

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

感應耦合電漿蝕刻氮化鎵/氮化銦鎵材料之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-216-007-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：中華大學機械工程學系

計畫主持人：馬廣仁
共同主持人：趙崇禮、簡錫新
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：黃書瑋、石正宜、曹鈞泓
教授：趙崇禮
副教授：簡錫新

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 29 日

感應耦合電漿蝕刻氮化鎵/氮化銦鎵材料之研究

The Study of Dry Etching of GaN / InGaN Materials Using Inductively Coupled Plasma

計畫編號：N S C 95-2221-E-216-007-94WFD1400260

執行期限：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日

主持人：馬廣仁 中華大學機械工程系

計畫參與人員：簡錫新、黃書瑋 中華大學機械與航太研究所
趙崇禮、石正宜 淡江大學機電系

一、中文摘要

本研究使用 Cl_2/Ar 感應耦合電漿對 InGaN/GaN 材料進行反應蝕刻，探討主要的製程參數如氣體流量、感應耦合電漿功率、基板自偏壓和腔體壓力等對蝕刻機制及其相關的蝕刻速率、表面形貌等影響，期以作為蝕刻 InGaN/GaN 異質結構材料的參考依據。InGaN/GaN 異質結構材料的蝕刻速率隨著 Cl 活性離子密度和離子能量的增加而升高，當基板自偏壓為 -400 V，感應耦合電漿功率為 350 W 時蝕刻速率可達到 450 nm/min，且可得到垂直的蝕刻側壁。而 InGaN/GaN 異質結構材料的蝕刻速率受 Cl 活性離子密度的影響較受單純的離子能量的影響來得顯著。

Abstract

InGaN/GaN etching was performed using inductively coupled Cl_2/Ar plasmas, and the effects of main process parameters such as gas flow rate, induction rf power, self bias voltage, chamber pressure on the etching mechanisms and their relations to the etch rates and morphologies of InGaN/GaN materials were studied. InGaN/GaN etch rates increased with the increase of chlorine radical density and ion energy, and a vertical etch profile having an etch rate over 450 nm/min could be obtained at 350 induction power and -400 V bias voltage. The InGaN/GaN etch rate appeared to be

more affected by the chemical reaction between Cl radicals and GaN compared to the physical sputtering itself.

二、緣由與目的

GaN(Gallium Nitride)材料具有寬能隙(Wide Bandgap)，且是直接躍遷(Direct Energy Gap, 3.4eV)的特性，很適合用於製作 UV/藍/綠光發光二極體(LEDs)、雷射二極體(LDs)來當作短/長距離光纖通訊元件的光源。另外具有優良的化學穩定性、熱傳導率良好及高熔點的特性，適合於高功率電子元件方面的應用(如 HBTs, HFETs)[1-3]。目前 GaN/InGaN 異質結構(Hetero-Structure)磊晶(Epitaxy)技術已十分成熟，配合蝕刻技術的卓越進步，使得藍光 LEDs 發光效率大幅提高，並已成功商品化。

先前大部分的研究都是直接朝向在 UV/Blue/Green 雷射二極體或發光二極體形成 Mesa，蝕刻深度都相對地較大(2-4 μm)，而最終的表面形貌則不是那麼重要。而現在注意力開始轉往發展以 GaN 為基礎的高功率/高溫度的電子元件，主要用來當作電子開關和場發射應用。對於這些裝置的蝕刻條件都不相同，有些需要蝕刻深度比較淺，而表面形貌平滑，或者需要高選擇比，如 InN 與其他氮化物能形成歐姆接觸的基底，以期形成較低的接觸阻抗。

至於製作藍光雷射二極體方面，除了要求成長高品質的磊晶薄膜之外，尚須利用電漿技術蝕刻出光滑的垂直面，以製作雷射共振腔。由於氮化鎵(GaN)材料具有

很強的鍵結力(8.92eV/atom)及化學惰性，難以利用傳統的溶液蝕刻製作出所需的設計圖案，於是發展出電漿輔助乾蝕刻製程[4,5]。乾蝕刻即是以活性氣體來取代傳統用的溶液，目前已研究過用來蝕刻III-V族化合物的氣體有 Cl_2 、 SiCl_4 、 I_2 、 Br_2 、 BCl_3 及 SF_6 等鹵素氣體，其中以 Cl_2 電漿最常用於蝕刻 GaN 材料，並且在添加不同的輔助氣體下，如 H_2 和 CH_4 ，較易產生平滑的蝕刻表面。若 GaN 材料中含有 In(Indium) 成分或存在 InGaN 量子井結構時，由於 Ga 與 In 的蝕刻生成物沸點不同(GaCl_3 沸點為 201°C ，較容易揮發； InCl_3 沸點為 600°C ，較不容易揮發)，將使得乾蝕刻機制變得十分複雜。而 LEDs 的發光層是含有 In 成分的化合物，這些經蝕刻後產生的不容易揮發 In 蝕刻生成物，正是讓蝕刻表面粗糙的原因之一，因此在蝕刻中要如何移除掉這些含 In 的蝕刻生成物，產生平滑的蝕刻表面，亟待對此做有系統的研究以尋求較佳的製程參數。

