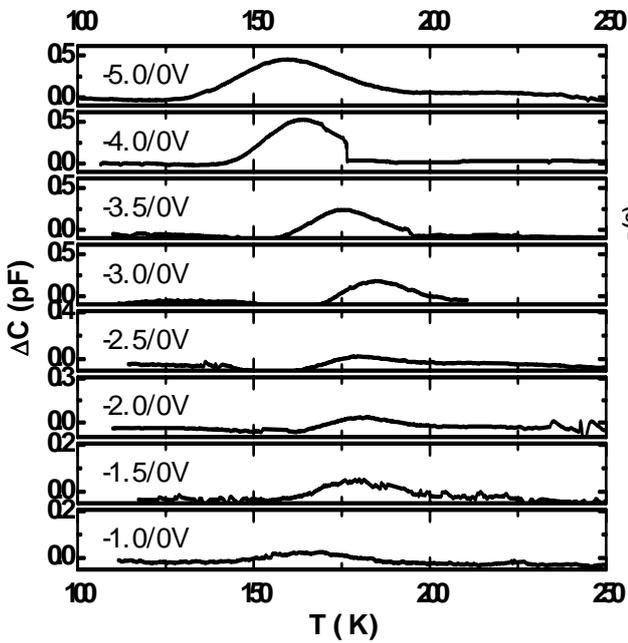


Fig. 3

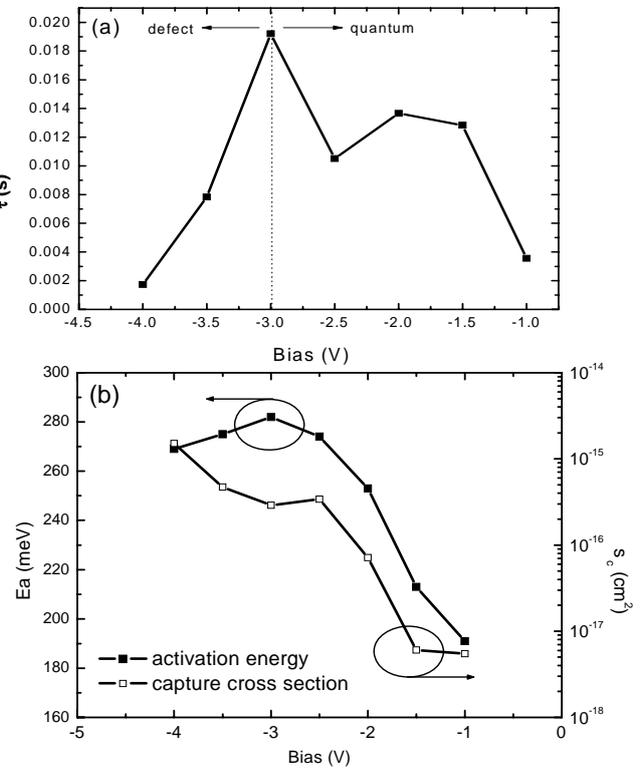


Fig. 4