

## 五、利用氧化銦錫薄膜為媒介層執行晶圓接合

### 5.1 研究背景及回顧及研究動機

#### 5.1.1 高亮度發光二極體簡介

磷化鋁銦鎵 (AlGaInP) 四元合金可製作應用在綠光 (555 nm) 到紅光 (650 nm) 波長範圍的高亮度發光二極體 (High brightness light emitting diode)，這四元合金通常是利用磊晶成長的方式沈積在晶格匹配砷化鎵基材上。不幸的是，砷化鎵基板是光學吸收基板(紅光發光波長範圍)，會衰減發光二極體的亮度，所幸，這問題能夠使用晶圓接合透明的磷化鎵基板來解決，並能夠大幅提昇發光二極體亮度與發光功率。〔1〕然而，這項技術是將原本磊晶成長在砷化鎵基板上的發光二極體結構轉移到透明基材磷化鎵上，接合後再將光學吸收砷化鎵基材去除，此時，發光二極體元件的外部光取出效率將大大提升，因此，元件的發光功率及亮度藉由此方法可以大幅提昇。表 5.1 就是一般發光二極體與晶圓接合之高亮度發光二極體特性比較表，表中的兩個小圖說明了這發光二極體結構最明顯的差異在於基材的不同，傳統的發光二極體基材是砷化鎵光學吸收基材，而右邊的圖中基材是光學透明的磷化鎵基材，很明顯的由圖中可觀察出砷化鎵基材的發光二極體結構會將往下激發的光吸收，而磷化鎵基材卻不會，表中的數據指出高亮度發光二極體的輸出功率為一般傳統的 10 倍左右，而轉換效率大約為傳統的 23 倍左右。其差別最主要就是在於基材的不同，原本被吸收的光會因為晶圓接合的透明基材的關係被取出，因此特性被大幅的提升。

表 5.1 傳統發光二極體與高亮度發光二極體之比較

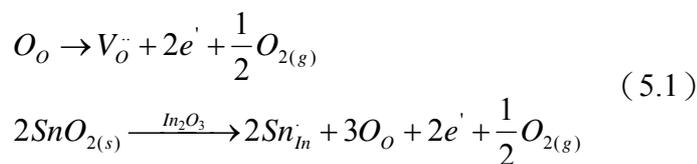
	<b>Traditional LED</b>	<b>High brightness LED</b>
<b>Different Kinds of LEDs</b>	 AS AlGaInP LED	 TS AlGaInP LED
<b>Performance</b>	<b>AlGaInP/GaAs substrate</b>	<b>AlGaInP/GaP substrate</b>
<b>Relative optical transmission</b>	~1	~50
<b>Luminous efficiency (Lumi/watt)</b>	~10	~25
<b>Output Power (mW) @ 20mA</b>	~0.5	~9
<b>Power conversion efficiency (%)</b>	~1	~22.9

[http:// www.lumileds.com](http://www.lumileds.com)

使用晶圓接合製作高亮度發光二極體固然是一個很好的方法，但是，有一些問題還需解決。首先，晶片接合時需使用其標示方向的晶片平邊來做對準工作，但是，兩晶片在執行接合時經常會有些許無法避免相對旋轉角度，〔2〕相對旋轉角度在接合的介面產生一些缺陷和網狀螺旋差排，〔3-5〕另一方面，晶圓接合的工作時常在高溫下進行 (700~1000°C)，〔5〕這高溫高壓製程往往造成發光二極體結構衰退，會使得發光二極體結構的摻雜濃度與原先的結構有差異。然而為了解決這些問題，在這實驗中具有高光學穿透率的導電透明電極-氧化銦錫 (Indium Tin Oxide; ITO) 薄膜被使用來當作接合的媒介層 (Intermediate layer)，而氧化銦錫薄膜已經被廣泛的應用於很多工業用途上，應用最多的就屬於光電元件，其應用如：透明電極、透明加熱器、抗反射層和電磁遮蔽層，〔6-9〕除此之外氧化銦錫是多晶的 (Polycrystalline) 薄膜，所以在執行晶圓接合時不用精準的對準兩晶片。這實驗的主要目的就是利用氧化銦錫薄膜當作介質層來發展一個低溫接合的製程。

### 5.1.2 氧化銦錫薄膜的性質介紹

當然，要使用氧化銦錫當作介質層必須對它的性質做一些了解，氧化銦錫是透明導電薄膜 (Transparent conducting oxide; TCO) 的其中一種，這種薄膜是高度簡併 (Highly degenerate) n 型的半導體，簡併的意思是極高的 n-型載子濃度使得費米能階 (Fermi level) 存在於導電帶之上，其電阻率  $2-4 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$  〔10〕，這個值大約介於一般金屬和半導體之間 (表二)，而造成這高載子濃度的原因是氧的空缺 (Oxygen vacancy) 和置換型錫摻雜，其生成的過程可以用 (5.1) 式來表示，〔11〕第一式是說明了原本的在氧正常位置的氧離開了並造成氧空缺，以及兩自由電子，第二式是說明了錫取代了銦的位置使其多出了自由電子，因此才會有如此高的導電率。



$O_O$ : 氧佔據氧的位置

$V_O$ : 氧的空缺

$e'$ : 電子

$Sn_{In}$ : 錫佔據銦的位置

表 5.2 氧化銦錫、金屬、半導體電性與光學性質比較

	<b>ITO</b>	<b>Metal</b>	<b>Semiconductor</b>
Resistivity	$\sim 10^{-4} \Omega\text{-cm}$	$\sim 10^{-6} \Omega\text{-cm}$	$\sim 10^8\text{-}10^9$ (Un-doped)
Transparency	> 90%	Very poor	Some are good

(上標的””和”`” 是表示有效的正負載子)



一般而言氧與氧化錫的多寡是左右電性與光學性質，氧的含量越多意味著氧的空缺越少，因此電阻會升高而且光學穿透性質變好，相反的若是其氧含量減少電阻將會變小，但是光學性質會變差。高度導電的氧化銦錫的載子濃度大約為  $10^{20}\sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ，另外，這材料具有大的能隙 ( $E_g \sim 3.5\text{-}4.3 \text{ eV}$ )，因此可見光一直到近紅外光波長範圍的光都能穿透(300nm ~ 1000 nm)。[ 12-15 ] 而氧化銦錫薄膜的備製方法有以下幾種：濺鍍 (Sputtering)，熱蒸鍍 (thermal evaporation)，電子束蒸鍍 (electron-beam evaporation)，脈衝雷射沈積(pulsed laser deposition)，反應性蒸鍍 (reactive evaporation)，和凝膠-溶膠法(sol-gel process)。[ 16-23 ] 在本實驗，氧化銦錫薄膜將是使用電子束蒸鍍來完成。

## 5.2. 利用氧化銦錫薄膜為媒介層執行晶圓接合

### 5.2.1. 試片準備

在這實驗中製作的元件是被使用來當作實驗製程驗證者的角色而且不適合高亮度發光二極體，雖然如此，因為這實驗的目標是發展一個更有效率的接合製程，所以，容易立即取得的晶圓即被選擇來利用，此實驗中兩種晶圓：n-型磷化鋁銦鎵/n-型砷化鎵(n-In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P/n-GaAs)和氧化銦錫/n-型砷化鎵(ITO/n-GaAs)晶圓被利用來最佳化此製程。磷化鋁銦鎵 (400 nm)是由金屬有機氣相沈積(Metalorganic Chemical Vapor Deposition; MOCVD)成長，執行成長動作前砷化鎵晶片在0.1atm 氫氣氣氛中被升溫到600°C並維持幾分鐘，而成長反應物為trimethylindium (TMIn), trimethylgallium (TMGa), PH<sub>3</sub>，這些反應物皆是藉由氫氣來輸送，矽摻雜是由雙矽烷(Disilane ;Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)提供，磷化鋁銦鎵的成長速率在800°C為0.46 nm/s。氧化銦錫薄膜 (300 nm) 是由電子束蒸鍍製，蒸鍍的來源 (Source) 是由許多小的純的 (99.99%) 氧化銦與氧化錫組成，置入砷化鎵晶片之後將腔體的真空抽至  $5 \times 10^{-6}$  torr，接著砷化鎵試片將被升溫至250°C並持溫，將純氧氣輸入並保持工作氣壓在 $4 \times 10^{-4}$  torr，氧氣體流量為 20 sccm，氧化銦錫薄膜的沈積速率為 10–12 nm/min。磷化鋁銦鎵與氧化銦錫表面的粗糙度( $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ )是利用原子力顯微鏡 (Atomic Force Microscopy; AFM)來量測，兩者的表面都是粗糙表面，磷化鋁銦鎵與氧化銦錫薄膜表面粗糙度的峰與谷的距離 (peak-to-valley distances) 分別是 3.9 nm和11.9 nm，氧化銦錫薄膜的電阻為 $2 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 。

