

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

氮化鎵族光電材料與元件之研發(3/3) 子計畫一：氮化物藍光波段元件結構磊晶研究

Development of GaN-Based Optoelectronics Devices Processing Technology

計畫編號：NSC 89-2218-E-009-058

執行期限：89年8月1日至90年10月31日

主持人：陳衛國 交通大學電子物理系

一、中文摘要

本計畫為整合型總計畫氮化鎵族光電材料與元件之研發之子計畫一：氮化物藍光波段元件結構磊晶研究。本計畫於本年度執行之主要目的在於 GaN 族光電元件結構之研究與磊晶成長。在此計畫中我們成功的利用化學氣相磊晶法完成 p 型氮化鎵成長， $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井結構之磊晶成長與特性分析和 LD 元件結構之磊晶成長之預定目標。

關鍵詞： $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井、

Abstract

This project is focused on the studies of the growth of GaN-based optoelectronic device structures. Several achievements have been made in this study, such as p-type GaN growth, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ multi-quantum well growth and studies and LD device growth.

Keywords: $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ multi-quantum well

二、緣由與目的

三五族氮化物半導體元件已經被廣泛應用在藍、紫光波長的光電元件上，在市面也已具有商業型的相關產品，包括發光二極體以及二極體雷射。這種藍光發光二極體(LED)，可以應用在全彩之室外顯示看板，以及紫光或藍光之照明，如辨識偽鈔、廣告燈、交通號誌等；如此，不僅增加了交通號誌之壽命，增加交通之安全性，更節省大量的能源，使國家之經費能做更有效之運用。另外，紫外光波長或藍光波長

之二極體雷射，可以應用在高容量、高密度的光學資訊儲存系統上。目前市場上之 CD-ROM 光碟機而言，其光源為 AlGaAs 之半導體雷射，波長為 0.78 μm ，而光碟容量僅僅只有 680 MB；另外，現行之 DVD-ROM 光碟系統，其光源為 0.65 μm 之紅光 AlGaInP 半導體雷射讀取頭，目前其光碟容量為 4.7 GB；對於下一代 DVD 系統，若以紫光之氮化鎵雷射做為光源($\sim 0.41 \mu\text{m}$)，則其所能容納之資訊將達到 18 GB。另外，對於目前之電腦週邊之雷射印表機而言，藍光雷射之應用也將大大提昇其列印品質與速度。同時，紫光雷射也可用於產生白光 LED 之激發螢光材料之光源。

這種紫外光波長或藍光波長之二極體雷射，可以應用在高容量、高密度的光學資訊儲存系統上。也正因為三五族氮化物半導體是現代高科技產業極重要的材料，近來更引起產業界與學術界的積極投入相關的研究。雖然，目前已有商業型的產品問世，但是對於三五族氮化物的研發仍有相當的挑戰性，例如提高發光二極體的亮度，增長二極體雷射之壽命，降低材料及元件之缺陷等。