傳統的電漿蝕刻系統，有活性離子蝕刻電漿(RIE)及活性離子束蝕刻電漿(RIBE)等，而目前多採用高密度電漿蝕刻系統，其中主要有兩類，即感應耦合電漿蝕刻系統(ICP)及電子迴旋共振(ECR)電漿蝕刻系統[6,7]。其中感應耦合電漿蝕刻系統因其設計與維護簡單，在深蝕刻技術中最被廣泛使用，並且由於其射頻產生器的特殊設計，可分別控制離子能量和離子密度，即使在低壓環境下依然能夠產生相當高的離子密度與相對較低的離子能量，所以能夠產生相當高的蝕刻速率(Etch Rate)，並且將材料因離子誘發(Ion-induced)的損傷減到最低。

另外在積體電路元件日益縮小化時，製程上對於更細微線寬的控制，還有光滑的蝕刻側壁、高深寬比、高非等向性、高蝕刻速率及高選擇比等，都是技術開發的幾個主要課題，除了須要在系統設計的改良外，適當的製程參數控制更是提昇製程技術能力所必須的[8-10]。

本研究使用 Cl_2/Ar 感應耦合電漿對 InGaN/GaN 材料進行反應蝕刻，探討主要

的製程參數如氣體流量、感應耦合電漿功率、基板自偏壓和腔體壓力等對蝕刻機制及其相關的蝕刻速率、表面形貌等影響，期以作為蝕刻 InGaN/GaN 異質結構材料的參考依據。

三、研究方法

3-1 實驗儀器設備

本論文主要使用的儀器為電漿蝕刻機台、掃描式電子顯微鏡及能量散佈分析儀。

3-2 電漿蝕刻機台

蝕刻設備大致上是由氣體傳輸系統、真空系統、RF 產生器與蝕刻反應器等所組合而成的。實驗設備是用 Plasma-Therm 770 System 的電漿機台，由連威磊晶公司所提供，晶片固定於一具有靜電吸附(Electrostatic Chuck, ESC)之晶片載具(Wafer Holder)上，另外氬氣流通於晶片載具背面，能在電漿蝕刻時提供良好的熱導性及晶片冷卻。

電漿是由一組螺管線圈所產生，並以一絕緣板與電漿分隔，並且啟動射頻產生器(2MHz)，其工作範圍從 0~1000W。由於射頻產生器的作用，電流流經線圈，利用此一線圈產生電感來感應出一磁場，其原理乃是以磁場可以透過介質(如空氣，真空或鐵磁心)產生次極(Secondary)感應電流，以電漿型式釋放出能量。因此這部分控制的能量稱為 ICP power，當增加 ICP power 時，會供給更多的能量，使反應腔體內產生更多的離子，形成更高的離子密度。同時為了提高離子撞擊晶片的能量，在晶片載具加上另一個射頻產生器(RF power, 13.56MHz)，工作範圍從 0~500W，其電極板會產生一自發偏壓。由於這個電壓是負偏壓，便利用這個特點，使帶正電的離子受到負偏壓的吸引而對晶片進行轟擊，而增加蝕刻反應速率，和增加蝕刻形狀的非等向性程度。

3-2 實驗流程

實驗流程如圖 3.1 所示。實驗晶片基板為(0001)面之兩吋的 c-Sapphire(藍寶石)，並在其上磊晶成長 GaN 緩衝層(Buffer Layer)及 InGaN/GaN 多層量子井結構

(Multi-Quantum Well, MQW), 如圖 3.2 所示。為了在晶片上製作所需要的結構，則必須在黃光製程中，分別經過(1)晶片清洗，(2)薄膜沉積，(3)微影，(4)薄膜蝕刻。各步驟之晶片剖面圖如圖 3.3 所示。

