

一、緒論

1.1 前言:

高科技的現代，各種不同材料的應用顯得相當的重要，半導體材料便是其中一項重要的應用，例如微機電(MEMS)、超大型積體電路(VLSI)、高亮度發光二極體^{[1][2]}、光子晶體、多晶矽薄膜電晶體(poly-silicon TFT)、異質接合電晶體(HBT)^{[3][4][5]}、光電整合電路(OEICs)、垂直共振腔面射型雷射(VCSEL)^[6]、非線性光學元件^[7]。傳統的異質磊晶(Heteroepitaxy)技術使光電元件因晶格不匹配(lattice mismatch)造成界面處產生高密度的穿透性差排(threading dislocation)^{[8][9][10]}，而使各個材料的特性無法發揮，限制了應用的範圍。為了使各不同材料能夠整合發揮其功能，晶圓接合技術(wafer bonding)便由此而生。藉由各種晶圓接合技術可以達成整合這些材料的目的，以生產出符合現代人需求的產品。

目前已經藉由晶圓接合技術成功被接合的材料有 GaAs/GaAs^{[11][12]}、GaAs/GaN^{[4][14][22]}、AlGaAs/GaAs^[13]、AlGaAs/GaAs/GaN^[14]、InP/GaAs^[15]、InP/Si^[16]。因此晶圓接合技術在三五族半導體的應用領域上佔了相當大的重要性，以 LED 為例將 LED 元件與 GaP 基板接合，取代會吸光的 GaAs 基板，可以使 LED 的發光效率變得更好，而將 LED 元件與銅基板接合，不僅可以使 LED 元件的散熱效率更好，延長 LED 元件的使用壽命，也可以降低元件的啟動電壓。由以上的例子可以得知晶圓接合若可以有效的使用於光電元件上，對於光電元件的整合和應用將會是一大突破。

由上可知，對三五族光電半導體的基礎研究是必須的。基礎研究對將來每一種光

電元件應用上具有很大的正面影響。我們可以藉由基礎研究了解基本接合元件的物理性質(如機械強度、導熱性、反射率)，化學性質(如活化能)、電子特性(如原子能階、電子電洞遷移率、導電率)，可以用來製造具備特殊性質或是特定需求的高性能光電材料，如低電壓耗能電腦、電子陶瓷材料等，為未來的應用上建立了良好的基礎。

1.2 研究動機

在說明研究動機前，須先說明一下砷化鎵一些基本性質以及優勢所在，這也是為什麼對砷化鎵材料充滿興趣的原因之一。砷化鎵在晶體學上是閃鋅礦結構(Zincblende)，砷原子和鎵原子佔據的位置如圖 1-1 所示，砷化鎵位共價鍵結晶體，以 sp^3 混成軌域鍵結。表 1-1 為砷化鎵的一些重要的基本特性，由於砷化鎵劇毒性，研究時必須特別注意。

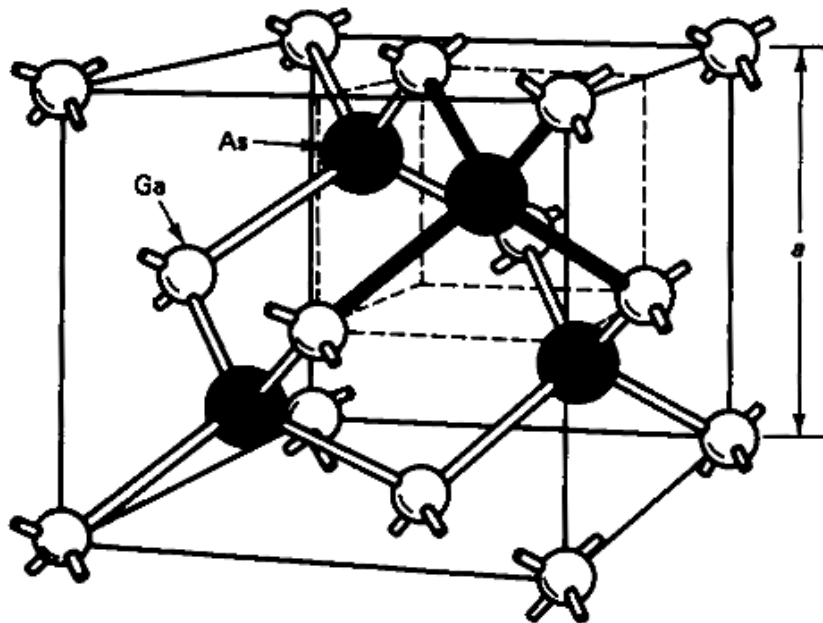


圖 1-1 砷化鎵晶格示意圖^[17]

Crystal structure	Zinc Blende
Group of symmetry	T_d^2-F43m
Number of atoms in 1 cm^3	$4.42 \cdot 10^{22}$
de Broglie electron wavelength	240 Å
Debye temperature	360 K
Density	5.32 g cm^{-3}
Dielectric constant (static)	12.9
Dielectric constant (high frequency)	10.89
Effective electron mass m_e	$0.063m_0$
Effective hole masses m_h	$0.51m_0$
Effective hole masses m_{lp}	$0.082m_0$
Electron affinity	4.07 eV
Lattice constant	5.65325 Å
Optical phonon energy	0.035 eV

表 1-1 300K 時砷化鎵半導體的基本性質

GaAs 的優勢

GaAs 是屬於光電半導體，砷化鎵具有直接能隙(如圖 1-2)、高頻、抗輻射、耐高溫等特性，因此在無線通訊將成為未來主流趨勢時，砷化鎵有更廣闊的發展空間。

一般行動電話的結構包括射頻(RF)、中頻(IF)、基頻(BaseBand)，由於砷化鎵具有高頻傳輸的特性，目前 RF 的主要零件—PA (功率放大器)，以砷化鎵 IC 的效果最好。又因為具有抗輻射特性(radiation hardened)，輻射線會使光電半導體材料產生不可意料的電子和電洞對，而 GaAs 不因為輻射而產生漏電流，元件使用特性上較為良好。

除了無線通訊 IC 之外，砷化鎵元件對通訊系統中高頻微波產生反應，將微波轉換成電流，故常被用在高速元件，如異質接面雙載子電晶體(HBT)。另外區域網路邁向超高速乙太網路，光纖通訊在高速區域網路之廣泛使用將勢在必行，以砷化鎵為材料製成之 VSEL，因具有檢測容易、傳輸速率高、穩定度高及壽命長等優點，勢必成為光發射器內發光元件的主流。

由於砷化鎵是直接能隙，當電子從價帶跳至導帶，不需要作動量的轉變，產生光子效率較高，故適於製作高亮度 LED 元件，砷化鎵所生產之高亮度 LED 也可用在照明上，初期先應用在汽車的煞車燈上(紅光)，未來包括車內閱讀燈、室外看板所需要的白光 LED，均可由砷化鎵延伸應用。

