

氮化物氣相磊晶之側向蔓延磊晶成長研究

Investigation of the Epitaxial Lateral Overgrowth by Hydride Vapor Phase Epitaxial Growth

計劃編號：88-2215-E009-038

執行期限：87/08/01~88/07/31

計劃主持人：施敏

國立交通大學電子工程學系

一、中文摘要

我們已經成功的使用 HVPE 方式在 SiO_2 Mask 上沿(1 $\bar{1}$ 00)方向側向蔓延磊晶成長氮化鎵厚膜，其成長速率可達 $20 \mu\text{m/hr}$ 以上，膜厚可達 $50 \mu\text{m}$ 以上而不破裂，載子漂移速度可大於 $120 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

關鍵字：三五族氮化合物、選擇性成長、側向蔓延成長、氮化物氣相磊晶成長

英文摘要

Lateral overgrowth (LOG) of GaN on the SiO_2 mask along the (1 $\bar{1}$ 00) direction using the HVPE method was carried out to obtain a GaN thick film. The growth rate can be higher than $20 \mu\text{m/hr}$, and the thickness can be higher than $50 \mu\text{m}$ without cracking, and the carrier mobility can be higher than $120 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.

Keywords - compound semiconductor, Selective epitaxial growth, Lateral overgrowth, Hydride vapor phase epitaxial growth

二、緣由與目的

III V 族氮化合物的磊晶成長研究由來已久，其優點在於可以有各種不同比例的三元及四元化合物，可以調整能隙寬度、晶格常數及折射率等，故在光電元件及高速元件的應用有相當的潛力，在短波長方光二極體及雷

射二極體都有不錯的表現，並有達到量產程度的元件開發出來。

但其缺點在於基板價格昂貴，造價偏高，且因基板為氧化鋁，和成長的磊晶膜有晶格不匹配的問題，而在 1997 年底，日亞化學公司推出壽命長達一萬小時的藍光雷射二極體，其秘訣便在於降低磊晶膜的缺陷密度，故基板的特性將嚴重影響磊晶膜的品質，故本研究以選擇性成長(Selective Epitaxial Growth: SEG)的技術為出發點，利用氮化物氣相磊晶成長系統(Hydride Vapor Phase Epitaxy Growth: HVPE)的高成長速率為優點，作側向蔓延磊晶成長(Lateral Over-Growth Epitaxy: LOG)的研究，希望能利用側向蔓延成長時，隔絕磊晶層和基板因晶格常數不同，所造成的缺陷的延伸，以期能在較便宜的基板(如矽基板)上，成長出高品質、低缺陷密度的 III V 族化合物磊晶層。本實驗之目的，主要在於建立適用於短波長雷射成長的低缺陷密度單晶基板及其製造技術。

三、研究方法與成果

在本實驗中使用 HVPE 來研究氮化鎵側向蔓延磊晶成長。在鎵金屬中通入 HCl ，使其反應產生 GaCl 作為 III 族原料來源，以 NH_3 當作 V 族原料來源，載流氣體則使用 N_2 與 H_2 。先利用 MOCVD 之方法在 Al_2O_3 基板上先成

長一層 50nm 之低溫氮化鎵 buffer layer，再成長一層 $2\mu\text{m}$ 之氮化鎵，利用 PECVD 之方法在氮化鎵上鍍上一層 100nm 之 SiO_2 作為 mask，再以微影成像術之方法在 SiO_2 上分別沿 $(11\bar{2}0)$ 與 $(1\bar{1}00)$ 二個方向開出溝槽圖案，如圖一所示，溝槽寬度為 $3\mu\text{m}$ ，溝槽與溝槽間距為 $4\mu\text{m}$ 。再將上述之 $2\mu\text{m}$ 氮化鎵做為 HVPE 成長氮化鎵側向蔓延磊晶成長之基板，HVPE 之成長溫度為 1050°C ，成長速率為 $10\sim 50\mu\text{m/hr}$ 。

四、結果與討論

由於 SiO_2 並不會提供晶種給氮化鎵，因此以 HVPE 的方法並不會在 SiO_2 上成長氮化鎵，而僅會由 SiO_2 溝槽內之氮化鎵繼續往上成長，溢出 SiO_2 Mask 後，則在 SiO_2 Mask 上往側向蔓延成長，進而使溝槽與溝槽間側向蔓延成長之氮化鎵連起來，而成為一氮化鎵薄膜。