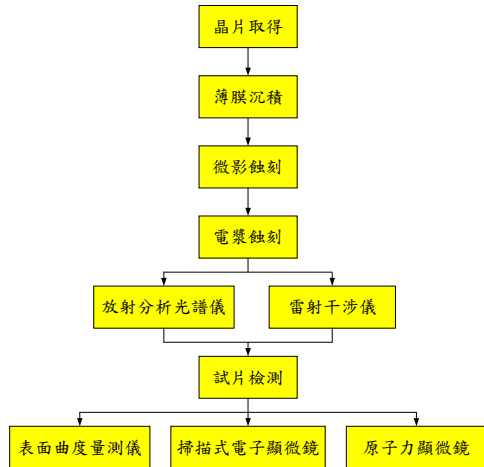


圖 3.1 實驗流程圖

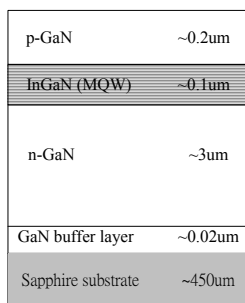


圖 3.2 實驗材料的剖面圖

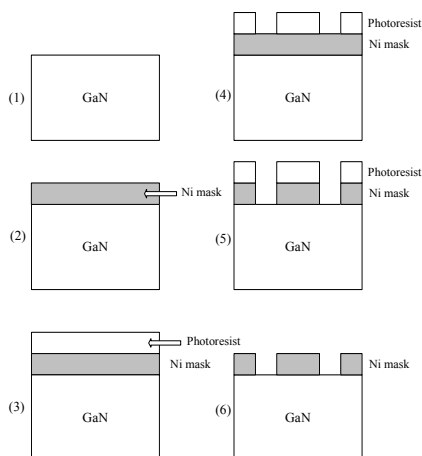


圖 3.3 前段製程。顯示 GaN 晶片經過(1)清洗之後；(2)鍍上 Ni 膜當作 mask；(3)沉積光阻；(4)微影蝕刻；(5)Ni 膜蝕刻；(6)洗去光阻之後的晶片外觀。

四、結果與討論

4-1 Cl₂ 流量的影響

圖 4.1 說明在 RF power 為 75W，ICP power 為 350W，腔體壓力為 5mTorr 的情形下，改變 Cl₂ 氣體流量對蝕刻率的影響。Cl₂ 電漿是屬於化學腐蝕性蝕刻，氣體流量的增加應該會解離出更多的活性離子或自由基，因此預計曲線應該隨著 Cl₂ 流量增加而上升。不過卻發現在流量 20sccm 時，蝕刻率開始下降。推測本次實驗材料表面含有 In 的成分，所以認為蝕刻生成物 InCl₃ 是限制了蝕刻速率的關鍵點，因其沸點高 (600°C)，較不容易揮發，類似形成一層鈍化膜(Selvedge Layer)，而抑制了蝕刻的進行。亦或者在本次實驗參數的設定下，Cl₂ 流量在 10~20sccm 之間，其解離率就已經達到飽和，無法再提供更多有效的自由基與材料反應。另外有研究指出，以化學作用主導的蝕刻，會有較高的蝕刻率，但表面損傷會較嚴重，以及會有等向性蝕刻的情形發生，並伴隨著底切現象(Undercut)的產生。

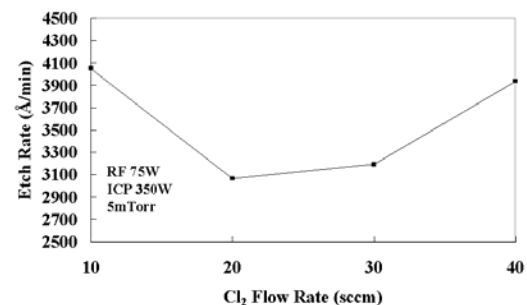


圖 4.1 蝕刻速率與 Cl₂ 流量的關係圖。(RF power 為 75W，ICP power 為 350W，腔體壓力為 5mTorr)。

4-2 Ar 流量的影響

圖 4.2 是說明當 RF power 為 75W，ICP power 為 350W，腔體壓力為 5mTorr 的情形下，改變 Ar 氣體流量對蝕刻速率的影響。單純使用 Ar 電漿，明顯可以看出蝕刻速率普遍比起使用 Cl₂ 電漿來得低，且蝕刻速率隨著 Ar 流量增加而降低。由此證明 Ar 離子只是用撞擊的方式，將材料表面的鍵結原子給打斷，進而將原子撞離表面，若沒有活性離子的加入，如 Cl 離子進入晶格缺陷或空位和 GaN 反應，是達不

到相當高的蝕刻速率。一昧的提高 Ar 流量並無助於提高蝕刻速率，反而會造成晶片表面較嚴重的損傷。因此添加 Ar 至 Cl_2 電漿中，一方面 Ar 初始破壞材料原子間的鍵結後，讓 Cl 離子能和 GaN 進行化學反應，另一方面用 Ar 離子加強蝕刻生成物的排除，如此能夠提高蝕刻效率。

