

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

GaN/GaInN 量子結構及藍紫光雷射二極體研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2112-M-009-027-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系

計畫主持人：李威儀

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 30 日

# 中文摘要

關鍵詞：氮化鎵，氮化銦鎵，雷射二極體

目前常用且可供GaN磊晶之基板為Basal plane (c-face)的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板，但是在Basal plane的Sapphire基板中具有最低剪力(shear strength)之晶面並不與晶片表面垂直，所以增加了使用自然劈裂鏡面製作GaN/GaInN  $\text{Al}_2\text{O}_3$  藍紫光Laser diode之困難。

本研究主要目的是為了克服上述困難，研究並製作具有良好特性之劈裂面，以提供製作藍紫光 GaN/GaInN 雷射二極體之技術。在此研究中我們使用有機金屬氣相磊晶(MOCVD)技術成長約  $4\mu\text{m}$  之 GaN 薄膜用以模擬 Laser Diode 結構，並使用 Ti/Al/Ti/Au 之金屬發展晶片黏著技術(Wafer bonding)，將磊晶薄膜與  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板黏著在(100)之 GaAs 基板上，再使用 YAG Laser 將約  $4\mu\text{m}$  厚之 GaN 磊晶薄膜剝離與  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板剝離，並黏著在 GaAs 基板上。

因為 GaAs 最小剪力之晶格與晶片表面垂直，因此可以利用晶格本身之特性進行晶面劈裂製程，如此與 GaAs 黏著良好之  $4\mu\text{m}$  GaN 薄膜會沿 GaAs 晶面劈裂，本研究利用此方法已經可以成功獲得劈裂面平整度良好之劈裂面。

# Abstract

Keyword : GaN , GaInN , Laser diode

Due to the common substrate for the hetero-epitaxy of GaN is c-plane  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Basal plane sapphire). In basal plane sapphire the cleave planes with the lowest shear strength are not perpendicular to the wafer surface. This is a big challenge for GaN/GaInN Laser diode to fabricate good cleave facet.

In this study we use a novel method to fabricate a cleave facet with low roughness and low defect densities. This technology is suitable for GaN/GaInN blue and purple laser diode. We use MOCVD to growth  $4\mu\text{m}$  GaN film to simulator laser diode structure and evaporate Ti/Al/Ti/Au on sapphire to bond with (100)GaAs substrate. Then we use YAG plus laser to separate sapphire and  $4\mu\text{m}$  GaN film. Now the 4mm GaN film were bonded on GaAs substrate.

Because of the GaAs cleave plane with lowest shear strength are perpendicular to wafer surface, we can use the characteristic to cleave the GaAs substrate. Then we cleave the GaAs substrate with  $4\mu\text{m}$  GaN film on it and got the good quality cleave facet of GaN film.

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## GaN/GaInN 量子結構及藍紫光雷射二極體研究

計畫編號：NSC 92-2112-M-009-027-

執行期限：2003年08月01日至2004年07月31日

主持人：李威儀 教授 國立交通大學電子物理研究所

### 一、摘要

目前常用且可供GaN磊晶之基板為Basal plane (c-face)的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板，但是在Basal plane的Sapphire基板中具有最低剪力(shear strength)之晶面並不與晶片表面垂直，所以增加了使用自然劈裂鏡面製作GaN/GaInN  $\text{Al}_2\text{O}_3$  藍紫光Laser diode之困難。

本研究主要目的是為了克服上述困難，研究並製作具有良好特性之劈裂面，以提供製作藍紫光GaN/GaInN 雷射二極體之技術。在此研究中我們使用有機金屬氣相磊晶(MOCVD)技術成長約 $4\mu\text{m}$ 之GaN薄膜用以模擬Laser Diode結構，並使用Ti/Al/Ti/Au之金屬發展晶片黏著技術(Wafer bonding)，將磊晶薄膜與 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板黏著在(100)之GaAs基板上，再使用YAG Laser將約 $4\mu\text{m}$ 厚之GaN磊晶薄膜剝離與 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板剝離，並黏著在GaAs基板上。