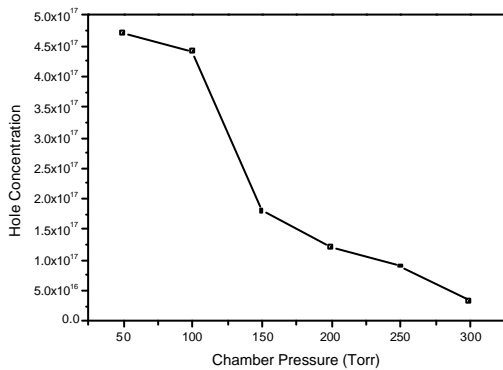
三、結果與討論

1. p-type 氮化鎵薄膜成長

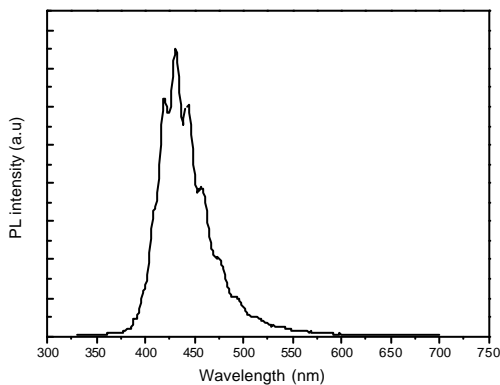
氮化鎵材料為目前製作藍光發光二極體與藍光半導體雷射等光電元件之主要材料。在製造這些元件的過程中，主要的研究課題之一就是如何在電極製作上產生低阻值之歐姆接觸效應，由於在成長 P 型 GaN 材料時，因為在磊晶成長系統的極限及其材料本身具有的特性影響下，所成長之傳統式 P 型氮化鎵材料，其載子（電洞）濃

度大約均介於 $\sim 2-3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 這個範圍。因為載子（電洞）濃度不夠高以及 P 型 GaN 的高功函數（work function） $\sim 7.5 \text{eV}$ ，一般金屬的功函數並不能符合 P 型 GaN 之歐姆接觸的要求。為了使元件能具有更佳的表现效果。我們藉由更改磊晶參數有效提昇載子濃度（電洞）至 $4-5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。

我們從霍爾量測得到 p 型氮化鎵薄膜載子濃度和不同壓力的關係圖（圖一）。藉由控制反應腔的壓力可以有效幫助鎂擴散入氮化鎵薄膜，且在同樣 750 度，45 分鐘的退火條件下，可以發現載子濃度由原先的 10^{16}cm^{-3} 提升到 $4.7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。



圖一



圖二

且根據冷激光光譜（圖二）

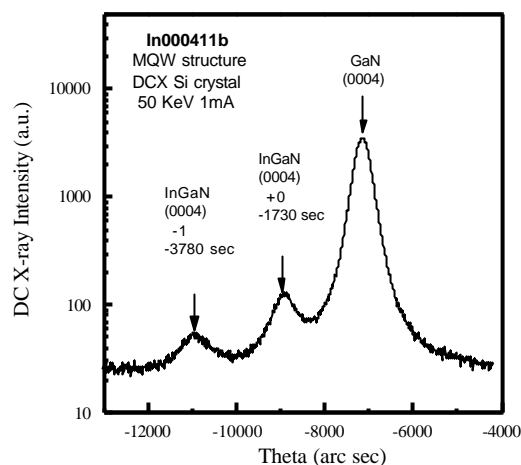
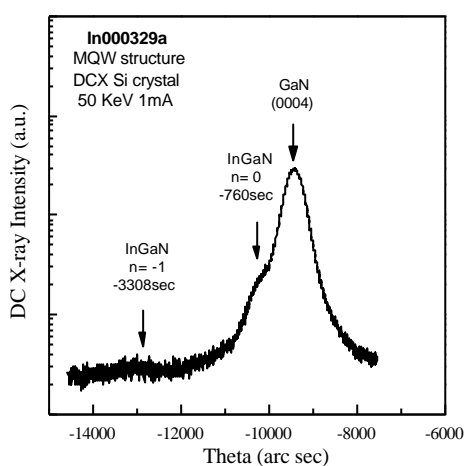
（photoluminescence, PL）的分析，peak 的位置落在 443 nm 上，證實有大量的鎂進入氮化鎵薄膜且在活化之後，形成一個能階以提供大量的載子（電洞）。

2. $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井結構之磊晶成長

由於主動層（active layer）在藍光發光二極體（Blue-LED）與二極體雷射（LD）中，是主導元件成功與品質之重要因子。而主動層支援結構中，又以量子井結構最為重要，包括量子井結構的設計與磊晶成長，以藍光發光波長而言，當以三元混晶之氮化鎵鎵/氮化鎵之多重量子井結構（ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ MQW）為主要設計與製作 LED、LD 之考量。

