

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

砷化鎵氮/砷化鎵 量子井在應變與鬆弛狀態下的電性研究

(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2112-M-009-005-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系

計畫主持人：陳振芳

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 25 日

# 砷化鎵氮/砷化鎵 量子井在應變與鬆弛狀態下的電性研究

## Electrical studies of GaAsN/GaAs quantum well in strained and relaxed states

計畫編號 : NSC 92-2112-M-009-005

執行期間 : 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

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

在本計畫中我們主要藉由電流-電壓 (I-V), 電壓-電容 (C-V), 導納頻譜 (C-F), 深層能階暫態導納頻譜 (DLTS) 等電性量測方式探討在波長  $1.3 \mu\text{m}$  的 InAs/InGaAs dots in well 的結構中分別在量子點與量子井中加入氮, 研究其中氮原子對量子結構所造成的影響。從 C-V 量測結果中發現完全沒有加入氮的樣品有兩個量子峰值 (quantum peak), 發現他們很有可能是分別是來自量子井與量子點的載子所形成, 利用他們的 peak 出現的位置所對應的偏壓, 可以得到量子點的放射能階比量子井深  $0.2\text{eV}$ 。而將氮 (0.4~1.0%) 加在 InGaAs well 的兩片樣品都只觀察到量子井峰值。在這三片樣品中所出現的 quantum peak 對頻率都沒有響應, 且在 DLTS 與導納頻譜中都沒有發現缺陷訊號。然而, 對於將氮 (17%) 直接加入 InAs 中的樣品從 C-V 中發現當高溫低頻時, 有載子堆積的峰值形成; 而低溫高頻時則形成一段空乏區。由 C-V 量測的結果我們可以得到電子從 InAsN/InGaAs 層放射出來的時間常數約為  $10\text{E-}4\text{s}$  ( $T=300\text{K}$ ) 且活化能為  $0.42\text{eV}$  ( $2.32\text{E-}14\text{cm}^2$ )。由於其 PL 訊號非常的差, 因此我們相信將氮直接入量子會

在量子結構層產生缺陷阱在  $0.42\text{eV}$  造成載子空乏。

### 英文摘要

In this project, the effect of N incorporation into the  $1.3\mu\text{m}$  InAs/InGaAs quantum dots (QDs) is investigated by I-V, C-V, DLTS. For the QD sample without any incorporation, C-V profile shows two quantum peak which are probably originated from quantum well (QW) and QD, respectively. From their peak separation in voltage, the QD level is estimated at energy position of  $0.2\text{eV}$  below the QW level. For the QD sample with the N (0.4~1%) incorporation into the InGaAs well, only single quantum peak is observed. All the quantum peaks in these samples are found to be frequency-independent, indicating that the emission time from QW and QD must be less than  $10\text{e-}6\text{s}$  at  $18\text{K}$ . Quality of these quantum structures is good since no traps

are observed either by admittance spectroscopy or DLTS. However, for the QD sample with the N(17%) incorporation directly into the QD, C-V spectra show significant dispersion over frequency with carrier depletion at low temperature and carrier accumulation at high temperature around the QW/QD region. From C-F spectra, we determine the emission time for electrons from around QW/QD to be  $\sim 10^{-4}$  s (at 300K), with activation energy of 0.42eV ( $2.32 \times 10^{-14}$  cm<sup>2</sup>). Combining with the poor PL spectra, we believe that N incorporation directly into QD would introduce around the QW/QD region defect traps (at 0.42eV) which cause the carrier depletion.

