

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

氮化鎵/鋁表面微結構之微螢光及近場光譜特性研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2112-M-009-022-

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(所)

計畫主持人：李明知

共同主持人：陳衛國，陳文雄

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 12 月 24 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

氮化鎵/鋁表面微結構之微螢光及近場光譜特性研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC-92-2112-M-009-022

執行期間：92年8月1日至93年7月31日

執行單位：國立交通大學電子物理系

計畫主持人：李明知

共同主持人：陳衛國、陳文雄

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 12 月 23 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 氮化物材料及液晶配向結構之光電特性顯微偵測研究

計劃編號: NSC-92-2212-M-009-022

執行期間: 92/8/1~93/7/31

主持人：李明知 交通大學電子物理系

### 一、 中文摘要：

本計劃中使用低壓有機化學氣相沉積系統於(0001)面的藍寶石基板上成長具 V 型缺陷結構之氮化鋁鎵薄膜，並使用本實驗室自行架設之微螢光光譜儀、掃描表面電位顯微鏡及近場光學顯微鏡，利用這些系統所具有之空間解析能力，對此微結構進行光學特性研究。

由原子力顯微鏡初步觀察 V 型缺陷結構的尺寸分佈範圍為 0.5 $\mu\text{m}$  至 2 $\mu\text{m}$  之間。而微螢光光譜實驗結果顯示，在 V 型缺陷結構中，除了具有與平坦處相同之近帶躍遷( $I_{\text{nbc}}=337\text{nm}$ )之外，並產生了額外一個新的躍遷譜峰( $I_{\text{v}}=350\text{nm}$ )。為了得到更佳的空间解析能力，我們使用了近場光學顯微鏡來分析單一 V 型缺陷的光譜，其結果發現，新的躍遷譜峰其強度由邊緣向中心逐漸增強，但近帶躍遷強度則保持不變。除此之外，利用掃描表面電位量測的結果也顯示其費米能階與平坦處之差值在中心處到達最大。結合文獻理論之計算說明，此一躍遷譜峰來自於氮空位的放光，因此藉由強度的變化，我們可以獲得氮空位在 V 型缺陷中濃度的分佈情況。

以上研究成果業已刊登於 Applied Physics Letter 期刊中。[1]

### 二、 英文摘要：

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  thin film was grown on undoped GaN/sapphire (0001) substrate by metalorganic chemical vapor deposition. V-defects were directly observed by atomic force microscopy (AFM) with various size of 0.5 $\mu\text{m}$ ~2 $\mu\text{m}$  in diameter. In a previous study, the micro-photoluminescence spectra showed an extra peak ( $I_{\text{v}}=350\text{ nm}$ ) inside V-defect besides the near-bandedge emission ( $I_{\text{nbc}}=335\text{ nm}$ ). To achieve better spatial resolution, we used near-field scanning optical microscopy (NSOM) and scanning kelvin-force microscopy (SKM) to probe the V-defect in detail. The NSOM spectra showed that the intensity of the  $I_{\text{v}}$  band increased gradually from V-defect edges to its center, while  $I_{\text{nbc}}$  remained unchanged. Besides, the SKM measurements revealed that the Fermi-level decreased from the flat region to V-defect center by about 0.2 eV. These results suggest that the  $I_{\text{v}}$  band could be related to shallow acceptor levels, likely resulting from  $\text{V}_{\text{Ga}}$  defects.

### 三、 緣由與目的：

氮化鋁鎵材料由於可以藉由長晶參數調變，獲得不同鋁組成之氮化鋁鎵薄膜，使得其能隙分佈可以由氮化鎵(3.4eV)延伸至氮化鋁(6.2eV)，大幅度地增進了氮化鋁鎵材料的應用範圍。目前氮化鋁鎵已被廣泛地應用於如：高電子遷移率電晶體(HEMT)、紫外光發光二極體、雷射二極體(UV-LED、UV-LD)、紫外光光檢測器(UV-detector)..等光電元件製作，此外更是面射型藍光雷射二極體(VCSEL)之布拉格反射層(DBR)製作極為重要之材料[2-3]。

由於氮化物成長於藍寶石基板，其晶格不匹配度相差極大，無可避免地將有差排、點缺陷...等微結構的形成[4]，而不同種類的微結構其所擁有的光學與電學的特性皆有所差異，因此瞭解微結構的成因與特性對元件性能提昇將十分有助益，此外更可進一步運用微結構中所擁有之特殊光電特性，發展出性能更好之光電半導體元件。