### 5.2.2. 晶圓接合流程

3英吋晶圓利用鑽石刀切割為 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ，接著在無塵室環境中進行清洗工作，清洗的工作是使用一系列的去離子純水、丙酮、異丙醇和 $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 10$ 的混合液體清洗，最後浸入稀釋過後的HF中並且用去離子純水將其清洗乾淨後，在異丙醇將兩試片(磷化鋁銦鎵與氧化銦錫)面與面接觸，然後，將已經接觸好的試片置入接合固定夾具 (Fixture)，這夾具是由不銹鋼、鉬金屬和高純度石墨組成，並藉由熱膨脹係數的差異會產生壓力以執行接合工作 [24]，試片在室溫下利用最小的壓力夾緊固定，當接合製程溫度上升時，壓應力即會因為夾具中各種不同材料的熱膨脹係數差施加在試片上，在接合溫度下估算出的壓力大約是  $100 \text{ Kg/cm}^2$  [24]，但是，真實的壓力無法做精確運算，因為，試片和夾具在高溫時接會變形，太高溫操作會讓一般的元件毀壞，所以接合工作將在氫氣氛中650°C以下執行 40分鐘，圖5.1指出了晶圓接合流程。

### 5.2.3. 接合介面分析

接合完成之後的試片外部利用 #600 號砂紙研磨並且用 1.0  $\mu\text{m}$  鑽石膏拋光，接著使用丙酮以及去離子純水來清潔，上述的一些動作是為了確定接合試片外部表面是光亮潔淨的，以利於紅外線穿透式光學顯微鏡 (IR transmission optical microscopy) 做介面觀察，所有的電壓電流特性 (current-voltage; I - V) 皆是由 HP 4156B 來量測，整片的歐姆接觸合金化 Au/Ge/Ni 金屬被應用在接合試片的外部表面，試片接著被切割為  $2 \times 2 \text{ mm}^2$  大小以執行電性量測。

另外，接合機制亦被研究，首先利用於  $500^\circ\text{C}$  接合溫度低接合，接合試片將刻意地被分開，然後，兩晶片將以原子力顯微鏡 (Atomic Force microscope ; AFM) 來分析表面狀況，試片表面也將以 (Auger Electron Spectroscopy ; AES) 執行化學成分分析。為了分析質量傳輸，黃光微影製程細小的點狀圖案將被刻意應用在兩種晶片上，為了是模擬試片不平整的表面，並且將兩晶片互相接合至於細節將在下一個章節討論，圖 5.2 指出了介面分析的流程。

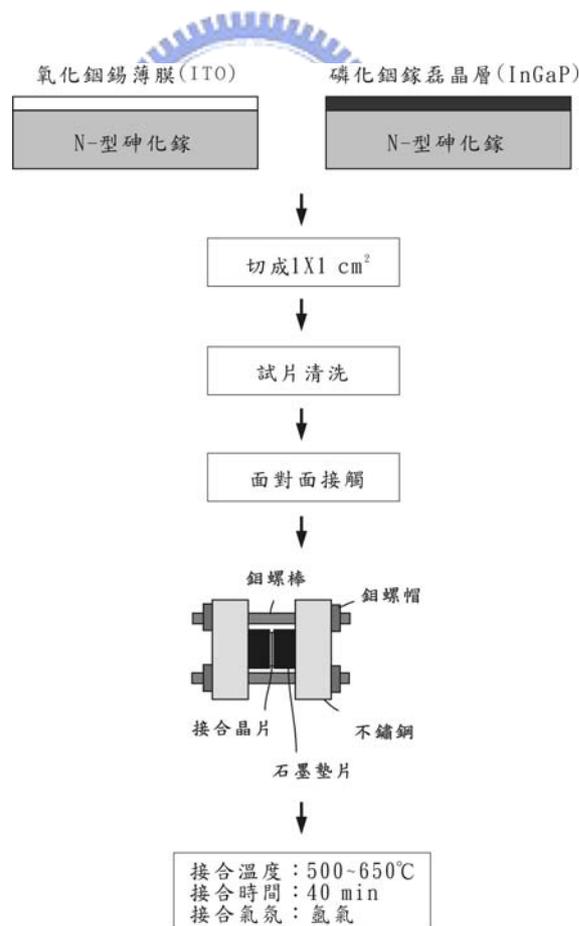
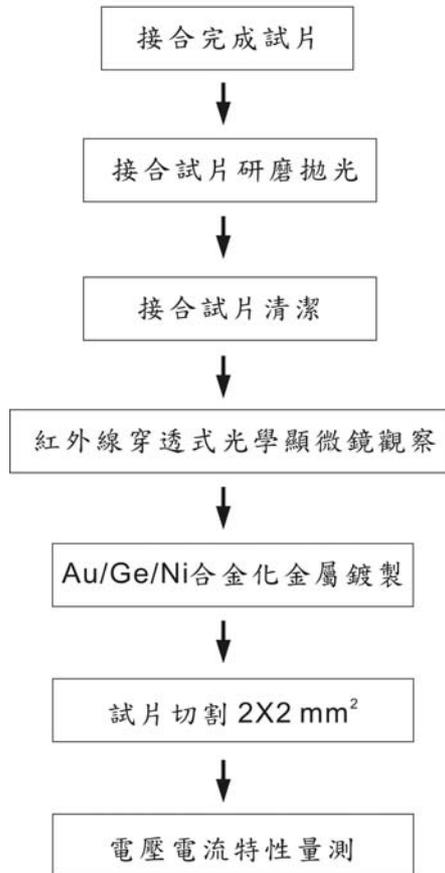


圖 5.1 磷化銦鎵/氧化銦錫晶圓接合清洗步驟及接合流程圖

介面型態觀察與電性分析



介面物質傳輸分析

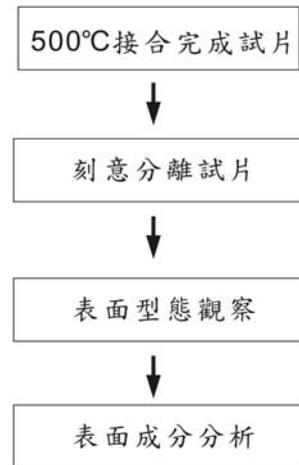


圖 5.2 磷化銦鎳/氧化銦錫晶圓接合後分析流程

#### 5.2.4. 利用氧化銦錫薄膜媒介層執行發光二極體晶圓接合與元件製作

最後，這接合媒介層將被使用來執行發光二極體結構的晶圓接合，這工作主要是做一個示範以及模擬之用，為了是比較有無這媒介層的元件特性之差異性。首先，磷化鋁銦鎵發光二極體將被成長於砷化鎵基材上，元件的結構是由  $\sim 1 \mu\text{m}$  厚的磷化銦鋁( $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ) n-型下侷限層， $\sim 0.75 \mu\text{m}$  無摻雜的( $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$ ) $_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  主動層，和 $0.5 \mu\text{m}$  p-型磷化銦鋁 ( $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ) 上侷限層組成，上述的幾種層是利用金屬有機氣相沈積來完成，最後利用氣相磊晶成長 $45 \mu\text{m}$  p-型磷化鎵窗層，如圖5.3，這發光二極體結構是由美國的Lumileds公司所生產。將試片切割成 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ，發光二極體結構中的砷化鎵基板利用濕式蝕刻去除，只留下發光二極體結構以及 $45 \mu\text{m}$  p-型磷化鎵窗層，蝕刻完畢後最後元件最下層是n-型的磷化銦鎵。前一段提到這工作主要是為了驗證氧化銦錫能當作晶圓接合媒介層，以降低接合溫度和改善元件特性，而非真正製作高亮度發光二極體，所以，將這薄薄( $\sim 50 \mu\text{m}$ )的結構再次晶圓接回n-磷化銦鎵/n-型砷化鎵晶片，這試片又被區分兩種，一種是發光二極體結構上利用電子束蒸鍍鍍上  $300 \text{ nm}$ 厚的氧化銦錫薄膜，另一個是沒有氧化銦錫薄膜的結構。接合前，所有的晶片都將被切成 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 。接著試片將被進行清潔的工作，清潔工作將包括了：一系列的去離子純水、丙酮、異丙醇去除有機污染，繼續使用 $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 10$ 的混合液體去除原生氧化層，試片最後在異丙醇的環境中接觸。另外，發光二極體欲接合的兩種基材中，n-磷化銦鎵/n-型砷化鎵晶片基材需要精確的對準角度，然而，具有多晶氧化銦錫薄膜的n-型砷化鎵n-磷化銦鎵/n-型砷化鎵晶片基材就不需精確的對準工作，清潔過後的試片接著被放置到接合的夾具，放置到爐管中進行退火，退火的溫度為 $600^\circ\text{C}$ 時間40分鐘，晶圓接合流程如圖5.4。試片接合完成後將進行元件製作，首先，將試片的n型及p型電極鍍製上，並且切割成 $300 \times 300 \mu\text{m}^2$ ，接著執行量測工作，如圖5.5，量測工作包括了電壓電流特性(I-V characteristics)、電流發光特性(L-I characteristics)最後是起使電壓隨時間的變化。

