

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 氮化物藍光波段元件結構磊晶研究

### Epitaxial Growth of Nitrides for Blue-Emitting Devices

計畫編號：NSC 88-2218-E-009-050

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：李威儀 交通大學電子物理系

#### 一、中文摘要

本計畫的主要目標是成長高品質的 (Al、Ga、In)N 異質結構及量子井結構，以利於製作藍光及紫光波段的光電元件。為達此此一目的，本計畫已建立一部準確控制材料成分、厚度、摻雜濃度、界面品質，而又能達到重複性與均勻性要求的先進研發型有機金屬化學氣相磊晶系統。材料研究方面已完成包括 n 型及 p 型，以及 15% In 的成分控制。

關鍵詞：氮化鎵、氮化銦鎵、有機金屬化學氣相磊晶、光電元件

#### Abstract

The major goal of this project is to grow high quality (Al, Ga, In)N hetero-structures and quantum wells so as to fabricate light emitting devices in the blue and ultraviolet range. To accomplish this goal, we have established an advanced research-type MOCVD reactor with precise control ability of material composition, thickness, doping concentration, and interface, as well as high uniformity and reproducibility. We have achieved n-type doping and p-type doping in GaN, and high quality InGaN in the first year.

**Keywords:** GaN, InGaN, MOCVD, optoelectronic devices

#### 二、計畫目的

本計畫預定建立一部準確控制材料成

分、厚度、摻雜濃度、界面品質，而又能達到重複性與均勻性要求的先進研發型有機金屬化學氣相磊晶系統。材料研究方面已完成包括 n 型及 p 型，以及 15% In 的成分控制。

#### 三、實驗過程

本計畫分為三大部分，分別為事前評估，系統建立以及材料研究。

建立一台能夠準確控制材料成分、厚度、摻雜濃度、界面品質，而又能達到重複性以及均勻性的有機金屬化學氣相磊晶成長系統是此一計畫的核心重點。評估磊晶系統的原則為：

1. 要求在台需有兩台以上的銷售紀錄，以確保產品品質及維修零件的流通性。
2. 要求維修迅速及服務便捷的考量，要求在台灣必須有零件庫存及維修人員。
3. 必須保證成長出 p 型摻雜氮化物磊晶層。
4. 氮化鎵磊晶成長系統和一般的有機金屬化學氣相磊晶系統的最大不同點為成長溫度超過 1000°C 及大量的氨氣。高溫大量的氨氣對密封墊圈是很大的損傷。為要求機台之耐用性，要求所有的質量控制器必須為金屬密封。
5. 氮化鎵磊晶成長的機制，到目前為止尚未有定論。故如能對成長做即時的監控。可對成長有更進一步的了解。且對成長品質控制可更加精確。因此，成熟的即時監控系統配備是必須的。

依據上面五項原則，本團隊在 88 年 1 月完成機台評估，並決定建議指定 EMCORE D75 機型為議價採購對象。88 年 2 月 10 日，交大經費稽核委員會一致通

過指定 EMCORE 廠商進行一價。88 年 3 月 10 日與 EMOCRE 完成議價。系統以 US\$546000 成交。此一費用包括 EMCORE D75 機台、運費、保險費、部分週邊設施、人員訓練等，分兩年付款。頭期款約 NT9,000,000，由國科會補助 NT7,000,000，交大補助 NT2,000,000。系統規格為單片兩吋，最高溫度 1200°C，不鏽鋼腔體，七條有機金屬供應源，一條氫化物摻雜源及一條氮氣源，並附有即時成長監控系統(Epimetrics)。材料驗收條件為：

1. 成長速率：氮化鎵在 1050°C 時，成長速率大於 2 微米/小時。
2. 表面平整度：以 100 倍 Nomarski 觀察，無缺陷。
3. 厚度均勻性：兩吋圓量 9 點，小於 4%。
4. 背景濃度：小於  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。
5. 電子遷移率：大於  $200 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 。
6. n 型摻雜：介於  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  到  $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。
7. p 型摻雜：大於  $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。
8. InGaN：In 百分比大於 15%。

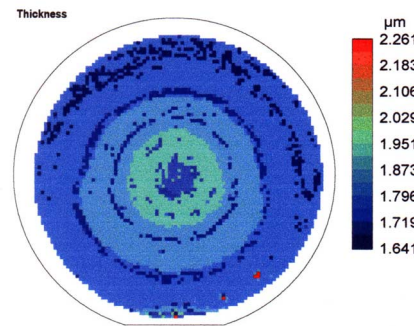
88 年 6 月 21 日，負責人員前往美國 EMCORE 公司進行儀器操作訓練以及初步驗收。7 月 8 日，磊晶系統由美國裝運出口。7 月 13 日系統到達交大，並裝置於固態電子大樓 115 室，同時進行系統週邊設備安裝(包括系統用水、電及氣體等)。

