

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

等價位氮化物元件結構製備與相關物理特性研究(1/2)

Characterizations and fabrications of isoelectronic doped nitride device structures (1/2)

計畫編號：NSC 90-2112-M-009-044

執行期限：90年8月1日至91年07月31日

主持人：陳衛國 執行機構及單位名稱：國立交通大學電子物理系

一、中文摘要

在本研究計畫中，運用蕭基元件，我們發現在氮化鎵中進行銦的等價位元素摻雜後，可使錯位缺陷相關能階的濃度，由背景濃度的18%降低到13%，並且我們發展出對數暫態時間常數的取得方法，發現對應的對數時間常數也由34.45秒改善至13.68秒。在鎂摻雜氮化鎵中進行銦的等價位元素共同摻雜，我們發現樣品的平整度及電洞濃度皆可有效的提升，並且不經過退火的步驟就可產生歐姆接觸。在氮化鎵中進行磷的等價位元素離子佈植，經過快速退火後，我們發現一個由侷限激子躍遷到磷相關電洞缺陷的能帶，並發現電洞侷限能量與激子侷限能量約180及28毫電子伏特。此外，我們也初步進行了氮化鎵量子點的製作。

關鍵詞：有機金屬化學氣相磊晶法、氮化鎵、銦、磷、等價位元素摻雜

Abstract

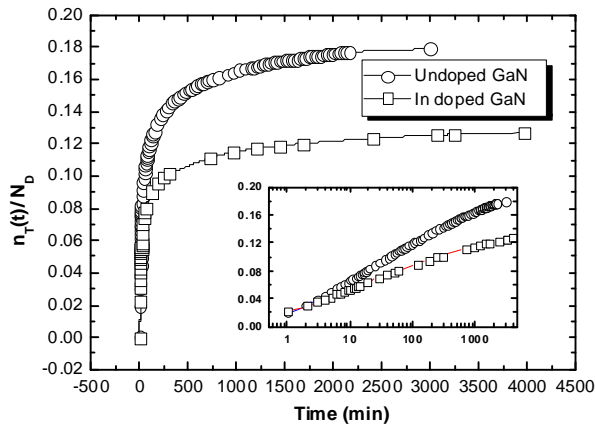
In this study, isoelectronic doping was found to have profound effects on GaN epilayers grown by metalorganic vapor phase epitaxy. When a small amount of In atoms was introduced into the epilayer, the steady state value of photocapacitance retains its logarithmic decay behavior, and

the concentration of correlated to dislocation traps and the logarithmic time constant were improved from 18% to 13% (in unit of its background concentration) and from 34.45 to 13.68 s. With the incorporation of In atoms into the GaN:Mg films, the surface flatness and hole concentration can be improved, and ohmic contact can be formed without any thermal treatment. In the optical characterization of isoelectronic P-implanted GaN films, we found that after rapid thermal annealing, a strong emission band around 430 nm was observed, which is attributed to the recombination of exciton bound to isoelectronic P-hole traps. From the Arrhenius plot, the hole binding energy of ~180 meV and the exciton localization energy of 28 meV were obtained.

Keywords: MOVPE, GaN, isoelectronic doping, In, P, Mg.

二、計畫緣由與目的

雖然近年來關於氮化物半導體材料的研究蓬勃發展，由於晶格不匹配的原因，氮化物磊晶層仍然具有相當高的缺陷密度。已有研究報告指出，深層缺陷能階是一個影響氮化鎵系列元件表現的重要因素[1]，因為一般而言深層能階會導致雷射二極體主動層的非輻射性再結合，進而增加雷射二極體中的截止電流。已有許多方法被應用來提升磊晶的品質，其中等價位元

