



## III-V 族化合物半導體 在光電元件中的應用

林祐仲

國立彰化師範大學 光電科技研究所

III-V 族化合物半導體絕大部分屬於直接能隙半導體，不同於間接能隙之矽半導體。所謂直接能隙半導體則指電子從導帶底部掉落至價帶頂端，只產生能量的變化，此能量大約等於導帶底部與價帶頂端之能量差稱為該半導體之能隙，然而間接能隙半導體則指電子從導帶底部掉落至價帶頂端時，除能量的變化外，還包括晶體動量的改變，兩者之簡易能帶架構顯示於圖一。再者，此 III-V 族化合物半導體並非存在自然界，乃是利用液相磊晶(簡稱 LPE)技術、化學氣相沉積(簡稱 CVD)技術、分子束磊晶(簡稱 MBE)技術或是有機金屬化學氣相沉積(簡稱 MOCVD)技術成長 III-V 族化合物薄膜於各式基板上，但必須考慮基板與 III-V 化合物半導體間的晶格匹配問題，藉由不同基板使用可成長不同 III-V 族化合物半導體，涵蓋二元、三元或四元化合物半導體。此外，在磊晶過程中亦可摻雜各種雜質改變所成長之化合物半導體的導電載子特性和電導率，若

所成長之化合物半導體的主要載子是電子則屬 n 型半導體，若所成長化合物半導體的主要載子是電洞則屬 p 型半導體，若將 p 型半導體薄膜成長於 n 型半導體上則形成 p-n 二極體，p-n 二極體的發明和其後的發展奠定了這一劃時代的微電子技術革命的基礎，亦延伸應用在光電元件製作。圖二顯示平衡時之同質 p-n 二極體的能帶架構，p-n 界面處會形成空乏區，在空乏區中並無電子也沒有電洞只存在游離的雜質，在 n 型半導體這邊的空乏區出現帶正電荷的雜質離子(稱為施體)，在 p 型半導體這邊的空乏區出現帶負電荷的雜質離子(稱為受體)，此帶正負電荷的雜質離子會在空乏區中產生內建電場，空乏區在微電子與光電元件應用中扮演重要的角色。然而，於 20 世紀 60 年代初期則開始異質 p-n 結構的研究，成長異質 p-n 半導體結構仍需要考慮異質 p-n 界面其晶格匹配問題以便降低界面缺陷的產生。圖三顯示平衡時之異質 p-n 二極體的能帶架構。底下介紹三種光電半導體元件最常見的應用。

### 一、發光二極體

具直接能隙之 III-V 族半導體導帶中之自由電子與價帶中的電洞產生輻射複合時則會釋放出相當於能隙之能量( $E_g$ ，單位: eV)轉而放射出特定波長( $\lambda$ ，單位: nm)的光，兩者之關係為  $E_g = 1240/\lambda$ ，一般定義可見光的波長範圍約 400 nm 至 750 nm，因此成長特定能隙(1.66 ~ 3.1 eV)之直接能隙 III-V 族 p-n 二極體便構成一個可發出可見光之發光二極體。當此發光二極體之 p 型半導體端注入電洞 n 型半導體注入電子則處於順偏狀態，導致 p-n 界面空乏區變窄，電子和電洞將於近界面處以輻射複合方式複合然後發光。圖四顯示日亞公司中村修二所發表之

InGaN/AlGaN 異質結構藍色發光二極體的元件結構[1]，位在 III-V 族半導體 p-n 界面之 Zn-Si 摻雜之 InGaN 層為發光層，整個元件結構顯示具有 p-n 半導體結構特性。

### 二、光檢測器

光檢測器可用於檢測光訊號的光電元件，構成光檢測器必須找到能吸收要被檢測光波之半導體材料，且吸收該光波之後會在半導體內形成電子-電洞對。光檢測器廣泛應用於光纖通信感測器和光隔絕器的紅外線感測器，此類光檢測器必須具備高靈敏度、高響應度和低雜訊。圖五顯示 III-V 族半導體之感光二極體結構圖[2]，其具有 p-n 半導體結構特性。感光二極體基本上是一個操作於反偏壓的 p-n 界面，當光信號照射於感光二極體時，空乏區會將光生電子電洞予以分開，因此有電流流至外部電路。對於一個感光二極體在操作時並須考量兩個參數，即量子效率和頻率響應，在圖五中可發現 p-n 半導體結構中插入一層未摻雜之本質半導體層可予以調變得到最佳之量子效率和頻率響應。

### 三、太陽電池

在 20 世紀的世界能源結構中，人們所利用的能源包含石油、天然氣和煤炭等化石能源，經過一段相當時間隨著經濟發展和人口增加，這些化石能源可能被消耗殆盡，因此急需尋求替代能源，根據種種現象和研究成果顯示太陽直接輻射至地球表面的能量豐富並廣泛分布且可再生又具無汙染環境之優勢，是目前國際社會公認的理想替代能源。太陽能發電及其應用是集開發利用綠色可再生能源、改善生態環境和人類生活條件於一體為目前全世界發展的重大課題。在 1990