#### 四、 實驗步驟：

本實驗採用低壓有機金屬化學氣相沉積系統(MOVPE)成長所需之薄膜，首先將兩吋(0001)面之 Sapphire 基板放入反應腔後，升高反應腔溫度至 1120 °C，通入氫氣下先進行十分鐘的熱處理，再將低成長溫度至 520 °C 成長厚度約 25nm 之氮化鋁緩衝層，以降低氮化鋁鎵與 Sapphire 間晶格不匹配產生之應力。在 1120 °C 成長 2 $\mu$ m 厚之 GaN 緩衝層後，保持 1120 °C 之溫度，通入 TMAI、TMGa 及 NH<sub>3</sub> 反應氣體，成長厚度約 0.8 $\mu$ m 表面具有 V 型缺陷結構的氮化鋁鎵薄膜。

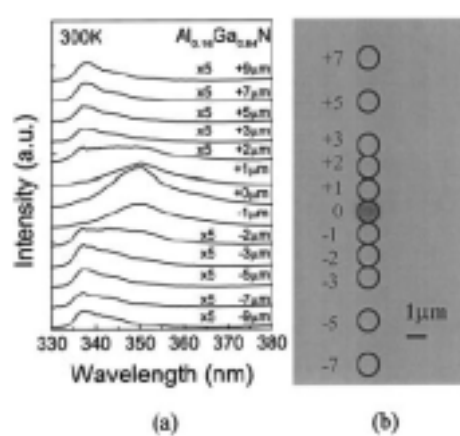
樣品分析方面，使用微螢光光譜儀(Micro-PL)觀察 V 型缺陷之光學特性，Micro-PL 為本實驗室自行架設，使用 Mitsutoyo 100 倍的顯微鏡頭將 325nm 雷射光聚焦至試片，其光點直

徑大小約 1.5  $\mu$ m。

掃描表面電位顯微鏡則使用 NT-MDT 公司之 P47H 之原子力掃描頭搭配 Pt 金屬探針進行量測，空間解析度約為 10nm。近場光學顯微鏡則是利用自製高深紫外穿透之光纖探針，外圍蒸鍍 50nm 厚之 Pt 金屬，空間解析度可達 100nm。

#### 五、 結果與討論：

圖一為利用 Micro-PL 系統量測單一 V 型缺陷之微螢光光譜，圖一(a)顯示於周圍平坦處具有一近帶躍遷(near bandedge emission, NBE)，位置為 337nm。接近至 V 型缺陷兩側時開始產生一額外的躍遷 peak，位置為 350nm，我們定義為 I<sub>v</sub>，且其強度於位置 0 $\mu$ m 時達到最強。

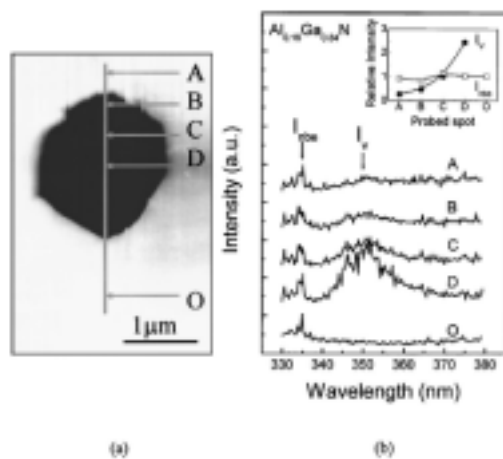


圖一：(a)空間分佈之微螢光光譜圖，其中 0 $\mu$ m 為定義在 V 型缺陷中心(b)相互對應之光譜量測位置。

為了提高空間解析度，我們使用了近場光學顯微鏡來進行量測，其高解析度使我們可以觀察其內部強度的分佈情形。

由圖二(b)的結果顯示，NBE 的強度與位置均無觀察明顯之變化，此結論代

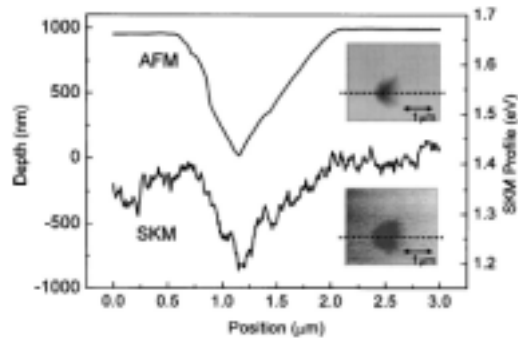
表鋁組成位於 V 型缺陷內並無改變，因此  $I_V$  peak 的來源並非來自於組成變異所致。此外，我們亦可觀察到  $I_V$  peak 的強度由邊緣處至中心逐漸增強(強度變化由 0.2NBE 強度增至 2.5 倍 NBE)，由此結果可推論，其躍遷可能是關連到一個缺陷態的特性，且此缺陷態具有在 V 型缺陷中聚集的效應。



