

電漿輔助式分子束磊晶應用於氮化鎵的成長

Plasma-Assisted Molecular Beam Epitaxy for GaN Growth

龐文淵、羅奕凱、謝佳和、徐鈺淇、周明奇

Wen-Yuan Pang, Ikai Lo, Chia-Ho Hsieh, Yu-Chi Hsu, Ming-Chi Chou

本文將介紹電漿輔助式分子束磊晶的基本儀器構造與磊晶原理，以及筆者利用國立中山大學之電漿輔助式分子束磊晶系統，所成長之高品質氮化鋁鎵／氮化鎵 (AlGaIn/GaN) 異質結構。以及世界上首見以電漿輔助式分子束磊晶，在鋁酸鋰 (LiAlO₂) 基板上成長出的氮化鎵微米六角碟與微米六角錐之示範與分析。

In this article, we introduced radio-frequency plasma-assisted molecular beam epitaxy (PA-MBE) and its application in the growth of III-nitride based semiconductors. We also demonstrated the growth of high quality AlGaIn/GaN heterostructures and self-assembling GaN hexagonal micro-scaled disk/pyramid by using the radio-frequency plasma-assisted MBE located at National Sun Yat-sen University.

一、前言

三族－氮化物半導體如氮化鋁 (AlN)、氮化鎵 (GaN)、氮化銦 (InN)，因其直接能隙值非常寬廣 (6.2 eV–0.7 eV)，可調變範圍涵蓋所有可見光範圍 (約 3.1–1.8 eV)，非常適合於光電元件之應用。且其纖維鋅礦 (wurtzite) 的結構特性，相較於早期的三五族閃鋅礦 (zinc-blende) 半導體 (如砷化鎵等)，在高頻、高功率元件的應用上有著更大的發展空間。早在九零年代，Nakamura 等人克服了 *p*-type GaN 的摻雜問題，使 GaN 系列材料的發展進入實用階段，且在發光二極體之製造技術上有了突破性的發展後⁽¹⁾，各界對於三族－氮化物半導體的應

用，展開了爆炸性的研發競爭。

目前三族－氮化物半導體已經被廣泛的應用於雷射二極體 (laser diode)、發光二極體 (light-emitting diodes) 以及太陽能電池的領域 (solar cell)⁽²⁾。在電性方面，因 GaN 具有高的崩潰電場 (3×10^6 V/cm)，且 GaN 的分解溫度相當高 (氮氣下大於 750 °C)，相對於目前的矽 (2×10^5 V/cm) 和砷化鎵 (4×10^5 V/cm)，以 GaN 製成的高電子遷移率電晶體 (high electron-mobility transistor)，可在高溫及高功率下操作⁽³⁾。且因其二維電子系統擁有較大的自旋分裂值 (~9 meV)，可應用於自旋電子場效電晶體 (spin field-effect transistor)，也使自旋電子元件成為氮化鎵高度注目的發展項目之一。然而對

於成長三族－氮化物半導體來說，從各種元件結構的設計，甚至到樣品材料之三元化合物，如氮化鋁鎵 (AlGaIn)，或其四元化合物，如氮化鋁鎵鎵 (AlInGaIn) 的成分調變，都需要在成長樣品時對各元素做最精準地控制。而分子束磊晶技術即是相當適合發展此類研究的一套晶體成長系統。

在 GaN 薄膜成長過程中，以 *c*-axis (0001) 的方向成長最為普遍，但在 (0001) 方向薄膜成長之 GaN/AlGaIn 異質結構，由於壓電效應 (piezoelectric effect) 產生強大的靜電場，而使其量子井的發光效率降低。為了避免這個現象，以 *M*-plane (11 $\bar{2}$ 0) 方向成長的 GaN 薄膜，被應用於 GaN/AlGaIn 異質結構之成長。目前多以 *M*-plane SiC、*M*-plane sapphire 及 LiAlO₂ (100) 作為成長 *M*-plane GaN 的基板，其中以 LiAlO₂ (100) 與 *M*-plane GaN 的晶格不匹配程度最小 (約 1%)。電漿式分子束磊晶技術 (plasma-assisted molecular beam epitaxy, PA-MBE) 的出現，使自我組裝 (self-assembled) 的奈米或微米結構可長成無缺陷的單晶結構，這些完美的結構將提供近乎無缺陷的 GaN 晶體，能夠提升元件的量子效率。*M*-plane GaN 磊晶及自我組裝 GaN 的奈米或微米結構，是目前在三族－氮化物半導體晶體成長研究的新課題。本文將簡述分子束磊晶系統的基本儀器構造與磊晶原理，進而介紹最近筆者利用電漿輔助式分子束磊晶系統 (PA-MBE) 成長氮化鋁鎵／氮化鎵異質結構，以及在鋁酸鋰基板上成長出的氮化鎵微米六角碟 (micro-disk) 與微米六角錐 (micro-pyramid)。