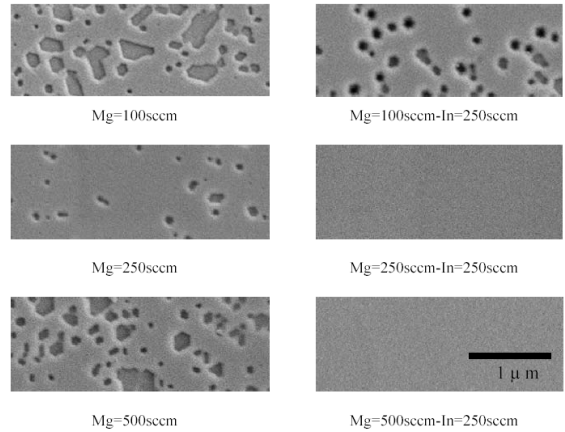


素摻雜，在其他三五族材料中，已被證實是一種可以有效降低背景濃度與錯位密度的方式[2]。因此在本計劃中，我們對在氮化鎵磊晶層中摻雜等價位元素銦及離子佈植等價位元素磷，此一研究課題進行深入研究。我們採用採用二次離子質譜(SIMS)量測，冷激光光譜(PL)量測，拉曼光譜量測，電壓電流(I-V)特性量測、霍爾量測與暫態電容量測，對摻雜銦，佈植磷與未摻雜的氮化鎵薄膜進行研究。

我們的氮化鎵研究中，未摻雜銦的樣品，是以(0001)面的藍寶石材料為磊晶基板，在1100°C下，以低壓MOVPE系統所成長。我們採用NH₃與三甲基鎵來當作氮與鎵的反應源，有摻雜銦的樣品，是以三甲基銦做銦的反應源，鎂摻雜的部分，是以Cp₂Mg做反應源。在蕭基元件製作方面，我們採用電子束蒸鍍法，蒸鍍鎳及鋁做為蕭基界面與歐姆界面的金屬層。磷離子佈植的劑量是每平方公分由10¹⁴到10¹⁶個磷離子，快速退火的條件是攝氏1100度，10到30秒。冷機光光譜的量測，是用325奈米激發光源，及0.5米的分光儀，量測溫度由絕對溫度18到300度。

三、結果與討論

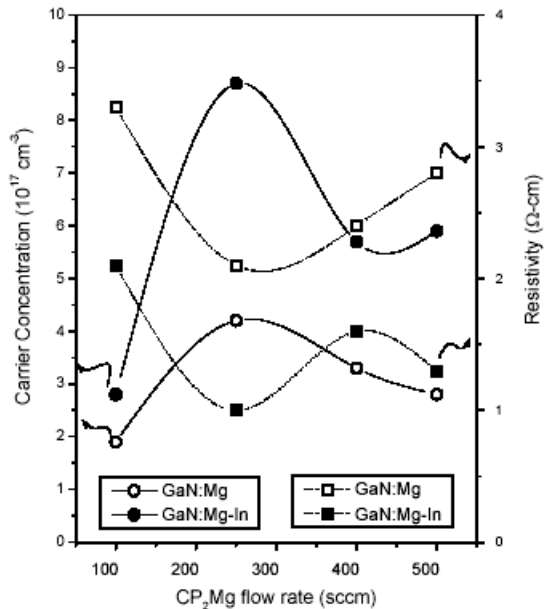
由於銦原子在高溫下的融入率很低，由二次離子質譜量測我們得知，在薄膜中銦原子與鎵原子的數量比小於0.2%。我們對有摻雜銦與未摻雜銦的樣品所製作的蕭基二極體元件進行暫態電容量測，並將其訊號轉換成缺陷的填充率對時間的關係，其結果如左上圖。我們發現在銦原子融入



之後，錯位相關缺陷的濃度由背景濃度的18%降到13%，並且由左上圖的插圖中，我們發現缺陷填充率對時間的關係在銦摻雜後仍是維持對數的形式。分析之後我們發現，對數時間常數，也由摻雜前的34.45秒，改善至摻雜後的13.68秒，顯示銦的等價位元素摻雜，可以減少錯位相關缺陷的生成。

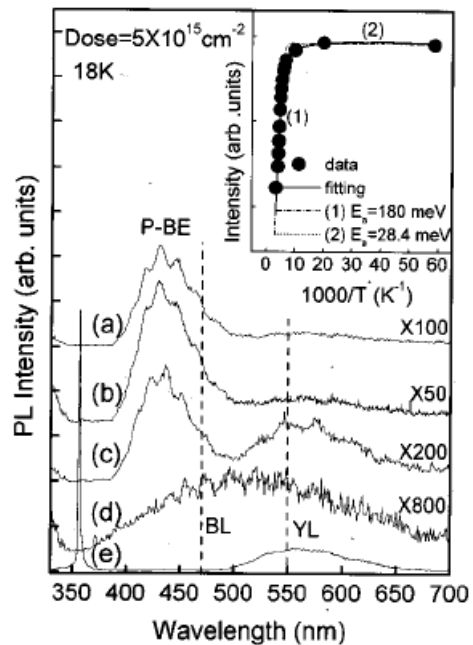
我們在鎂摻雜氮化鎵中，共同摻雜等價位銦元素，我們發現樣品的表面平整度，隨著銦原子的融入會大幅提昇，並且此情形在高鎂流率時尤其顯著，如右上圖所示。表面粗糙度的數值，透過原子力顯微鏡量測結果的計算，由12.2-22.6 Å降低到約4.2 Å的水準。這結果可以歸因於In原子在磊晶界面會有較高的表面遷移率，也可部分歸因於薄膜中應力被減低的結果。由於原子的半徑的大小是In > Ga > Mg，因此In原子的摻雜，會使Mg原子摻雜產生的應力得以抒解。