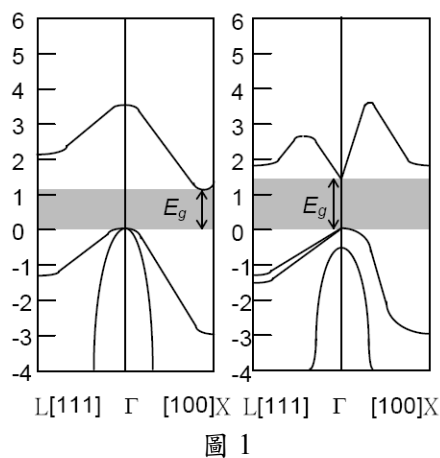


圖 1

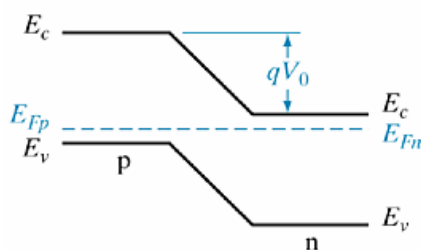


圖 2

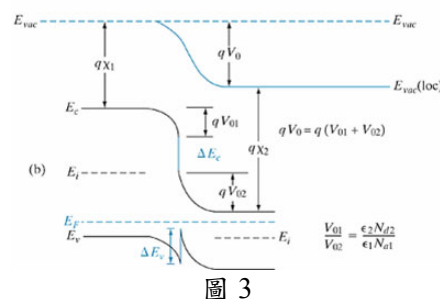


圖 3

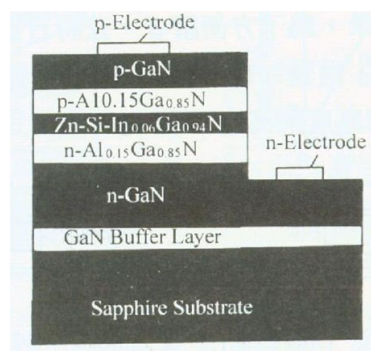


圖 4

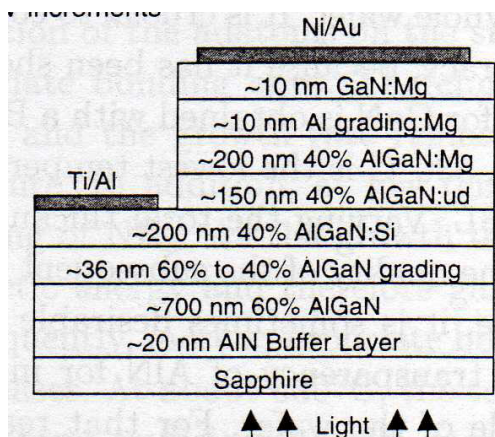


圖 5

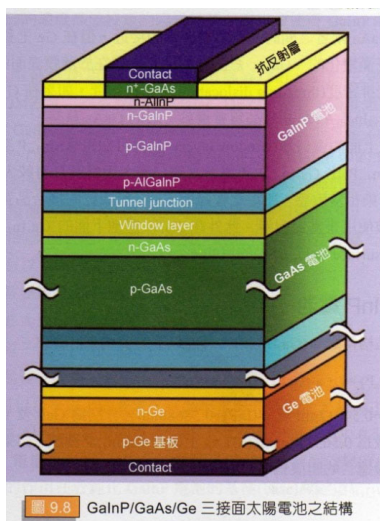


圖 6

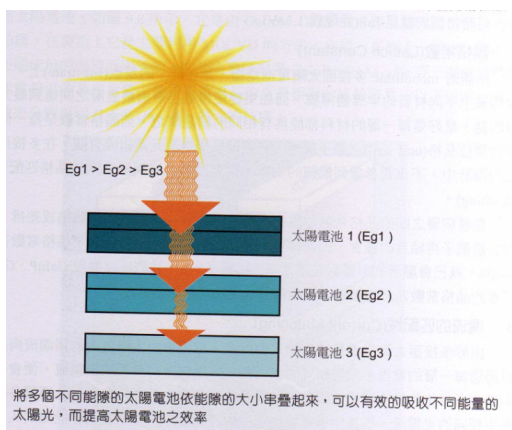


圖 7

年之前太陽電池的材料以單晶，多晶和非晶的矽為主，III-V 族半導體材料亦可應用於太陽電池製作，由於 III-V 族半導體具直接能隙特性，僅需成長數微米厚之薄膜即具高的吸光率，III-V 族半導體之太陽電池也具有較高之光電轉換效率。圖六顯示 InGaP/GaAs/Ge 多接面太陽電池的結構圖 [3]，其具有 p-n 半導體結構特性，當陽光照射太陽電池之多接面之 p-n 界面時，因每個 p-n 界面具有不同的能隙值，因此不同波段之太陽光分別被各個 p-n 結構之半導體所吸收(顯示於圖七)，如此可在導帶和價帶中產生非平衡電子和電洞。由於 p-n 界面空乏區存在內建電場，因而在空乏區中的光生電子電洞受內建電場之影響下，各向相反方向移動離開空乏區(構成 n 區流向 p 區的光生電流)導致 p 區電位升高 n 區電位下降，p-n 界面兩端形成光生電動勢。如果將此多接面之 p-n 結構之半導體與外電路接通，只要持續照光就會不斷有電流流過電路，p-n 結構之半導體起了電源的作用，這就是太陽電池基本工作原理，即將太陽光的光能直接轉換成電能。

## 參考文獻

1. S, Nakamura, Jpn. J. Appl. Phys. 30, L1705 (1991).
2. D. J. H. et al. Appl. Phys. Lett. 77, 1900 (2000).
3. 太陽電池技術入門, 林明獻 編著 (全華圖書公司,台北, 2007).