

氮化鎵族光電元件製程之開發

Development of GaN-Based Optoelectronics Devices Processing Technology

計畫編號：NSC 88-2215-E-009-022

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：王興宗 國立交通大學光電工程研究所

一、中文摘要

本計畫主要目的在於開發 GaN 族光電元件製程所需的關鍵技術。本計畫執行成果包括以下幾項：1. 利用準分子雷射蝕刻 GaN 之研究。2. P 型歐姆接觸之金屬電極研究。3. 離子佈植 Be 於 P 型 GaN 之初步研究。

關鍵詞：準分子雷射蝕刻、GaN、歐姆接觸、金屬電極、離子佈植。

Abstract

The major goal of this project is to develop the critical process technique for GaN-based optoelectronics devices. This report contains accomplishment made in the following area: 1. Investigation for KrF excimer laser etching of GaN films. 2. Research on electrode material for P-type GaN ohmic contact. 3. Preliminary study of beryllium implant P-type GaN.

Keywords: GaN, Optoelectronics devices, KrF excimer laser etching, Ohmic contact, Beryllium implant.

二、內容

1. 利用準分子雷射蝕刻 GaN 之研究。

緣由與目的

由於 GaN 特有的硬度與化學穩定性，一般的溼式蝕刻較難達成蝕刻的目的，因此已發表的蝕刻方法以乾式為主的有以下幾點：reactive ion etching (RIE), electron cyclotron resonance (ECR), inductively coupled plasma (ICP), magnetron RIE (MRIE), chemically assisted ion beam

etching (CAIBE) and reactive ion beam etching (RIBE) [1]。由於最近利用雷射蝕刻 GaN 技術的發展顯示出其有較高的蝕刻速率與良好[2]的蝕刻後的表面平整度[3]。因此，利用雷射蝕刻 GaN 的方法將是一種可以達到高蝕刻率、高蝕刻深度的技術，我們的目的在於建立一套雷射蝕刻技術的基本方法及條件，本文中，我們報導有關利用 KrF 準分子雷射蝕刻 GaN 的結果，我們測試並建立了雷射蝕刻 GaN 時之所需臨界能量密度以及蝕刻速率並同時探討在空氣與真空不同氣氛條件下，雷射蝕刻之臨界能量密度與蝕刻速率的比較。

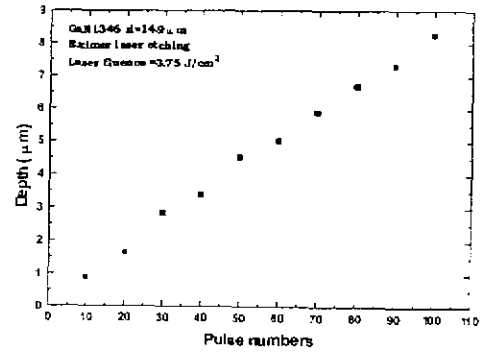
結果與討論

圖一為利用 KrF 準分子雷射作 GaN 蝕刻之實驗設備架構圖，其中，雷射操作條件為：輸出波長 248nm、repetition rate 為 1 Hz、脈寬 20ns、光束寬 $1.2 \times 1.2 \text{mm}^2$ 。圖二所示為在固定雷射蝕刻能量密度密度為 3.75J/cm^2 下，每改變 10 個脈衝，從 10 個脈衝到 100 個脈衝所作雷射蝕刻之照片。我們發現，蝕刻後的表面有 Ga 的金屬殘留。利用稀釋的硫酸或鹽酸可以將 Ga 殘留清除。經由 α -stepper 量測蝕刻的深度，如圖三所示，其蝕刻深度與雷射脈衝數呈現了線性的關係，並由此一線性關係推算出一個高蝕刻速率達到 82nm/sec 。圖四為蝕刻後的邊際效應 SEM 照片圖，我們發現其呈現很好的邊際變化。另外，我們同時做了改變 KrF 雷射能量密度蝕刻 GaN 樣品在空氣下與真空下的實驗，圖五所示為在這二個不同壓力條件下，蝕刻速率的比較。由實驗結果發現，在空氣中，雷射蝕刻的臨界能量密度為 0.6J/cm^2 ，蝕刻速率為 30nm/sec 於 1.8J/cm^2 ；在真空

