

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫五：用晶圓接合與溼式蝕刻方式來剝離側向覆蓋生長 之氮化鎵磊晶層(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2216-E-009-012-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學材料科學與工程學系

計畫主持人：吳耀銓

計畫參與人員：彭韋智，彭顯智，劉柏鈞，林廷正

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 25 日

【光資訊關鍵性材料製程與性質研究-子計畫五：

用晶圓接合與溼式蝕刻方式來剝離側向覆蓋生長之氮化鎵磊晶層(2/3)】

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2216 - E - 009 - 012 -

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

計畫主持人：吳耀銓

共同主持人：

計畫參與人員：彭韋智，彭顯智，劉柏鈞，林廷正

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學材料科學與工程學系

中 華 民 國 93 年 5 月 日

一、摘要

1. 中文摘要

關鍵詞：氮化鎵，晶圓接合，異質磊晶，藍寶石，側向覆蓋生長。

本計畫主要的目的在於解決氮化鎵(GaN)薄膜異質磊晶(heteroepitaxial)於藍寶石(sapphire)基材所衍生的許多問題。期望藉由晶圓接合(wafer bonding)搭配濕式蝕刻(wet etching)於側向覆蓋生長磊晶片(ELOG GaN)上，轉移氮化鎵磊晶層於它種基板上。

在前一年(第一年)的計畫中，我們發現由於在ELOG GaN上之遮罩層(mask)僅剩300-500埃(Å)，蝕刻液很難有效的移除晶圓接合後的遮罩層。在這一年(第二年)的計畫中，我們先將ELOG上之遮罩層蝕刻後，在與晶圓接合，然後再移除藍寶石基材。此外，長在GaAs基板的AlGaInP LED結構，也被用來模擬轉移到Cu基板之效果。

2. 英文摘要

Keywords : gallium nitride, sapphire, wafer bonding, heteroepitaxial, mask layer, epitaxial lateral overgrowth, epitaxy layer transfer.

This project was designed to solve the heteroepitaxial growth of GaN on the sapphire substrate. By selective wet etching of mask of the epitaxial lateral overgrowth (ELOG) GaN and bonding with other handle wafers, the ELOG GaN layers were transferred to handle wafers.

二、前言及研究目的

氮化鎵具有優越的光電特性，且當其與氮化鋁(AlN)、氮化銦(InN)等化合物混合生長時可使能階由2.0eV連續改變至6.3eV。幾乎涵蓋了所有可見光的範圍，造成近年產官學界均投入大量的資源進行相關的研究。然而，受限於熱力學需高溫高壓生長的先天限制，截至目前，大尺寸品質良好的氮化鎵塊材晶體，尚很難取得。因此目前商業用途的氮化鎵材料都是經由氣相沈積(vapor phase deposition)於非氮化鎵之氧化鋁基板上。但藍寶石本身的材料特性也使得氮化鎵材料的應用發展受到了限制，例如：

1. 藍寶石導熱性質不佳，元件容易產生Joule heating的效應，這不僅使元件效能變差，更使得元件的壽命與與可靠性減低。
2. 藍寶石本身是不導電的材料，使得兩電極之結構均必須鍍於元件作用層之上方。也正因基板不導電造成此元件之特殊結構，使得製作氮化鎵發光二極體的過程必須多一道微影蝕刻的步驟，將氮化鎵磊晶層表面之部份P型區域去除，露出N型氮化鎵磊晶層，如此才可以於同一

面同時獲得 P 型與 N 型氮化鎵之半導體表面。但由於氮化鎵具備半導體材料當中鍵結最強的離子性，相對於傳統三五族半導體材料對於蝕刻液顯得較為鈍態，因此必須使用乾式的方式（如 ECR-RIE 與 ICP-RIE）進行氮化鎵的蝕刻製程，但使用乾式蝕刻氮化鎵還有光阻去除不易以及易損傷磊晶層品質等問題，進而影響元件的量產品質。由此可知，氮化鎵的不導電基板不僅增加元件製程複雜度並使得製造良率下降，還必須犧牲部分發光的作用層（active layer）供 N 型電極所用，降低了元件單位面積的發光亮度。