二、分子束磊晶

1. 發展簡史

分子束磊晶 (molecular beam epitaxy) 的前身，是由 Guenther 與 Naturforsch 在 1958 年所發展出來的一種「三溫度法」⁽⁴⁾。他們先利用在成長腔體中放置五族材料，維持烤爐的溫度，並穩定真空度。另外，將三族材料的爐具，以高溫狀態提供一流量至基板。當然，基板溫度就是此方法的第三個溫度。Guenther 與 Naturforsch 成功地成長出三五族半導體 InAs 以及 InSb。然而，此種粗糙的方法所

沉積出來的薄膜品質勢必相當差。直到了十年後，Davey 和 Pankey 改善了腔體真空的條件，才成功地利用 Guenther 與 Naturforsch 的方法，成長出砷化鎵 (GaAs) 的單晶薄膜⁽⁵⁾，這也就是分子束磊晶系統的另一個要素－真空腔體。

1975 年 Cho 和 Arthur 發明之分子束磊晶系統，具備了精準控制各材料的溫度，以及高真空的腔體。其後更配合各種量測設備，得知其磊晶機制，進而發展出分子束磊晶的成長模型。此後，分子束磊晶技術不再受限於砷化鎵，而開始運用於其他三五族半導體，如砷化鋁 (AlAs) 或磷化銦 (InP) 等。分子束磊晶技術到了 1980 年代，趨於成熟，主要是因為幾項重要因素⁽⁶⁾：

- (1) 使用氣體作為材料源，使得成長時能更穩定的控制流量。
- (2) 觀測到反射式高能電子繞射 (RHEED) 信號強度的震盪，得以在磊晶過程中，隨時控制薄膜的成長。
- (3) 脈衝式的分子束磊晶方法，能成長陡峭的異質界面，且更精準地摻雜雜質。
- (4) 複合式腔體的組成，可將量測或製程設備整合在一起，做即時的使用。

此後，各式各樣的分子束磊晶系統應運而生，如以氣體為材料源的金屬有機分子束磊晶 (metal organic molecular beam epitaxy, MO-MBE)、及利用 RHEED 的相位鎖定分子束磊晶 (phase-locked epitaxy, PLE)、以及本文將介紹的電漿輔助式分子束磊晶系統等。

2. 基本原理

磊晶 (epitaxy)，意謂著分子或原子緩慢而有序的排列成一晶體。而分子束磊晶是指經由單個或數個分子束或原子束，在加熱的基板上產生作用，而長成結晶性薄膜的方式。圖 1 為筆者實驗室之電漿輔助式分子束磊晶腔體的示意圖，其中氮分子先解離成電漿 (plasma) 後射出。固態材料源則置於高真空腔體的巢室 (effusion cells) 中，在各 effusion cells 加熱成分子或原子後，提供來自不同方向的分子或原子束流，並共焦於基板處，使不同的原子結合，進而在基板上成核 (nucleation)。