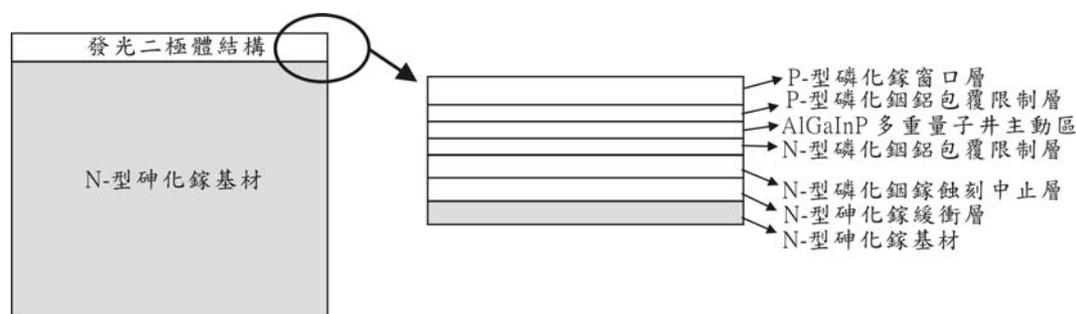


圖5.3 磷化鋁銦鎵發光二極體結構

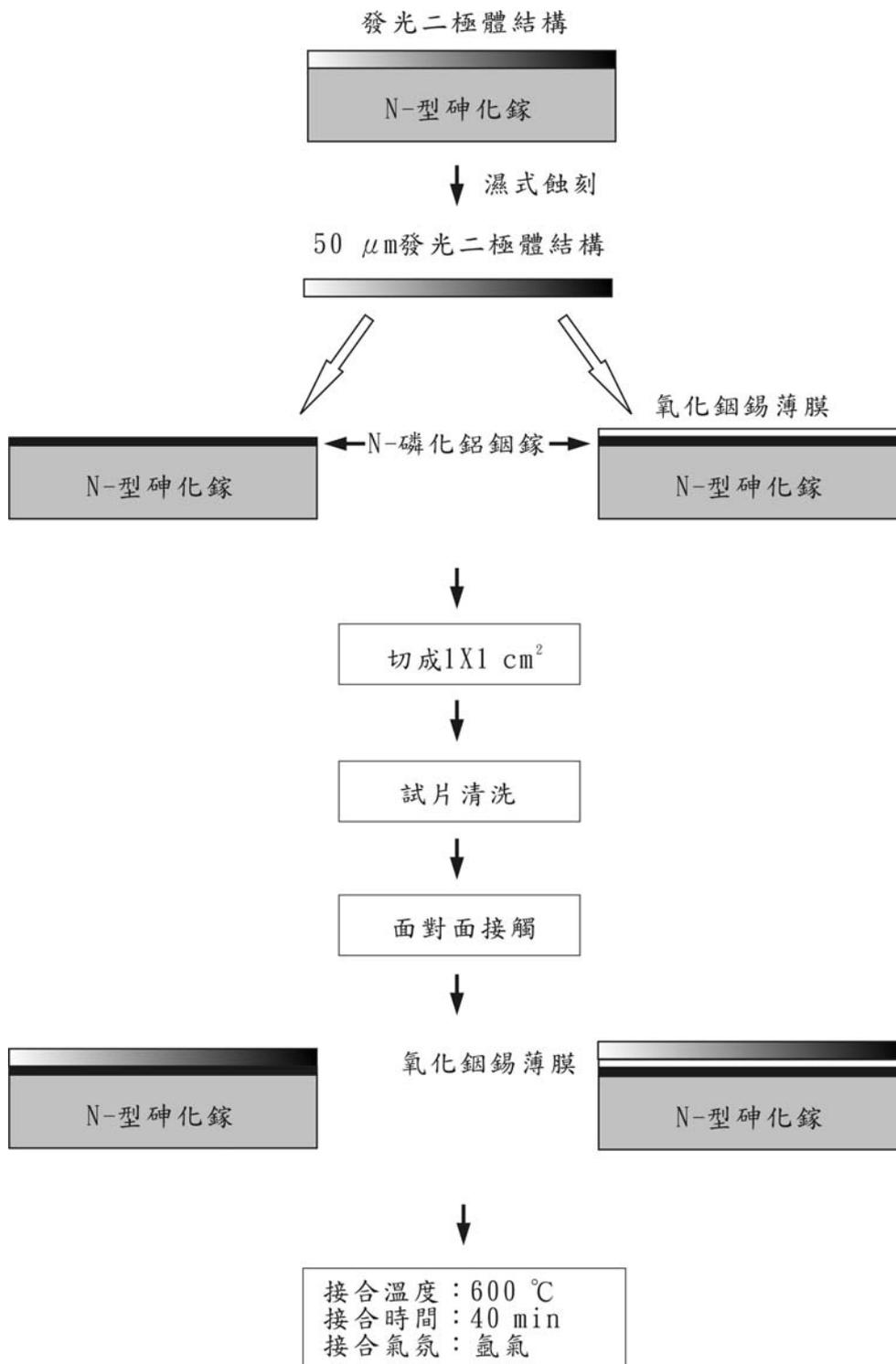


圖 5.4 利用氧化錫錫薄膜執行發光二極體晶圓接合流程

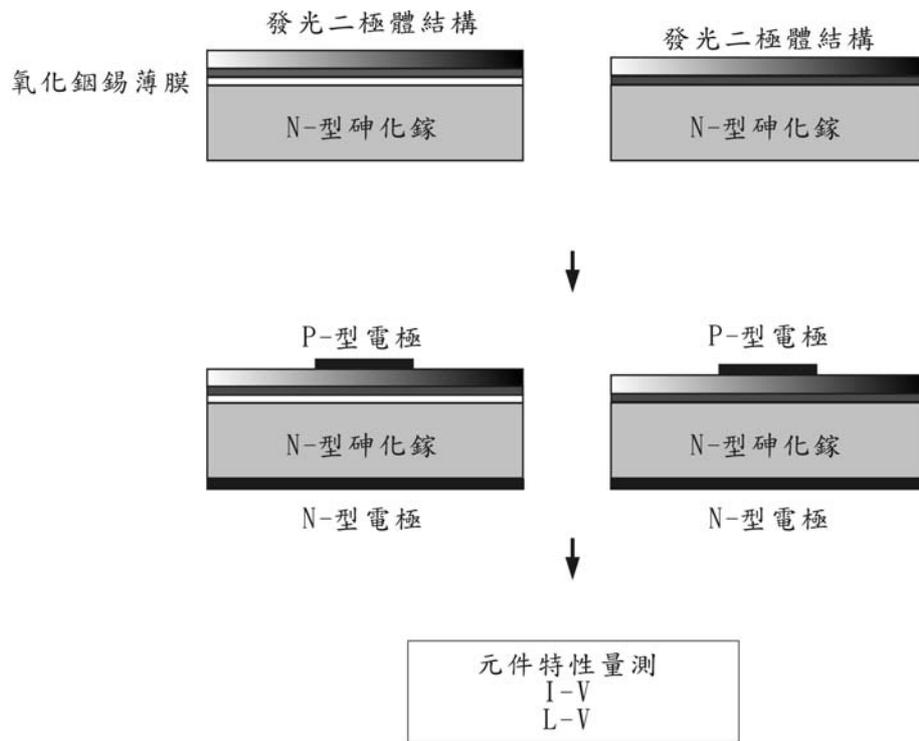


圖 5.5 發光二極體元件製作與量測流程



### 5.3. 結果與討論

#### 5.3.1. 接合晶片之電壓電流特性

圖 5.6 是磷化銦鎳/氧化銦錫接合晶片的電壓—電流特性 (I - V characteristics)，接合溫度低於 500°C 的試片則沒有在圖 5.6 中顯示出來，因為試片在切割過程中會因接合強度太低分離，而試片在接合溫度大於 500°C 以上時皆會顯示線性歐姆 (Ohmic) 電壓-電流特性，可以發現到電阻會隨著接合溫度增加而慢慢減少，對於  $2 \times 2 \text{ mm}^2$  的小晶粒 (Chips) 而言，在接合溫度為 500°C 時電阻為  $7.5 \text{ } \Omega$ ，當溫度漸漸升高到 650°C 則電阻會慢慢降到  $3.9 \text{ } \Omega$ ，當然為了比較之用，單只有一片的砷化鎳晶片也將被量測，可以發現到砷化鎳晶片在低於 650°C 下進行退火是不會有太大的電阻改變，因為沒有任何介面存在單片的砷化鎳中，經由這觀察可以假設這接合介面電阻的降低 必定是由於接合介面電阻改善所造成。