3. 製作氮化鎵發光二極體時，藍寶石基材必須有一定厚度（一般 $> 300 \mu\text{m}$ ）以避免因高溫而產生的變形。但因藍寶石的硬度過高（其莫氏硬度為 9），使得元件製作完成後不易進行 dicing，又因為藍寶石晶體對稱性的影響，造成使用傳統 dicing saw 的切割方式會損失較大面積的磊晶層，且切割刀具的磨損量也會增加並導致生產成本增加。切割過程中的藍寶石不規則崩裂也使我們無法得到想要的晶粒形狀，造成生產良率降低。
4. 由於藍寶石與氮化鎵晶格常數的不匹配和熱膨脹係數的差異極大，導致磊晶生長時氮化鎵薄膜的缺陷如差排、疊差等等...密度甚高。在藍寶石與氮化鎵界面處的差排（dislocation）密度常高達 10^{10}cm^{-2} 以上，並且會延伸到元件結構之上。磊晶缺陷的存在容易使作用層失效並大幅的降低元件的特性。

透過晶圓接合技術，則可以將氮化鎵薄膜轉移到導電性和導熱性較佳的其他材料基板上。

本實驗室在第一年的計畫中，發現由於在 ELOG GaN 上之遮罩層（mask）僅剩 $300\text{-}500\text{\AA}$ （原本為 1000\AA ），蝕刻液很難有效的移除晶圓接合後的遮罩層。在這一年的計畫中，利用長出未密合的 ELOG 的 GaN，將 ELOG 上之遮罩層蝕刻後，在與晶圓接合，然後再移除藍寶石基材。

此外，長在 GaAs 基板的 AlGaInP LED 結構，也被用來模擬轉移到 Cu 基板之效果。

三、研究方法

在氮化鎵側向覆蓋成長法當中，會鍍覆數百至 $1,000\text{\AA}$ 的 SiO_2 遮罩層（mask）。經由一般的 IC 蝕刻方式，蝕刻出條狀的遮罩層。在經由氣相沈積出未密合的 ELOG GaN。以上部分，是由廠商製造。我們將 ELOG 上之遮罩層蝕刻後，在與晶圓接合，然後再移除藍寶石基材。

由於現階段所得之 ELOG GaN 非發光的 LED 結構。為證明晶圓接合及轉移基板之效果。所以我們拿，長在 GaAs 基板的 AlGaInP LED 結構，轉移到 Cu 基板，來作模擬。其中，ITO 層被拿來當作 current-spreading 與中間接合介質。經過在無塵室清洗後，放在 Ar 氣氛中，在 400°C 至 600°C 接合 30 分鐘。

三、結果與討論

1. ELO GaN 之晶圓接合及分離

在 SiO_x 的遮罩層移去後，ELO GaN 與 Cu 基板在 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 進行接合。冷卻後，於 Sapphire 基板上易有 crack 產生，如圖（一）所示。其原因可能是在冷卻時，Sapphire 與 Cu 之熱膨脹係數之差異 ($\text{Sapphire} = 7.5 \times 10^{-6}/\text{K}$; $\text{Cu} = 16.8 \times 10^{-6}/\text{K}$) 而產生熱應力。施予適當之剪應力，可將基板分開。若先以淬火之方式增加薄膜間的應力，再加上適當之剪應力，可得到較佳之分離效果，如圖（二）所示。

最後，為了判斷 bonding 對薄膜之特性是否有影響，藉由 PL 光譜圖發現 bonding 前後之 FWHM 並無改變，但 bonding 後之試片有 blue shift 的現象產生，其原因可能為於氮化鎵結接合於銅基板，因降溫時氮化鎵薄膜之熱膨脹係數分別小於銅與藍寶石基板，而產生壓縮應力所致。

2. AlGaInP LED 結構轉移到 Cu 基板

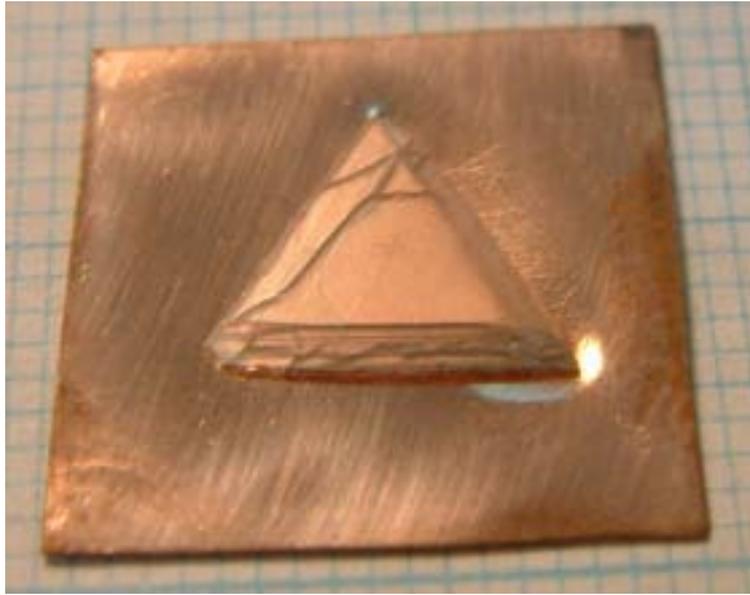
我們發現，當溫度低於 400°C 時，樣品無法接合，溫度若高到 600°C 的話，銅又會滲透 ITO 層，導致 LED 的結構遭到破壞。在 500°C 下加熱 30 分鐘，銅尚不會穿透 ITO 層，而樣品又可以順利接合。轉移後的試片如圖（三）所示。由於銅具有較高的熱導率及較低的熱阻抗，因此散熱的效果較佳。如圖（四）所示，比起傳統的 GaAs 基板的 LED，銅基板 LED 的操作電流可以高達 800 mA ，而其發光峰值強度可高達 1230 mcd 。該系統於室溫下連續以 20 mA 的電流操作 500 個小時後，其發光強度衰減的幅度不到 5%。詳見我們在 Applied Physics Letters 發表之論文。[1]