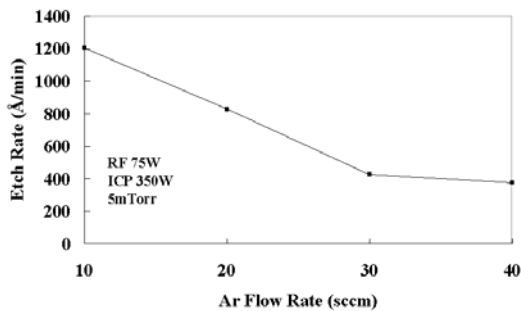


圖 4.2 蝕刻速率與 Ar 流量的關係圖。(RF power 為 75W，ICP power 為 350W，腔體壓力為 5mTorr)。

4-3 RF power 的影響

圖 4.3 說明當 $\text{Cl}_2=25\text{sccm}$ ， $\text{Ar}=5\text{sccm}$ ，ICP power 為 350W，腔體壓力為 5mTorr 的情形下，改變 RF power 對蝕刻速率的影響。提高 RF power 時，相對應產生的自發偏壓也隨之增加，其對於電漿中的正離子吸引力也就越大，使離子加速往晶片表面撞擊的能量也就越高，一方面將材料內的高鍵結力打斷，另一方面能夠將蝕刻生成物濺射移除，增強離子輔助濺射的效應，因此蝕刻速率有上升的趨勢。有研究指出，當 RF power 到達某個臨界點之後，其蝕刻速率的增加漸漸開始趨於和緩，這是因為偏壓的加大並沒有增加化學蝕刻的速率，而只是增加離子轟擊效應，所以化學反應漸漸達到飽和，而僅由離子轟擊效應些微增加蝕刻效率所致。

不過要注意的是，偏壓的加大卻會造成材料表面晶格的破壞，使材料表面某些原子的預先濺射損失，形成表面形貌上的不平整，如此材料表面的粗糙度可能會因此變差，進而增加材料與後續沉積金屬的接觸阻抗，或者是因為某些原子的過量損失，造成此層的電性改變，如 n 型變為 p 型，如此種種將導致材料發光效率的降低，所以會影響到晶片光電性能上的表現。

如果蝕刻生成物是不容易揮發的成分時，如 InCl_3 ，此時可以提高 RF power，也就是增強物理性濺射的蝕刻機制，利用高能量的離子來轟擊材料，將材料表面影響蝕刻的鈍化層給濺射移除，以解決此鈍化層所造成表面粗糙的現象。

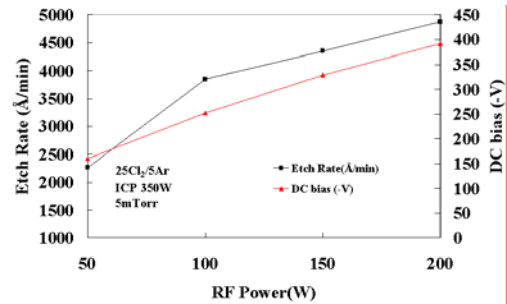


圖 4.3 蝕刻速率與 RF power 的關係圖。(Cl₂ 為 25sccm，Ar 為 5sccm，ICP power 為 350W，腔體壓力為 5mTorr)。

4-4 ICP power 的影響

ICP power 是解離氣體分子以產生電漿，因此加大 ICP power 使腔體內的電子獲得更高動能，來加強其撞擊氣體分子的能力，以便解離出更多的反應性離子。如圖 4.4 所示，當 $\text{Cl}_2=25\text{sccm}$ ， $\text{Ar}=5\text{sccm}$ ，RF power 為 75W，腔體壓力為 5mTorr 的情形下，改變 ICP power 對蝕刻速率的影響。當 ICP power 增加時，氣體解離率越高，產生更高的離子密度，因此普遍趨勢是蝕刻速率的增加。而在較大的電漿功率時，發現蝕刻速率有飽和的現象，通常認定是解離出太多的活性離子，多餘的活性離子在還未與材料表面反應時，就被其他離子所吸收(或重新復合)，或被濺射而經由真空系統排出。

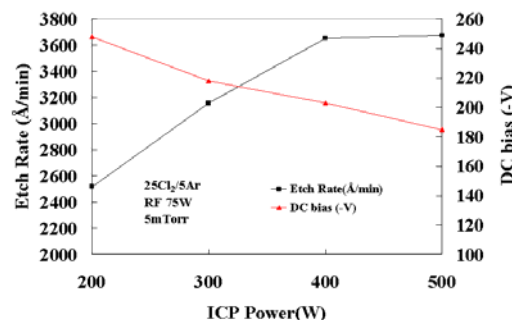


圖 4.4 蝕刻速率與 ICP power 的關係圖。(Cl₂ 為 25sccm，Ar 為 5sccm，RF power

為 75W，腔體壓力為 5mTorr).