下頁左上圖是我們對Mg與In共同摻雜的氮化鎵薄膜，經過攝氏750度40分鐘熱退火後，進行Hall量測所得的結果。我們發現電洞濃度剛開始隨著Cp₂Mg流率的增加而上升，後來卻隨之減少。最佳的電洞濃度與電阻率可達8.7×10¹⁷ cm⁻³及1 Ω-cm。顯示Mg與In共同摻雜可以大幅提升氮化鎵薄膜的品質。透過二次離子質譜儀的量測，我們發現樣品中的氫原子濃度，隨著In原子的融入，會有效的減少。文獻中指出，Mg原子的活化效率不高，主要是受到Mg-N-H複合物的影響，因此我們也發現In摻雜使電洞濃度得以提高，有一部份是由造成無法提供電洞的鎂



氮複合物得以減少的原因。

右上圖是我們對氮化鎵薄膜進行五族等價位元素磷離子佈植，在 18K 所量測到的冷機光光譜。圖中 (a) 到 (e) 分別為 RTA30 秒，20 秒，10 秒，未退火，及未離子佈植的結果。我們發現在 430nm 處有一由侷限激子躍遷到磷相關電洞缺陷的能帶，並且由右上圖插圖中的阿瑞尼士圖，我們發現電洞侷限能量與激子侷限能量約 180 及 28 毫電子伏特。

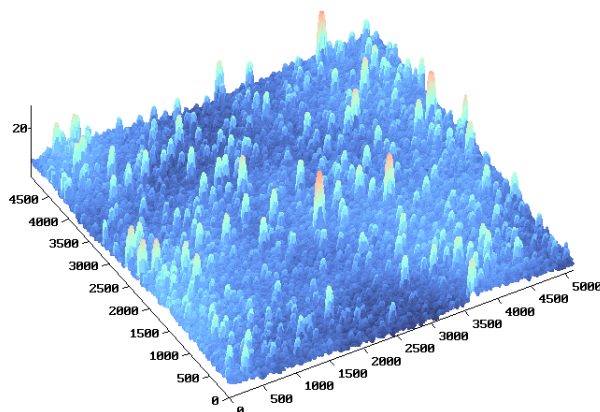


四、計畫成果自評

我們已持續研究銦等價位元素摻雜對 n 型氮化鎵蕭基元件的影響，並將研究推展到 p 型氮化鎵中，並且將摻雜原子的方式與種類，擴展到五族等價位元素的磷離子佈植，並且深入研究其缺陷相關能階與濃度及特性，相關論文也已發表至國際期刊中。

五、參考文獻

- [1] S. Binari, H. B. Dietrich, W. Kruppa, G. Kelner, N. S. Saks, A. Edwards, J. M. Redwing, A. E. Wickenden, and D. D. Koleske, in Proceedings of the Second International Conference on Nitride Semiconductors ICNS'97, Tokushima, Japan, 1997, Japan Society of Applied Physics, p. 476.
- [2] P. K. Bhattacharya, S. Dhar, P. Berger, and f. Y. Juang, Appl. Phys. Lett. **49**, 470 (1986)
- [3] H. Y. Huang, C. H. Chuang, C. K. Shu, Y. C. Pan, W. H. Lee, W. K. Chen, W. H. Chen, and M. C. Lee, Appl. Phys. Lett. **80**, 3349 (2002)



上圖是我們在成長氮化鎵量子點，運用原子力顯微鏡，所測得量測結果。目前仍然在進行最佳的量子點成長條件，以及量子點尺寸控制技術的研究。在完成量子點的製作後未來我們也會將等價位元素摻雜，運用在氮化物量子點元件中，探討等價位元素對氮化物量子點元件光電特性的影響。