

# 三五族氮化合物半導體薄膜之物理特性研究 (III) - 子計畫 (三) : 三五族氮化合物半導體物理特性以及電性量測分析 與研究

Study of electrical properties of III-V nitride semiconductors

計畫編號 : NSC 88-2112-M009-023

執行期間 : 87年08月01日至88年07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

[ 關鍵字: 砷化鎵, 離子佈植, 高溫退火, 深層能階 ]

本計畫分成兩個主題。主題一、研究氮離子於室溫下植入 GaAs 基板內的特性。

由 SIMS 得知, 樣品中的氮, 在 950°C 的高溫退火下, 仍無明顯的擴散。由 X-ray 量測的結果得知, 樣品晶格回復, 需 500°C 以上的退火處理。我們觀察到未退火樣品具有 variable range hopping 的載子傳輸特性, 而 500°C 以上退火樣品則呈現高電阻特性。此高電阻材料發現其符合半絕緣材料電流傳輸模型 (Space Charge Limited)。量測所得材料電阻造成的活化能分別為 0.20eV (未退火)、0.34eV (500°C 退火)、0.59eV (700°C 退火)、0.71eV (950°C 退火)。

主題二, 以金屬有機化學氣相沈積法 (MOVCD), 成長氮為 1.8% 的 GaAs/GaN<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub>/GaAs 單一量子井結構, 對不同厚度的 GaNAs(量子井)作 X-ray 分析及電性量測。

## 英文摘要

(Keywords: GaAs, ion implantation, thermal annealing, deep level)

LEC (Liquid Encapsulated Czochralski) and semi-insulating GaAs(100) wafer

are implanted with nitrogen at the room temperature. After annealing at as high as 950°C, N shows no measurable redistribution by secondary ion mass spectrometry. From X-ray diffraction, it is found that the annealing temperature up to 500°C is necessary for the crystalline regrowth.

The carrier transport for as-implanted sample is identified to be variable-range hopping. The samples annealed above 500°C become highly resistive. It is found that the high-resistive material shows the characteristic of a space-charge-limited current conduction governed by traps. The activation energy of the material resistance is found to increase with increasing annealing temperature. Admittance spectroscopy displays that the activation energy of material resistance for as-implanted sample is 0.2eV which increases to 0.34, 0.59 and to 0.71eV after annealing at 500°C, 700°C and 950°C respectively.

## 二. 計畫緣由與目的

利用改變氮在 GaAs<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub> 中的比例, 可將 GaAs<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub> 的能隙調至比 GaAs 1.4eV 材料小的地步。再者, 一般 GaAs<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub> 多以 MOVCD 或 MBE 成長。由於離子佈植在植入離子濃度、

佈植區域的精確控制，以及非高溫製程的特性，讓它在材料製程上，具有較高的經濟效益和佔有絕對的優勢。因此我們嘗試以氮離子佈植於 GaAs 材料的方式及此樣品在不同退火溫度處理後的特性來研究是否可形成良好的  $\text{GaAs}_{1-x}\text{N}_x$ 。

基於文獻上對 GaNAs/GaAs 量子井在光學上的表現有諸多報告，我們想另行了解其在電性上的特性表現。

### 三. 研究方法與成果

#### ① 晶體成長與元件製作：

1、氮離子佈植的 GaAs：我們採用兩種基板進行離子佈植，一是以液相覆蓋柴氏法(Liquid Encapsulated Czochralski, LEC)所成長高矽摻雜的砷化鎵( $n^+$ -GaAs)晶片方向為(100)， $n \approx 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ，另一種則是半絕緣(semi-insulating)之砷化鎵(SI-GaAs)基板。佈植時是以中電流離子佈植機將  $\text{N}^+$  離子以 160KeV 的佈植能量及  $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  的佈植劑量植入基板。入射離子與試片主要晶格方向偏 7 度。