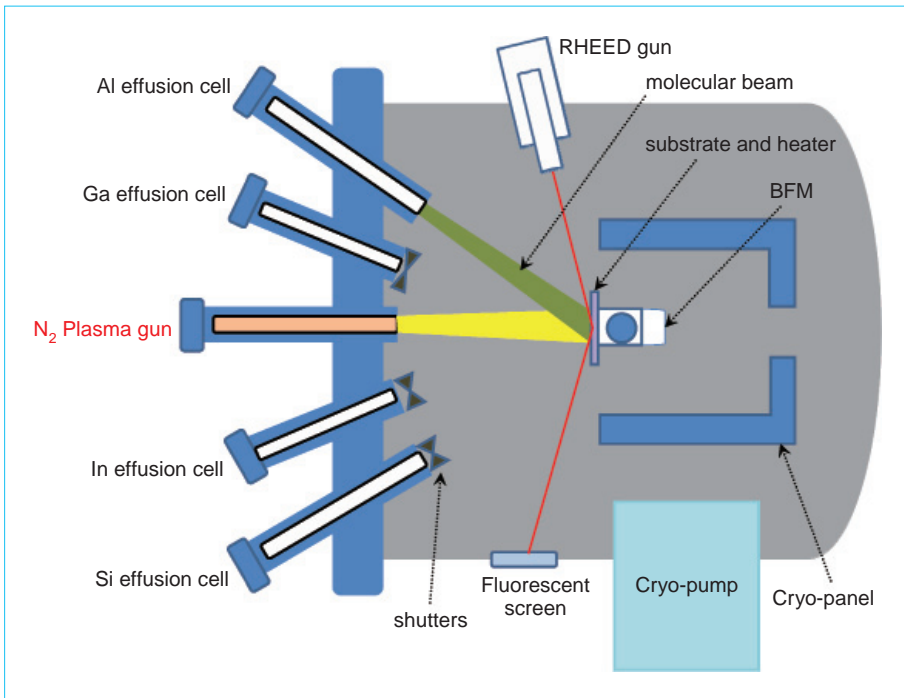


圖 1. 分子束磊晶腔體及 effusion cell 示意圖。

隨後經過吸附 (adsorption)、移動 (migration)、結合 (incorporation) 及脫離 (desorption) 等過程⁽⁷⁾ (如圖 2)，並且以單層式 (monolayer) 或層狀 (layer-by-layer) 的方式成長薄膜。

分子束磊晶必須要維持在超高真空的環境下，讓分子有很大的平均自由路徑，才能達到均勻磊晶式的薄膜沉積。以鎵為例，若鎵原子束流的流量為 $10^{19} \text{ atoms} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，成長速率為 $1 \mu\text{m/h}$ 的數量級之下，背景真空的要求就需要 10^{-11} Torr ⁽⁸⁾。因此分子束磊晶腔體需要以液態氮輔助，維持低溫狀態的高真空度。另一方面，因為高真空的要求，在系統各部分零件的材料選擇上也多有所限制，例如：cell 內填裝材料的坩鍋選用 PBN (pyrolytic boron nitride) 的材質，PBN 在至少 $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ 的溫度內，有很低的氣體放出率。而 cell 的檔板或是加熱器大多選用鋁及鈦做為材料，也是相同的考量，這亦是為什麼分子束磊晶系統造價高昂的原因之一。

基於 MBE 所使用的原料是各元素的獨立分子束，並且經由控制各分子束的流量，其成長的解析度可達到單層原子的等級。所以在晶體組成的成分以及結構的設計上，有很大的自由度，使得 MBE 成為研究各種先進材料的利器。綜合前述的內容，MBE 主要有幾種特性：

- (1) 低溫以及低成長速率 (每秒一個原子層等級)。
- (2) layer-by-layer 的成長方式，可得到極為平整的表面。
- (3) 精準地控制多元化合物組成成分的含量。
- (4) 在異質結構中可掌握陡峭的介面。
- (5) 搭配 RHEED 或 XRD，可得知即時的晶體訊息 (解析度達原子等級)。

