

## 第五章 結論與展望

從以上的實驗結果顯示，GaN ELOG 結構經過 Molten KOH 的蝕刻後，將會形成深入而整齊的蝕刻隧道。這些隧道的寬度雖然僅約數  $\mu\text{m}$ ，而深度卻可以達到數百  $\mu\text{m}$  的水準，因而具有相當高的深寬比。從隧道的外觀看起來，其形貌類似於一排三角形的陣列。

在樣品的結構上，由於其條紋的方向是朝著 GaN 的  $\langle 1\bar{1}00 \rangle$ ，因此在蝕刻之後，將在隧道的斜面形成  $\{11\bar{2}2\}$  的穩定面。由於該平面並不是 GaN 在 Molten KOH 的蝕刻下最穩定的面，因此隨著蝕刻隧道不斷擴大並接合之後，將在 GaN 背面呈現出  $\{10\bar{1}\bar{1}\}$  面的六角錐結構，而這也是在不受 Pattern 干擾下，GaN 的蝕刻穩定面。另一方面，為了比較使用不同的 Mask 方向，對隧道內部穩定面所造成的影響，我們嘗試對條紋方向為  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  的樣品進行蝕刻，而實驗的結果則證實隧道的斜面屬於  $\{10\bar{1}\bar{1}\}$  面，這樣的結果與我們推測的穩定面一致。

在調變蝕刻溫度的實驗中，當溫度較低時，隧道整體的形成速率將取決於 Molten KOH 對  $\text{SiO}_2$  的移除速度。因此蝕刻速率是由 KOH 與  $\text{SiO}_2$  的化學反應所主控。而隨著溫度升高，蝕刻隧道的形成速率也將大幅提升。藉由 EDX 的觀測，我們發現在高溫下，蝕刻液可以在極短時間內移除表面附近的  $\text{SiO}_2$  Mask，這也就是在高溫下，蝕刻效率能明顯提升的原因。我們可以從蝕刻深度-溫度的關係圖中，看出曲線呈現出指數遞增的趨勢。

另外在調變蝕刻時間的實驗中，我們發現雖然溫度越高，蝕刻的速度越快，但是越高的溫度，蝕刻速度隨時間衰減的幅度也越大；而歸納其原因，主要可以分為兩點，其中之一是蝕刻液深入隧道後，其離子交換將會越來越困難，因此造成隧道內局部反應物的不足，而影響蝕刻的效果。另一方面，由於目前使用的石墨燒杯，仍會與蝕刻液發生反應，而在高溫下，這類的反應將更加劇烈，因此造成蝕刻液大量消耗在與燒杯反應的情形。關於第一點的解決方法，我們可以經由改變 Mask 的比例，來形成更大的蝕刻隧道。這樣內部的離子將會較容易與外部交換，而維持蝕刻的強度。另一方面，我們也可以設法擾動液體來增加對流，避免局部反應物濃度過低的情形發生。而第二點的解決方法，最重要的就是尋求更合適的材料來做為容器。如果這兩大問題能夠得到有效地改善，相信可以大幅提昇蝕刻隧道的應用價值。



關於 Pendeo 結構的蝕刻上，由於一般的 Pendeo 結構，其側向接合處雖有空缺的存在，但是形狀無法固定。這對於形成蝕刻隧道而言，會造成隧道大小的不一致，而如果空缺在蝕刻的過程中終止，則蝕刻隧道也將無法繼續朝內部蝕刻。因此對製造均勻的隧道而言，一般 Pendeo 結構顯然並不合適。然而另一方面，Wide void Pendeo 結構卻具有相當驚人的蝕刻速度，不過由於樣品的厚度只有  $26\ \mu\text{m}$ ，因此會導致 HVPE GaN 自行剝落。假如 Wide void Pendeo 結構的厚度能夠再提升的話，相信會是一個值得嘗試剝離的樣品。

最後在蝕刻隧道的應用上，除了利用它來分離 GaN 厚膜，我們也希望將它使用於改善氮化鎵厚膜在磊晶後受力碎裂的問題上。除此之外，對於提升 LED 發光效率，以及在微流道方面的應用上，蝕刻隧道都提供了可以

發展的空間。從我們製造出蝕刻隧道開始，就希望能將它應用在製程上。藉由 Pattern 的引導，蝕刻隧道的大小與形狀就可以加以固定。假如我們可以更精準地控制蝕刻隧道的性質，憑藉著它的高深寬比以及優良的可重複性等特點，相信將來可以在 GaN 的製程上得到應有的發揮。