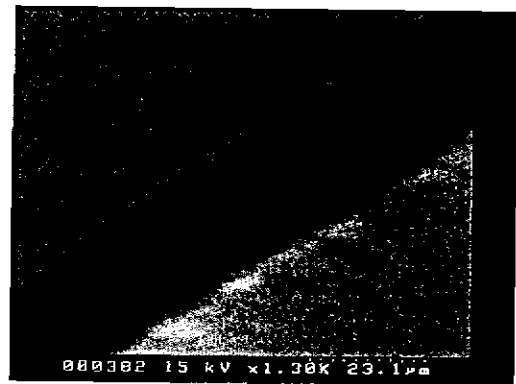
中，雷射蝕刻的臨界能量密度介於 $0.3-0.4 \text{ J/cm}^2$ ，蝕刻速率為 100 nm/sec 於 1.8 J/cm^2 。顯示出在同一雷射能量密度下所蝕刻的結果，在真空的條件下，準分子雷射蝕刻 GaN 樣品具有較小的雷射蝕刻臨界能量密度與較高的蝕刻速率。

我們同時探討蝕刻後表面的平整度，圖六所示為在雷射能量為 3.75 J/cm^2 下，40 個脈衝數所量測之蝕刻後表面平整度之 AFM 量測結果，我們發現其具有表面平整之均方根值為 5.72 nm ，圖七所示為所有蝕刻後樣品表面的平整度與蝕刻脈衝數的關係圖，我們發現其表面平整度之均方根值介於 $5-12 \text{ nm}$ ，此一結果與已報導之其他乾式蝕刻技術後的表面平整度大致相當。

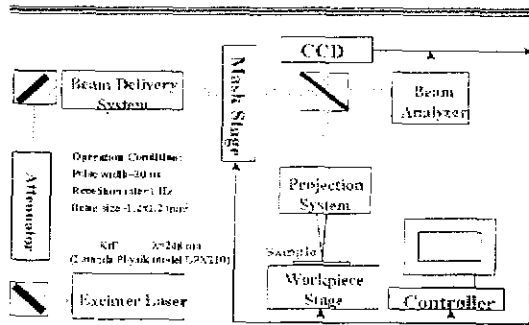
以上之結果，顯示利用雷射蝕刻可達高蝕刻速率並有良好的蝕刻效果，此結果已發表於 1999 台灣光電年會，論文編號為 FR-16-A-7。作者們特別感謝國科會精密儀器中心楊啟榮博士在 KrF 準分子雷射操作上的設備提供與技術指導。