三、未來的方向

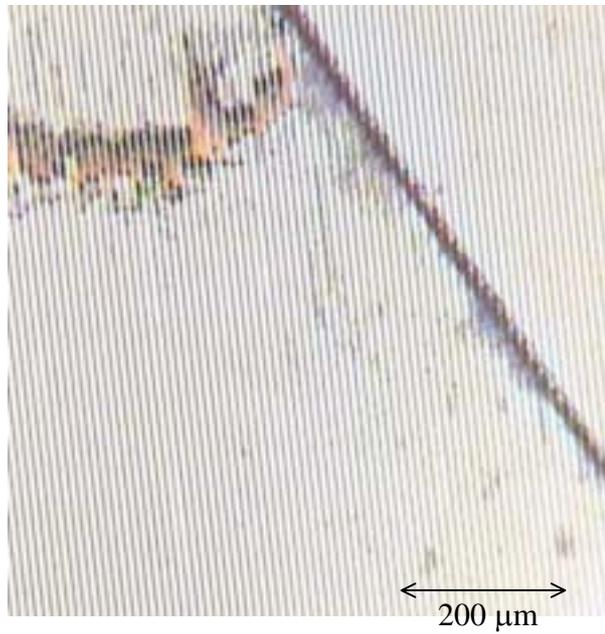
- (1) 請合作的單位廠商提供 LED 或 LD 結構之 ELO GaN。
- (2) Cu 基板之切割。
- (3) 不同之導電/導熱基板，以利試片之切割。

四、參考文獻

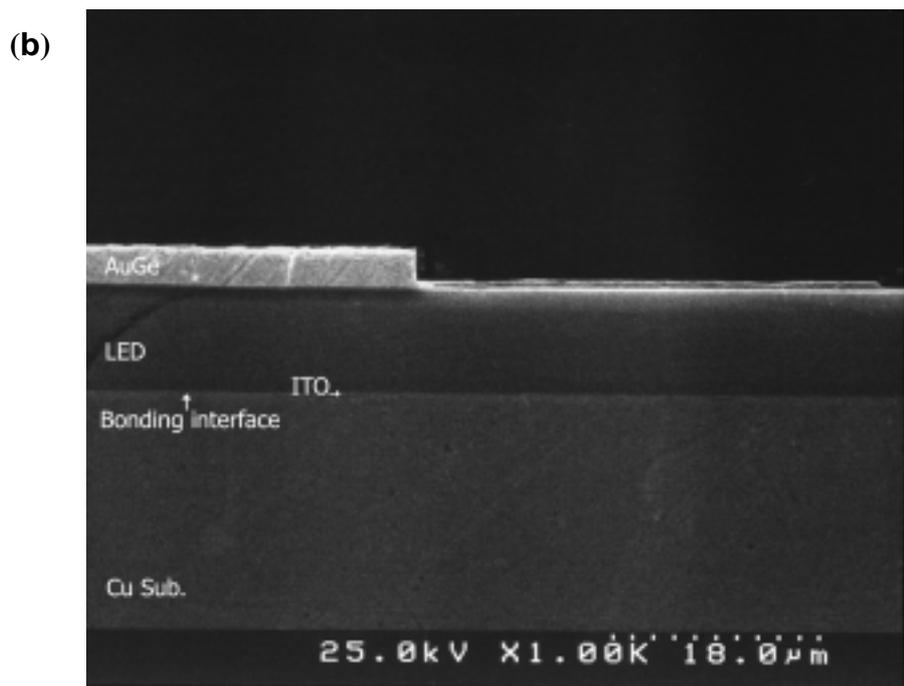
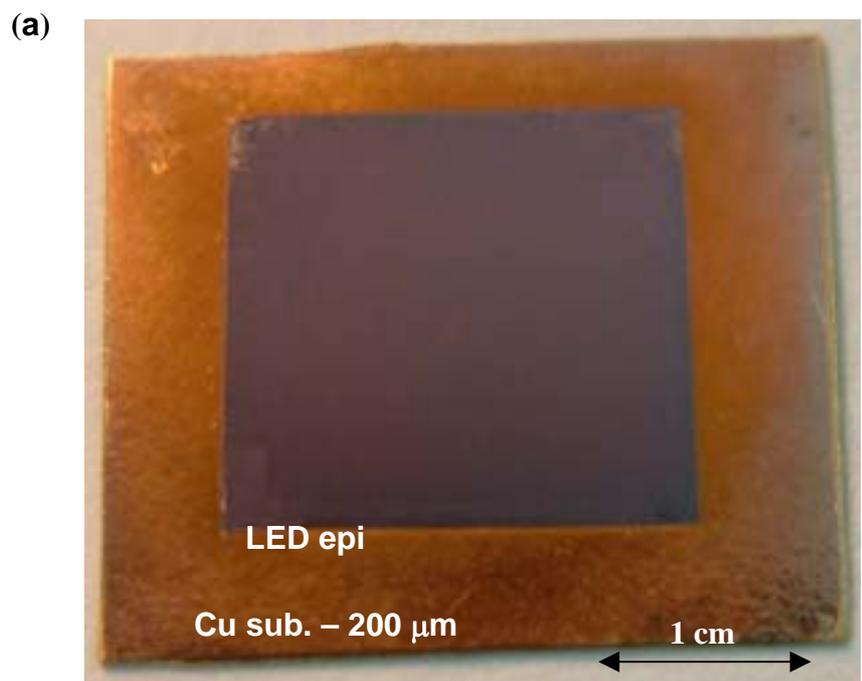
1. Wei Chih Peng and YewChung Sermon Wu, " High-power AlGaInP light-emitting diodes with metal substrates fabricated by wafer bonding," Appl. Phys. Lett. 84(2004) PP1841-1843.