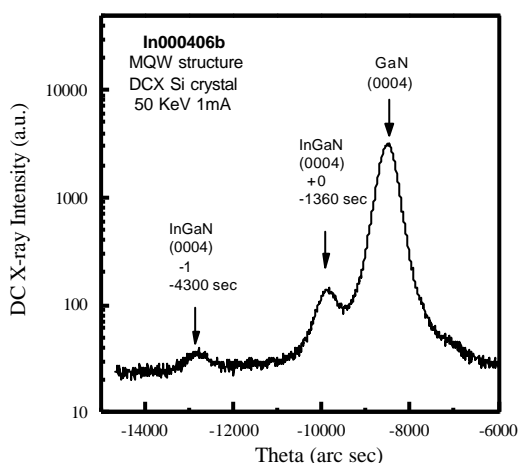
由於，在高溫成長氮化鎵薄膜（ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ）時，In 不易融入而使 In 之固態組成 x 無法提高；為了提高 In 之固態組成，我們必須降低磊晶成長溫度，而降低薄膜晶體之品質。因此，為了成長高品質之藍光多重量子井結構，我們必須兼顧 In 之含量與薄膜之品質。為了達到藍光波長之發光元件（LED, LD），In 之固態組成必須到達 0.2。我們利用 Emcore D75 型之低壓化學氣相磊晶系統來成長 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 之多重量子井結構，使用 TMGa 與 TMIIn 做為 III 族之反應源。對於 In 固態組成以及多重量子井之厚度分析，我們利用 X-ray 量測來分析。

圖三為 730 磊晶成長之多重量子井結構之 X-ray 譜圖，而 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 之對數共有 10 對，而 TMGa 與 TMIIn 之流量分別為 1.7 與 100 sccm。從圖中，我們可看見多重量子井之 sideline peak，根據分析，此多重量子井之 In 組成約為 0.055，而 InGaN（well）之厚度為 28 Å，GaN（barrier）為 47 Å。藉由調整 In 之組成與 well/barrier 厚度，以及其他磊晶參數，我們將得到更優良品質之 MQWs。當 In 組成 x 增為 0.06，well 為 25 Å，barrier 為 50 Å 時。

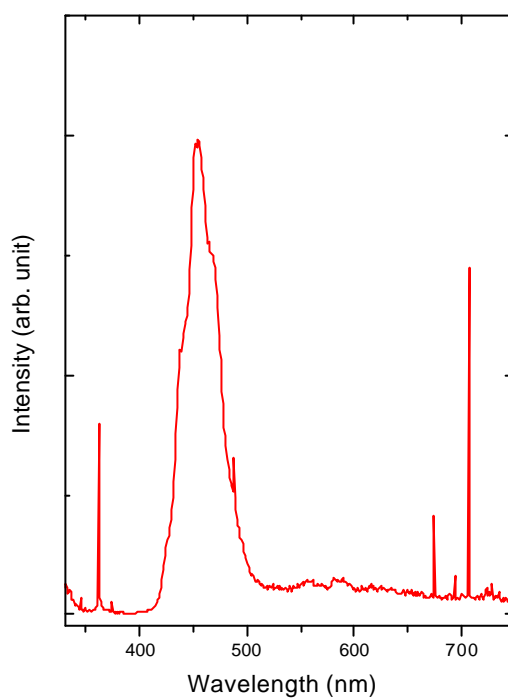


圖三

當磊晶溫度降到 690 時, In 之固態組成以達 0.1, well 為 25 Å, barrier 為 42 Å。(圖四)