3. 反射式高能電子繞射裝置

反射式高能電子繞射 (reflection high-energy electron diffraction, RHEED) 在 MBE 技術中，已成

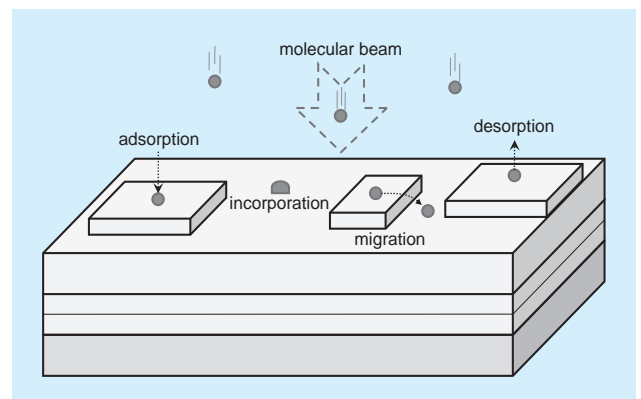


圖 2. 分子束於薄膜磊晶表面的行為示意圖。

為不可或缺的一項裝置。RHEED 是電子束以一個很小的角度 ($0.5^\circ - 2.5^\circ$)，入射到樣品表面，因此對樣品表層的起伏具有很高的敏感度。RHEED 的系統包含：電子槍、螢光屏幕、影像處理硬體及軟體。以 0.5 公尺的焦距，結合低發散的電子束，使電子束可以均勻地打在樣品上。一般電子束的加速電壓大概介於 10 KeV – 30 KeV，會需要如此高的加速電壓，是因為如此才能在螢光幕上擷取到較多的繞射點，繞射點最後被螢光幕轉換成可見光。腔體內側的螢光幕被鍍上一層金屬，用以隔絕周遭的光以及低能量的電子。20 KeV 的電子束打到螢光幕上，激發出在綠光波段範圍的光子，因此所觀察到的繞射圖案為綠色的。另外，從 RHEED 強度的震盪圖形可以得知表面形貌的週期性變化。低的震盪頻率代表樣品表面的起伏；而高的震盪頻率則表示以單原子層的成長，由此可以推得出成長速率⁽⁹⁾。隨著成長溫度的增加，表面多餘原子的移動率也會跟著增加，此時 RHEED 的震盪震幅會持續地遞減直到不見。可以藉由 layer-by-layer 轉換成 step-flow 的成長，來估計這些多餘原子的移動速度。

在成長樣品的過程中，若可以即時得知樣品成長的狀況，對研究人員來說，是很有幫助的。藉由繞射圖案的變化，可以即時微調成長參數。此反射式高能電子繞射可以提供成長的即時資訊。例如，可以利用 RHEED 時間對強度的震盪圖形 (oscillations)，得知成長速率、成長的厚度及成分等等。因此反射式高能電子繞射得以在磊晶過程中，可隨時控制薄膜的成長，並成為分析樣品成長速率、成長厚度及樣品成分十分有效之工具。

三、射頻電漿輔助式分子束磊晶

電漿是由破碎的分子、自由電子及帶電離子所組成的物質型態。一物質變成電漿態後，離子性自由基的活性將會被大大地提升。而使用射頻 (radio frequency) 的目的，則是更進一步提高電漿的密度。也因此，為了提高材料沉積的效率，目前已有越來越多的儀器運用了電漿輔助的技術。由於三

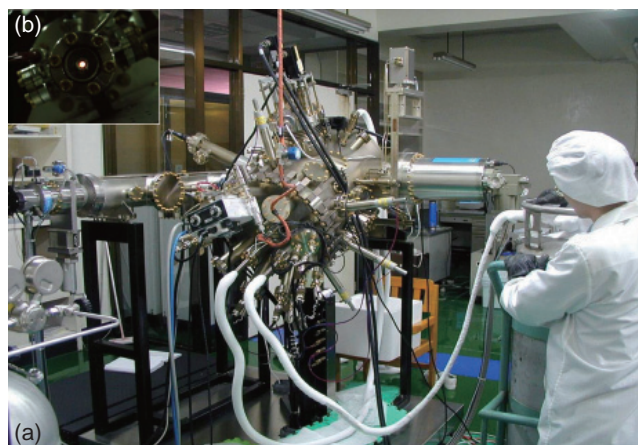


圖 3. 國立中山大學筆者實驗室內的電漿輔助式 (a) 分子束磊晶系統與 (b) 氮氣電漿源。

族-氮化物半導體 (如 GaN) 所受的高度重視，為了追求更高品質的 GaN 磊晶薄膜，有許多成長方式或磊晶設備被運用，例如成長低溫緩衝層 (buffer layer)、側向成長方法 (laterally growth) 等。然而在分子束磊晶設備方面，以射頻電漿輔助式的分子束磊晶 (radio-frequency plasma-assisted MBE)，對於 GaN 的成長有著很大的幫助。有別於傳統 III-V 族半導體 (如 GaAs) 所使用固態材料源的分子束磊晶，或是金屬有機化學氣相沉積 (MOCVD) 的一些缺點，例如：使用固態材料源成長多元化合物時，因為各材料之間化學性質的不同，使得化合物之間的結合，或是溫度的控制上有其難度。再者，以 MOCVD 成長 GaN 的材料源，多為 TMGa 與 NH_3 等較複雜的成分，容易導致薄膜內殘留不必要的元素雜質，而導致薄膜品質變差。電漿輔助式分子束磊晶的優點，就在於不但可以使用氮氣體源，並且加上使其成為電漿態的輔助，使 N_2 分子成為 N 離子，而更有效率地與 Ga 化合成為 GaN。而使用高純度的材料源，也避免了不必要的殘留雜質。圖 3 為國立中山大學筆者實驗室內射頻電漿輔助式分子束磊晶的機台，插圖是氮氣體源產生電漿後發光 (橘黃色) 之情形。目前射頻電漿輔助式分子束磊晶系統不但被應用於氮氣體源電漿態之 GaN 的成長，亦被應用在氧氣體源電漿態 (紫色)，用以成長氧化鋅 (ZnO) 之磊晶薄膜。