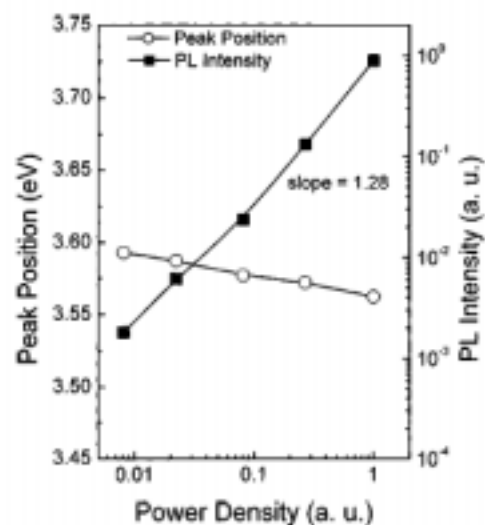
圖二：(a)近場光學側向力回饋所得之 V 型缺陷表面形貌，其上所標示的點為圖(b)所進行量則光譜的位置圖。圖(b)的插圖為從邊緣至中心 NBE 強度及  $I_V$  peak 的強度變化比較。

由掃描表面電位顯微鏡所得的 V 型缺陷結果(圖三)顯示位於 V 型缺陷中心的電位值較平坦處低了 0.2eV 左右，由理論可知此代表該處的費米能階較低，表示具有額外的態位於費米能階之下，且態分佈的結果與近場結果相符。由 Jenkins 及 Tansley 等人的理論計算指出，僅有氮空缺( $V_N$ )此能階位置位於費米能階之下且其與價帶之能量差(136meV)與我們實驗所得  $I_V$  peak 與 NBE 之間的能量差為 137meV 非常接近，且由圖四之激發強

度相關的結果顯示，NBE 與  $I_V$  peak 皆為 Free-to-bond 的躍遷，表示兩者為同一個躍遷起源，均為淺層施子(shallow donor)，因此 137meV 值就是該缺陷態與價帶的差值。所以我們將此一躍遷歸咎於氮空缺的貢獻。



圖三：V 型缺陷結構原子力影像剖面圖及對應電位變化

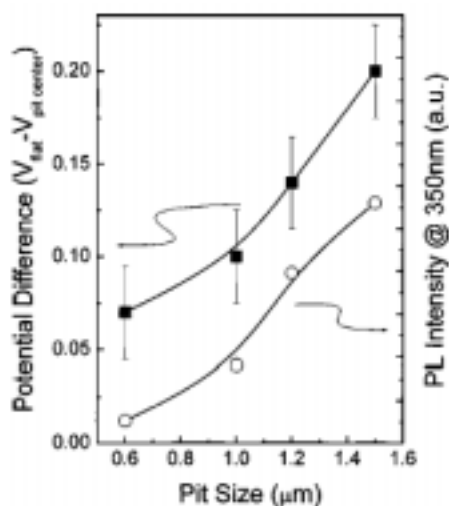


圖四：激發強度相關之螢光位置與強度圖

最後我們也分析了不同 V 型缺陷大小的 Micro-PL 中心強度，如圖五所示。結果顯示， $I_V$  peak 的強度隨著 V 型缺陷的尺寸增加時也增強，顯示氮空缺聚集的效應更加明顯，此點亦與表面電位的結果相符，當氮空缺態密度增加時，費米能階向下彎曲的幅度

也增加，由費米等位面的原理來看，此結果等同於導帶與價帶的向上彎曲。

藉由這些工具的分析得知，氮空缺是主導 350nm 躍遷的主因，其強度則與空缺的態密度相關，且將隨著往 V 型缺陷中心或 V 型缺陷的尺寸增加而增加。



圖五：V 型缺陷變尺寸之微螢光光譜及表面電位差值比較圖

### 參考資料

1. C. S. Ku, J. M. Peng, W. C. Ke, H. Y. Huang, N. E. Tang, W. K. Chen, W. H. Chen, and M. C. Lee, *Appl. Phys. Lett.* **85**, 2818 (2004).
2. S. Nakamura, M. Senoh and T. Mukai, *Jpn. J. Appl. Phys.* **32**, L8(1993).
3. S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa and S. Nagahama, *Jpn. J. Appl. Phys.* **34**, L797(1995).
4. F. A. Ponce, J. S. Major, Jr., W. E. Plano, and D. F. Welch, *Appl. Phys. Lett.* **65**, 2302(1994).
5. D. W. Jenkins and J. D. Dow, *Phys. Rev. B* **39**, 3317 (1989).
6. T. L. Tansley and R. J. Egan, *Phys. Rev. B* **45**, 10942 (1992).