因為GaAs最小剪力之晶格與晶片表面垂直，因此可以利用晶格本身之特性進行晶面劈裂製程，如此與GaAs黏著良好之 $4\mu\text{m}$  GaN薄膜會沿GaAs晶面劈裂，本研究利用此方法已經可以成功獲得劈裂面平整度良好之劈裂面。

### 二、簡介

目前製作藍紫光雷射二極體面臨到許許多多的技術挑戰，除了將材料發光效率提昇以及有效降低起振電流外，如何製作品質良好的劈裂鏡面也是相當重要且有待突破的技術瓶頸。

製作雷射二極體，鏡面反射之形成為產生雷射的關鍵術之一，因為GaN材料本身屬於高能隙的半導體材料，GaN理論的折射係數為 $n=2.5$ ，因此即使在劈裂面之平整度非常完美的情況下，其反射率都只有18%，因此其劈裂鏡面之平整度只要有20nm之粗糙度就會使的雷射模之反射率下降。但是目前被廣泛用來製作GaInN/GaN藍紫光雷射二極體之GaN材料其 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板為(0001)晶面，此一晶面之晶格劈裂面並不與晶片表面垂直，因此無法利用自然劈裂之方法製作成長在(0001)Sapphire上之GaN劈裂面。

目前有許多研究團隊提出解決方案，圖一指出不同技術製作劈裂鏡面其平整度與相對反射率之關係圖。

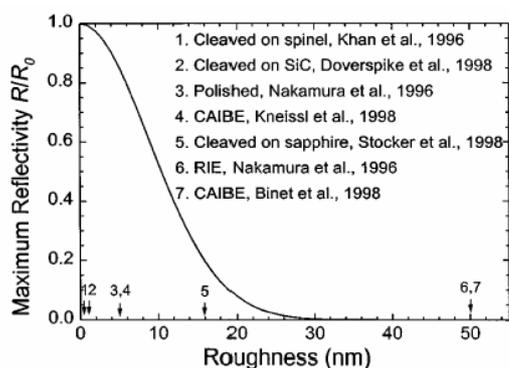
第一種方式為利用乾式蝕刻具高度方向性之特性製作劈裂面(如早期的Nichia藍紫光雷射便是使用這種製程製作)，但是利用蝕刻方式所製作之劈裂面，常常因為製程之變異如溫度、氣氛、電漿濃度、加速電壓及壓力等因素。而導致劈裂鏡面平整度不良並

且具有傾斜角，這些特性都將影響 Laser Diode 的性能表現，如圖三(a)。

第二種製作劈裂鏡面之方法為改變 Sapphire 基板之晶格面，使用 a-plane 之晶面作為基板成長 GaN 薄膜，再使用垂直劈列方式來獲得鏡面，但是使用此方法製作之劈裂鏡面會有許多的缺角及缺陷，但此劈裂鏡面仍適合製作低功率之 Laser Diode，如圖三(b)。

此外國外亦有研究團隊使用第三種方式使用 SiC 與 GaN 厚膜做為磊晶之基板，將 GaN/GaInN 雷射結構成長在 SiC 及 GaN 基板上，因為 SiC 與 GaN 基板之最小剪力晶面與晶片表面垂直，且可以對準，因此可以成功製作出品質良好之劈裂鏡面。但是因為目前品質良好且可供使用之 SiC 及 GaN 基板不易取得，且價格昂貴，所以使用並不普及。

本研究之目的即為了改善上述製程上之缺點，使劈裂鏡面更容易製作，且相容於目前之磊晶技術。因此本研究使用晶片黏著技術，將 GaN 薄膜黏著並分離於(100)面之 GaAs 基板上，利用 GaAs 晶面具有容易劈裂之特性，使黏著於 GaAs 基板上之 GaN 薄膜可以順利劈裂。