另一方面，為了做比較，n-型磷化銦鎳/n-型砷化鎳晶片也被直接接合到砷化鎳晶片上(沒有氧化銦錫媒介層) 在接合溫度低於 650°C 以下，發現到這種接合介面比起有氧化銦錫的接合介面差，接合試片處理溫度若是 550°C 將會因為切割製程而分離，而當接合溫度在 650°C 時間為 40 分鐘時，其電阻較高電阻值為  $21.5 \text{ } \Omega$ ，這值比起有氧化銦錫媒介層的接合介面電阻高了五倍之多。

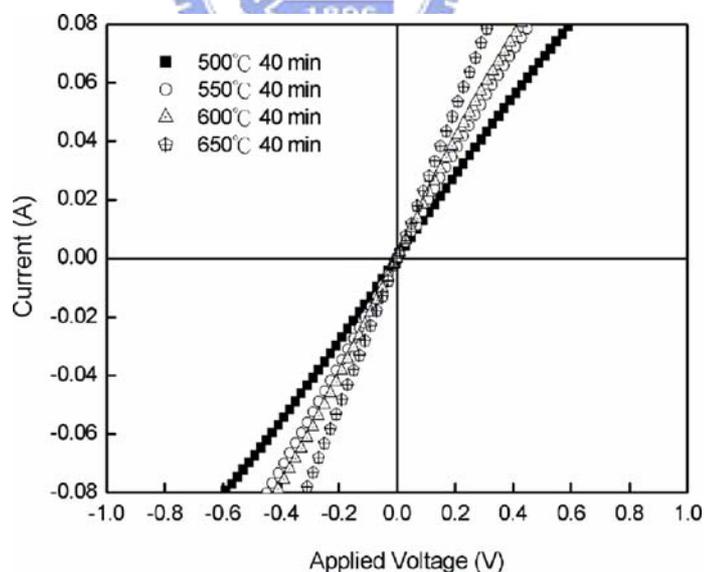


圖 5.6 磷化銦鎳/氧化銦錫接合晶片的電壓—電流特性

### 5.3.2. 介面紅外線影像觀察－接合介面隨溫度變化

紅外線光學穿透顯微鏡將被用來觀察溫度對於接合介面的影響，在圖 5.7 中觀察到雪花狀(Snow flake-liked region)的圖形隨升高的接合溫度的影響，在圖 5.7 中說明了當接合溫度為 500°C 只有少數的區域是被接合的，並且有許多空孔區域(unbonded areas) 在接合接面處產生，誠如前面敘述的，磷化銻鎳與氧化銻錫層的表面狀況皆是非常粗糙，換句話說，當試片被相互接觸在一起，接觸的比例將是非常的少，因此，在低溫時接合的比例將是非常的少，當溫度升高到 600°C 以上時多數的區域會因為反應速率和質傳速度的隨溫度增加而增加，圖 5.8 顯示出接合區域面積比例和接合溫度的關係，這圖指出了結合面積會隨溫度的增加而比例漸漸變多，因此導電度(Conductivity)也會隨著接合面積增加而增加，因此我們也不驚訝導電度隨溫度增加漸漸增加 (圖 5.6)。

### 5.3.3. 接合介面隨時間變化

另外，試驗中亦發現到雪花狀區域面積會隨著退火時間增加而增加，如圖 5.9 所示，當退火溫度為 500°C 時，退火時間由 1 小時延長到 4 小時，可以被觀察到雪花狀區域會由 12 $\mu\text{m}$  增加至 20 $\mu\text{m}$ ，接著試片被用機械力分離後，雪花狀區域的表面狀態將利用原子力顯微鏡觀察，其結果在圖 5.10 被顯示出來，可以發現到試片分離時會穿過雪花區域的磷化銻鎳層，在氧化銻錫層的表面上雪花區域的高度大約是 20~50 nm，而在相對的磷化銻鎳方面為向下凹的雪花狀區域，很明顯的能夠推測氧化銻錫薄膜表面的雪花區域是由磷化銻鎳的材料所提供出來的，但到目前這階段，還無法瞭解這種質量傳輸效應是由何種現象所造成，也因此被利用機械力分離，介面將執行化學成分分析，這將有助於瞭解這現象。

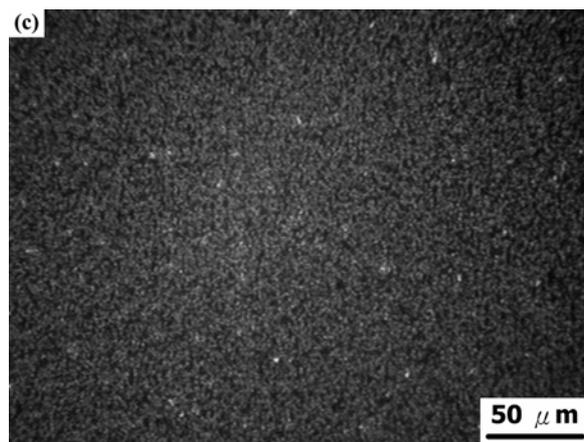
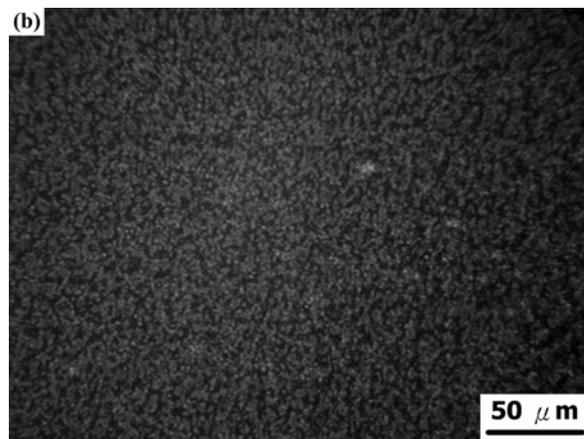
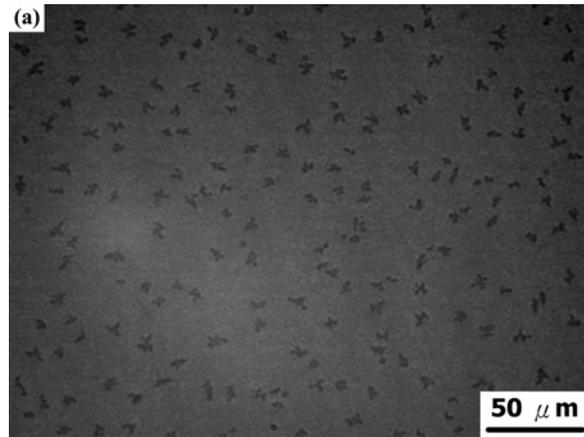