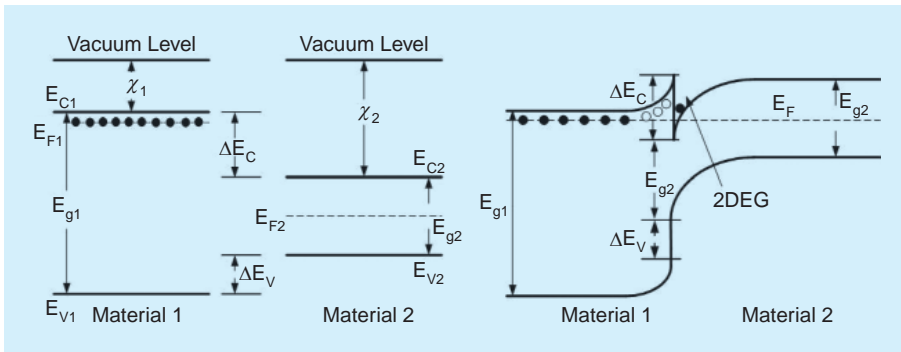


圖 4. 不同能隙的材料 (如 AlGa_xN、Ga_{1-x}N) 個別以及形成異質結構後的能帶圖。

四、以電漿輔助式分子束磊晶成長氮化鎵

1. AlGa_xN/GaN 異質結構之研究

AlGa_xN/GaN 異質結構 (heterostructures) 是為了高電子遷移率電晶體 (high electron mobility transistor, HEMT) 所設計的結構。如圖 4 所示，當兩個不同能隙的異質材料，如 Si-doped AlGa_xN (material 1) 與 undoped Ga_{1-x}N (material 2)，其費米能階處於不同的能量值，當兩者結合而成異質界面，兩材料之費米能階取得平衡後，導帶在界面處會形成一三角位能井，量子侷限效應 (quantum confinement) 使電子被侷限在此位能井中，而形成二維電子氣 (two-dimensional electron gas, 2DEG)，並只能沿著界面在二維方向上運動，如此便大大地降低了電子在三維運動中的散射，使得電子遷移率獲得提升。

筆者實驗團隊在 2002 年，首次在 AlGa_xN/GaN 異質結構之 2DEG 中，發現因電子的自旋軌道作用 (spin-orbital interaction) 產生之零磁場自旋分裂 (spin splitting)，且其能距 $\Delta E = 9 \text{ meV}^{(10)}$ 。然而，目前零磁場之 spin splitting 已經在許多小能隙的半導體異質結構，如 InGaAs/InAlAs 和 InAs/GaSb 中被發現。而此效應是首次在寬能隙之異質結構中發現，且其 9 meV 之自旋分裂能距可被應用於尖端科技 spintronics 之材料⁽¹¹⁾。

近來本研究團隊更以電漿輔助式分子束磊晶成長不同鋁含量之 Al_{1-x}Ga_xN/GaN 異質結構。圖 5(a) 為五塊在成長時通以不同流量的鋁的樣品其 X-ray 繞射圖，圖中可清楚地分辨 AlGa_xN 有不同的峰值，同時也意味以分子束磊晶能準確地掌控異質

結構中的鋁含量，並經由模擬可得知鋁含量對異質界面處的三角位能井的影響，如圖 5(b) 所示，更進一步可研究此處 2DEG 的特性。利用分子束磊晶，我們已可成長高電子遷移率的 AlGa_xN/GaN 異質結構，在 77 K 的溫度下其載子移動率與載子濃度可達到 $19845 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 和 $5.18 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 。圖 6 是以高解析穿透式電子顯微鏡拍攝 AlGa_xN/GaN 異