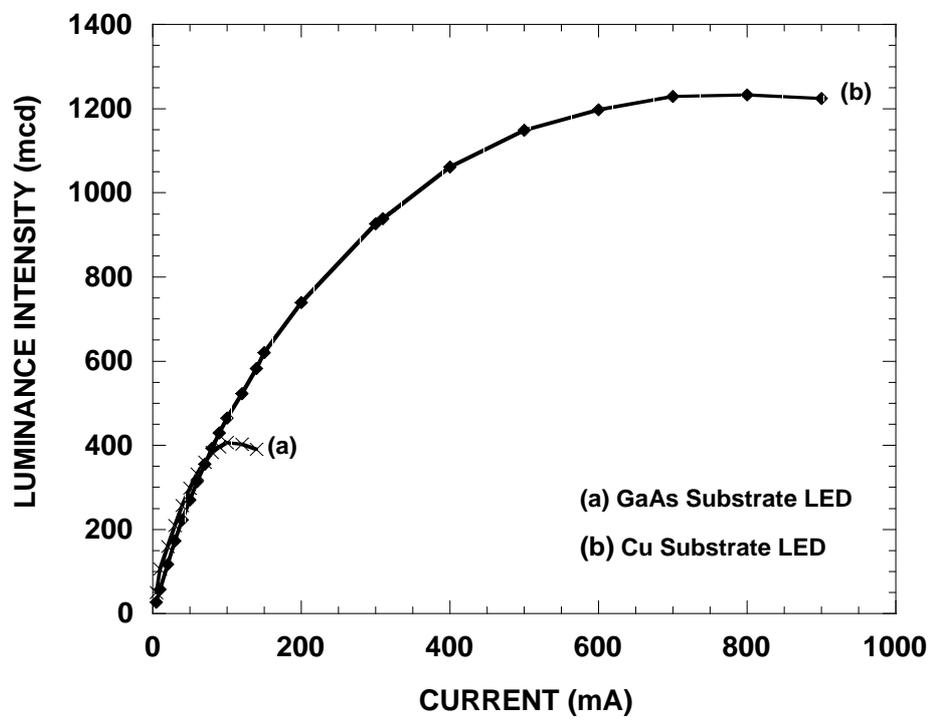
圖一 氮化鎵接合於銅基板上，冷卻後，Sapphire 基板上有 crack 產生。



圖二 以淬火之方式再施予適當之剪應力之試片。



圖三 LED 接合在 Cu 基板上之(a)上視圖(b)剖面圖。



圖四 (a) GaAs Substrate LED 與(c) Cu Substrate LED 之 L-I 曲線