圖 5.7 磷化銦鎳/氧化銦錫接合介面分別在(a)500°C; (b)550°C和(c)650°C下接合之紅外線影像

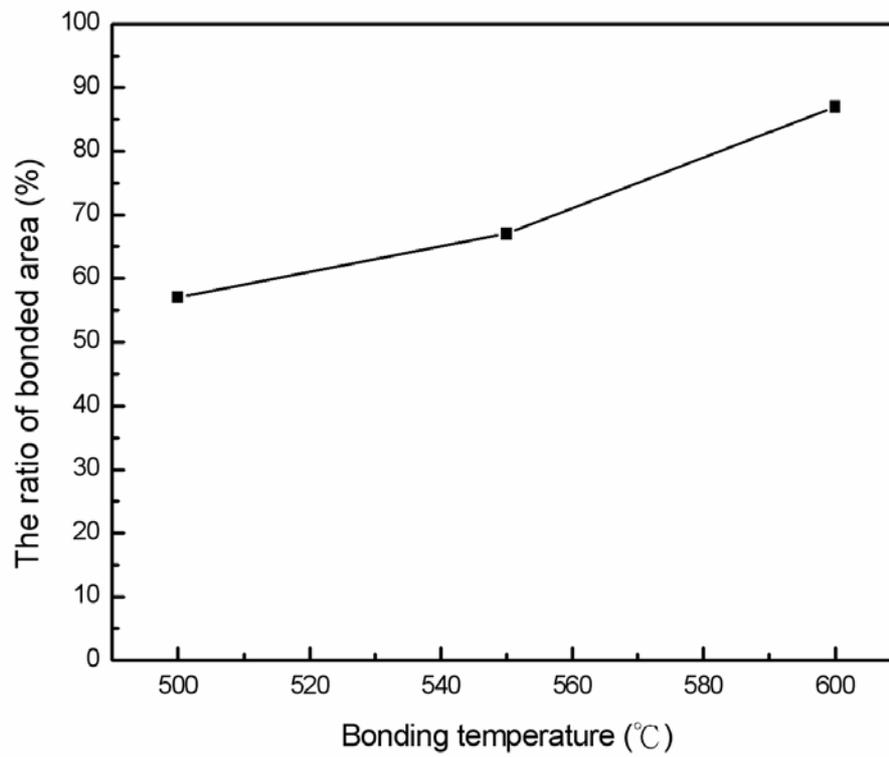


圖 5.8 接合介面雪花狀區域百分比隨溫度增加之變化量

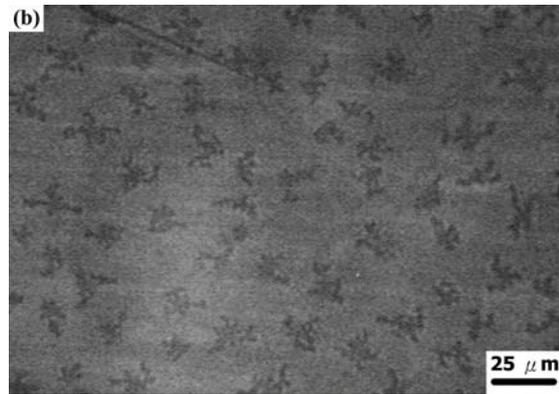
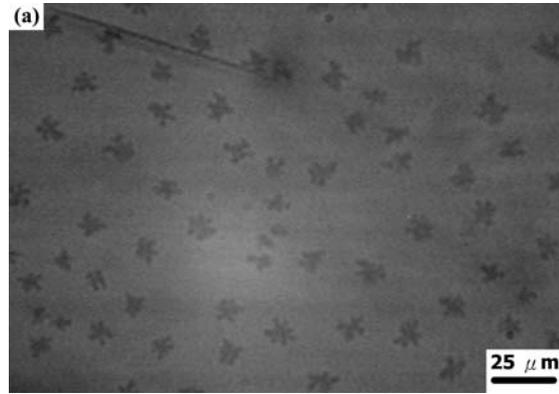
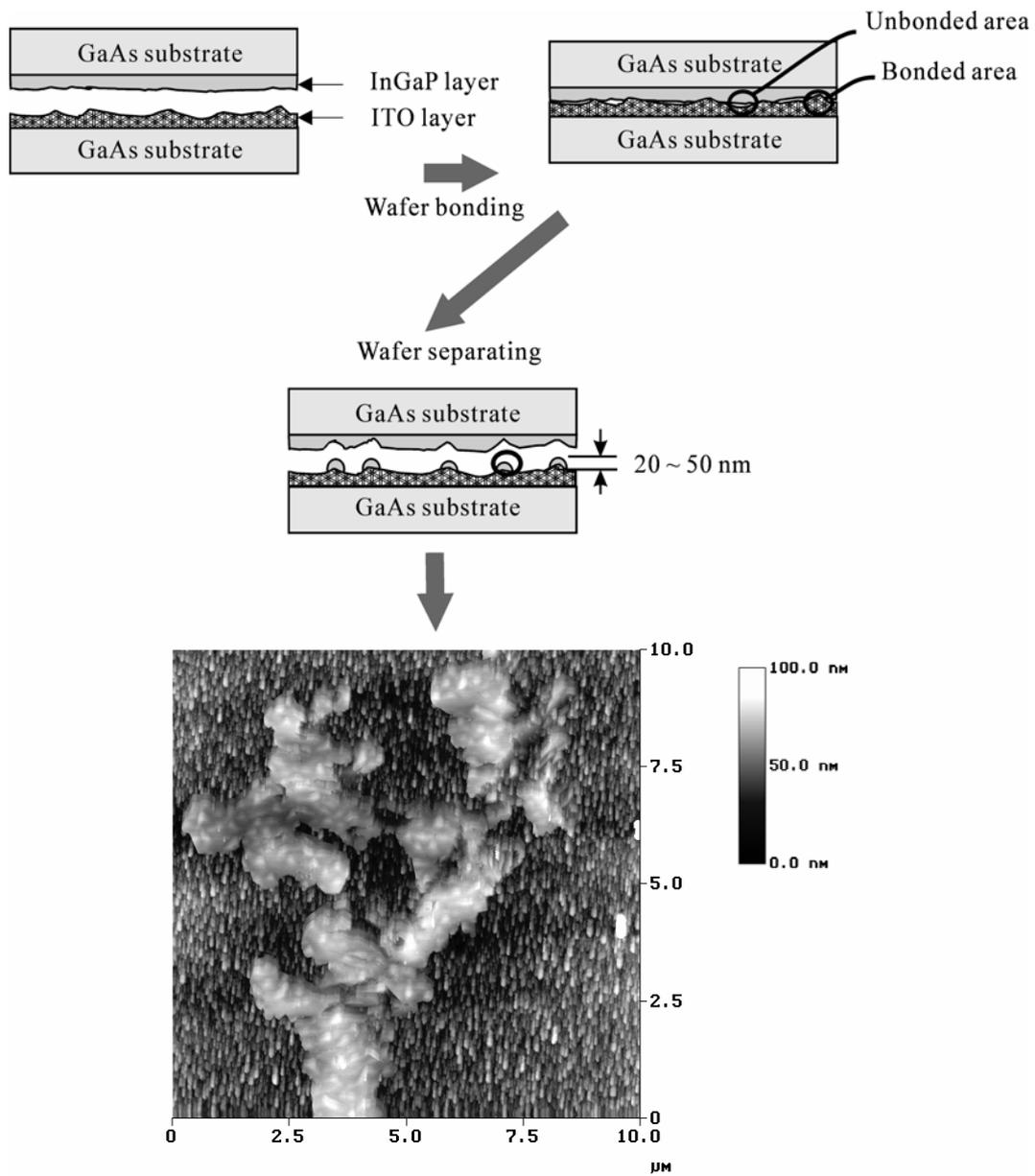


圖5.9 磷化錫/氧化錫接合介面當退火溫度為500°C(a)1小時延長到(b)4小時之紅外線影像圖



2-D topographic view of ITO surface

圖5.10 磷化銦鎵/氧化銦錫接合介面於500°C接合4小時後將其分離後在氧化銦錫薄膜上之表面狀況

#### 5.3.4. 介面成分分析

雪花區域的成分分析將是由歐傑電子能譜儀(Auger electron spectroscopy ;AES)來執行分析，成分縱深分析的濺擊速率大約是 $149\text{\AA}/\text{min}$ 。如圖5.11(a)，在氧化銻錫表面的雪花狀區域銻的濃度很高(往上凸的區域)，但繼續往下偵測銻的濃度就回歸正常值，雪花區域表面的銻濃度亦比起無雪花狀區域未退火的氧化銻錫表面高，如圖5.11(b)。另一方面，在磷化銻鎳表面上的雪花區域表面銻的濃度(往下凹的區域)比起沒有處理過的磷化銻鎳區域低，如圖5.12(a,b)所示，觀察到的結果可說明磷化銻鎳與氧化銻錫的接合機制，其主要是透過磷化銻鎳傳輸到氧化銻錫表面造成接合。

#### 5.3.5. 接合介面質量傳輸之研究

為了要確定接合過程中的質量傳輸機制，表面的點狀圖形將被使用來模擬接合介面的不平整，如圖5.13所示，圖中的製程包括利用黃光微影蝕刻技術製作規則的點狀圖形在其中一片晶片(氧化銻錫或是磷化銻鎳表面)並且將有圖形的晶片接合到另一片無圖形的試片，點狀圖形的高度及直徑分別為 $10\ \mu\text{m}$ 與 $50\ \text{nm}$ ，而且點跟點之間的距離為 $25\ \mu\text{m}$ 。圖5.14是介面的紅外線穿透影像圖，而這接合溫度為 $550^\circ\text{C}$ 時間為40分鐘，如圖5.14(a)，氧化銻錫薄膜上的點狀圖形其形狀在接合後沒有改變很多，意味著只有即為少數的材料由點狀的氧化銻錫流動到無接合的介面處，另外，如圖5.14(b)，接合試片的點狀的磷化銻鎳將消失，掃描式超音波顯微鏡(Scanning acoustic microscopy; SAM)亦被用來確認是否圖形化的磷化銻鎳真的消失，在試片在 $550^\circ\text{C}$ 退火後，沒有磷化銻鎳的點狀圖形在接合介面中被發現，這些觀察的影像還有歐傑成分分析明確的指出了磷化銻鎳/氧化銻錫的接合機制是由磷化銻鎳流動到氧化銻錫表面。