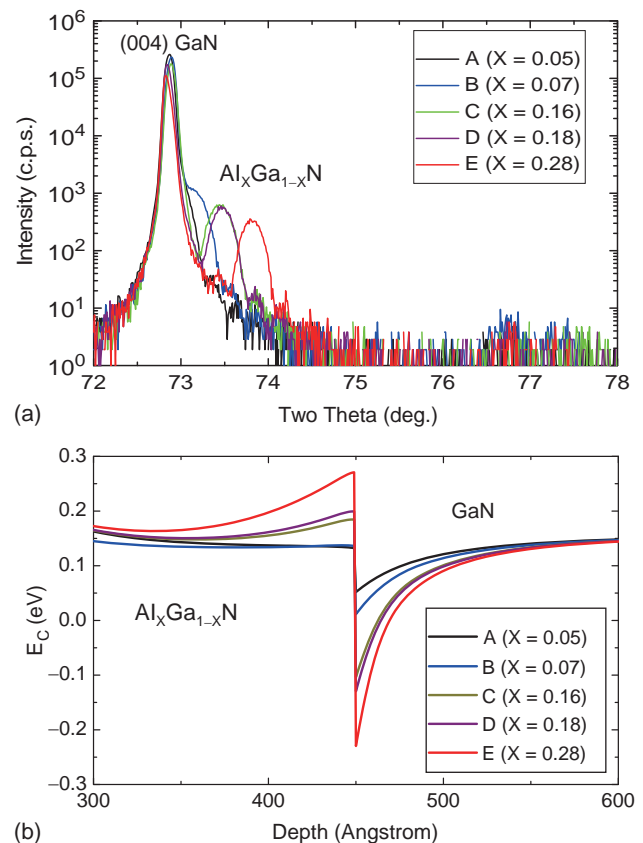


圖 5. (a) 不同鋁含量的 AlGa_xN/GaN 薄膜的 X-ray 光譜圖，(b) 不同鋁含量的 AlGa_xN/GaN 異質結構界面處的模擬能帶圖。

質結構的原子影像，可以清楚地看見明顯且平整的 AlGaIn/GaN 異質結構介面。

2. 氮化鎵微米六角碟與微米六角錐

因為 MBE 的磊晶特性，使得 MBE 很適合於新穎材料的研究與開發。在筆者最近的研究中，以 PA-MBE 在鋁酸鋯基板上成長 GaN。LiAlO₂ 起初是被用來設計成長 *M*-plane GaN，使 wurtzite GaN 以 *M*-plane [1 $\bar{1}$ 00] 的方向成長，為的是消除 *c*-軸 (0001) 上壓電效應產生之內部電場 (piezoelectric field)，以提高光電元件的發光效率。然而，在 LiAlO₂ 的表面氧原子，仍然具有適合 *c*-plane GaN 成長的結構，筆者並且首度成長出結構完美的六角碟與六角錐，圖 7(a) 為收斂式的六角錐側視圖，圖 7(b) 為六角碟，其尺寸甚至達到了 4.48 μm 。陰極射線發光量測 (cathode luminescence measurement) 影像顯示，六角碟明顯有較強之發光強度。

為了解釋六角錐與六角碟如何在基板上生長，我們建構了一套模型，解釋 GaN 如何在 LiAlO₂ 基板上形成如此特別的結構⁽¹²⁾：LiAlO₂ 上的陰離子 O 與 Ga 鍵結後，GaN 即以 [000-1] 方向成長。如圖 8(a)，我們定義沿著 *c*-軸成長方向的鍵為 $\bar{\alpha}$ 鍵，其他方向的鍵為 $\bar{\beta}$ 鍵。在圖 8(b) 中，假設 wurtzite *c*-plane GaN 的第一層七顆 Ga 原子與基板 (O) 鍵結後，隨即產生三組的 trimer $\bar{\beta}$ bonds 以及最外圍三組的 dimer $\bar{\beta}$ bonds 以及六個 $\bar{\beta}$ dangling bonds。當 trimer bonds 與 N 原子鍵結後產生 $\bar{\alpha}$ 鍵，而繼續向上成長 Ga-N bilayer。然而，如圖

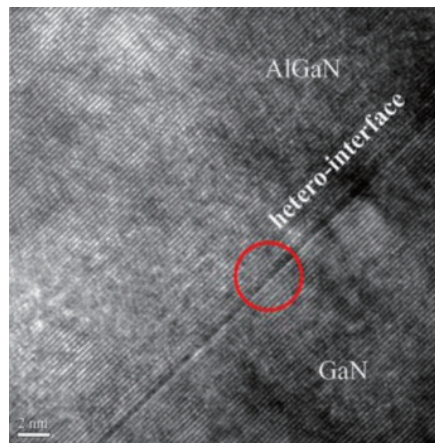


圖 6. HR-TEM 的量測下可清楚地看到以 PA-MBE 成長的異質結構介面。

8(c) 所示，在最外圍的 dimer bonds 和 dangling bonds 卻有可能無法捕獲或是遺失 N 原子，如此一來，晶體便會以收斂式的模式成長而形成六角錐，如圖 8(e) 所示。反之，如果最外層的 dimer bonds 與 dangling bonds 捕捉到了 N 原子，如圖 8(d)，晶體便會以發散式的成長而形成六角碟，如圖 8(f) 所示。依照這個模型來檢視六角碟的結構，當晶體向 [1 $\bar{1}$ 00] 以發散式每成長一個 unit cell 時，向外擴展的長度為 $\sqrt{3}a/2$ (理想 wurtzite GaN 的 *a* 軸為 0.31891 nm，*c* 軸為 0.51853 nm)，所以可以計算出六角碟形狀之發散角度應是：