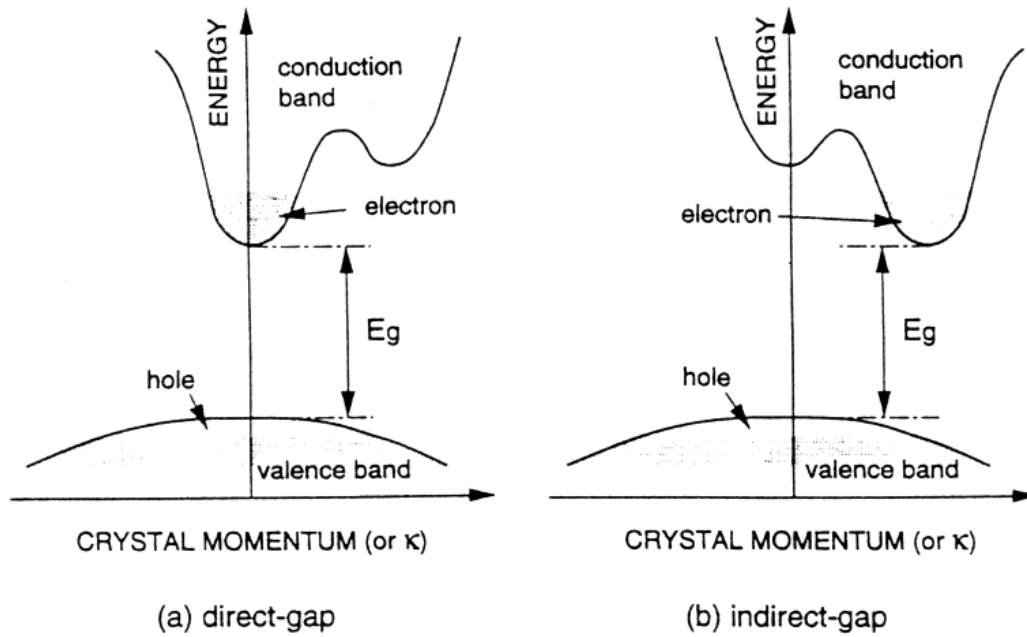


圖 1-2 直接能隙(Si)和間接能隙(GaAs)能帶示意圖

前人已對矽晶圓之間互相接合後的電性有所研究^[18]。雖然三五族光電半導體的研究起步較晚，光電業的崛起也帶動了三五族光電半導體的研究，例如 LED 產業上的應用等，而其中砷化鎵晶圓之間的接合屬於比較基礎的研究，盧正倫與彭顯智對於砷化鎵已有不少研究^{[19][20]}，其中對於 N 型砷化鎵接合同相和反相之間的電性和介面型態已有不少研究。所謂同相結構(如圖 1-3)所示，當其中一片砷化鎵晶片沿 $\langle 110 \rangle$ 方向的大平邊切邊旋轉 90° ，所得的結構既是同相，假如同相的接合完美，可由圖知完美的接合對於材料而言，就像是單一塊材般，完全適用於後續加工，盧正倫和彭顯智的研究中也指出砷化鎵晶圓同相接合，無法完全達到完美接合^{[19][20]}，介面也會產生許多變化，而反相結構(如圖 1-4)所示，當其中一片砷化鎵晶片沿 $\langle 110 \rangle$ 方向的大平邊切邊旋轉 180° ，所得的結構既是反相，反相結構的形態猶如材料科學中所提到的雙晶結構，既材料沿著介面呈現對稱的結構，至於砷化鎵晶圓的一些基礎特性將在後面章節再詳細介紹，盧正倫和彭顯智的研究指出 N 型砷化鎵接合電性和同相反相之間有相當大的關係存在，這些可以參考盧正倫和彭顯智的論文，但是對於 P 型砷化鎵晶圓接合著墨並不深，原生氧化層

對 P 型砷化鎵的影響亦不得而知，原生氧化層對於 N 型砷化鎵電性而言扮演著重要的腳色，彭顯智^[20]的研究以藉由雙氧水及氫氟酸(HF dipping)、以及硫酸來去除原生氧化層以了解氧化層對砷化鎵電性的影響。不同的溫度對於砷化鎵接合而言也扮演這重要的關鍵，雖然盧正倫^[19]的研究中對於 P 型砷化鎵也有初步的了解，而介於同相和反相間的大角度變化和幾個共位晶界角卻無從得知，對於退火時間長短對 P 型砷化鎵介面的變化和電性也無法得知。

本研究主要探討 P 型砷化鎵晶圓接合，控制變因包含了不同的退火溫度，以了解溫度對於接合後晶圓電性和介面的影響。不同的退火時間，以往實驗注重溫度對介面的影響，忽略了退火時間也是一個關鍵，本研究其中一部份就是控制時間以觀察時間對接合的影響。不同的旋轉角度(大角度及共位晶界角)，以及有無去除原生氧化層，其之間的電性和介面之間的關係，彭顯智^[20]對於 N 型的研究中以看出旋轉角度對於接合的電性是有相當大的影響的，也對於介面的形態有相當大的關係，所以藉由穿透式電子顯微鏡(TEM)，希望可以有效的觀察出介面的形態，也期望能藉由控制變因找出對電性介面影響的關鍵。

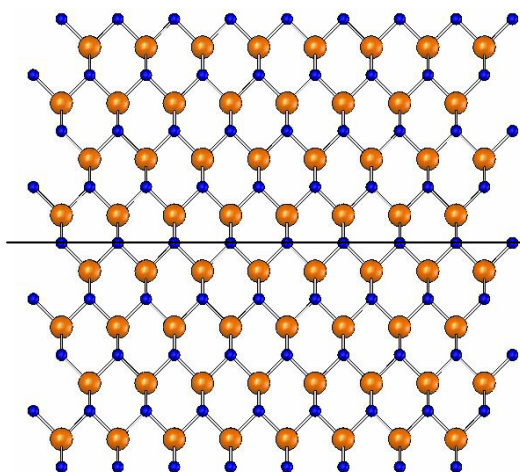


圖 1-3 砷化鎵同相結構

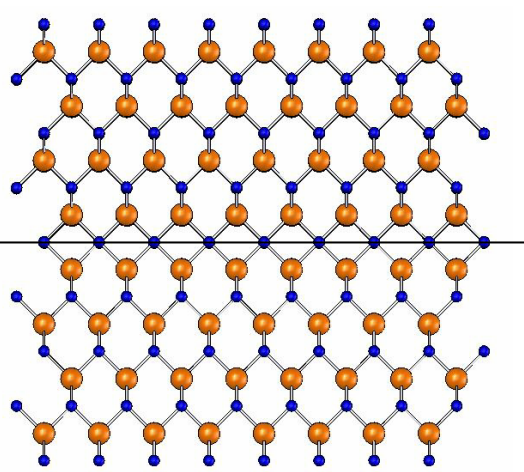


圖 1-4 砷化鎵反相結構

二、晶圓接合技術簡介

2.1 晶圓接合技術

晶圓接合技術(Wafer Bonding Technology)是將二片晶圓，不管是同質或是異質的晶圓互相接合(contact)，再進一步利用各種方法，使原子進一步產生共價接合，而讓二晶圓平面之間的接合面，能達到一定程度的結合強度，使原子鍵結合成一體。

目前接合技術大致可分為五類^[21]

1. 直接接合法(Direct Bonding)
2. 陽極接合法(Anodic Bonding)
3. 低溫接合法(Low Temperature Bonding)
4. 中間介質層接合法(Intermediate Layer Bonding)
5. 黏接接合法(Adhesive Bonding)

本實驗使用的是直接接合法，也稱為晶圓融合法(Wafer fusion)。所謂直接接合法就是將二片要接合的晶圓經過潔淨製程(Clean Process)處理後，再將晶圓表面旋乾(Spin Dry)，使表面能夠保持適量水分子，或者將試片放入其他溶液中使表面可以藉由凡得瓦力或氫鍵的力量接合在一起。在微潔淨室裝置內，直接面對面接合(Face to Face Bonding)，在將接合的晶片放置氣氛中退火(Annealing)，退火可使表面間的原子能互相反應形成化學鍵，而使二晶片接合使晶片猶如塊材一般，結合後的晶片可以做後續的機械加工等後續製程。

2.2 接合基本條件

1. 晶圓表面平整度

晶圓接合需要乾淨和平整拋光的鏡面，表面的不平整在接合後會留下許多的缺陷例如孔洞等，也會造成接合面的牛頓環，牛頓環的出現代表接合不完整的地方。孔洞若是超過了一個臨界值，將會造成未接合的區域^[23]，也可能造成試片將無法接合，因此晶圓表面的粗糙度一定要在某一程度之下，清潔表面也需要做到潔淨的目的，盡量不讓雜質顆粒或者其他污染物殘留在表面，殘留物對於表面的平整也會造成影響，通常造成的未接合區域比殘留物本身還要大許多如圖 2-1。而介面要是被氣體捕捉也會造成未接合區域的增加，若再經過電漿處理^[24]或是氫離子佈植^[25]，經過退火會造成不完美區域擴張，而造成塊材破裂，也可利用這些方法來製作需要轉移技術結構的元件。

