

# 氮化鎵緩衝層對氮化鎵磊晶膜品質之影響

## The Effect of GaN Buffer Layer on the Quality of GaN Epilayer

張守進、蘇炎坤、楚大綱、莊賦祥\*、楊昌義

S. J. Chang, Y. K. Su, D. G. Chu, F. S. Juang\*, and C. Y. Yang

成功大學電機系

\*虎尾技術學院光電系

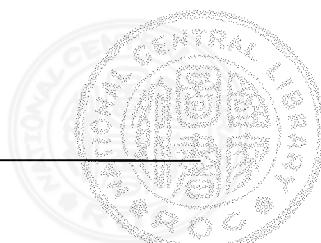
Department of Electrical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan,  
70101, Taiwan, ROC

\*Department of Electro-Optics Engineering, National Huwei Institute of  
Technology, Huwei, 632-08 Yunlin, Taiwan, ROC

(Received August 5, 2000; Accepted September 3, 2000)

### 摘要

GaN磊晶薄膜若是直接長在藍寶石基板上，則表面顯得非常粗糙。但若在藍寶石基板上先長一層薄的緩衝層，則GaN表面即可變得極明亮。GaN直接成長在藍寶石基板上之電子移動率只有 $6.3\text{cm}^2/\text{V.s}$ ，濃度高達 $1.4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 。表面平滑度與成長緩衝層之TMGa流量有密切的關係。當緩衝層之TMGa流量高於6 sccm時，GaN高溫磊晶膜表面開始出現六角柱結晶。由霍爾量測之電特性分析發現，電子移動率隨緩衝層之TMGa流量增加而降低，當緩衝層之TMGa流量為3 sccm ( $16\mu\text{mole/min}$ )時，電子移動率最高可達 $71.5 \text{ cm}^{-2}/\text{V.s}$ ，濃度達 $4.66 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。GaN高溫磊晶膜之成長速率隨緩衝層之TMGa流量增加而減慢。又當緩衝層之TMGa流量為3 sccm時，光激發光光譜黃色波段之光譜很明顯較強。也有人認為黃色波段之放射光是來自載子補償或鎵原子空缺所造成的。而深陷阱可能是自GaN磊晶膜內之龜裂或缺陷現象所造成。在緩衝層TMGa之流量為6 sccm時，其半高寬值很高，且波峰波長移至364nm，可知6 sccm之成長條件不佳，造成GaN晶膜品質不良，且其表面容易形成六角柱結晶。



## Abstract

The epilayer surface was very rough if the GaN epitaxy was directly grown on sapphire without any buffer layer pre-grown. The electron mobility and concentration were  $6.3 \text{ cm}^2/\text{V.s}$  and  $1.4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , respectively. If a GaN buffer layer was first grown on the sapphire substrate at low temperature, then the growth temperature was increased to  $1000^\circ\text{C}$  to grow the GaN epitaxy on the buffer layer. The GaN epiayer surface became mirror-like. The surface smoothnes of the epilayers was related to the flow rates of TMGa for buffer layer growth. When the TMGa flow rate was higher than 6 sccm, the hexagonal crystalline began to appear on the GaN epitaxy surface. From the Hall measurement and electrical characterization, it was found that the electron mobility and concentration were  $71.5 \text{ cm}^2/\text{V.s}$  and  $4.66 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , respectively, when the buffer TMGa flow rate 3 sccm ( $16\mu\text{mole/min}$ ) were used. The GaN epilayer growth rate decreased with increasing TMGa buffer-layer flow rate. Using the TMGa flow rate of 3 sccm for the buffer layer growth, the GaN epilayer has very strong yellow-band emission as seen from the photoluminescence spectrum measurement. The yellow band emission is attributed to the carrier compensation or Ga vacancy. The deep levels may be due to the crack dislocations in the GaN epilayer When the buffer layer TMGa flow rate increased to 6 sccm, the PL FWHM increased to be layer and the near-band-edge emission peak shifted to 364 nm. It indicated that the 6 sccm growth condition was not useful. The epilayer quality was poor and there were hexagonal crystalline generated on the surface.