Discovery 75 GaN system，包括有：

1. EMCORE TurboDisc susceptor for 75mm wafer carrier.
2. Water cooled Discovery 75 stainless steel vertical growth chamber.
3. Removable single zone resistive heater.
4. Linear transfer fork with manual joystick control.
5. Epimetric in-situ monitor with single head.
6. 共有七條 MO source line 包括有  $2 \times \text{TMGa}$ 、 $2 \times \text{TMin}$ 、 $1 \times \text{TMAI}$ 、 $2 \times \text{Cp}_2\text{Mg}$  一條  $\text{SiH}_4$  line、一條  $\text{NH}_3$  line。

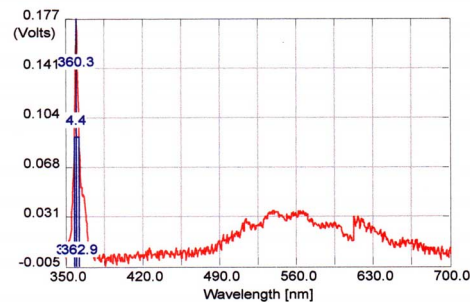
7 月 20 日完成系統安裝。7 月 26 日成

長第一片 undoped GaN 樣品。8 月 6 日 undoped GaN 背景濃度為  $7 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  低於驗收標準  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，同時厚度均勻度小於 3%，也低於驗收標準 4%。圖一為樣品厚



圖一、GaN 樣品厚度分佈圖

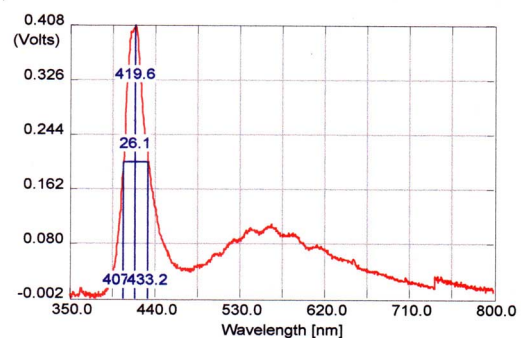
度分佈圖。圖二為 GaN 樣品的光激光譜



圖二、GaN 樣品的光激光譜圖

圖。8 月 9 日成長第一片 n 型 GaN，8 月 11 日，Si-Doped GaN 樣品濃度  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，同時載子遷移率達到  $432 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 。8 月 12 日成長 InGaN 樣品。8 月 13 日，InGaN 樣品的 In 含量為 18%。

圖三為 InGaN 的光激



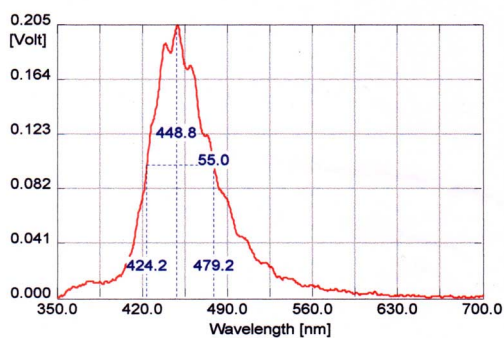
圖三、InGaN 光激光譜圖

光譜圖。8 月 14 日開始成長 p 型摻雜樣

品，可是一直到9月10日還成長不出來。

9月10日驗收人員發現磊晶系統的反應腔部分有嚴重的設計錯誤，造成p型摻雜的元素「鎂」，在未達到樣品表面時已經被事前反應，以致於一直得不到p型摻雜的樣品。EMOCRE公司於9月10日把反應腔送回原廠重新製作。

11月7日重新設計的反應腔送到台灣，並進行系統組裝。11月19日p型摻雜濃度到達 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。圖四為p型摻雜樣品的光激光譜圖。



圖四、p型摻雜Ga<sub>N</sub>的光激光譜圖。

12月1日，成長第一顆雙異質接面藍光二極體。

#### 四、結果與討論

計劃已建立一部準確控制材料成分、厚度、摻雜濃度、界面品質，而又能達到重複性與均勻性要求的先進研發型有機金屬化學氣相磊晶系統(EMCORE D75系統)。材料成長部分的成果如下：

1. 成長速率：成長速率可達到3微米/小時。
2. 表面平整度：以100倍Nomarski觀察，無缺陷。
3. 厚度均勻性：以PL mapping方式量測，小於3%。
4. 背景濃度：對低達到 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 。
5. 電子遷移率：最高達到 $432 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。
6. n型摻雜：大於 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。
7. p型摻雜：大於 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。
9. InGa<sub>N</sub>：In百分比大於20%。