4-5 Chamber Pressure 的影響

圖 4.5 說明當 $Cl_2=25sccm$ ， $Ar=5sccm$ ，RF power 為 75W，ICP power 為 350W 的情形下，改變腔體壓力對蝕刻速率的影響。發現蝕刻速率隨著壓力增加而顯著降低，因為高壓使得腔體中反應氣體濃度增加，不過因分子間的平均自由程變小，分子間的相互撞擊力減低，加上氣體分子解離速率可能小於復合速率的影響下，最後使得電漿解離能力降低，有效離子密度的不足，而導致高壓下蝕刻速率的降低。

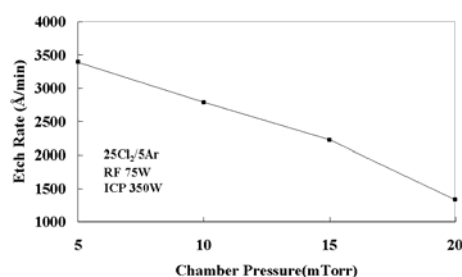


圖 4.5 蝕刻速率與腔體壓力的關係圖。(Cl₂ 為 25sccm，Ar 為 5sccm，RF power 為 75W，ICP power 為 350W)

本研究亦探討當 $Cl_2=25sccm$ ， $Ar=5sccm$ ，RF power 為 75W，ICP power 為 350W，腔體壓力為 5mTorr 的情形下，改變時間對蝕刻速率的影響，如圖 4.6 所示。發現當蝕刻時間拉長後，其蝕刻速率會有下降的趨勢，推斷當電漿蝕刻針對高深寬比結構時，其活性反應離子要進入溝槽(Trench)，或揮發性蝕刻生成物要離開表面時，反應時間一旦拉長，會慢慢阻礙蝕刻的進行，因而減緩蝕刻速率。有研究指出，當曝照時間太長時，對元件損傷也越大，這裡指的是電漿損傷，會有過量的單一原子被濺射移除，亦或者是過量的電子植入元件表面，影響電性上的表現。

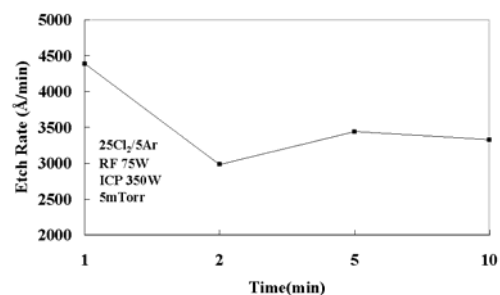


圖 4.6 蝕刻速率與蝕刻時間的關係圖。(Cl₂ 為 25sccm，Ar 為 5sccm，RF power 為 75W，ICP power 為 350W，腔體壓力為 5mTorr)

4-6 Damage

從圖 4.7 可以看到 GaN 晶片在電漿蝕刻之後，在蝕刻溝槽上發現針狀物的結構。因此觀察局部的放大圖，如圖 4.8 所示，發現其側壁在垂直面上有條紋的情形發生，這和水平條紋不同。判斷是由於在初始使用光阻的時候，光阻上面存在一些條紋，造成光阻的不規則形狀，因此在後續轉寫圖形的時候，條紋會繼續地轉寫到罩幕上，造成罩幕邊緣處的不均勻性，進而 GaN 在電漿蝕刻後也會有條紋的情形出現。這類型的損傷對於製作雷射二極體來說，也就是共振腔側壁的粗糙程度，都會影響其元件的性能。若晶片載具下方的 He 冷卻失效，導致晶片溫度的上升，造成光阻燒焦或蝕刻輪廓變形，亦會導致蝕刻均勻度變差。若光阻獲得充分曝光、最佳化光阻的烘烤時間，並選擇適當的蝕刻條件，即可製作出所需的設計圖案，並獲得光滑且垂直的蝕刻面。

另外從圖片中可以發現，在蝕刻側壁的根部也發現溝槽的現象，並沿著蝕刻側壁排列，這種效應可歸因於高分子在罩幕邊緣處的聚合效應衰減，和減少蝕刻側壁的中性原子/離子比例。這種情形可以由補償的方法，如產生更多的高分子聚合物，或者是添加 CH₄ 或高分子產生源，都能減少溝槽效應和增加蝕刻的垂直性。

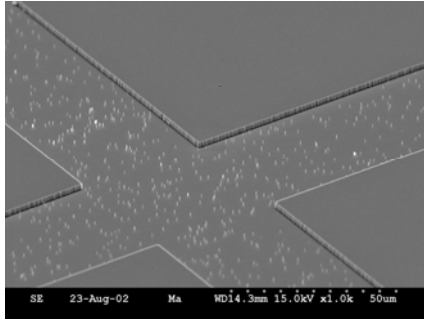


圖 4.7 GaN 晶片在電漿蝕刻後的表面形態。(Cl₂ 為 25sccm, Ar 為 5sccm, RF power 為 75W, ICP power 為 350W, 腔體壓力為 5mTorr)