## 一、簡介

III-Nitride化合物材料（如GaN、AlN、InN），由於其為直接寬能隙、強勁的化學鍵結，以及較好的熱傳導特性，因此III-Nitride化合物材料不失為光電元件的最佳材料。再者因III-Nitride化合物材料有著較Si、GaAs更高的崩潰電場，所以此種材料系統除了在藍綠光發光元件的應用外，在高功率元件的應用更有著無限的潛力。不論將作為何種用途，一個高結晶性、高品質的薄膜將是必須且重要的，因此在本文中將探討數個會影響薄膜特性的參數，並試著找出成長高品質氮化鎵材料的最佳條件。

## 二、實驗

由於氮化鎵的熔點為 $1700^\circ\text{C}$ ，因此很難以液相沈積的方法來成長氮化鎵薄膜。近年來

成氮化鎵薄膜的方式大多是採用化學氣相沈積(MOCVD)的方式來成長高品質高結晶性的氮化鎵材料。在本文中，以氣相化學沈積法在垂直式的反應腔內成長高品質的氮化鎵薄膜，探討氮化鎵材料在石墨載晶盤上成長時所須要考慮的製程參數。由於石墨本身在高溫下極容易與通入的氨( $\text{NH}_3$ )相互反應而產生生應物，在石墨的載晶盤上產生粉本狀且極為不平坦的不明結晶，因此若以石墨載晶盤來成長氮化鎵材料時，勢必要常常地更換載晶盤。

緩衝層中三甲基鎵(TMGa)流成長氮化鎵薄膜有很大的影響。在低溫下成長氮化鎵緩衝層的機制與高溫下成長高品質氮化鎵薄膜的機制完全不同。在高溫下成長的氮化鎵薄膜為結晶性良好的結晶，而在低溫下成長的氮化鎵緩衝層由於只有具有較低的結合能，因此成長出來的薄膜應較趨近為多晶性結構。氮化鎵材料

與二氧化鋁(Sapphire)有著極大的晶格常數和熱膨脹係數的不匹配，這將導致很難在二氧化鋁的基板上成長出高品質的氮化鎵薄膜。為了解決這個問題，較一般性的做法是在二氧化鋁基板與氮化鎵薄膜之間加入一層低溫成長的氮化鎵緩衝層以改善氮化鎵的結晶性。這層以低溫成長的緩衝層主要有二個功能：(1)使得之後成長的氮化鎵薄膜順著基板的結晶方向來成長。(2)降低因為應力而造成的側向成長。以下將就不同的緩衝層成長參數來探討其對高結晶性的氮化鎵品質之影響。

為了探討不同的緩衝層對於氮化鎵薄膜的影響，在成長緩衝層時將TMGa的流量從3 sccm變化到6 sccm，而高溫成長之氮化鎵薄膜皆固定以TMGa為16 sccm(85 μmole/min)的條件來成長。在成長緩衝層或薄膜時，反應腔的壓力固定在120 torr，氨氣維持在1 SLM (40 mmole/min)，當作載氣(Carrier Gas)的氰氣則固定在0.5 SLM。首先將反應腔的溫度加溫到1080°C維持10分鐘(Pre-Baking)，之後降溫至530°C成長緩衝層5分鐘，最後再加溫至1060°C成長所須要的氮化鎵薄膜45分鐘。由SEM看出緩衝層的厚度大約在300~400Å之間。由低溫(530°C)加熱至高溫(1060°C)大約須要5分鐘。較為詳細的實驗流程圖就如圖一所示。

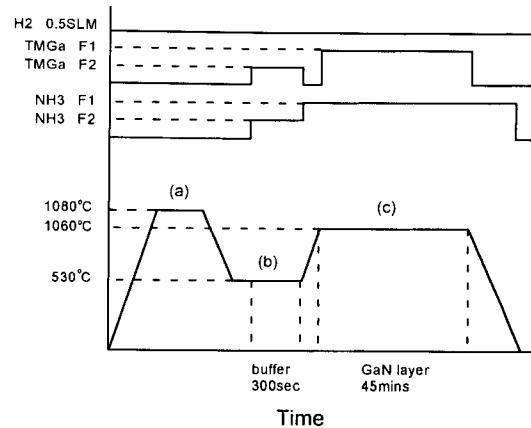
### 三、結果與討論

GaN磊晶薄膜若是直接長在藍寶石基板上，則因二者的晶格常數差異太大，所以GaN表面顯得非常粗糙。但若在藍寶石基板上先長一層薄的緩衝層，則GaN表面即可變得極為明亮。GaN直接成長在藍寶石基板上之電子移動率只有 $6.3 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ ，濃度高達 $1.4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ，因為有太多的缺陷在其中。圖二所示為GaN薄膜直接成長在藍寶石基板之光激發光光譜圖，357nm波峰相當於GaN之能帶理論值(3.47eV)，另一波峰372 nm (3.33 eV)接近GaN之能帶，乃