## 二. 計畫緣由與目的

由於當前光纖通訊產業正迅速的發展，因此光通訊用的波長雷射 ( $1.3\mu\text{m}\sim 1.5\mu\text{m}$ ) 即扮演著很重要的角色。目前以 GaAs 為基礎的 III-V 族化合物半導體，常被應用到高速元件與光電元件上，是由於它們有著良好的光電特性以及較高較廣的能隙調節範圍，所以已經有許多的研究團體投入研究，並且也有人利用 InAs/InGaAsN quantum dots 成長在 GaAs 基板上，其 PL 放射波長可達到  $1.55\mu\text{m}$ 。由於砷化物及氮化物成長在 GaAs 基板上能夠行成較廣的能隙範圍，且從許多的文獻中都已經證實在 InGaAs 量子井中加入 N 可將波長拉長，而文獻中大多都是以 PL 光性方面的研究探討，於是我們希望藉由以電性的量測觀察氮加在不同的量子結構(QD/QW)與加入不同濃度所產生的影響。

## 三. 研究方法與成果

### (1) 研究方法:

量子點的樣品是以分子束磊晶 (Molecular beam epitaxy) 來成長，使用 (100) 方向 n-type GaAs substrate 先成長  $0.3\mu\text{m}$  矽摻雜 GaAs buffer layer ( $8 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ )，之後將基板溫度降至適當溫度再依序成長 InAs 的量子點(QD)，接著覆蓋 60Å InGaAs 量子井(QW)在 QD 上面，活性層的長晶溫度約為  $485^\circ\text{C}\sim 500^\circ\text{C}$ ，最後再覆蓋  $0.3\mu\text{m}$  GaAs:Si ( $8 \times 10^{16}$ ) cap layer，此為 tr502 樣品的結構與長晶方式。而 tr504 與 tr505 的樣品，則是在以射頻電漿 (RF Plasma) 游離氮分子的方式分別將 0.4% 與 1% 的氮原子加在 InGaAs(QW) layer。tr507 的樣品是在成長 InAs 量子點的同時，加入 17% 的氮。

進行電性量測，所使用的設備如下：

(1) Keithley 236，它是用來量測基本的電壓-電流(I-V)特性曲線。

(2) HP 4194，主要用來量測電容-頻率的特性曲線。

(3) 標準的 DLTS 系統，共包含脈衝產生器、電容計、雙閘訊號平均器、溫控系統、降溫系統及水平垂直紀錄器等部份。

(4) 溫控器是 LakeShore 330。

(5) 變溫量測系統

所有實驗量測數據，都是藉由電腦透過 GPIB 介面控制卡來控制儀器與讀取數據，再經由軟體處理與作圖。

### (2) 成果:

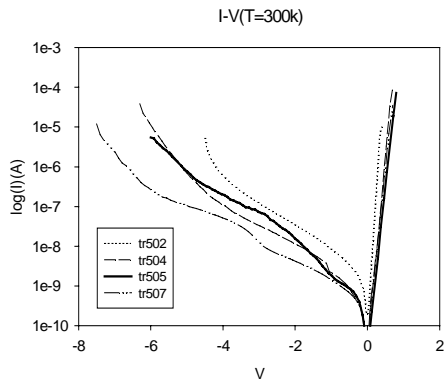
我們用以上的方法及儀器，很完整的對參雜不同濃度的 N in QW/QD 做了電性的量測以及分析，並且與發表過的文獻做比較分析。