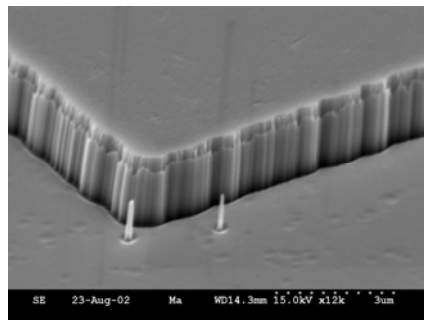


圖 4.8 GaN 晶片在電漿蝕刻後的側壁形態。(Cl₂ 為 25sccm, Ar 為 5sccm, RF power 為 75W, ICP power 為 350W, 腔體壓力為 5mTorr)

圖 4.9 是針狀物的放大圖。推測針狀物的發生原因，有以下幾點說明：

1. 高能量離子轟擊材料表面時，連帶地將單幕濺射到還未蝕刻的表面上，形成微小單幕(Micromasking)效應，以妨礙後續蝕刻的進行，等到將 mask 去除後，便發現材料表面有針狀物的存在。Ji-Myon Lee[11] 等人在蝕刻條件上，將 ICP power 調大之後，便改善了針狀物的情形。圖 4.10 則是將晶片原本覆蓋單幕的地方，用電漿將大部分的單幕濺射離開，因此殘留的單幕也在此形成 Micromasking 的效應。
2. 另一種針狀物的發生原因，可能是試片中 MQW 的 In 成份，和電漿氣體所解離出的 Cl 離子反應，形成 InCl₃ 蝕刻生成物，其沸點高達 600°C，屬於不容易揮發的生成物。因此在蝕刻過程中，InCl₃ 在表面優先形成，又因其不容易揮發的特性，在未蝕刻表面形成 Micromasking 效應，而殘留在試片上阻礙後續蝕刻的進行，形成針狀

物。因此解決方法可能為添加 CH₄ 氣體，利用其解離出的 CH 自由基與含 In 的複合物反應，形成 In(CH₃)₃(沸點 134°C)，避免不易揮發的蝕刻生成物形成，造成針狀物的出現。

3. 這些針狀物的形成，可以歸因於複合材料原子間的不完整移除而殘留在表面上，或者是缺乏最佳化的蝕刻製程所造成。表面材料原子的不完整移除造成 Micromasking 效應，進而阻礙未蝕刻材料的移除。陳美戎的碩士論文[12]中提到針狀物是鎵原子的殘留，通入 CH₄ 氣體與鎵原子反應，能形成揮發性良好的 (CH₃)₃Ga(沸點 55.7°C)。

另外特別在磊晶晶片靠外緣處，可以發現其蝕刻表面佈滿小窪池(Etch Pit)，如圖 4.12 所示。這種小窪池的形狀是六角錐坑，因為 GaN 的晶格屬於六方晶系，因此推論是由於 GaN 磊晶薄膜靠外緣處缺陷密度較高，所以當電漿蝕刻時，材料內部鍵結較弱的結構，容易被高能量的離子轟擊所造成蝕刻表面受損，可視為一種點缺陷。

這裡提到的針狀物及小窪池，還有一些因電漿所造成的損傷，如材料表面化學成分的不平衡，及材料表面的電子或離子植入，都會對晶片的光電性能造成影響，因此有學者[13]藉由後處理，包括濕式化學蝕刻法或者高溫的熱處理，將缺陷移除掉。一般常見的技術為高溫快速去火(Rapid Temperature Annealing, RTA)，將蝕刻後的晶片放置在充滿 N₂ 的環境下，快速地升高溫度至 400°C 或更高溫度，持續一段時間後再快速冷卻至常溫下。這種做法，能夠將一些因電漿蝕刻造成的損傷，如氮原子的不足，所造成的光電性能下降，能夠利用熱處理來將材料表面的原子重整，以解決失序的晶格排列，方能回復晶片原先的光電性能。

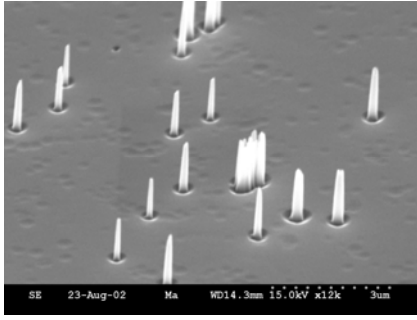


圖 4.9 GaN 晶片在電漿蝕刻後的表面針狀物形態。(Cl₂ 為 25sccm, Ar 為 5sccm, RF power 為 75W, ICP power 為 350W, 腔體壓力為 5mTorr)