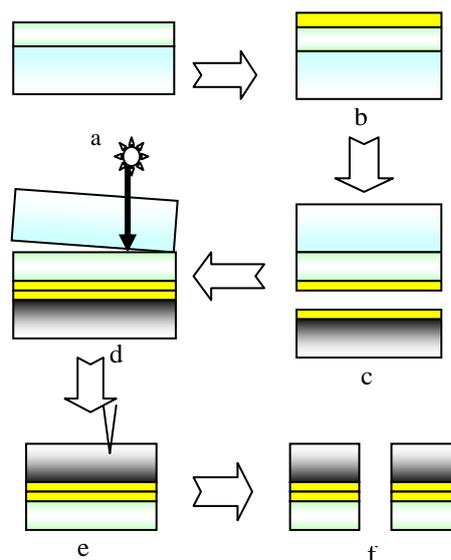


圖一、GaN 劈裂面之平整度與反射率之關係圖，其中包含不同之基板與劈裂面製作方式。

### 三、製作 GaN/GaAs 自然劈裂鏡面

在本研究中我們使用 Veeco D180

在 c-plane (0001) 之  $Al_2O_3$  基板上成長約  $4\mu m$  之 GaN 薄膜，再使用 E-Gun 在晶片正面蒸鍍 Ti/Al/Ti/Au 之合金。同時取一片晶面(100)之 GaAs 基板，同樣使用 E-Gun 在 GaAs 晶片正面蒸鍍 Ti/Al/Ti/Au 合金。此時將此兩片晶片在 380 磅壓力及  $350^\circ C$  溫度下，在真空中加壓使兩片晶片因為合金在高壓下融合而黏著在一起。因為 GaN 薄膜屬於 wurtzite 晶格結構，而 GaAs 屬於 Cubic 結構，因此在進行晶片黏著時，必須將晶片旋轉  $30^\circ$ ，使兩材料間具最低剪力之晶格劈裂面可以對準在一起。經過晶片黏著之晶片再使用 YAG 脈衝雷射以 18mJ 之能量由  $Al_2O_3$  基板



圖二、GaAs/GaN wafer bonding 劈裂面製程示意圖。(a)成長  $4\mu m$  GaN(b)蒸鍍 Ti/Al/Ti/Au 合金(c)加壓與 GaAs 基板黏著(d)YAG plus laser lift-off(e)使用鑽石刀畫線(f)使用劈裂刀將晶片劈裂

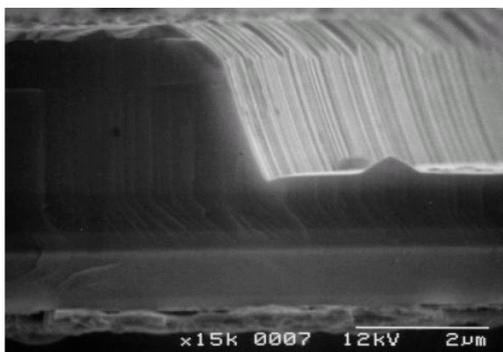
表面以掃描方式將  $Al_2O_3$  基板剝離，此時  $4\mu m$  厚之 GaN 薄膜已經與 GaAs 基板緊密黏著在一起。

黏著完成之晶片，再使用鑽石劃線設備在 GaAs 基板上沿著晶格面劃線，並利用 Cleave 刀片沿著已經使用

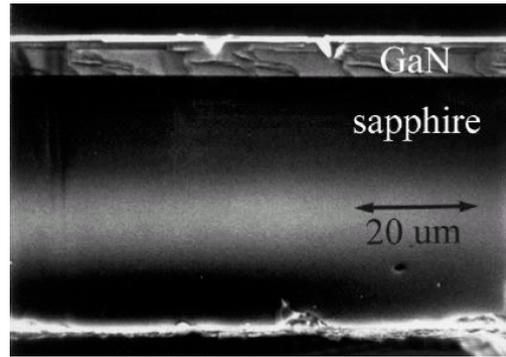
鑽石刀畫線之晶片施力，因為 GaAs 晶面與 GaN 晶面已經對準且緊密黏著在一起，因此 GaAs 基板與 GaN 薄膜將會沿著晶面劈裂開來，而形成缺陷密度低、高平整度之 GaAs/GaN 劈裂晶面。