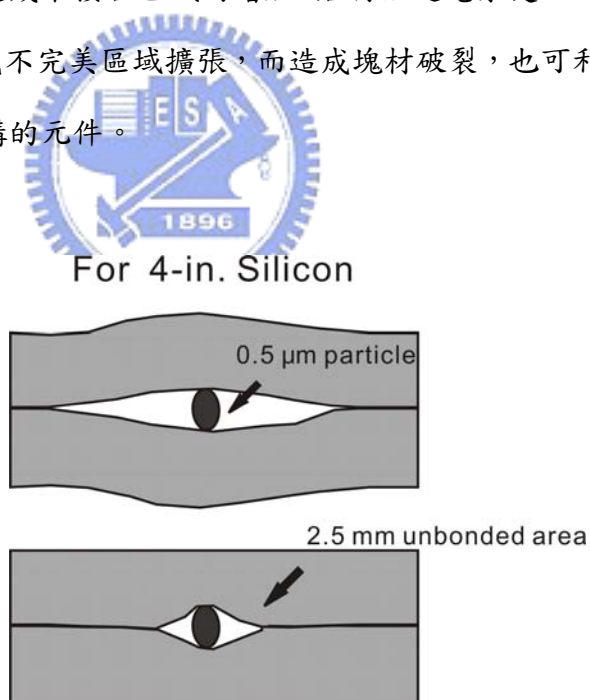


圖 2-1 晶片微小不潔粒子對接合介面的影響

2. 接合環境

接合環境對於接合品質有重大的影響，接合環境目前有真空、有機溶液、水、空氣。若能在真空中接合所得到的接合品質較佳^[26]，在真空中可以避免氣體被捕捉以及汙染物顆粒。真空設備造價較高，也需要一個密合的腔體(chamber)。本實驗是在有機溶劑中做接合(contact)，相較於水，比較不容易被介面捕捉，本實驗用的有機溶劑有甲醇(methanol)與異丙醇(IPA)。

3. 退火溫度

退火溫度對於接合強度有舉足輕重的地位。對於異質接合，會有晶格常數不匹配，以及熱膨脹係數不一樣的問題，可能導致熱應力，而造成接合失敗。高溫也會造成摻雜濃度的改變和介面之間的互擴散問題。對砷化鎵而言，高溫也會造成砷原子擴散而跑出砷化鎵晶體，對於砷化鎵的電性有極大的影響，因此利用 Ar 電漿或是 O₂ 電漿活化表面之後配合真空環境再做接合^[24]，可以有效的降低接合溫度，將是日後接合的趨勢。

4. 退火氣氛

退火氣氛需要依據晶圓的種類及需求特性來選擇，一般來說需要用不活潑性的氣體例如氮氣(N₂)、氬氣(Ar)，或者是還原性氣氛(10% H₂+90% N₂)來預防氧化層的產生。另外實驗上也有採用空氣，空氣較容易產生氧化層對電性有極大的影響，不建議使用，氬氣^[27]也可使用於實驗上。

5. 施加壓力

在初步接合後，會施加一壓力於試片上，使試片表面的原子互相接觸面積增加。再藉由熱與壓力的幫助讓原子間的接合反應增加，形成較強的共價鍵結完成接合。壓力大小比須適中，壓力太大，試片將無法承受而產生破裂，太小則無助於接合的完成。壓力也需要均勻的施加於試片上，不均勻的壓力會導致接合失敗或是接合的強度不一，對電性來說也會產生不少的影響。本實驗所使用的壓力來源是藉由熱膨脹劑係數的差異。另外也有利用彈簧的壓力來施壓^[28]，此法可以改變不同的壓力，因此可以用來觀察壓力對接合特性的影響。最近，也有針對晶圓接合專用而設計的接合機台(Bonder)^[29]，從潔淨、接合、加壓、接合等步驟都在腔體內進行，機台壓力來源為油壓或是氣壓式，可以精確控制壓力變數。



2.3 晶圓接合的優點

晶圓接合技術有下列幾項優點：

1. 使晶格不匹配(lattice mismatch)所產生的差排(dislocation)和缺陷(defect)僅限於接合介面區域，而不會延伸至元件活性層而影響元件特性
2. 結合面牢固，接合的材料像單一的晶體材料一樣完全適合於切割、研磨、拋光等機械加工技術
3. 直接接合晶片，可以實現低電阻歐姆性質的導電特性及高透明度的光學性質，滿足了光電元件的需求
4. 增加了元件設計的自由度
5. 簡化了所有的技術，降低光電元件整合的難度
6. 設備簡單、價格便宜

三、 實驗方法

3.1 實驗架構

本實驗主要分為，工作試片製被、室溫接合、高溫接合，室溫接合包含了潔淨晶圓以及試片在有機溶液中接合的動作。高溫接合是本實驗最重要的控制變因之一，高溫接合在本實驗中使用了四個溫度，500°C、600°C、700°C、850°C。令外幾個控制變因則是退火時間和試片的旋轉角度以及有無去除原生氧化層分別做介紹。

3.1.1 實驗工作片製備

本實驗所使用的試片為 $\langle 100 \rangle$ 偏移縱軸二度(Off 2°)2吋P型砷化鎵晶圓如圖3-1，摻雜物為鋅(Zn)，摻雜濃度為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ，在做清洗之前，需先沿著晶片 $\langle 110 \rangle$ 大平邊方向做各種不同角度所需角度的畫記，利用 Dicing saw 晶圓切割機如圖3-2，依標記切取 1x1 cm 大小的試片如圖3-1所示，並取中間區域試片，此試片即為實驗用的工作片。

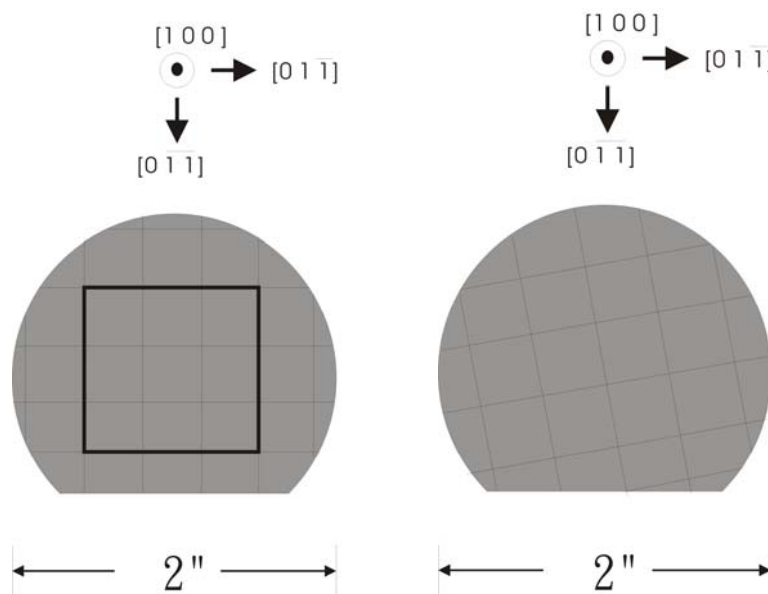


圖 3-1 切割後的工作片



圖 3-2 精密晶圓切割機(Dicing Saw)

3.1.2 清洗



清洗流程如圖 3-3，其中丙酮(Acetone)是為了清除附著於試片表面的污染物顆粒，藉由超音波震盪器使附著物脫離，而硫酸(H_2SO_4)及雙氧水(H_2O_2)的功能在於硫酸可以清除部分氧化物，雙氧水會侵蝕砷化鎵晶圓表面使表面的有機物清除，氫氟酸(HF)的用意在於去除氧化層，最後有清除氧化層的試片放入甲醇，而未清除氧化層的試片則在放入異丙醇，甲醇^[30]與異丙醇對於接合強度都有一定的幫助。