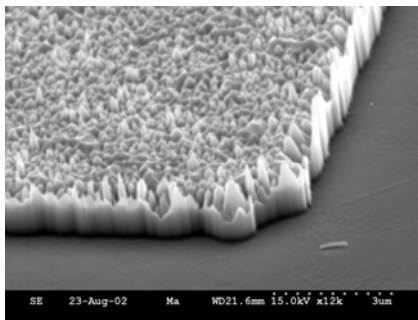


圖 4.10 當介電薄膜幾乎被電漿蝕刻完後，觀察其表面形態。(Cl₂ 為 25sccm, Ar 為 5sccm, RF power 為 75W, ICP power 為 350W, 腔體壓力為 5mTorr)

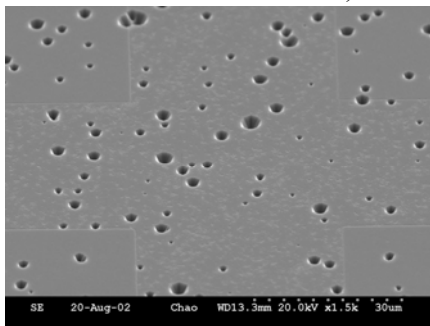


圖 4.11 GaN 晶片在電漿蝕刻後，發現表面有小窪池 (Etch Pit) 的現象。(Ar 為 40sccm, RF power 為 75W, ICP power 為 350W, 腔體壓力為 5mTorr)

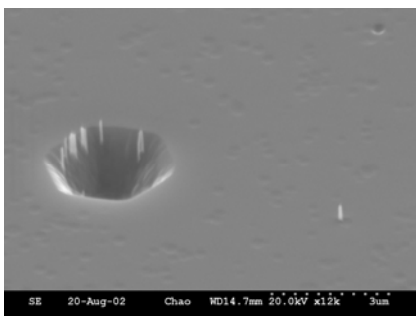


圖 4.12 GaN 晶片在電漿蝕刻後，發現小窪池裡頭仍有針狀物的現象。(Cl₂ 為 25sccm, Ar 為 5sccm, RF power 為 200W, ICP power 為 350W, 腔體壓力為 5mTorr)

五、結論與建議

1. 本次實驗參數的設定下，Cl₂ 流量在 10~20sccm 之間，其解離率就已經達到飽和，無法再提供更多有效的自由基與材料反應。
2. 添加 Ar 至 Cl₂ 電漿中，一方面 Ar 初始破壞材料原子間的鍵結後，讓 Cl 離子能和 GaN 進行化學反應，另一方面用 Ar 離子加強蝕刻生成物的排除，如此能夠提高蝕刻效率。
3. 提高 RF power 時，有利將材料內的高鍵結力打斷，另一方面能夠將蝕刻生成物濺射移除，增強離子輔助濺射的效應，因此蝕刻速率有上升的趨勢。偏壓過大會造成材料表面晶格的破壞，形成表面形貌上的不平整。
4. 當 ICP power 增加時，氣體解離率越高，產生更高的離子密度，因此普遍趨勢是蝕刻速率的增加。
5. 推測針狀物的發生原因，可能是因為高能量離子轟擊材料表面時，連帶地將單幕濺射到還未蝕刻的表面上，形成微小單幕 (Micromasking) 效應及導致針狀物生成。另外形成 InCl₃ 蝕刻生成物，其沸點高達 600°C，因其不容易揮發，亦極可能在未蝕刻表面形成 Micromasking 效應。
6. 藉由適當的製程參數選擇，可獲得側壁光滑無針狀物的蝕刻表面。較大的電漿功率有利高蝕刻速率，但 ICP power 400W 時，已發現蝕刻速率有飽和的現象，無法再提升蝕刻速率。

六、計畫成果自評

本計畫之執行對電漿蝕刻 InGaN/GaN 時之材料移除機制有更深度的認識，對感應耦合電漿系統的操控及材料分析等相關技術之建

立已深具信心。

研究發現當基板自偏壓為-400 V，感應耦合電漿功率為 350 W 時蝕刻速率可達到 450 nm/min，且可得到垂直的蝕刻側壁。目前該結果已提供業界做為製程參數最佳化的參考。