## 四. 討論與結果

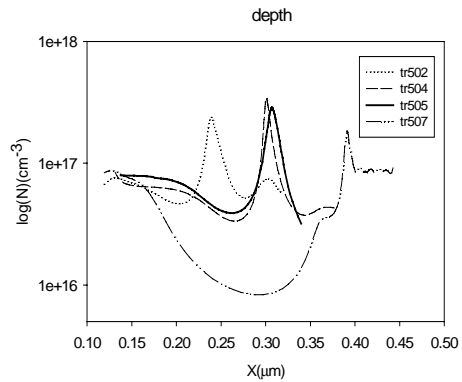
圖(一)為這四片有量子點結構樣品室溫下的 I-V 曲線圖,我們可以發現 Tr502、Tr504、Tr505 逆偏時的漏電流明顯比 Tr507 大很多,這表 Tr507 樣品內部有一個比其他三片樣品大的電阻存在,且 tr507 的曲線在  $V=-3v$  附近出現電流轉折的情形。由室溫電容-電壓的量測結果,量測頻率為  $10^5\text{Hz}$ ,將其圖形換算成載子濃度分佈圖如圖(二),可以發現 tr504、tr505 兩片樣品在  $0.3\mu\text{m}$  有電荷堆積的峰值產生,且對應到 InAs/InGaAsN 層的長晶位置。tr502 樣品形成峰值的位置之所以不在  $0.3\mu\text{m}$ ,是因為 etching 的關係。圖(二)我們已經知道 tr507 樣品與其他三片有很明顯的差異,可以看出在  $0.2\mu\text{m}$  至  $0.38\mu\text{m}$  之間的載子濃度低於矽的背景摻雜濃度  $8*10^{16}\text{cm}^{-3}$ ,而且在 InAsN 層位置( $0.3\mu\text{m}$ )附近的載子濃度最低約  $8.5*10^{15}\text{cm}^{-3}$ ,造成此載子空乏的原因,應該是加入大量的氮後產生嚴重的 phase separation 所造成的,即 tr507 樣品可能已經不具有 InAsN 的量子點結構,反而是產生了大量的缺陷捕捉自由載子。藉由變溫與變頻的 C-V 量測可以讓我們知道缺陷的反應行爲。圖(三)為 Tr507 不同溫度下之 C-V 與載子濃度分佈圖,在  $T=300\text{K}$  以上時,與量子侷限效應相似,在  $V=-2v$  附近有一段電容緩慢變化的平台,其縱深分佈圖在  $X=0.3\mu\text{m}$  的位置形成電荷載子堆積的峰值,這表示此時載子有足夠的能量從缺陷中跳出來且缺陷的位置在 InAsN/InGaAs 層。而低溫時( $T=80\text{K}$ )我們可由其縱深分佈看到並沒有 peak 產生,反而是形成一段載子空乏的區域,此即為缺陷捕捉自由載子的證據。所以從變溫的 C-V 與變溫的 I-V 圖都顯示溫度要在  $300\text{K}$  以上,才能觀察到缺陷捉放載子的反應。接著我們在室溫下做不同頻率的 C-V 量測如圖(四),可以知道低頻時( $f=3\text{kHz}$ ),由於缺陷中

的載子跟得上 A.C 訊號,可以從缺陷中跳出,對電容有貢獻,形成 defect peak;高頻時( $f=100\text{kHz}$ ),因載子跟不上 A.C 訊號,所以沒有載子從缺陷中跳出來對電容值沒有貢獻,但是它仍然會被 D.C bias 趕出來,因此我們可以在  $0.42\mu\text{m}$  的位置可以看到被 D.C bias 趕出來的 peak,而且缺陷在室溫下捉放載子的時間常數為大約為  $10^{-3}\sim 10^{-5}\text{sec}$ 。圖(五)為三片在 PL 量測下仍然有量子點放射訊號樣品 DLTS 的量測結果,可以看到這三片樣品並沒有缺陷訊號產生,這表示在 InGaAs 層中加入  $0.4\%\sim 1\%$  的氮含量所造成的缺陷濃度應該非常低,或者是缺陷的 emission rate 非常快,超出我們電性量測系統所能解析的範圍。接下來我們將利用導納頻譜與 DLTS 對 tr507 樣品的缺陷做更進一步的分析。圖(六)為 tr507 樣品取反向偏壓  $2V$  時,做的不同溫度的 C-F 圖,由每條溫度曲線的反曲點頻率,可得到相對應溫度的電子放射率,進而求出活化能為  $0.42\text{eV}$ ,捕獲截面積為  $2.32*10^{-14}\text{cm}^2$ 。所以我們推測導帶下方  $0.42\text{eV}$  有一個缺陷存在,且因為缺陷濃度很高使得費米能階被缺陷定在導帶下方  $0.42\text{eV}$  的位置,因而造成載子空乏。同理,不同溫度的 G/F-F 圖(七)每個溫度的峰值頻率也能得到相對應的電子放射率,求出活化能為  $0.43\text{eV}$ ,獲截面積為  $3.24*10^{-14}\text{cm}^2$ 。我們可以發現上述的導納頻譜量結果都是同一缺陷的反應,就是說藉由導納量測我們可以得到一個在導帶下方  $0.42\text{eV}\sim 0.44\text{eV}$  的缺陷。由上述的實驗結果我們可以知道在 InAs 量子點中加入氮,於長晶條件是在溫度  $485^\circ\text{C}$  以很慢的長晶速率( $0.26\text{A}^\circ/\text{s}$ )成長,氮含量高達  $17\%$ ,此會有嚴重的 phase separation 發生,成大量的缺陷。然而在 InGaAs 層中加入  $0.4\%\sim 1\%$  氮含量的兩片樣品中,現有 quantum well 的 peak