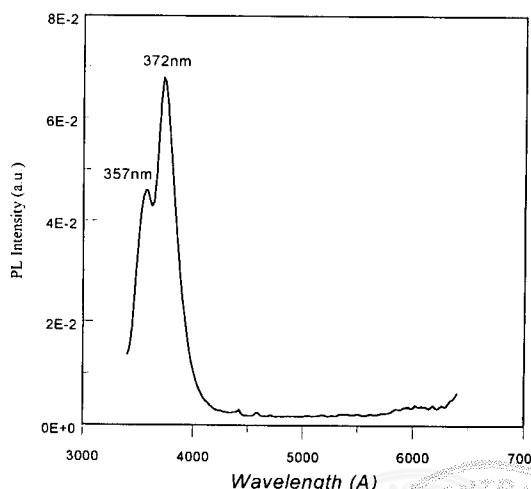
起因於高缺陷密度。

若先於低溫成長一層薄薄的GaN緩衝層，再於高溫(1000°C以上)成長GaN磊晶膜，則表面變得光滑，且表面平滑度與成長緩衝層之TMGa流量有密切的關係。當緩衝層之TMGa流量高於6 sccm時，GaN高溫磊晶膜表面開始

TMGa F1: 16 sccm  
TMGa F2: 3, 4, 5, 6 sccm  
NH3 F1: 1 SLM  
NH3 F2: 1 SLM

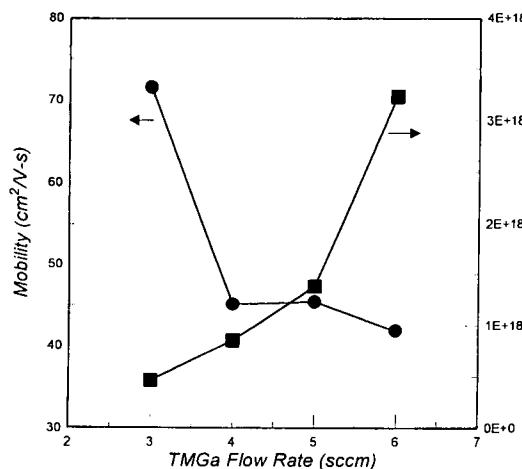


圖一 成長氮化鎵薄膜之流程圖

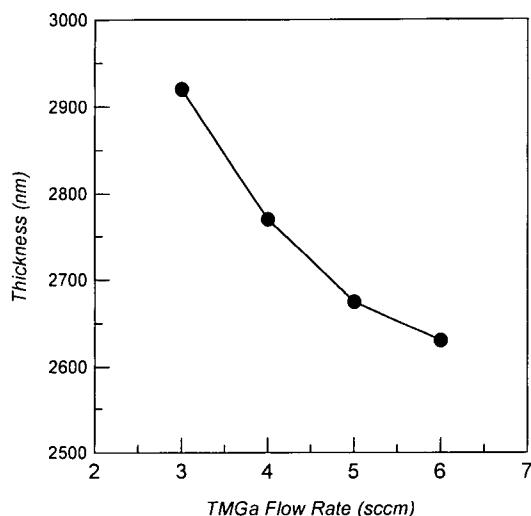


圖二 無緩衝層氮化鎵薄膜在300°K之PL圖

出現六角柱結晶。由霍爾量測之電特性分析發現，電子移動率隨緩衝層之TMGa流量增加而降低，如圖三所示，當緩衝層之TMGa流量為3 sccm (16 μmole/min)時，電子移動率最高可達 $71.5 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ，濃度達 $4.66 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。GaN高溫磊晶膜之成長速率隨緩衝層之TMGa流量增加