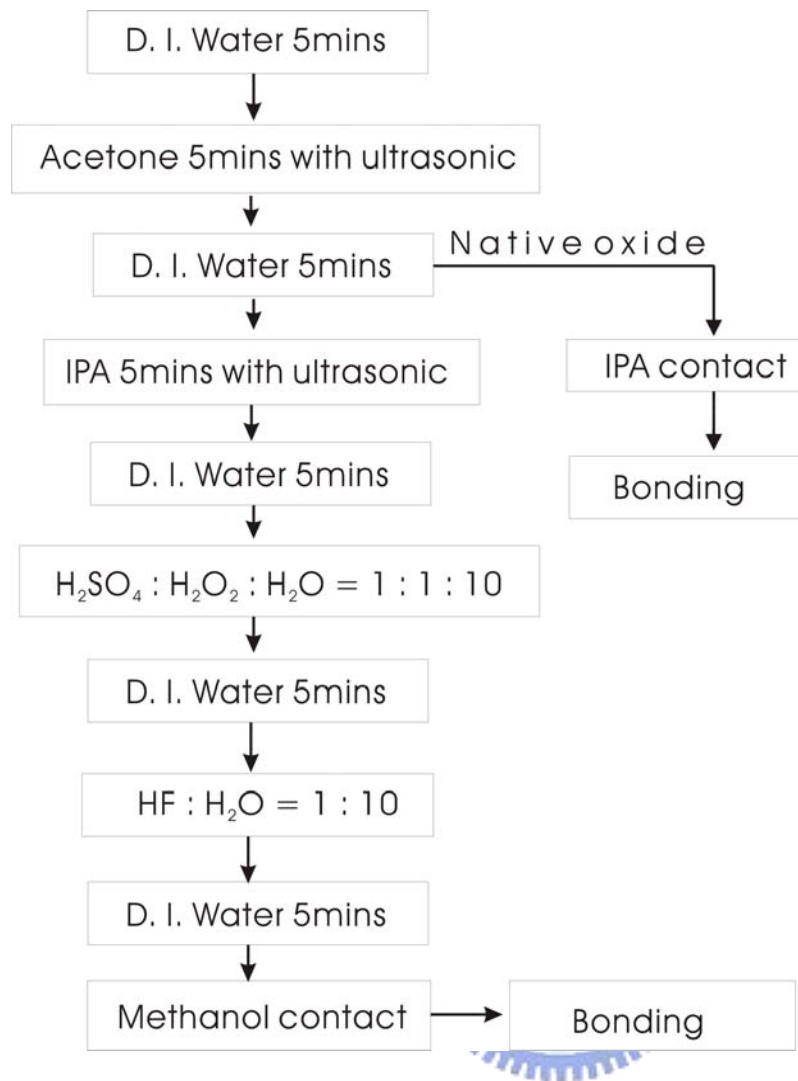


圖 3-3 晶圓清洗流程

3.1.3 室溫接合

試片於潔淨完成後，依所需的試片參數(如表 3-1，3-2)，在有機溶液中做接合 (Contact)。接合需注意四個角有無對齊，誤差可能會造成實驗數據上的錯誤，當試片接合完成後，隨即放入本實驗室專用之夾具中，如圖 3-4 為本實驗室專用夾具分解示意圖。圖 3-5 為本實驗專用夾具結合示意圖，圖中的 wafer pair 為試片所放之位置。

試片組合	退火時間	退火溫度	旋轉角度
PGaAs/PGaAs	1 hr	500 °C	90°
		600 °C	
		700 °C	
		850 °C	
		2 hr	

表 3-1 未清除氧化層之砷化鎵接合試片參數

試片組合	退火時間	退火溫度	旋轉角度
PGaAs/PGaAs	1 hr	500 °C 600 °C 700 °C	0° (anti-phase)
			10°
			30°
			40°
			50°
			60°
			80°
			90° (in-phase)

表 3-2 清除氧化層之砷化鎵接合參數

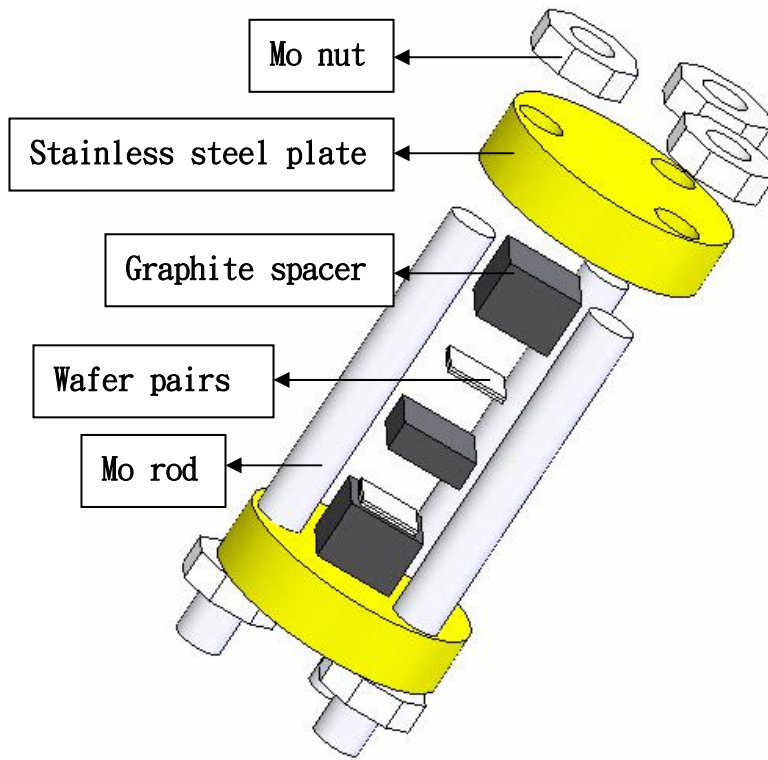


圖 3-4 本實驗室專用夾具分解示意圖

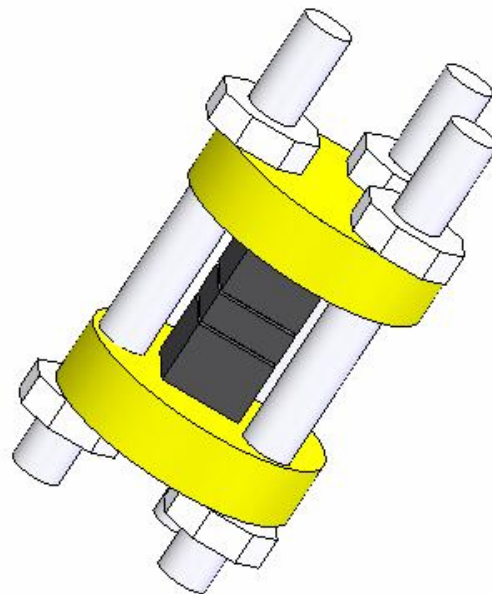


圖 3-5 本實驗專用夾具結合示意圖

3.1.4 高溫鍵合

試片置入夾具後隨後進行高溫接合的步驟，本實驗室夾具的設計理念是利用石墨(Graphite)與不鏽鋼(stainless steel)以及鉬螺帽(Mo nut)之間明顯的熱膨脹係數差異如圖 3-6，在高溫時熱膨脹係數較低的鉬會抑制石墨的膨脹而使夾在石墨中的試片，在高溫退火的過程中承受了石墨膨脹時所產生的壓應力。此壓力可達數十個 MPa，藉由此完成接合的步驟，不鏽鋼(304)與鉬在溫度變化下的熱膨脹係數差異如圖，高溫退火的過程均在長型爐管當中進行如圖 3-7 所示。在升溫前，須先抽出管內的空氣再注入高純度的氬氣(Ar)，反覆此步驟三次以確保管內的氧化性氣氛降至最低。當溫度升到所需之接合溫度時，在進行一次上述步驟，以防止溫度造成的水氣在管內產生氧化層。最後注入的氬氣壓力必須大於外界的大氣壓力，以防止在持溫的過程中空氣沿著接縫處擴散進入管內。