#### 四、結果與討論

要使 GaN/GaInN 雷射二極體具有較高的光增益除了需要靠品質良好之晶體材料外，其另外一個重要的因素是需要一個平整且垂直之劈裂鏡面。但是在 GaN/GaInN 材料系統中，要製作品質良好之垂直劈裂面並不是件容易的事，尤其是成長在 C-plane  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板上之 GaN/GaInN 雷射二極體，因此便由許多研究團隊提出不同的解決方案，如圖所示，(a)為使用乾式蝕刻方式將雷射二極體所需之晶面石刻形成，但因為許多製程參數如壓力、溫度及氣體成分所影響，容易造成許多缺陷及傾斜角，使得鏡面反射率下降。(b)為使用 a-plane  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板成長 GaN 材料，經過  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板減薄至  $100\mu\text{m}$  以下後，再利用劈裂方式將鏡面製作出來，但因為晶格特性的關係，使得在 GaN 表面會有 V 型缺陷及少許之平整度不佳的問題。



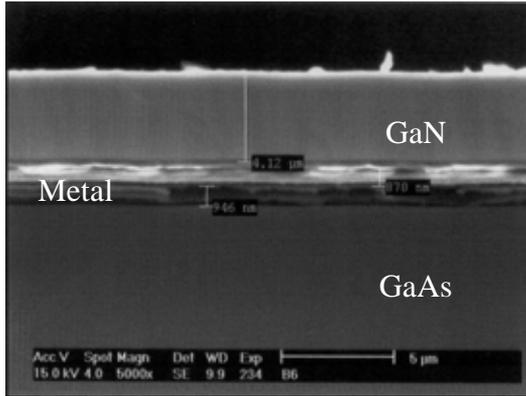
(a)



(b)

圖三、(a).使用 RIE 蝕刻 GaN 形成鏡面，經過至成最佳化後，其切面仍會有  $4-5^\circ$  之傾斜面。(b).成長在 a-plane  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板上之 GaN 進行劈裂製程，其表面會有許多之 V 型缺陷。

在本研究中，我們使用晶片黏著技術，將成長在 C-plane  $\text{Al}_2\text{O}_3$  上之 GaN 材料黏著在 GaAs 基板上，再利用雷射剝離(Laser lift-off)技術將  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板剝離，此時 GaN 薄膜與 GaAs 基板緊密黏著在一起，因此我們便可以利用目前 GaAs 雷射半導體中相當成熟之鏡面劈裂技術，將鏡面製作出來。因為 GaAs 之晶格為 Cubic 因此在(100)面具有最小剪力之晶面與晶片表面垂直，且僅有少數可劈裂鏡面之晶面，所以可以輕易將 GaAs 晶片劈裂。因此只要將 GaN 晶格面與 GaAs 晶格對準，就可以將自然劈裂之鏡面製作出來。圖四為使用上述方式製作出之鏡面，以掃描式電子顯微鏡觀測其切面之情形。圖中可以清楚的看出在切面上 GaN 薄膜之平整度相當良好，且在鏡面上並無如使用 a-plane  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板所產生之 V 型缺陷。



圖四、利用表面黏著技術及雷射剝離技術將 GaN 與 GaAs 黏著後再劈裂形成自然劈裂鏡面。

## 五、結論

使用晶片黏著技術及雷射剝離技術將成長在 c-plane  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板上之 GaN 薄膜與 GaAs 基板黏著後再劈裂製作鏡面已經在本研究中實現，並可製作出平整度良好且低缺陷密度之劈裂鏡面。