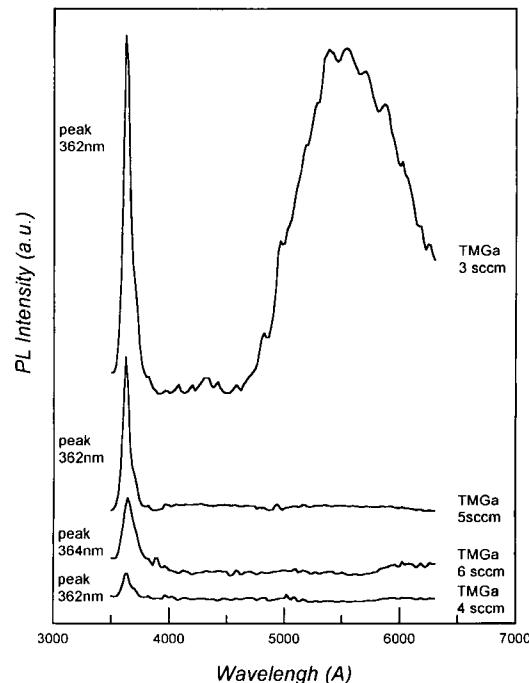


圖三 電子移動率及載子濃度對於緩衝層TMGa流量的變化

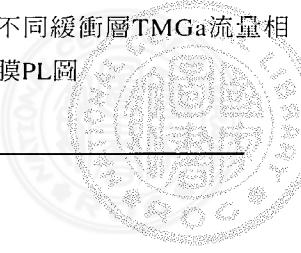


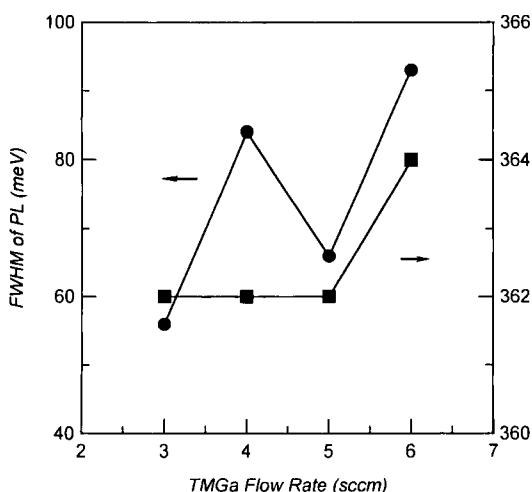
圖四 不同之緩衝層TMGa流量對氮化鎵薄膜厚度之影響（成長50分鐘）

而減慢，如圖四所示，因為TMGa低流量成長的成核層較為粗糙，使得後來的GaN磊晶成長較為迅速，以致提高了成長速率<sup>[1]</sup>。圖五所示分別為緩衝層之TMGa流量為3, 4, 5, 6 sccm時，GaN之高溫磊晶膜之光激發光光譜；當緩衝層之TMGa流量為3 sccm時，黃色波段之光譜很明顯較強。在550nm (2.2 eV)附近的黃色波段是由接近導帶邊緣至深陷井階之間的激子轉移所產生，也有人認為黃色波段之放射光是來自載子的補償或鎵原子空缺所造成的。而深陷井階可能是來自GaN磊晶膜內之龜裂或缺陷現象所造成，以TMGa流量為3 sccm所成長之緩衝層無法有效地減少GaN與藍寶石基板之間的應力，因此其光激發光光譜具有較強的黃色波段放射光。光激發光光譜主波峰(362nm)之半高寬與緩衝層TMGa流量之關係，如圖六所



圖五 在300°K下，不同緩衝層TMGa流量相對之氮化鎵薄膜PL圖





圖六 不同之緩衝層TMGa流量對映之氮化鎵  
薄膜PL之半高寬圖

示，波峰波長隨緩衝層TMGa之流量變化之情形亦示於圖六。在緩衝層TMGa之流量為6 sccm時，其半高寬值很高，且波峰波長移至364nm，可知6 sccm之成長條件不佳，造成GaN晶膜品質不良，且其表面容易形成六角柱結晶。

### 參考文獻

1. Ki Soo Kim, Chang Seok Oh, Kang Jea Lee, Gye Mo Yang, Chang-Hee Hong, Kee Young Lim, and Hyung Jae Lee, American Institute Physics, Vol. 85, p. 8441 (1999).