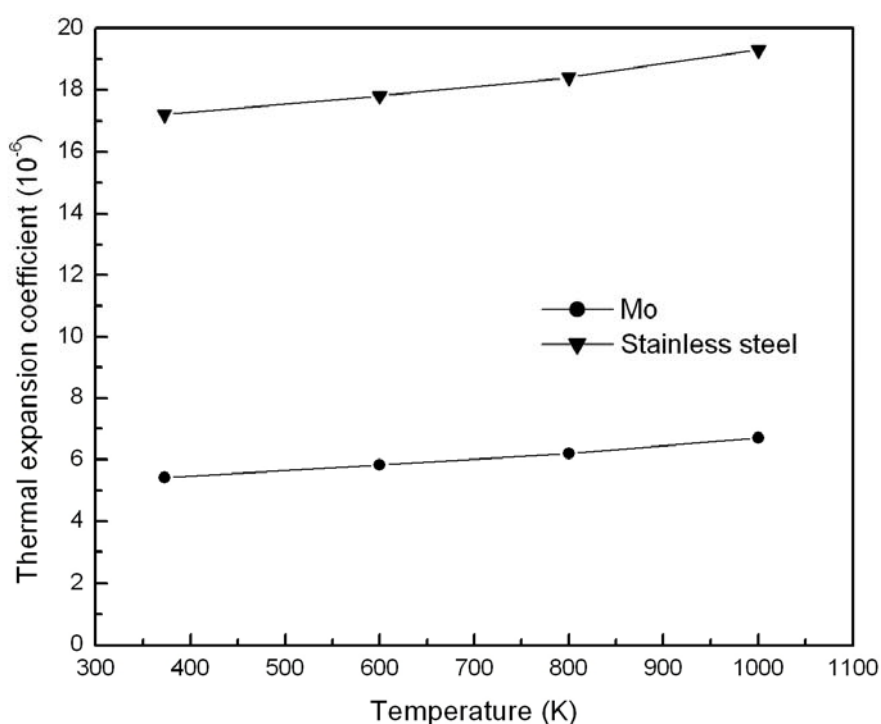


圖 3-6 鉬與不鏽鋼之熱膨脹係數差異

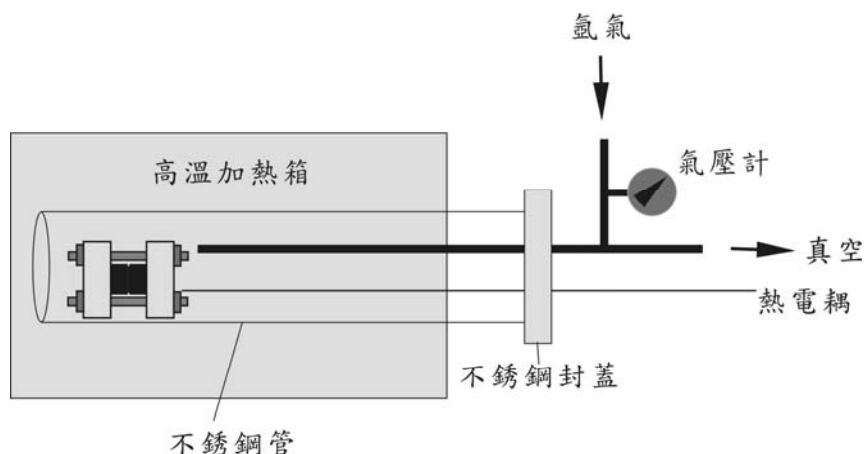


圖 3-7 晶圓接合爐管示意圖

3.1.5 金屬濺鍍

當試片完成接合後，為了後續電性的量測，需藉由單片砷化鎵試片來觀察鍍附金屬的歐姆接觸溫度，有良好的歐姆接觸才能得到有效的電性圖。接下來將試片二面鍍上金屬，在鍍金屬前必須將試片二面加以拋光(Polish)使接合試片二面的粗糙度降到最低以便完成最好的歐姆接觸，拋光後利用 E-Gun 將

Ti/Pt/Au(50/50/300nm)逐層鍍上，隨後進行快速退火處理(Rapid Thermal Annealing)使其表面金屬層與半導體層達到歐姆接觸(Ohmic contact)，快術退火處理是在一分半鐘的時間內急速升溫至 380°C，持溫 30 秒，接著利用精密晶圓切割機將原本 1cm x 1cm 的試片切割成 2mm x 2mm 的大小。

3.2 數據測量與分析

本實驗測量的數據只要為電流-電壓曲線(I-V Curve)，針對完成高溫退火完成接合的試片進行，比較在不同的條件下所得到的電性差異現象。取得電性之後再根據電性的差異選擇所要觀察的試片，最後藉由穿透式電子顯微鏡(TEM)觀察。由

於本實驗所接合的材料均為砷化鎵晶片，在掃描式電子顯微鏡(SEM)之下，由於材料相同所以對比顏色相近，無法藉由 SEM 觀察介面的主因在於此。

3.2.1 電性測量

測量試片為 2mm x 2mm 的試片，利用本實驗室的電性量測儀器(kethley 4200)，量取電流-電壓特性圖(I-V Curve)。

3.2.2 介面分析

經過前述的實驗方法與電性的量測後，彙整出實驗數據，可以得到不同條件下的電性分布趨勢。由於本實驗控制變因有數個，我們將固定只改變一個變因的電性圖分別做比較。由於控制變因造成的影響主要在於介面上，因此介面型態的差異將會影響測量的電性數據。根據 Frank Shi 等人的研究，已知道介面上會有氧化物的聚集和分布^[12]，除了氧化物之外缺陷和介面的滑移也有可能對電性有影響，這些都必須經由穿透式電子顯微鏡(TEM)來加以做確認。

穿透式電子顯微鏡是利用高能量電子束撞擊試片材料，使電子束穿透式片後於下方銀幕成像。因為電子束的波長較短解析度較高，較高等級的 TEM 機台解析度可達 0.2nm 以上。由於 TEM 技術不斷的進步，許多缺陷都可由高解析度穿透式電子顯微鏡(High Resolution TEM, HRTEM)觀察。舉凡化合物結晶結構、晶體缺陷、晶界間或相與相之間的原子排來觀察顯微結構，單從 TEM 是無法判斷試片中未知析出物的化學成分，所以，成分分析需藉由能量散佈光譜儀(Energy Dispersion Spectrum, EDS)做進一步的觀察，可以幫助瞭解材料的化學組成以及做化學成分定量分析。

四、結果與討論

N 型砷化鎵晶圓順相反相接合已有初步的研究^[19]，實驗中指出，N 型砷化鎵在低溫接合時會產生一層均勻分佈的氧化層，而隨著溫度的增加氧化層將會有聚集的現象，在其他研究中顯示出，N 型砷化鎵晶圓接合的氧化層和晶圓本身的原生氧化層有著極大的關係^[20]，對 N 型砷化鎵晶圓而言，氧化層對於電性有著極大的影響，相較於 N 型，P 型砷化鎵影響電性的原因較不明確，依據前人對 N 型的研究，本實驗對 P 型砷化鎵影響電性的原因做了研究。

本實驗第一部分使用了未清除氧化層 P 型砷化鎵試片，相較於前人使用了 2 個小時的退火時間，為了更明確知道退火時間對電性的影響，實驗中第一個控制變因為退火時間的變化。藉著不同的退火時間，我們將可以知道退火時間對電性以及介面型態變化的影響，分別做了 500°C、600°C、700°C、850°C，除了退火溫度的研究，本實驗也針對原生氧化層的清除與否對電性的影響做了實驗。實驗參數為接合一小時，分別也做了 500°C、600°C、700°C、850°C。目的，除了對氧化層的清除是否對 P 型砷化鎵有重大的影響之外，一個小時的退火，也可以與未清除氧化層的試片做電性和介面形態的變化作比較，為了釐清旋轉角度對 P 型砷化鎵晶圓電性及介面形態是否有影響，實驗中也對懸轉角度做了不同的變化，針對接合溫度 700°C 的試片分別做了 10°、30°、40°、50°、60°、80° 的旋轉角度來做比較。

4.1 未清除氧化層二小時退火之晶圓接合

4.1.1 電性

圖 4-1 圖 4-2 分別為 400°C~850°C 順相與反相電性圖。由電性圖當中可以知道，順相接合所有溫度下都可以得到良好的歐姆接觸，由圖中可知隨著溫度的上升，接合試片的電阻將會降低。除了 400°C 之電阻較大之外，500°C~850°C 的電阻均相當不錯。而反相的試片，由圖中可以觀察到與順相試片有相同的現象，但是反相試片中 400°C 有著明顯的能障存在，使得反相 400°C 的電性曲線不是線性。比較順相和反相電性，如圖 4-3~4-7 所示，順相接合的電性比反相接合的電性較佳，不管從任何溫度來看都是一樣的。