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}a}{2c} = 28^\circ$$

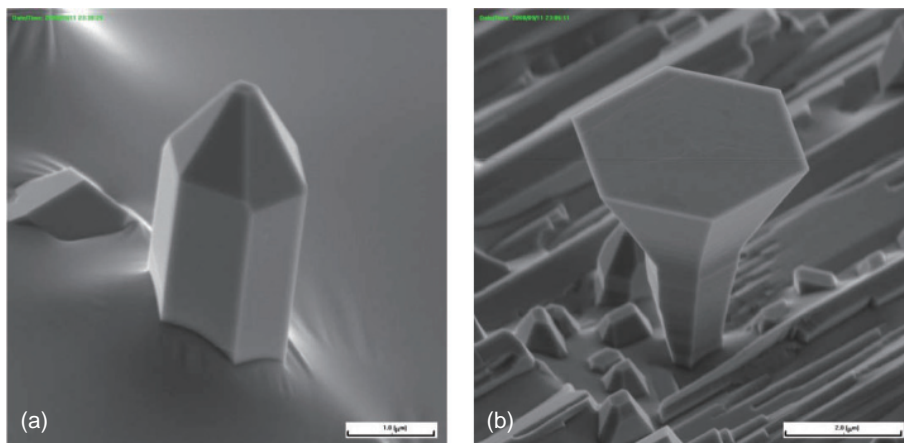


圖 7.

以 PA-MBE 在 LiAlO₂ 基板上成長的 (a) 六角微米錐與 (b) 六角微米碟。

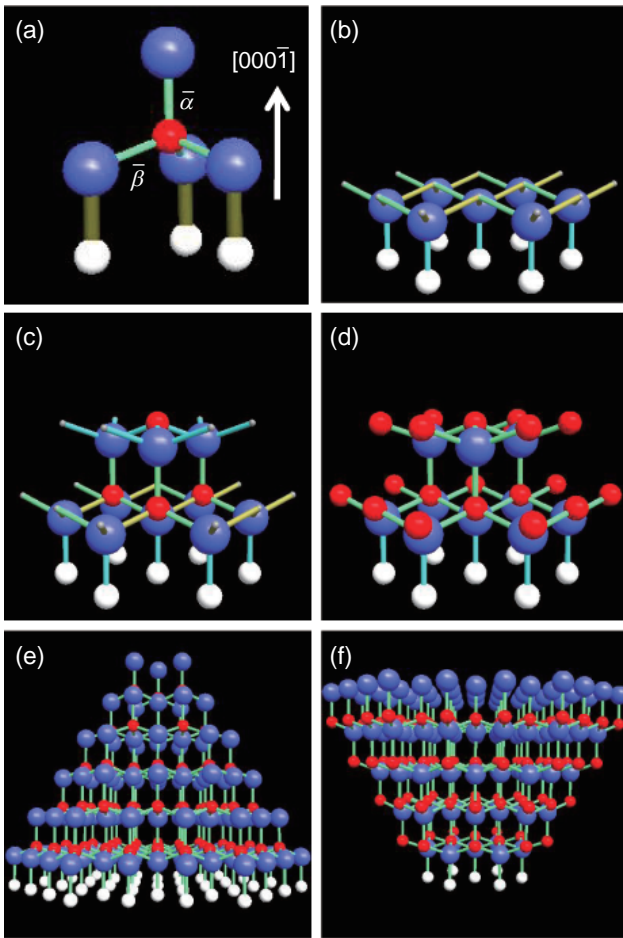


圖 8. GaN 六角錐與六角碟形成機制的原子模型。

另外利用 TEM 的選擇性繞射圖 (select area diffraction, SAD)，可以計算出在 $[000\bar{1}]_{\text{GaN}}$ 與 $[\bar{1}100]_{\text{GaN}}$ 的 d -spacing 分別為 $d_c = 0.5157 \text{ nm}$ 與 $d_M = 0.2755 \text{ nm}$ ，同樣地可以得到同為 $\phi = \tan^{-1}(d_M/d_c) = 28.1^\circ$ 的角度，也證實了此模型的預測。以 PA-MBE 在 LiAlO_2 基板上所成長的六角微米碟，因為具有很好的單晶品質以及三維的成長，我們期望將其應用在發光元件中的效率上有所提升。