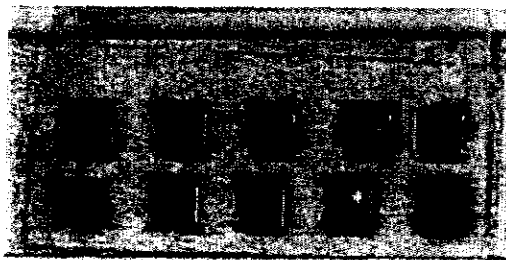
圖三、蝕刻脈衝數與蝕刻深度之關係圖



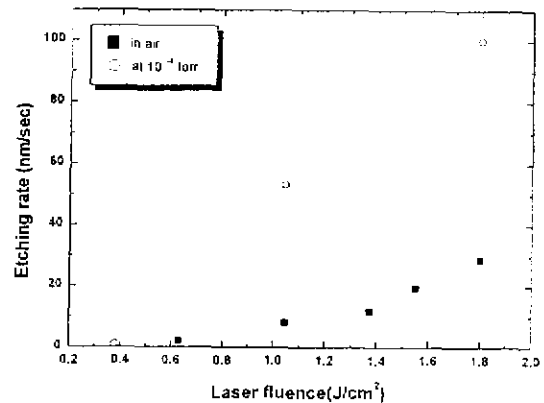
圖四、蝕刻邊際效應 SEM 照片圖



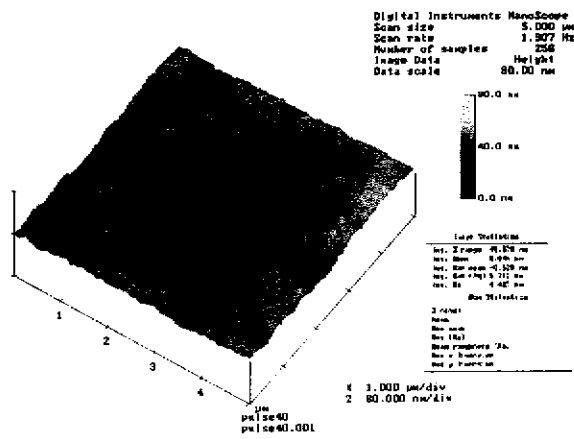
圖一、準分子雷射蝕刻之實驗架設



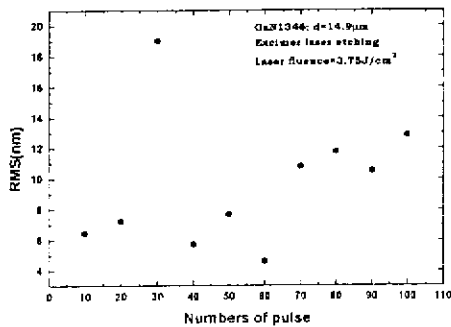
圖二、10 個不同脈衝數蝕刻後之照片圖



圖五、在空氣下與真空下之蝕刻速率比較



圖六、AFM 量測 40 個脈衝數@3.75J/cm²



圖七、蝕刻表面平整度與蝕刻脈衝數之關係

2. P 型歐姆接觸之金屬電極研究。

緣由與目的

由於金屬電極的製作以達成歐姆接觸條件之技術為 GaN 元件開發之關鍵步驟。尤其是電極利用 Ni/Au、Pd/Au 等不同合金組合所製作電極之研究已有許多文獻[1]發表。本計畫中，我們研究利用 Pd/Au 與 Pd/AuZn 二種的合金組合製作於 P-type GaN 樣品上，來達到歐姆接觸的條件。

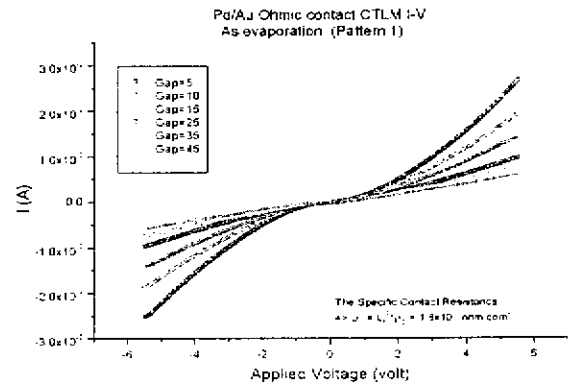
結果與討論

利用 Pd/Au 合金組合來製作金屬電極，經過鍍金處理系統與快速高溫退火

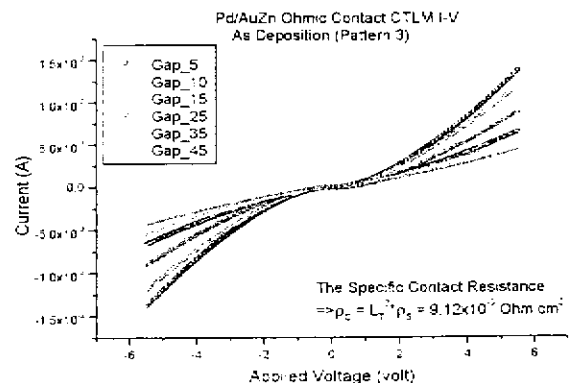
後，藉由 I-V 量測系統量測不同 gap 下之 I-V 曲線圖，透過理論模擬計算出其電阻，圖一為 Pd/Au 所作之金屬電極在不同 gap 下電流與供給電壓的關係圖，實驗結果顯示當 gap 較大時，其表現出較好的歐姆接觸，並且計算其電阻 ρ_c 為 $1.6 \times 10^{-3} \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ 。

利用 Pd/AuZn 合金組合所製作之電極的實驗結果展示於圖二。我們發現其所計算出之電阻 ρ_c 值為 $\sim 10^{-4} \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ 。