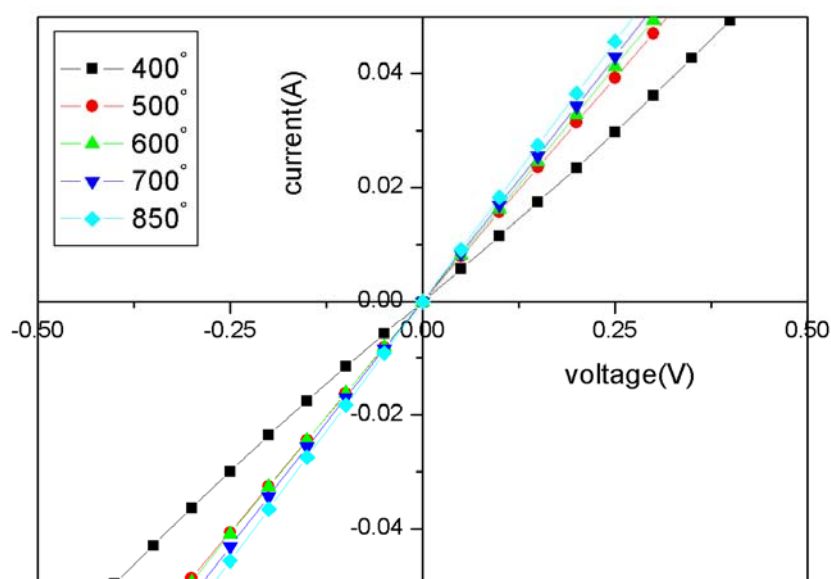


圖 4-1 400°C~850°C 順相接合電性圖

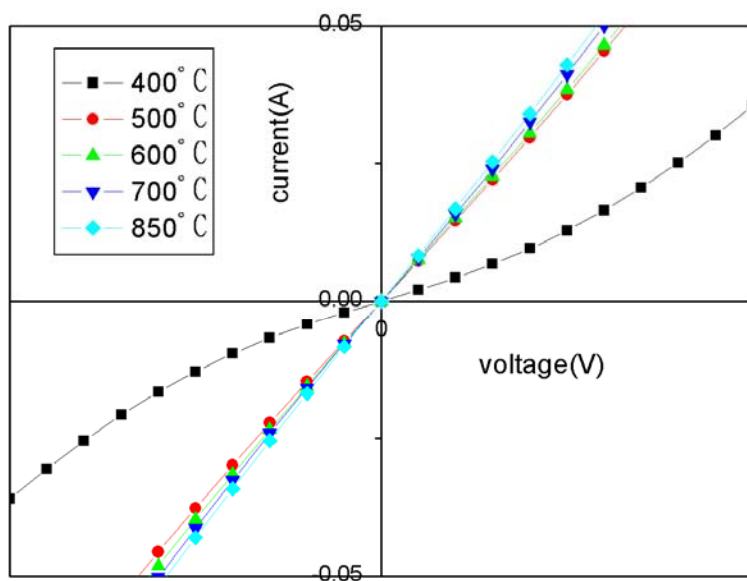


圖 4-2 400°C~850°C 反相接合電性圖

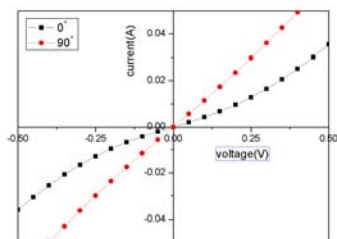


圖 4-3 400°C 順相與反相電性圖

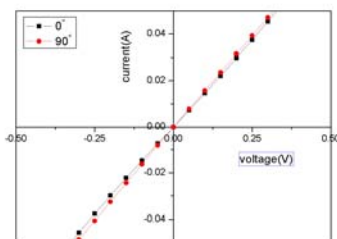


圖 4-4 500°C 順相與反相電性圖

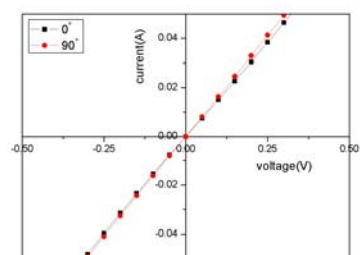


圖 4-5 600°C 順相與反相電性圖

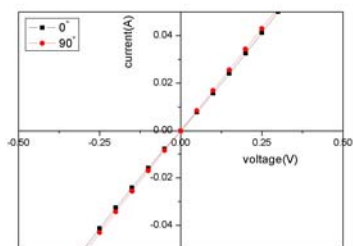


圖 4-6 700°C 順相與反相電性圖

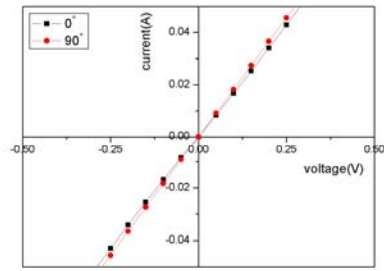


圖 4-6 700°C 順相與反相電性圖

4.1.2 介面形態(反相)

當退火溫度為 500°C 時如圖 4-8，接合介面形太多為平板狀的 native oxide，從圖中還可以看出已經有一些介於球狀與平板狀的氧化層，且已經有完美的接合介面產生。隨著溫度上升到達 600°C 時，球狀結構已經明顯的出現了如圖 4-9。和 500°C 相比，可以發現增大了許多，由於較大的球形結構的產生，使得完美接合區域變的更大了。當溫度更上升到達 700°C 時如圖 4-10，介面只剩下球形結構，在溫度較低的情況下產生的平板狀氧化層已經消失了，產生的則是一些球形結構，接合介面大多已經呈現完美接合的狀態。

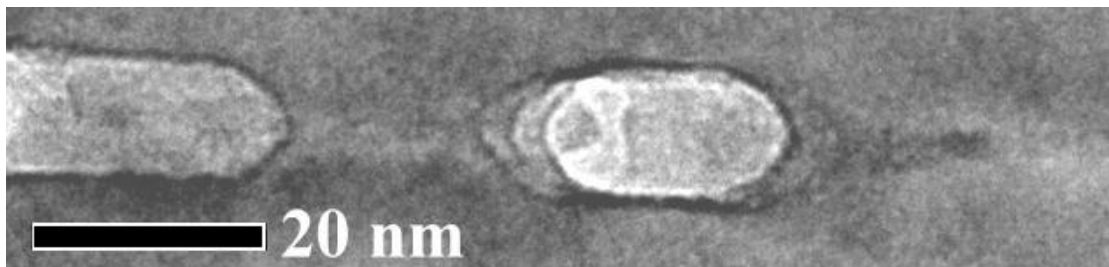


圖 4-8 P 型砷化鎵未清除氧化物接合二小時 500°C 反相接合介面形態[31]

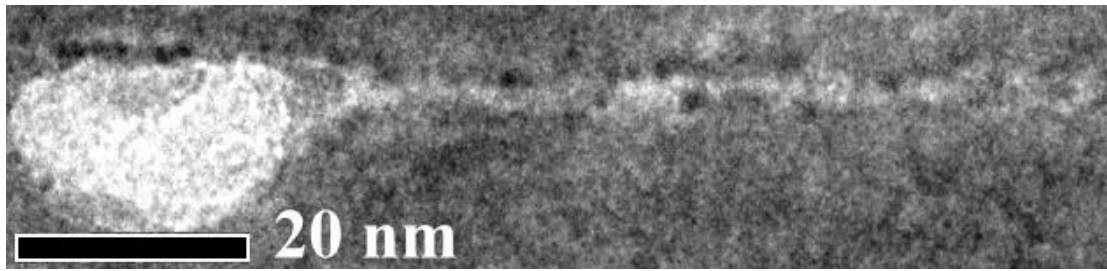


圖 4-9 P 型砷化鎵未清除氧化物接合二小時 600°C 反相接合介面形態[31]

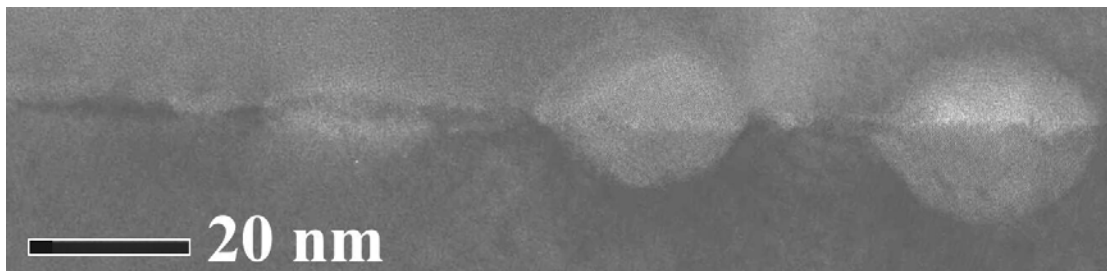


圖 4-10 P 型砷化鎵未清除氧化物接合二小時 700°C 反相接合介面形態[31]

4.1.3 順相反相電性和介面型態的關係



電性和介面型態有著極大的關係，由鄭季豪的實驗中得知^[31]，順相接合由於 interface energy 較低，因此，氧在順相接合介面擴散會比在反相接合介面擴散來的快。當氧化層快速擴散聚集成似球狀的顆粒之後，原來佈滿氧化層的地方將會變成砷化鎵與砷化鎵直接鍵結。順相介面的 interface energy 較低，在順相介面將會有較多的完整接合區域，反相因為能量較高，完整接合區並不如順相來的多，從 600°C 順相反相 TEM 圖(如圖 4-11 4-12)中可以發現，反相不完美區域與順相相比，明顯的多了不少，因此，順相接合的電性優於反相接合電性，而隨著溫度的上昇，接合完整的區域將越來越多，電性隨著溫度而上升是可以預測的。