圖四



圖五

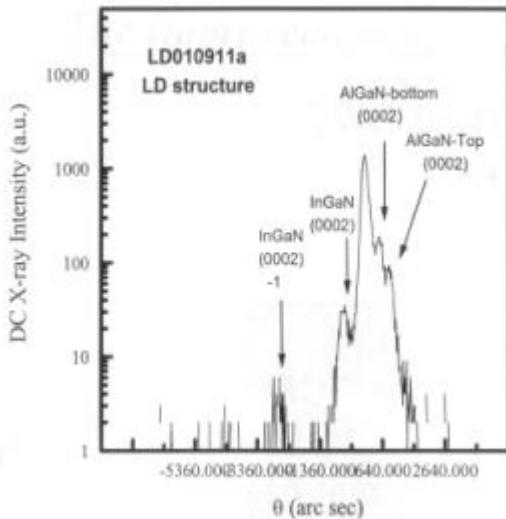
當 In 組成提高到 0.126 時, well 54 Å, barrier 41.5 Å, 其 X-ray 與 PL 如圖五所示, 發光波長為 454 nm, 半高寬為 32 nm。總括以上之討論, 本研究群已能控制 In 之融入率, 並達成 450 nm 發光波長之高品質 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ MQWs, 我們也成功地運用此 MQWs 於 LD 結構上。

3. LD 元件結構之磊晶成長

雷射二極體之元件結構如下:

p-type GaN:Mg	0.4 um
p-type AlGaN:Mg Layer	0.8 um
InGaN/GaN MQW	5-pair actived layer
n-type AlGaN:Si Layer	1 um
n-type GaN:Si layer	1um
undoped GaN	1 um
Buffer Layer	30 nm
Al ₂ O ₃ Substrate	

將上述之 MQW 結構運用於 LD 上: n 型 GaN:Si、n 型 AlGaN:Si、發光層 (GaN/InGaN 5-pair MQW)、p 型 AlGaN:Mg、p 型 GaN:Mg, 採用 x-ray 繞射 (圖六) 分析組成、PL 光譜量測兩吋晶片之磊晶特性 (圖七)。



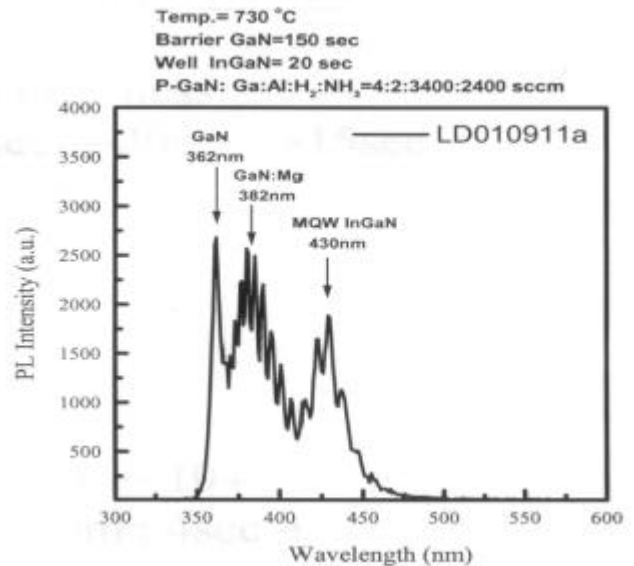
圖六

從 x-ray 繞射可以知道 In 組成為 0.0464 時, well 43 Å, barrier 37 Å, 其 X-ray 與 PL 如圖六所示, 發光波長為 430 nm, 半高寬為 32 nm。且在 PL 光譜中定義發光波長, 利用調變 InGaN/GaN 結構之 well 與

barrier 之厚度可提高 In 含量之組成, 利用能階在量子井結構中量化後產生高電子侷限及高光譜侷限效應, 調變光激光之發光波長, 所成長發光二極體結構之 PL 光譜中觀察到調變到 430 nm 之藍光波段, 將利用此晶片進行元件製作。

4. 結論

總結而言, 在本計劃之中我們已經成功的磊晶成長 p 型 GaN、三元 In_xGa_{1-x}N、In_xGa_{1-x}N/GaN 多重量子井結構、LD 結構。目前, 我們已對這些材料之基本物理性質與磊晶參數已有了深入的瞭解, 已掌握氮化鎵元件結構之品質控制。



圖七