## 六、參考文獻：

- [1] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, and Y. Sugimoto, "InGaN-Based Multi-Quantum-Well-Structure Laser Diodes," *Japanese Journal of Applied Physics (Part 2)*, vol. 35, pp. L74-L76, 1996.
- [2] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, Y. Sugimoto, and H. Kiyoku, "Room temperature continuous-wave operation of 35 InGaN multi-quantum-well structure laser diodes," *Applied Physics Letters*, vol. 69, pp. 4056-4058, 1996.
- [3] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Umemoto, M. Sano, and K. Chocho, "InGaN/GaN/AlGaN-based laser diodes with cleaved facets grown on GaN substrates," *Applied Physics Letters*, vol. 73, pp. 832-834, 1998.
- [4] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Umemoto, M. Sano, and K. Chocho, "Highpower, long-lifetime InGaN/GaN/AlGaN-based laser diodes grown on pure GaN substrates," *Japanese Journal of Applied Physics, Part 2 (Letters)*, vol. 37, pp. L309-312, 1998.
- [5] M. Asif Khan, C. J. Sun, J. W. Yang, Q. Chen, B. W. Lim, M. Zubair Anwar, A. Osinsky, and H. Temkin, "Cleaved cavity optically pumped InGaN-GaN laser grown on spinel substrates," *Applied Physics Letters*, vol. 69, pp. 2418-2420, 1996.
- [6] D. A. Stocker, E. F. Schubert, W. Grieshaber, K. S. Boutros, and J. M. Redwing, "Facet roughness analysis for InGaN/GaN lasers with cleaved facets," *Applied Physics Letters*, vol. 73, pp. 1925-1927, 1998.
- [7] A. Alemu, B. Gil, M. Julier, and S. Nakamura, "Optical properties of wurtzite GaN epilayers grown on A-plane sapphire," *Physical Review B (Condensed Matter)*, vol. 57, pp. 3761-3764, 1998.
- [8] S. Nakamura, M. Senoh, S. I. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, I. Umemoto, M. Sano, and K. Chocho, "InGaN/GaN/AlGaN-based laser diodes grown on GaN substrates with a fundamental transverse mode," *Japanese Journal of Applied Physics, Part 2 (Letters)*, vol. 37, pp. L1020-1022, 1998.
- [9] Z. L. Liao and D. E. Mull, "Wafer fusion: A novel technique for optoelectronic device fabrication and monolithic integration," *Applied Physics Letters*, vol. 56, pp. 737-739, 1991.
- [10] A. T. Ping, I. Adesida, and M. A. Khan, "Study of chemically assisted ion beam etching of GaN using HCl gas," *Applied Physics Letters*, vol. 67, pp. 1250-1252, 1995.
- [11] I. Adesida, A. T. Ping, C. Youtsey, T. Dow, M. Asif Khan, D. T. Olson, and J. N. Kuznia, "Characteristics of chemically assisted ion beam etching of gallium nitride," *Applied Physics Letters*, vol. 65, pp. 889-891, 1994.
- [12] M. P. Mack, G. D. Via, A. C. Abare, M. Hansen, P. K. Kozodoy, S. Keller, J. S. Speck, U. K. Mishra, L. A. Coldren, and S. P. DenBaars, "Improvement of

- GaNbased laser diode facets by FIB polishing,” *Electronics Letters*, vol. 34, pp. 1315- 1316, 1998.
- [13] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, and Y. Sugimoto, “InGaN multi-quantum-well-structure laser diodes with cleaved mirror cavity facets,” *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 35, pp. L217-L220, 1996.
- [14] R. K. Sink, A. C. Abare, P. Kozodoy, M. P. Mack, S. Keller, L. A. Coldren, S. P. DenBaars, and J. E. Bowers, “Pulsed Operation of Cleaved-Facet InGaN Laser 39 Diodes,” presented at Materials Research Society Fall Meeting 1997, Boston, MA, 1997.
- [15] A. C. Abare, M. P. Mack, M. Hansen, R. K. Sink, P. Kozodoy, S. Keller, J. S. Speck, J. E. Bowers, U. K. Mishra, L. A. Coldren, and S. P. DenBaars, “Cleaved and Etched Facet Nitride Laser Diodes,” *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 4, pp. 505-509, 1998.