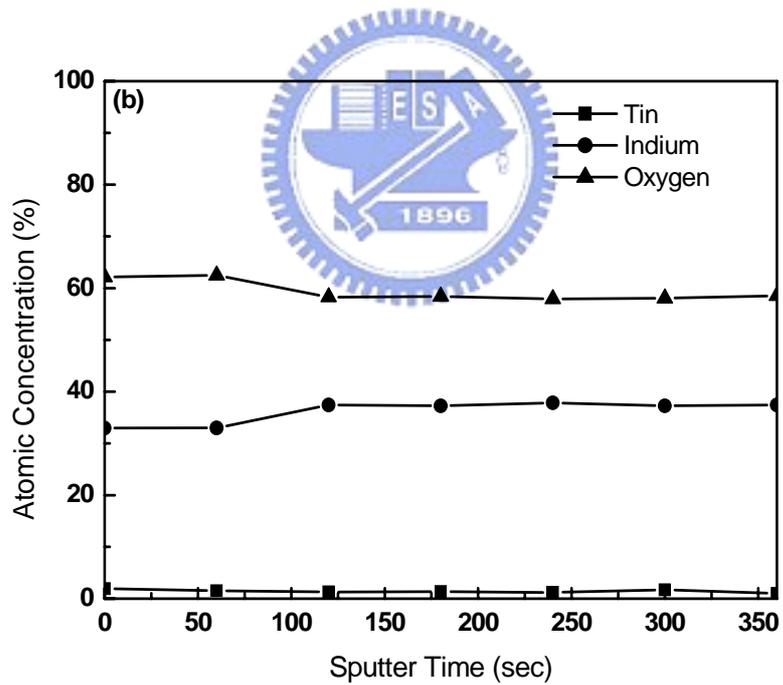
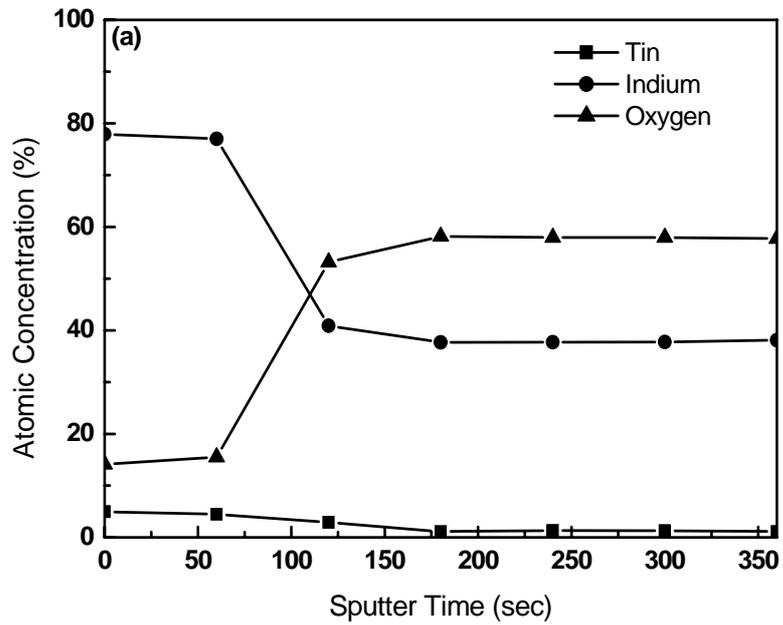


圖5.11 氧化銻錫/磷化銻鎳於500°C下接合並分開後氧化銻錫薄膜表面上的歐傑成分分析 (a)在雪花區域;(b)在非雪花區域

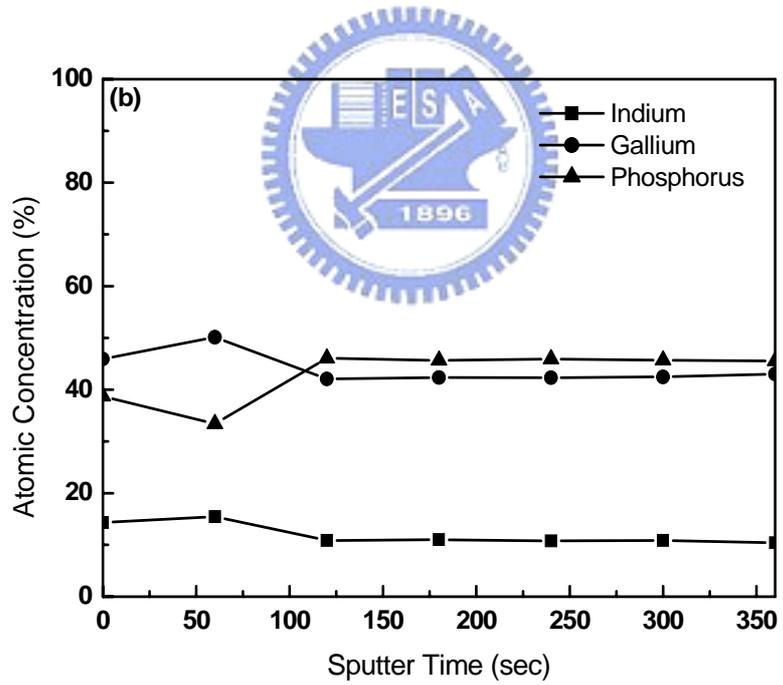
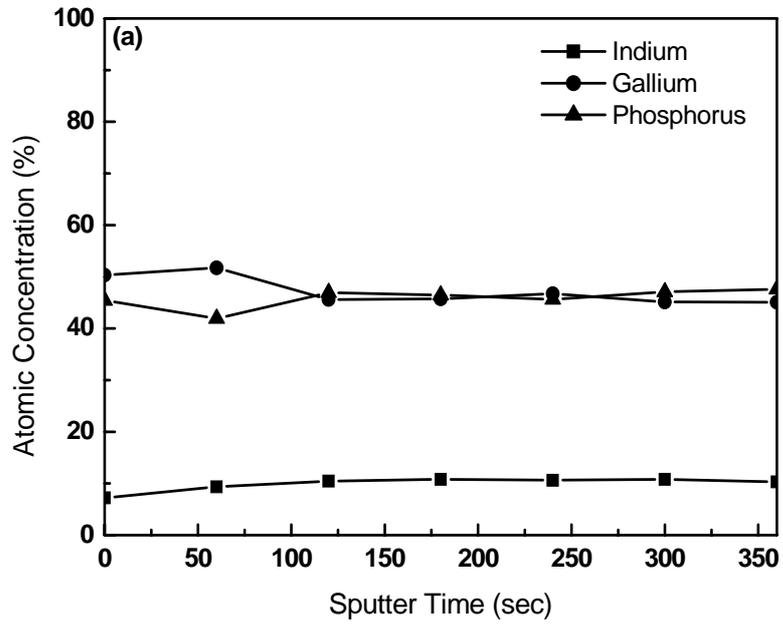