已有文獻指出針狀物的出現可作為很好的抗反射微結構組織，未來在雷射及 LED 之應用深具潛力，未來將繼續對此做深入研究

六、參考文獻

1. T. Maeda, J.W. Lee, R.J. Shul, J. Han, J. Hong, E.S. Lambers, S.J. Pearton, C.R. Abernathy, W.S. Hobson, "Inductively coupled plasma etching of III-V semiconductors in BCl₃-based chemistries I. GaAs, GaN, GaP, GaSb and AlGaAs", Applied Surface Science, 143, pp. 174-182, 1999.
2. J.W. Lee, E.S. Lambers, C.R. Abernathy, S.J. Pearton, R.J. Shul, F. Ren, W.S. Hobson, C. Constantine, "Inductively coupled plasma etching of III-V semiconductors in Cl₂-based chemistries", Materials Science in Semiconductor Processing, Vol.1, pp. 65-73, 1998.
3. 莊賦祥等, "氮化鎵活性離子蝕刻技術研究", 真空科技十二卷三期, pp.16-21, 1999。
4. 許榮宗, "半導體光源技術之發展現況", 工業材料雜誌, 172 期, pp.120-125, 民國九十年四月。
5. 張連璧, 劉書史, "氮化鎵乾式蝕刻技術(ICP-RIE)之研究", Journal of Material Science and Engineering, Vol. 33, No. 3, pp. 136-142, 2001.
6. 潘錫明等, "GaN LED 晶粒製作技術", 光學工程, 第七十期, pp. 10-16, 民國八十九年六月。
7. 鍾震桂, "矽深蝕刻技術在微機電系統的應用", 光學工程, 第七十二期, pp. 30-38, 民國八十九年十二月。
8. Hyun Cho et al., "Cl₂-Based Dry Etching of the AlGaInN System in Inductively Coupled Plasmas", Solid-State Electronics Vol. 42, No. 12, pp.2277-2281, 1998.
9. 紀國鐘, "氮化鎵藍光材料", 工業材料 138 期, pp.110-113, 民國八十七年六月。
10. 楊忠諺, 葉源益, "乾式蝕刻於矽微加工及微機電方面之應用", 毫微米通訊第八卷第四期, pp.11-17。
11. Ji-Myon Lee et al., "Cl₂-Based Dry Etching of GaN and InGaN Using Inductively Coupled Plasma: The Effects of Gas Additives", Journal of The Electrochemical Society, 147(5), pp.1859-1863, 2000.
12. 陳美戎, "電感耦合電漿蝕刻系統對氮化鎵蝕刻之研究", 國立交通大學, 電子物理研究所碩士論文, 民國九十年七月。
13. R.J. Shul, L. Zhang, A.G. Baca, C.G. Willison, J. Han, S.J. Pearton, K.P. Lee, F. Ren, "Inductively coupled high-density plasma-induced etch damage of GaN MESFETs", Solid-State Electronics 45, pp. 13-17, 2001.

出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 95-2221-E-216-007
計畫名稱	感應耦合電漿蝕刻氮化鎵/氮化銦鎵材料之研究
出國人員姓名 服務機關及職稱	馬廣仁
會議時間地點	1. July 7-10, 2007, Dalian, China 2. January 13-17, 2007, Hong Kong
會議名稱	1. ICSE 2007 The 5th International Conference on Surface Engineering, 2. Asia Pacific Conference on on Optics Manufacture 2007
發表論文題目	1. Effect of Bias and Cr/N Ratio on the Mechanical and Tribological Properties of Sputtered CrN Coatings 2. Design of Protective Coatings for Glass Lens Molding

一、參加會議經過

1. 國際表面工程會議主題涵蓋範圍很廣，除了金屬也包括陶瓷及高分子材料之表面處理。表面工程技術部分則主要包括電漿表面處理及不同的鍍膜技術。作者發表之論文有關氮化鉻鍍膜之特性研究係本計畫延伸出的結果，在會議中也受到熱烈的討論。未來氮化物薄膜的電漿蝕刻將廣泛應用在電子、光電及磨潤等領域。
2. 亞太光學製造會議十分盛大，與會者許多是世界知名學者，中國科學院相關領域的院士有五位與會。會議主題包括傳統及非傳統光學元件製造技術，作者發表之論文有關氮化物鍍膜應用在玻璃模具之研究係本計畫延伸出的結果，由於極具工業應用潛力，會後有許多廠商詢問相關技術。

二、與會心得

今年參加之會議都有意外之收穫，由於會議主題較廣，也較有工業應用價值，聽眾提的問題提供了不同的思考方向，對未來研究方向有極大的幫助。大會安排之參觀活動十分精采，也藉此機會認識相關之學者及瞭解其研究能量。台灣有許多學術單位也都報名參加亞太光學製造會議，可惜真正全程出席的人不多；有些單位臨時缺席無法發表文章，但未通知主辦單位造成會議缺憾，對台灣形象也有影響，值得檢討。