700°C 以下退火樣品是利用高溫爐管退火 30 分鐘，950°C 的樣品則以 RTA (Rapid Thermal Annealing) 的方式退火 30 秒。

2、GaAs/GaNAs/GaAs 單一量子井：此單一量子井是以 650°C 先長 0.4  $\mu\text{m}$  的 GaAs，再以 550°C 成長 GaNAs，最後在 550°C 再長一層 0.3  $\mu\text{m}$  的 GaAs；壓力在控制在 40Torr，屬於低壓的 MOCVD，其反應方式為水平式的反應器，用氫氣作為 carrier 氣體，環流週圍亦用氫氣並以 RF Power 加熱。

#### ② 方法與成果：

我們以 HP-4194、KEIT-236、溫控系統及 X-ray 的薄膜繞射儀，再加上自行撰寫的實驗控制程式和理論分析

模擬程式，對氮離子佈植於 GaAs 材料樣品以及低壓 MOCVD 成長的 GaNAs/GaAs 單一量子井做電性和晶體繞射分析：包括電流-電壓，暫態電容，DLTS 的量測，晶格常數及厚度。由此分析發現：

- 1、氮離子佈植的 GaAs 在不同退火溫度處理後，有不同的深層能階，進而探討造成此差異的可能因素。
- 2、由 X-ray 分析量子井厚度為 590Å 的 GaNAs/GaAs 樣品，發現有明顯的界面干涉現象，表示磊晶層有非常好的結晶品質，由電容-電壓分析，此單一量子井具有 Quantum confinement(圖 5) 的現象。

### 四. 討論與結論

1、氮離子佈植 GaAs：未退火樣品具有 variable-range hopping 的載子傳輸特性。Hopping 的導通方式可分為 (1)

$$\log G_s \propto -\frac{\beta}{T^{1/4}} \text{ variable-range hopping 與}$$

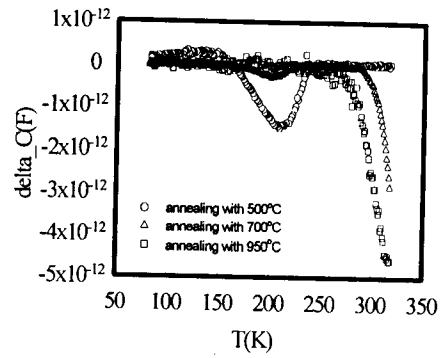
(2)  $\log G_s \propto -\frac{\gamma}{KT}$  nearest-neighbor hopping。由圖 1 知未退火樣品具有  $\log G_s \propto -\frac{\beta}{T^{1/4}}$  形式，符合 variable range hopping 的載子傳輸特性。

根據 Lampert 對多缺陷材料電流傳輸機制的研究顯示，在單一載子注入的情形下，材料電流-電壓的對數曲線大致可分為三部分，即(1)ohmic region；(2)trap filled limited(TFL) region；(3)trap-free square law region。此傳輸機制稱為 SCL (space charge limited) 電流傳輸模型。利用此模型即可解釋何以我們 500°C 以上退火的樣品的電流與電壓特性(圖 2)。