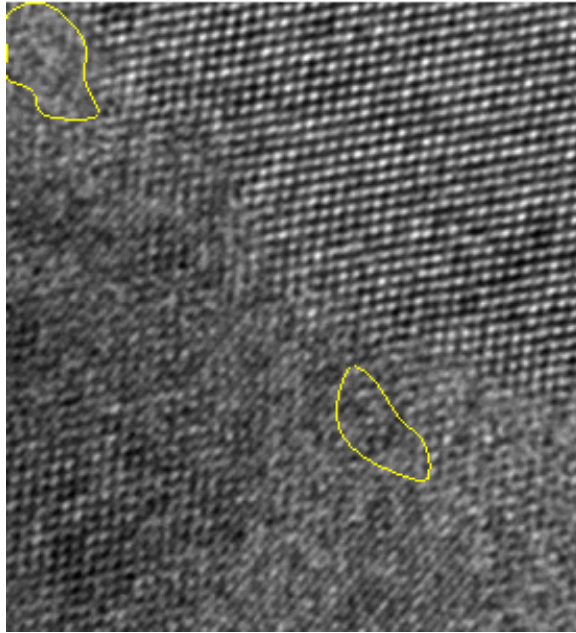


圖 4-11 600°C 順相接合 TEM 圖[31]

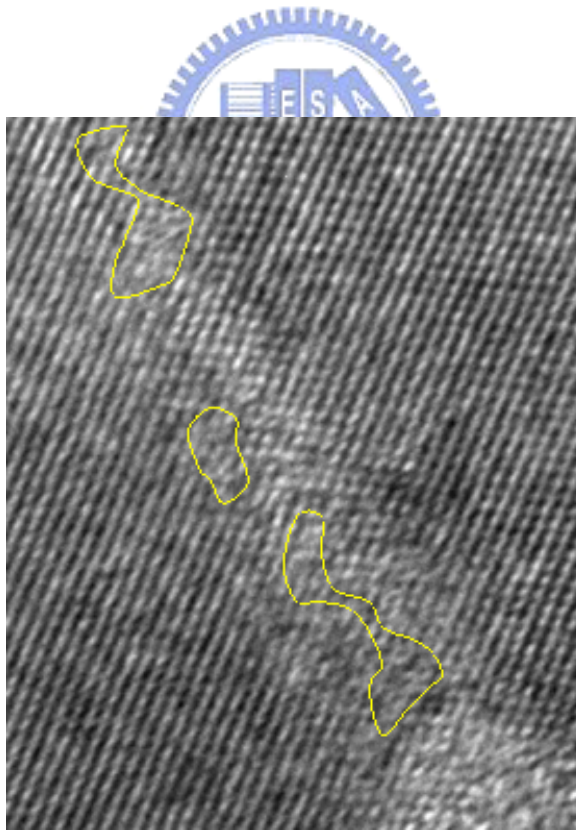


圖 4-12 600°C 反相接合 TEM 圖[31]

4.2 未清除氧化層一小時退火之晶圓接合

4.2.1 電性

圖 4-13 與圖 4-14 為 500°C~850°C 順相與反相電性圖，由電性圖當中可以知道，順相接合所有溫度下都可以得到良好的歐米接觸，由圖中可知隨著溫度的上升，接合試片的電阻將會降低，500°C~850°C 的電阻均相當不錯，而反相的試片，由圖中可以觀察到與順相試片有相同的現象，但是反相試片中 500°C 有著些微的能障存在，使得反相 500°C 的電性曲線不是線性，我們推測這是由於反相介面介面能較高，而且退火時間較短，退火溫度較低，所以介面雖然有完整接合區域，但非晶質區域是較大的，比較順相和反相電性，如圖 4-14 到 4-18 所示，順相接合的電性比反相接合的電性較佳，由低溫到高溫都有這現象產生。

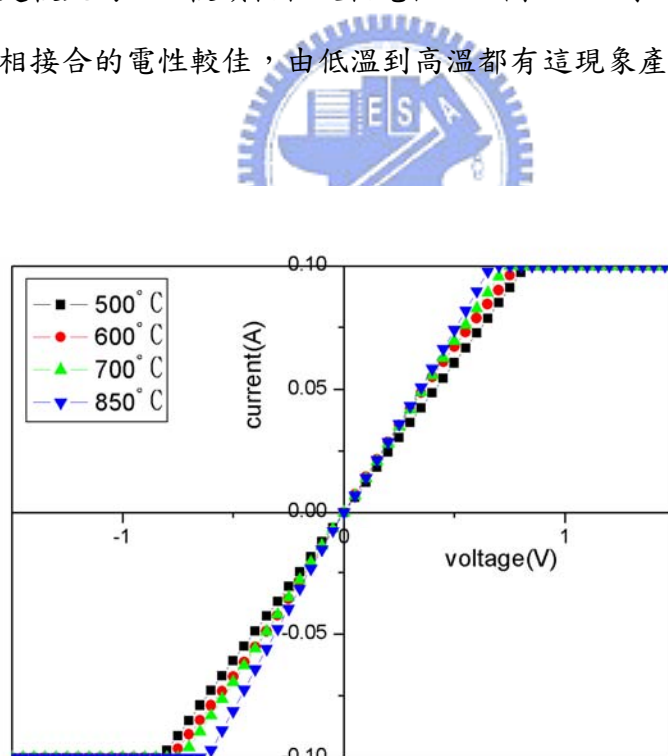


圖 4-13 500°C~850°C 順相接合電性圖

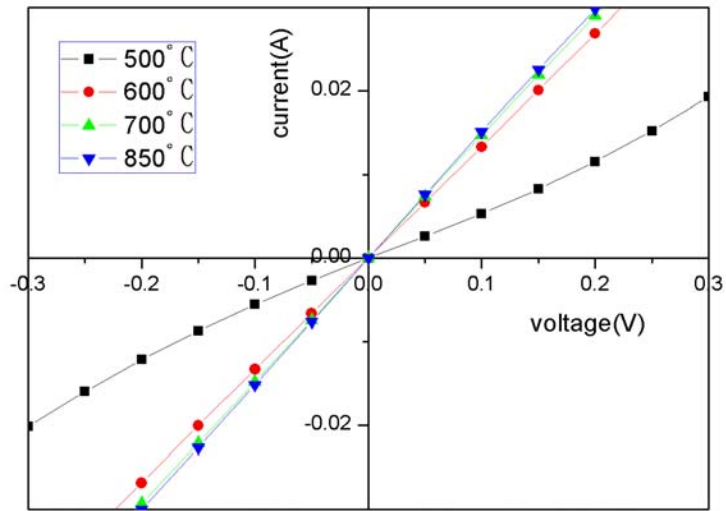


圖 4-14 500°C~850°C 反相接合電性圖

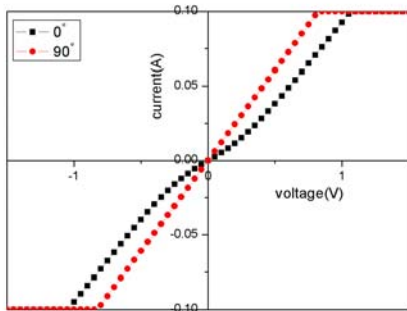


圖 4-15 500°C 順相與反相電性圖

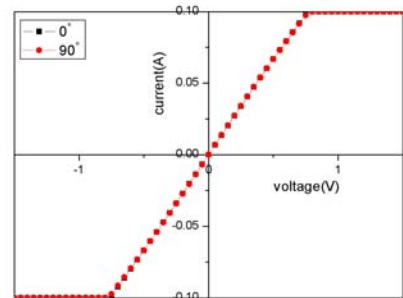


圖 4-16 600°C 順相與反相電性圖

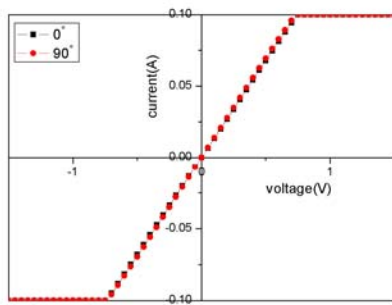


圖 4-17 700°C 順相與反相電性圖

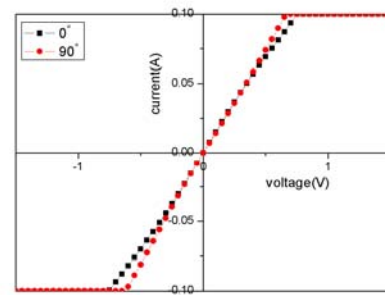


圖 4-18 850°C 順相與反相電性圖

4.2.2 介面型態

如圖 4-19 當退火溫度為 500°C 時，接合介面形太多為平板狀的 native oxide，從圖中可以發現平板狀型態和退火二小時的狀態差不多，且已經有完美的接合介面產生，但非晶質區域仍然相當多，隨著溫度上升到達 600°C 時，球狀結構已經明顯的出現了如圖 4-20，和 500°C 相比，可以發現增大了許多，由於較大的球形結構的產生，使得完美接合區域變的更多了，但圖中能仍然可以發現許多平板狀，相較於 500°C 平板顯得相當薄而且有許些需區域已經有晶格存在，當溫度更上升到達 700°C 時如圖 4-21，介面只剩下球形結構，在溫度較低的情況下產生的平板狀氧化層已經消失了，產生的則是一些球形結構，由於球狀顆粒變大了許多，因此，完整接合區域相較於 600°C 又多了許多，圖中可以看出有類似平板狀的物體，不過這些平板狀已有完整的晶格出現，但仍夾雜些許非晶質區域。