圖5.12 氧化銦錫/磷化銦鎵於500°C下接合並分開後磷化銦鎵表面上的歐傑成分分析 (a)在雪花區域;(b)在非雪花區域

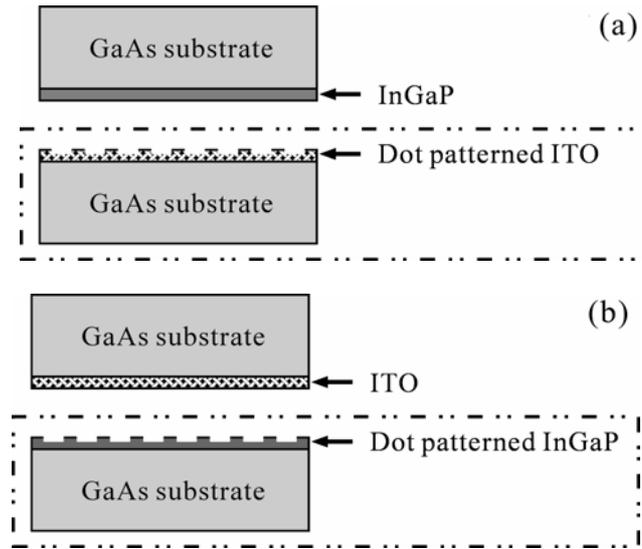


圖5.13 (a)氧化銦錫上的表面的點狀圖形與磷化銦鎵接合的示意圖；(b)磷化銦鎵上的表面的點狀圖形與氧化銦錫接合的示意圖

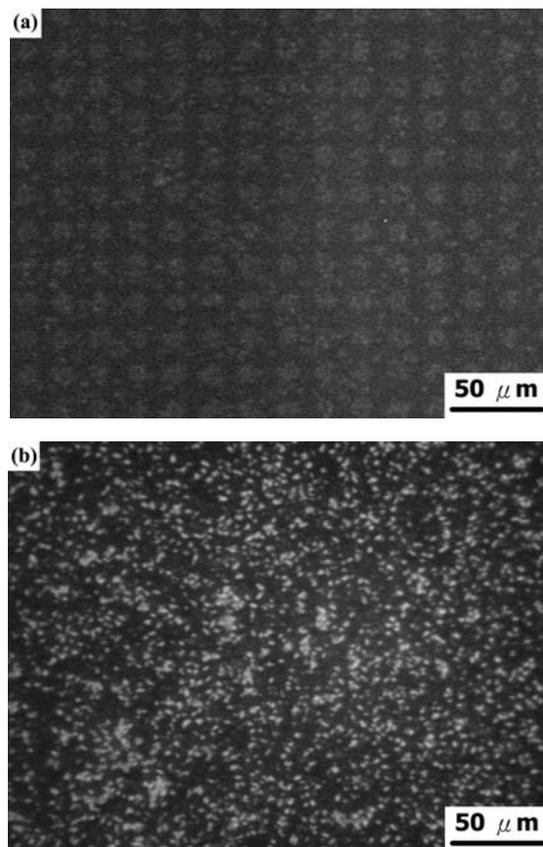


圖 5.14 (a)氧化銦錫上的表面的點狀圖形與磷化銦鎵接合後的紅外線影像圖；(b)磷化銦鎵上的表面的點狀圖形與氧化銦錫接合的紅外線影像圖

### 5.3.6. 發光二極體元件特性比較

兩種發光二極體的特性將透過電壓電流特性(I-V characteristics)、電流發光特性(L-I characteristics)等幾項性質來觀察元件的性質好壞，圖 5.15(a) (b)是發光二極體點亮之後的情形，事實上這樣無法直接觀察出元件的好壞，只是確定了元件能夠正常作用。圖 5.16 是發光二極體的電壓-電流特性圖，發現到發光二極體直接接合元件(LED//InGaP/GaAs)在 20 mA 下的啟使電壓(Vf)為 2.67 V，但是，具有氧化銦錫的發光二極體元件中(LED//ITO//InGaP/GaAs)在 20 mA 下的啟使電壓(Vf)為 2.12 V，因此透過了此媒介層元件的啟使電壓被降低了。圖 5.17 是發光二極體的發光-電流特性圖，圖中明顯的能夠看出在 20 mA 的電流下，具有氧化銦錫薄膜的元件發光的強度是沒有這媒介層的 2 倍，另外，不具媒介層發光強度飽和電流為 70 mA，而有媒介層時會被增加到 110 mA，飽和發光強度也由 94.714 mcd 提升到 267.3 mcd。此外本實驗還執行了啟使電壓(Vf)的穩定性測試，發現到若以 50 mA 的電流執行驅動，不到 2 小時沒有氧化銦錫媒介層的發光二極體 Vf 會增加 2-5%，而具有氧化銦錫的發光二極體的 Vf 則是變動不到 0.5%，即使已經操作超過了 24 小時。

這些結果證實了氧化銦錫媒介層確實能夠降低晶圓接合的溫度，並能夠在較為低溫的的接合溫度(600°C 40 分鐘)下成功接合，能夠獲的低電阻的接合介面以及良好得元件特性，成功的將低了啟動電壓和提升了操作電流和亮度，因此，這媒介層能夠做為媒介層執行晶圓接合來製作發光二極體。