由以上結果顯示，使用 Pd/AuZn 合金組合所製作之電極具有較低的電阻值，較適合於製作 GaN 光電元件所使用。



圖一、利用 Pd/Au 所作之金屬電極之 I-V 曲線



圖二、利用利用 Pd/AuZn 所作之金屬電極之 I-V 曲線

3. 離子佈植 Be 於 P 型 GaN 之初步成果。

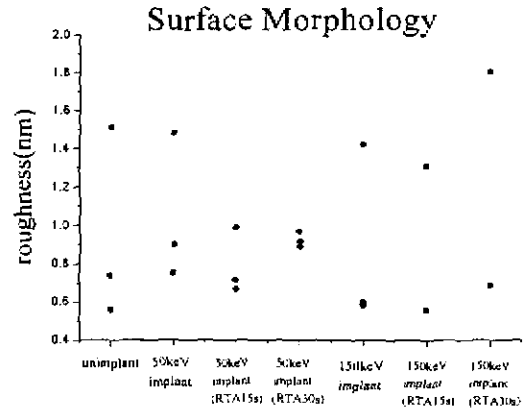
緣由與目的

P-type contact 目前仍面臨無法降低高阻值(至少需 $10^{-4}\Omega$)的問題，故我們想利用鈹(Beryllium)離子之低活化能($\sim 60\text{meV}$)特性，使用離子佈植方法以不同能量(50KeV, 150KeV)，不同劑量(10^{13} , 10^{14})之 Be 離子佈植於 P-type Mg-doped GaN，期望能形成一 P^+ -layer，進而提升載子濃度及漂移率(mobility)。我們探討離子佈植後材料之光學特性及表面分析之結果。

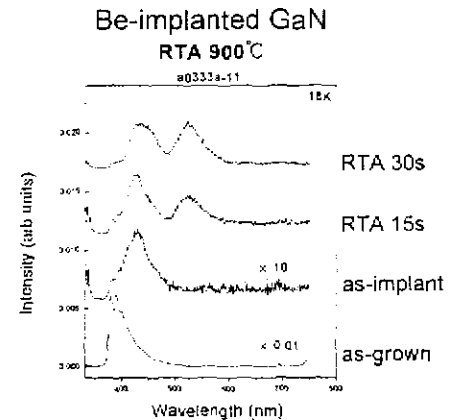
結果與討論

在表面特性方面，使用 AFM (Atom Force Measurement)量測，結果顯示不論 as-grown、as-implanted、RTA (900°C、1000°C、1100°C 15s&30s)製程皆不會影響表面平整度(RMS roughness 皆在 0.5~1.9nm 之間，如圖一)；在光學特性量測部份，使用 PL (photoluminescence) measurement，我們發現與原本 as-grown Mg-doped P-type GaN PL spectrum(380nm、390nm、420nm)不同的 peak 440nm 及 530nm (如圖二)，此結果與以往文獻[4]結果相同。

至於在電特性部份，我們將利用 Hall Measurement 以量測 as-grown、as-implanted、RTA 製程各階段載子濃度及漂移率的變化，此外我們同樣將持續在光學特性方面的研究，如變溫 PL spectrum 以求出活化能等。此一初步成果果已發表於 1999 台灣光電年會，論文編號為 TH-12-A-8。



圖一、as-grown、as-implanted、RTA (900°C、1000°C、1100°C 15s&30s)之表面粗造度比較



圖二、PL 量測結果比較 as-grown、as-implant、RTA30s、RTA15s 之結果

三、参考文献

- [1] S. J. Pearton, J. C. Zolper, R. J. Shul, F. Ren, *J. Appl. Phys.* **86** 1 (1999).
- [2] H. Chen, R.D. Vispute, V. Talyansky, R. Enck, S.B. Ogale, T. Dahmas, S. Choopun, R.P. Sharma, T. Venkatesan, A.A. Iliadis, L.G. Salamanca-Riba, K.A. Jones, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **482** 1015 (1998).
- [3] J. Zhang, K. Sugioka, S. Wada, H. Tashiro and K. Midorikawa, *J. Cryst. Growth* **189/190** 725 (1998).
- [4] F. Bernardini, V. Fiorentini and A. Bosin, *Appl. Phys. Lett.* **70**, 2990 (1997)