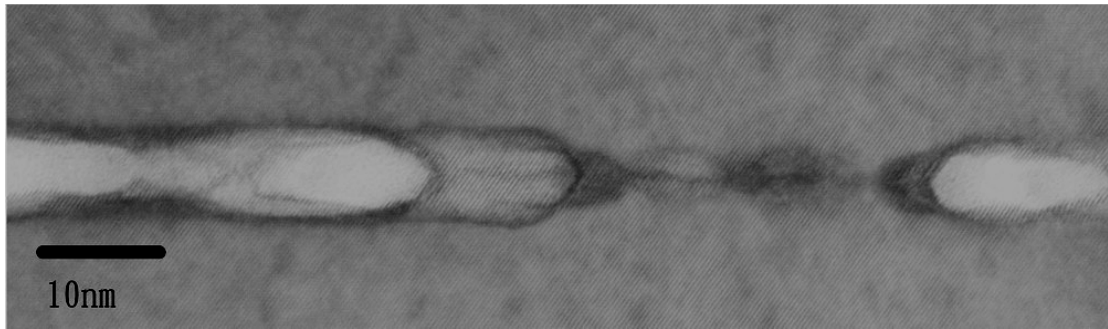


圖 4-19 P 型砷化鎵未清除氧化物接合一小時 500°C 反相接合介面形態

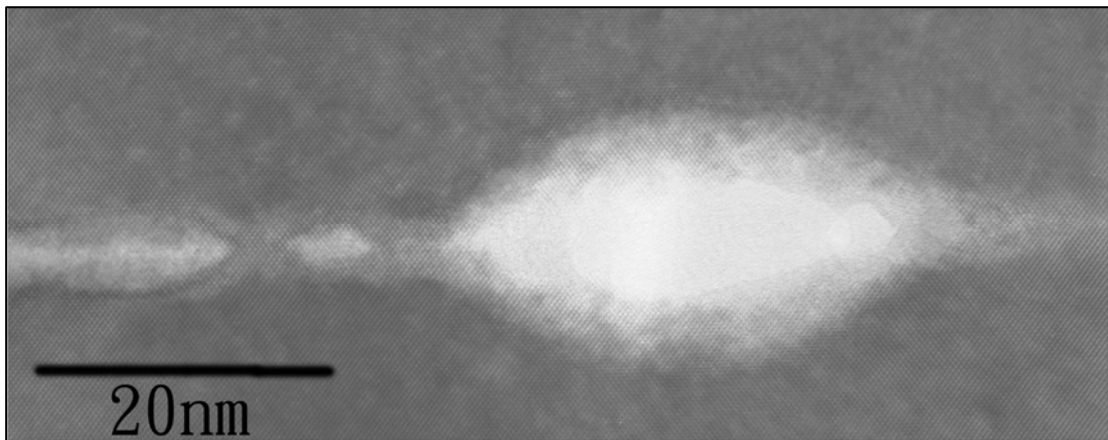


圖 4-20 P 型砷化鎵未清除氧化物接合一小時 600°C 反相接合介面形態

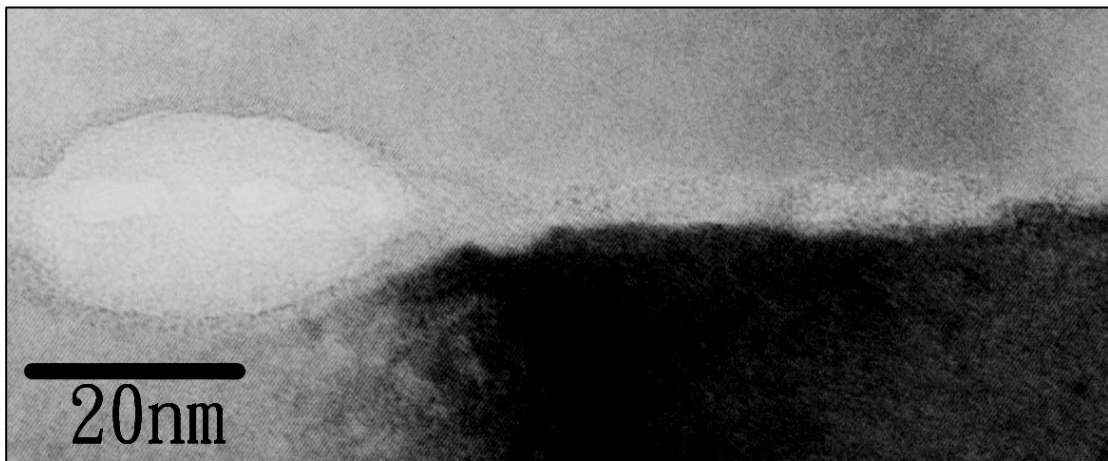


圖 4-21 P 型砷化鎵未清除氧化物接合一小時 700°C 反相接合介面形態

4.2.3 順相反相電性和介面型態的關係

當然退火一小時試片的介面型態也一樣有著極大的關係。前面的敘述，已經知道一個事實，那就是順相介面變動會比反相介面快。下圖 4-22 與 4-23，為 500°C 順相和反相介面的關係。可以從圖中發現，反相介面中非晶質區域是較大片而且範圍較大，而順相介面則是較少而且區域較小，原因不外乎順相介面的界面能較低，原子重新排列的速度會比反相的快許多，當氧化層聚集，砷化鎵原子需能量重新排列，而順相介面的阻力是較小的，因此，順相接合非晶區域會比較少，反相接合非晶質區域範圍較廣也可能是造成能障的最主要原因。



圖 4-22 500°C 順相接合 TEM 圖

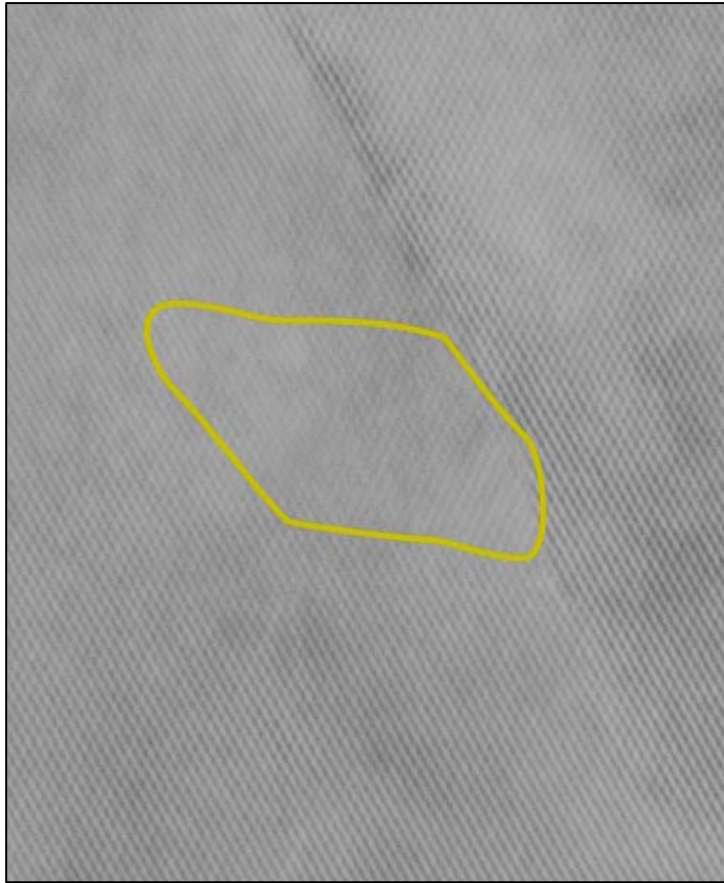


圖 4-23 500°C 反相接合 TEM 圖