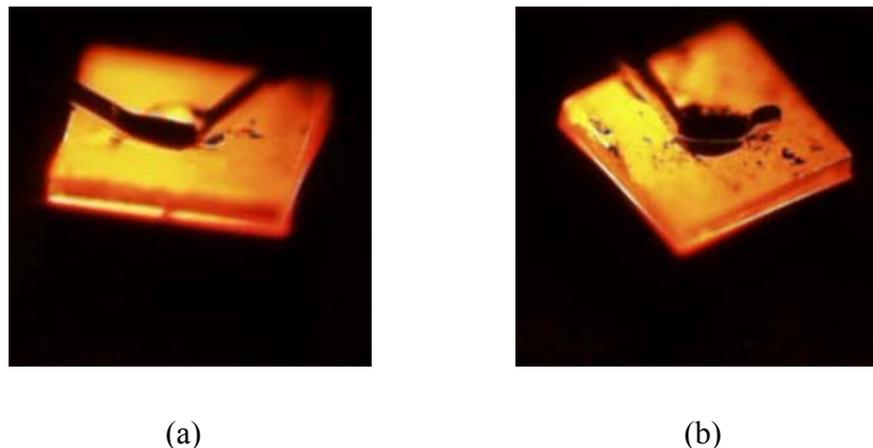


圖 5.15 晶圓接合之發光二極體元件發光圖形(a)具有氧化銦錫媒介層的發光二極體(b)無氧化銦錫媒介層的發光二極體

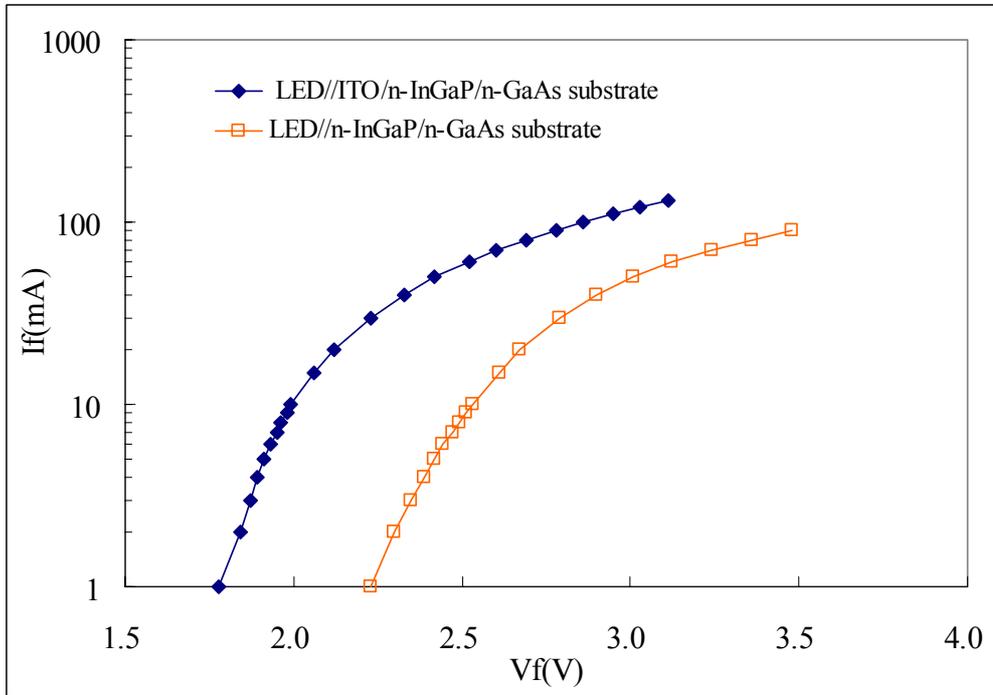


圖 5.16 晶圓接合發光二極體的電壓-電流曲線

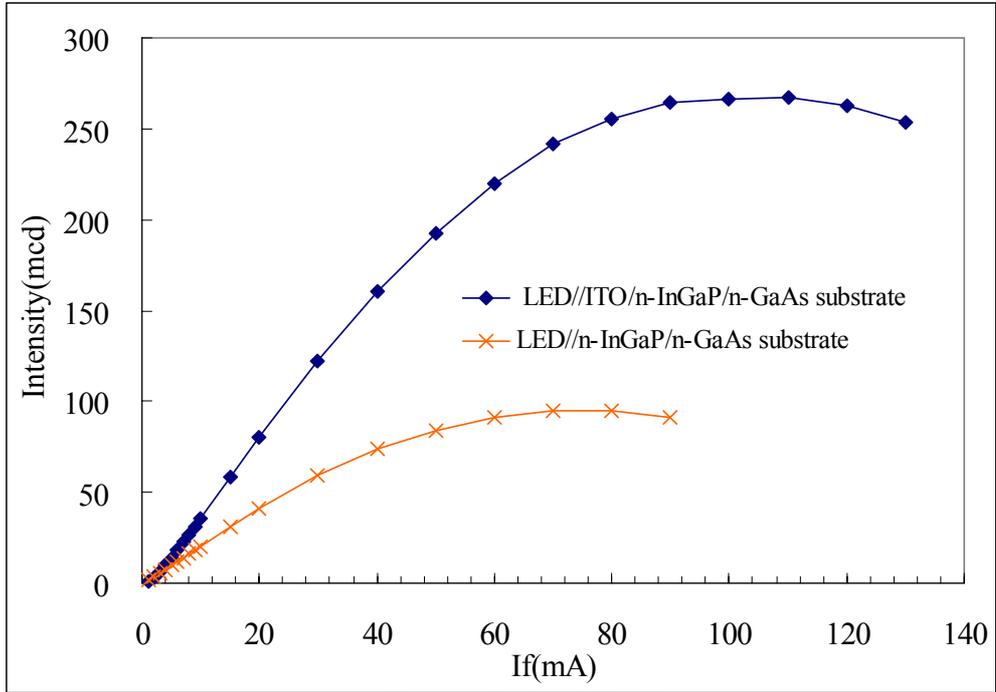


圖 5.17 晶圓接合發光二極體的發光-電流曲線

#### 5.4. 結論

在這個研究中，高度光學透明的氧化銦錫薄膜利用來當作媒介層來執行晶圓接合，晶圓的電阻和接合機制對於溫度的關係之研究發展出一個簡單而有效的接合程序，可用來執行未來接合工作。兩種基材，n-型磷化銦鎵/n-型砷化鎵和氧化銦錫/n-型砷化鎵基材被用來執行接合製程的最佳化，實驗後發現接合的發生主要是銦由磷化銦鎵傳遞到氧化銦錫表面，在兩晶片間的接合面積發現會隨著退火溫度與時間的增加而增加，並且造成了電阻的下降。

這研究中包含了均勻壓力的使用適當的高溫 (650°C) 以最佳化接合結果，當試片在 650°C 溫度下進行接合，多數的區域已經被接合起來，也沒有空孔在接合介面被發現，並且對於 2x2 mm<sup>2</sup> 的小晶粒而言電阻只有 3.9 Ω，使用這個製程，可以得到良好且低電阻的接合介面。

最後，在發光二極體的應用中，發光二極體成功的在相對低溫(600°C)下完成了接合的工作，並且經過了製程後能夠獲得較直接結合試片低的啟使電壓和較高的發光的功率。



## 5.5. 參考文獻

- [ 1 ] F. A. Kish, F. M. Steranka, D. C. DeFevere, D. A. Vanderwater, K. G. Park, C. P. Kuo, T. D. Osentowski, M. J. Peanasky, J. G. Yu, R. M. Fletcher, D. A. Steigerwald, M. G. Craford, and V. M. Robbins, “Very high-efficiency semiconductor waferbonded transparent-substrate  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}/\text{GaP}$  light-emitting diodes”, Appl. Phys. Lett., 64, pp.2839-2841, May 1994.
- [ 2 ] G. Kästner , T. Akatsu , S. Senz, A. Plössl, U. Gösele, “Large-area wafer bonding of GaAs using hydrogen and ultrahigh vacuum atmospheres”, Appl. Phys. A, A 70, pp.13-19, January 2000.
- [ 3 ] P. Kopperschmidt, S. Senz, R. Scholz, U. Gösele, “"Compliant" twist-bonded GaAs substrates: The potential role of pinholes”, Appl. Phys. Lett., 74, pp.374-376, January 1999.
- [ 4 ] R.R. Vanfleet, M. Shverdin, J. Silcox, Z.H. Zhu, Y.H. Lo, “Interface structures in GaAs wafer bonding: Application to compliant substrates”, Appl. Phys. Lett., 76, pp.2674-2676, May 2000.
- [ 5 ] F. A. Kish, D. A. Vanderwater, M. J. Peanasky, M. J. Ludowise, S. G. Hummel, and S. J. Rosner, “Low-resistance Ohmic conduction across compound semiconductor wafer-bonded interfaces”, Appl. Phys. Lett., 67, pp.2060-2062, October 1995.
- [ 6 ] C. Vasant Kumar, A. Mansingh, “Effect of target-substrate distance on the growth and properties of rf-sputtered indium tin oxide films”, J. Appl. Phys., 65, pp.1270-1280, February 1989.
- [ 7 ] S. Knickerbocker, A. Kulkarni, “Calculation of the figure of merit for indium tin oxide films based on basic theory”, J. Vac. Sci. Technol. A Vac. Surf. Films, 13, pp.1048-1053, May 1995.
- [ 8 ] B. Chiou, S. Hsieh, “RF magnetron-sputtered indium tin oxide film on a reactively ion-etched acrylic substrate”, Thin Solid Films, 229, pp.146-155, June 1993.
- [ 9 ] S. Ishibashi, Y. Higuchi, Y. Ota, K. Nakamura, “Low resistivity indium–tin oxide transparent conductive films. II. Effect of sputtering voltage on electrical property of films”, J. Vac. Sci. Technol., A, Vac. Surf. Films, 8, pp.1403-1406, May 1990.

- [ 10 ] A. K. Kulkarni, T. Lim, M. Khan, K. H. Schulz, “Electrical, optical, and structural properties of indium-tin-oxide thin films deposited on polyethylene terephthalate substrates by rf sputtering”, J. Vac. Sci. Technol. A, Vac. Surf. Films, 16, pp.1636-1640, May 1998.
- [ 11 ] W. F. Wu, B. S. Chiou, “Properties of radio-frequency magnetron sputtered ITO films without in-situ substrate heating and post-deposition annealing”, Thin Solid Films, 247, pp.201-207, July 1994.
- [ 12 ] A. Salehi, “The effects of deposition rate and substrate temperature of ITO thin films on electrical and optical properties”, Thin Solid Films, 324, pp.214-218, July 1998.
- [ 13 ] Jin Ma, Dehang Zhang, Junqing Zhao, Chuenyu Tan, Tianlin Yang, Honglei Ma, “Preparation and characterization of ITO films deposited on polyimide by reactive evaporation at low temperature”, Applied Surface Science, 151, pp.239-243, October 1999.
- [ 14 ] Joseph George, C.S. Menon, “Electrical and optical properties of electron beam evaporated ITO thin films”, Surface and Coatings Technology, 132, pp.45-48, October 2000.
- [ 15 ] H. Kim, C. M. Gilmore, A. Piqué, J. S. Horwitz, H. Mattoussi, H. Murata, Z. H. Kafafi, and D. B. Chrisey, “Electrical, optical, and structural properties of indium–tin–oxide thin films for organic light-emitting devices”, J. Appl. Phys., 86, pp.6451-6461, December 1999.
- [ 16 ] S. Bhagwat, R. P. Howson, “Use of the magnetron-sputtering technique for the control of the properties of indium tin oxide thin films”, Surf. Coat. Technol., 111, pp.163-171, January 1999.
- [ 17 ] D. V. Morgan, Y. H. Aliyu, R. W. Bunce, A. Salehi, “Annealing effects on opto-electronic properties of sputtered and thermally evaporated indium-tin-oxide films”, Thin Solid Films, 312, pp.268-272, January 1998.
- [ 18 ] H. J. Krokoszinski, R. Oesterlein, “Post-deposition annealing effects in electron-beam-evaporated indium tin oxide thin films”, Thin Solid Films, 187, pp.179-186, May 1990.

- [ 19 ] T.Maruyama, K. Fukui, “Indium tin oxide thin films prepared by chemical vapour deposition”, Thin Solid Films, 203, pp.297-302, August 1991.
- [ 20 ] H. Kim, J. S. Horwitz, G.Kushto, “Effect of film thickness on the properties of indium tin oxide thin films”, J. Appl. Phys., 88, pp.6021-6025, November 2000.
- [ 21 ] M. J, S. Y. Li , J. Q. Zhao, H. L. Ma, “Preparation and properties of indium tin oxide films deposited on polyester substrates by reactive evaporation”, Thin Solid Films, 307, pp.200-202, October 1997.
- [ 22 ] M. J. Alam, D. C. Cameron, “Optical and electrical properties of transparent conductive ITO thin films deposited by sol–gel process”, Thin Solid Films, 377, pp.455-459, December 2000.
- [ 23 ] S. S. Kim, S. Y. Chio, C. G. Park, H. W. Jin, “Transparent conductive ITO thin films through the sol-gel process using metal salts”, Thin Solid Films, 347, pp.155-160, June 1999.
- [ 24 ] Y. S. Wu, R. S. Feigelson, R. K. Route, D. Zheng, L. A. Gordon, M. M. Fejer, and R. L. Byer, “Improved GaAs Bonding Process for Quasi-Phase-Matched Second Harmonic Generation”, J. Electrochem. Soc., 145, pp. 366-371, January 1998.