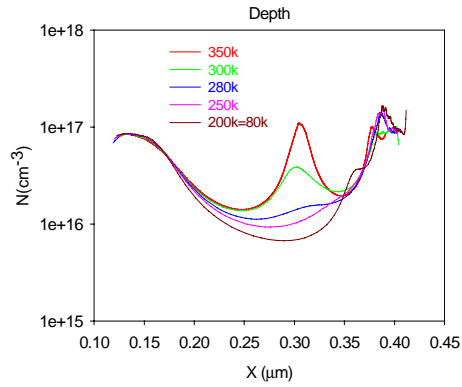
存在,且沒有缺陷訊號產生。



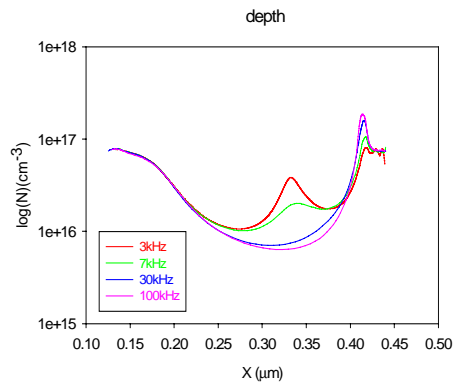
圖(一)



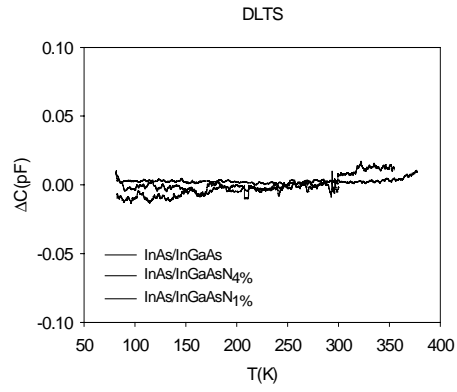
圖(二)



圖(三)

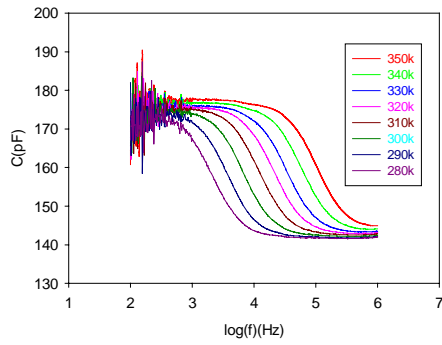


圖(四)



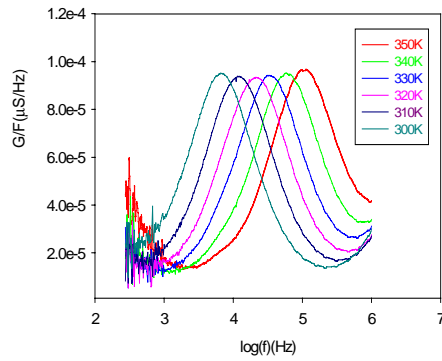
圖(五)

tr507 C-F(V=-2v)



圖(六)

tr507 G/F-F(v=-2v)



圖(七)