圖二所示為氮化鎵在 SiO_2 Mask 上延 $(11\bar{2}0)$ 方向側向蔓延磊晶成長之 SEM 側視圖，由圖可看出，氮化鎵溢出 SiO_2 Mask 後，在 SiO_2 Mask 上側向蔓延成長成一三角形狀。而氮化鎵在 (0001) 面之成長速率約為 $70\mu\text{m/hr}$ ，在 $(11\bar{2}0)$ 方向側向蔓延成長速率則約為 $3\mu\text{m/hr}$ ，(0001) 與 $(11\bar{2}0)$ 二個方向之成長速率比例約為 23。由此一現象，我們可判斷，氮化鎵在 $(11\bar{2}0)$ 方向之側向蔓延成長應為 3-D 成長，亦因 3-D 成長過於快速，遠大於側向蔓延成長速率，而使氮化鎵溢出 SiO_2 Mask 後，在 SiO_2 Mask 上側向蔓延成長成一三角形狀。若要溝槽與溝槽間側向蔓延成長之氮化鎵連起來，成為一氮化鎵薄膜實在難以達到，此結果並非我們

所想要得到的。為了改善此一問題，我們另在 SiO_2 上沿 $(1\bar{1}00)$ 方向開出溝槽圖案，重覆實驗。

圖三所示為氮化鎵在 SiO_2 Mask 上延 $(1\bar{1}00)$ 方向側向蔓延磊晶成長之 SEM 側視圖，由圖可看出，氮化鎵溢出 SiO_2 Mask 後，在 SiO_2 Mask 上側向蔓延成長成一長條狀。而氮化鎵在 (0001) 面之成長速率約為 $34\mu\text{m/hr}$ ，在 $(1\bar{1}00)$ 方向側向蔓延成長速率則約為 $31\mu\text{m/hr}$ ，(0001) 與 $(1\bar{1}00)$ 二個方向之成長速率比例約為 1.1，亦即二個方向的成長速率幾乎一致。由此一現象，我們可判斷，氮化鎵在 $(1\bar{1}00)$ 方向之側向蔓延成長有效的抑制 3-D 成長及二次成核效應，而變為 2-D 成長，因此可推斷氮化鎵側向蔓延成長之好壞與成長之方向性有絕對之關係，而以 $(1\bar{1}00)$ 方向側向蔓延成長得到較好之結果，並且將 HVPE 的 V/III 比提高，可將溝槽與溝槽間側向蔓延成長之氮化鎵連起來，成為一氮化鎵厚膜，因側向蔓延磊晶成長可降低氮化鎵與 Al_2O_3 基板之間的應力，可有效避免二者因熱膨脹係數差異而彎曲所造成的破裂。

若以鎢金屬代替 SiO_2 Mask，同樣以微影成像術沿 $(1\bar{1}00)$ 方向開出溝槽圖案，以 HVPE 重覆實驗，我們可得到與 SiO_2 Mask 相同的結果，將氮化鎵連起來，成為一層厚膜，且因其為 2-D 成長，故表面 Morphology 相當平整，如圖四所示。

其成長速率與載子漂移速度的關係如圖五所示，當成長速率增加時，其載子漂移速度會相對的降低，可能是溝槽與溝槽間側向蔓延成長之氮化鎵連起來時，因成長速率過快，產生

擠壓而產生 **dislocation**。當成長速率增加時，在氮化鎵接合處的擠壓程度愈大，而產生愈多的 **dislocation**，相對地，即降低氮化鎵的載子漂移速度。為了兼顧漂移速度與成長速率，可採用兩階段成長的方式，首先，先降低成長速率，讓二邊的氮化鎵連起來，並得到較佳的接合面，之後再提高成長速率，以得到一氮化鎵厚膜。此方式得到之厚膜，其載子漂移速度可達約 $120 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，其厚度可達 $50 \mu\text{m}$ 。

五、結論

我們已經成功的使用 HVPE 方式在 SiO_2 Mask 上延(1 $\bar{1}$ 00)方向側向蔓延磊晶成長出氮化鎵厚膜，其載子漂移速度可達 $120 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上，成長速率可達 $20 \mu\text{m/hr}$ 以上，其厚度可達 $50 \mu\text{m}$ 以上，而不會破裂。因側向蔓延磊晶成長可降低氮化鎵與 Al_2O_3 基板之間的應力，可有效避免二者因熱膨脹係數差異而彎曲所造成的破裂。下一步的課題即是研究如何增加氮化鎵膜厚，而不使厚膜破裂，並進一步將氮化鎵厚膜剝離 Al_2O_3 基板。

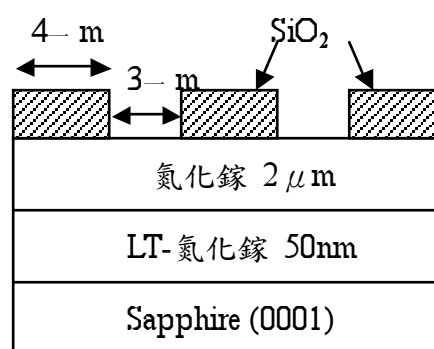
六、參考文獻

- [1] T. Shibata, H. Sone, K. Yahashi, M. Yamaguchi, K. Hiramatsu, N. Sawaki, N. Itoh, J. Crystal Growth, 189/190(1998) 67-71.
- [2] S. Nakamura, T. Mukai, M. Senoh, Appl. Phys. Lett. 64(1994) 1687.
- [3] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, Jpn. J. Appl. Phys. 35(1996) L74.
- [4] S. Kurai, Y. Naoi, T. Abe, S. Ohmi, S. Sakai, Jpn. J. Appl. Phys. 35(1996) 1637.