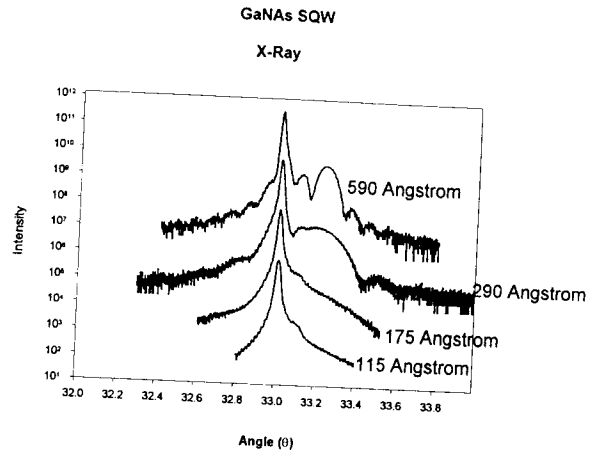
在 DLTS 圖中(圖 3)，因受材料電

阻時間常數的關係，DLTS 訊號集中在 200K 附近。但真正進行載子捉放的，仍是這些淺能階缺陷。故 500°C 退火樣品的 DLTS 訊號大於 700°C 退火樣品的 DLTS 訊號。量測所得材料電阻造成的活化能分別為 0.20eV (未退火)、0.34eV (500°C 退火)、0.59eV (700°C 退火)、0.71eV (950°C 退火)。

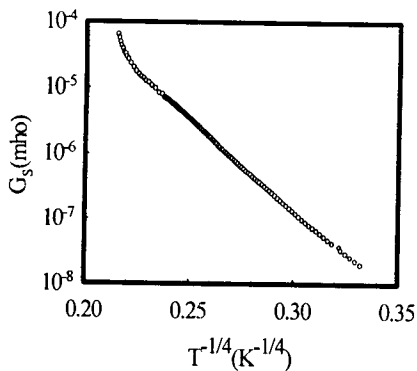
2、GaNAs/GaAs 單一量子井：由 X-ray(圖 4)我們可發現 GaAs 的 Peak 在 33.007° 而 GaNAs Peak 在 33.207° 由布拉格及能帶公式我們可驗證 N 的 composition 確實為 1.8%；而由其間的干涉條紋可推得中間層量子井的厚度；在電性上，其亦顯示一般量子井特性，即載子堆積在量子井中，然而其 trap 的表現卻不易由 DLTS 量測，我們推測可能是由於 trap 能階很淺的原因，但我們仍可由 Multiple G-T(圖 6)求得，其活化能為 0.32eV。



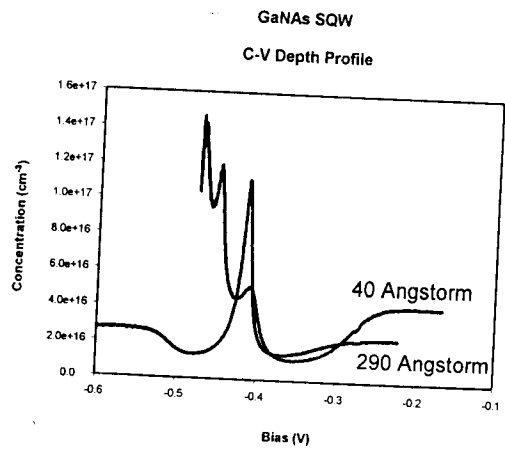
圖三



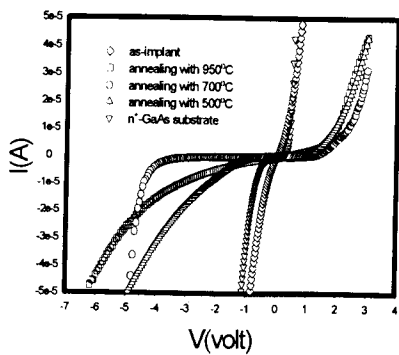
圖四



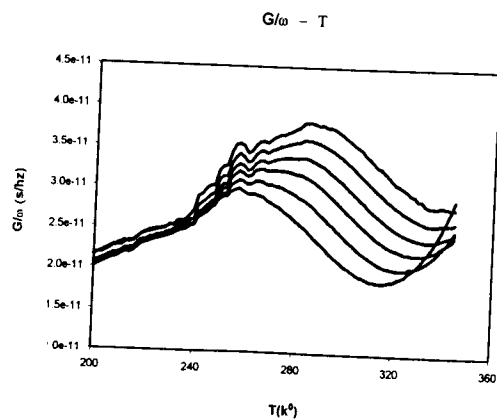
圖一



圖五



圖二



圖六