五、結語

在本文中筆者介紹了分子束磊晶的基本儀器構造與磊晶原理，以及利用電漿輔助式分子束磊晶成長之 $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ 異質結構，並且由電性的表現以及 HR-TEM 的分析中，指出此異質結構磊晶薄膜

具有非常好的品質。另一方面也以 PA-MBE 在鋁酸鋰基板上成長出世界首見的氮化鎵微米六角碟與微米六角錐，並且提出原子模型，解釋其成長機制。利用電漿輔助式分子束磊晶，我們將能持續地對於三氮族做最先進的研究。

誌謝

感謝國科會高屏地區奈米核心共同實驗室及國立中山大學奈米中心在經費上與測量上之支助。筆者感謝杜立偉教授與謝光宇教授 (現任職旺宏電子股份有限公司研發處處長) 於 1999 年合資在國立中山大學物理系建立電漿輔助式分子束磊晶實驗室。筆者們亦感謝施政宏博士與陳彥良博士生在樣品成長實驗上之協助。

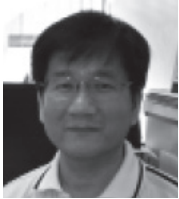
參考文獻

1. S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa, S.-I. Nagahama, T. Yamada, T. Matsushita, Y. Sugimoto, and H. Kiyoku, *Appl. Phys. Lett.*, **70**, 1417 (1997).
2. S. Nakamura, T. Mukai, and M. Senoh, *J. Appl. Phys.*, **76**, 8189 (1994).
3. S. C. Jain, M. Willander, J. Narayan, and R. V. Overstraeten, *J. Appl. Phys.* **87**, 965 (2000).
4. K. G. Guenther, *Z. Naturforsch.*, **13A**, 1081 (1958).
5. J. E. Davey and T. Pankey, *J. Appl. Phys.*, **39**, 1941 (1968).
6. M. A. Herman and H. Sitter, *Molecular Beam Epitaxy: Fundamentals and Current Status*, Springer Series in Materials Science, 7, 1st ed., Berlin: Springer (1988).
7. R. J. Wagner, *Molecular Beam Epitaxy-A Simple Introduction* (1999). <http://www-personal.umich.edu/~wagnerr/IntroMBE.pdf>.
8. F. Rinaldi, *Basic of Molecular Beam Epitaxy*, http://www-opto.e-technik.uni-ulm.de/forschung/jahresbericht/2002/ar2002_fr.pdf
9. W. Braun, *Applied RHEED, Spring Tracts in Modern Physics*, 154, 1st ed., Berlin: Springer (1999).
10. I. Lo, J. K. Tsai, W. J. Yao, P. C. Ho, L.-W. Tu, T. C. Chang, S. Elhamri, W. C. Mitchel, K. Y. Hsieh, J. H. Huang, H. L. Huang, and W. C. Tsai, *Phys. Rev. B*, **65** (Rapid Communications), 161306R (2002).
11. I. Lo, M. H. Gau, J. K. Tsai, Y. L. Chen, Z. J. Chang, W. T. Wang, J. C. Chiang, T. Aggerstam, and S. Lourduoss, *Phys. Rev. B*, **65**, 245307 (2007).
12. I. Lo, C. H. Hsieh, Y. C. Hsu, W. Y. Pang, and M. C. Chou, *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 062105 (2009).



龐文淵先生為國立中山大學物理研究所博士班學生。

Wen-Yuan Pang is a Ph.D. candidate in the Department of Physics at National Sun Yat-sen University.



羅奕凱為美國紐約州立大學水牛城分校物理博士，現為國立中山大學物理系教授。

Ikai Lo received his Ph.D. in physics from the State University of New York at Buffalo, USA. He is currently a professor at the Department of Physics, National Sun Yat-sen University.



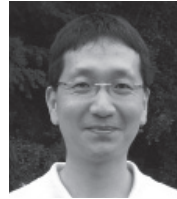
謝佳和先生為國立中山大學材料博士。

Chia-Ho Hsieh received his Ph.D. in physics from National Sun Yat-sen University.



徐鈺淇小姐為國立中山大學物理研究所博士班學生。

Yu-Chi Hsu is a Ph.D. candidate in the Department of Physics at National Sun Yat-sen University.



周明奇為美國佛羅里達大學電子工程博士，現為國立中山大學材料與光電科學系副教授。

Ming-Chi Chou received his Ph.D. in electrical engineering from the University of Central Florida, USA. He is currently an associate professor at the Department of Materials and Optoelectronic Science, National Sun Yat-sen University.