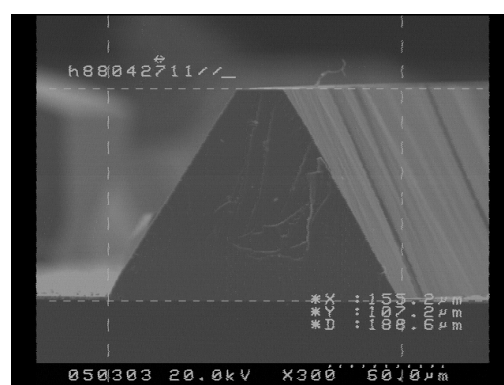
[5] A. Usui, H. Sunakawa, A.A. Yamaguchi, Jpn. J. Appl. Phys. 36(1997) 899.

[6] Y. Kato, S. Kitamura, K. Hiramatsu, N. Sawaki, J. Crystal Growth, 144(1994) 133.

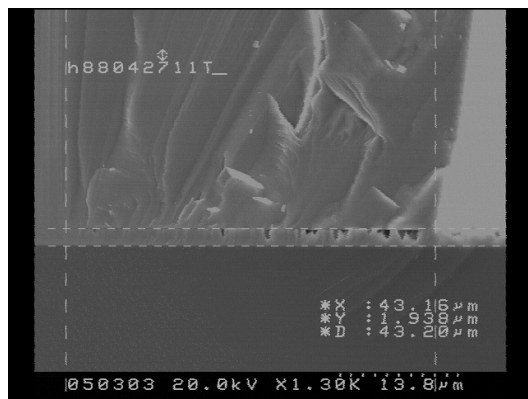
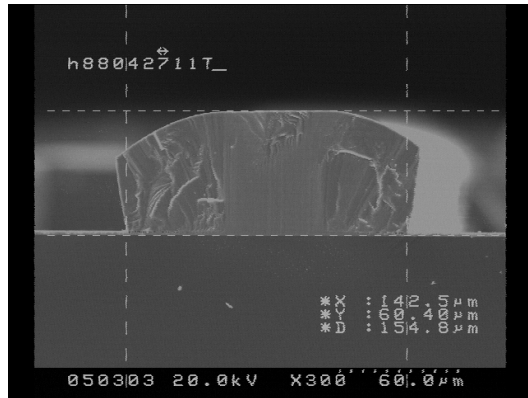
七、圖表



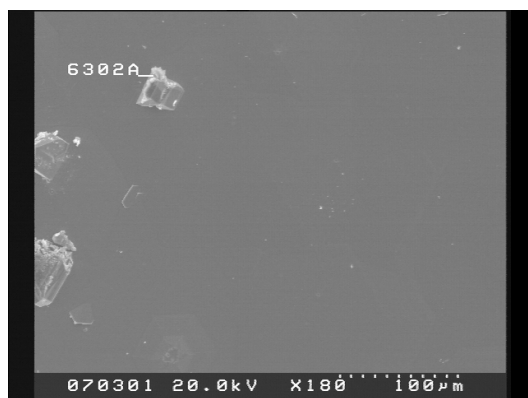
圖一 SiO_2 /氮化鎵/Sapphire 側視圖



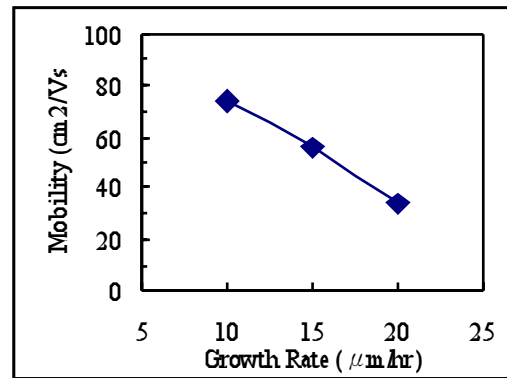
圖二 氮化鎵在 SiO_2 Mask 上延(11 $\bar{2}$ 0)方向側向蔓延磊晶成長之 SEM 側視圖



圖三 氮化鎵在 SiO_2 Mask 上延 $(1\bar{1}00)$ 方向側向蔓延磊晶成長之 SEM 側視圖



圖四 在鎢金屬 Mask 上延 $(1\bar{1}00)$ 方向側向蔓延磊晶成長氮化鎵厚膜之表面 Morphology



圖五 成長速率與載子漂移速度的關係