

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	iii
誌謝	.....	vi
目錄	.....	vii
表目錄	.....	x
圖目錄	.....	xi
一、	緒論.....	1
1.1	簡述晶圓接合之歷史.....	1
1.1.1	歷史上的材料接合技術.....	1
1.1.2	近代材料接合於光學元件上的應用.....	1
1.1.3	二十世紀以來半導體接合技術的發展.....	1
1.2	晶圓接合的機制.....	3
1.2.1	晶圓初步接觸的作用力(凡得瓦力、靜電力、毛細作用力)	3
1.2.2	晶圓產生鍵合的驅動力與機制.....	7
1.3	晶圓接合之分類.....	11
1.3.1	直接晶圓接合.....	11
1.3.2	間接晶圓接合.....	15
1.4	影響晶圓接合品質的要素.....	17
1.4.1	晶圓的品質.....	17
1.4.2	晶圓表面不潔物的影響.....	17
1.4.3	熱膨脹係數差異.....	19
1.5	矽晶圓接合及其應用.....	20
1.5.1	親水性接合.....	20
1.5.2	疏水性接合.....	21
1.5.3	矽晶圓接合的應用.....	21
1.6	三五族化合物半導體晶圓接合.....	24
1.6.1	光電元件的應用.....	24
1.6.2	應用於光電半導體晶圓接合之基礎研究.....	29
1.7	論文的研究目標以及架構分段.....	33
1.7.1	論文研究的動機.....	33
1.7.2	論文架構與分段.....	33
1.7.3	本論文完成的結果.....	33
1.7.4	晶圓接合技術之展望.....	33
1.8	參考文獻.....	35
二、	砷化鎵晶圓接合介面觀察以及接合介面隨溫度變化和電性的	40
	關係.....	40
2.1	研究背景回顧以及溫度對於砷化鎵半導體電性之影響...	40

2.1.1	砷化鎵化合物半導體基本特性	40
2.1.2	砷化鎵在高溫製程下的缺陷	41
2.2	研究動機	43
2.3	研究方法	44
2.3.1	砷化鎵晶圓接合實驗方法	44
2.3.2	接合試片之電性及介面分析	48
2.4	實驗結果與討論	51
2.4.1	電性量測結果	51
2.4.2	接合介面之型態隨溫度變化	56
2.4.3	展電阻量測結果	61
2.4.4	P-型砷化鎵電性比較組	64
2.5	結論	66
2.6	參考文獻	67
三、	砷化鎵晶圓直接接合之相對角度與電性的關係	70
3.1	研究背景與文獻回顧	70
3.2	研究動機	76
3.3	研究方法	76
3.3.1	試片準備	76
3.3.2	晶圓接合	76
3.3.3	試片退火接合	78
3.3.4	電性分析	78
3.3.5	穿透式電子顯微鏡分析	78
3.4	結果與討論	81
3.4.1	n-型砷化鎵接合介面(順相、反相與其餘旋轉角)	81
3.4.2	n-型磷化銦鎵接合(順相與反相)	93
3.5	結論	95
3.6	參考文獻	98
四、	利用晶圓接合實現磊晶層轉移與大晶格不配之異質磊晶	99
4.1	研究背景及回顧	99
4.1.1	磊晶層轉移(Layer transfer)的方法及重要性	99
4.1.2	大晶格不匹配之異質磊晶之介紹	104
4.2	利用磊晶層轉移執行大晶格不匹配之 AlGaInP 高亮度發光二極體異質磊晶之研究動機	108
4.3	晶圓接合以及磊晶層轉移實驗方法及流程	109
4.3.1	試片準備	109
4.3.2	晶圓接合與磊晶層轉移	109
4.3.3	磊晶層轉移後之分析	113
4.3.4	磷化鋁銦鎵($(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$)異質磊晶	114
4.4	結果與討論	117
4.4.1	轉移層之巨觀分析—紅外線影像觀察	117
4.4.2	磷化銦鎵轉移層的微觀結構觀察—穿透式電子顯微鏡分析	120

4.4.3	殘留應力鑑定—光子激光(Photo Luminescence; PL)能譜圖	124
4.4.4	接合介面電阻分析	126
4.4.5	(Al _x Ga _{1-x}) _y In _{1-y} P異質磊晶層表面型態分析	129
4.4.6	(Al _x Ga _{1-x}) _y In _{1-y} P異質磊晶層之缺陷觀察以及成分鑑定	129
4.4.7	(Al _x Ga _{1-x}) _y In _{1-y} P異質磊晶層光子激光 (Photo Luminescence; PL)能譜圖	133
4.4.8	快速退火對異質磊晶層的影響	133
4.5	結論	136
4.6	參考文獻	137
五、	利用氧化銦錫薄膜為媒介層執行晶圓接合	141
5.1	研究背景及回顧及研究動機	141
5.1.1	高亮度發光二極體簡介	141
5.1.2	氧化銦錫薄膜的性質介紹	142
5.2	利用氧化銦錫薄膜為媒介層執行晶圓接合	144
5.2.1	試片準備	144
5.2.2	晶圓接合流程	144
5.2.3	接合介面分析	145
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	147
5.3	結果與討論	150
5.3.1	接合晶片之電壓電流特性	150
5.3.2	介面紅外線影像觀察—接合介面隨溫度變化	151
5.3.3	接合介面隨時間變化	151
5.3.4	介面成分分析	156
5.3.5	接合介面質量傳輸之研究	156
5.3.6	發光二極體元件特性比較	160
5.4	結論	163
5.5	參考文獻	164
六、	總結與未來工作之展望	167
6.1	總結	167
6.2	未來工作之展望	169

表 目 錄

表 2.1	n-type 單片基材電阻.....	54
表 2.2	n-type 接合介面電阻.....	55
表 4.1	$(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 在不同的基材之繞射圖形分析.....	132
表 5.1	傳統發光二極體與高亮度發光二極體之比較.....	141
表 5.2	氧化銻錫、金屬、半導體電性與光學性質比較.....	143



圖 目 錄

圖 1.1	晶圓接合的歷史演進圖	2
圖 1.2	晶圓接觸時所產生的三種狀況	3
圖 1.3	矽晶圓的親水與疏水接觸	5
圖 1.4	表面張力作用下的兩晶片接觸情形	5
圖 1.5	兩晶片相接觸後靜電吸引力作用過程	6
圖 1.6	顆粒之間的表面燒結後被一個晶界取代	8
圖 1.7	氣泡半徑、表面能和內壓的關係	8
圖 1.8	(a)晶片曲率的不同所造成擴散現象; (b)晶圓退火後經由擴散所產生的鍵結	9
圖 1.9	陽極接合法的實驗配置圖	12
圖 1.10	矽/矽晶圓接合退火隨時間增加強度變化	13
圖 1.11	矽/矽晶圓接合在真空和空氣中退火之強度比較	13
圖 1.12	晶片表面經電漿處理後進行接合退火之強度變化	14
圖 1.13	Au-Sn 合金相平衡圖	15
圖 1.14	一般化學旋塗接合之流程圖	16
圖 1.15	晶片微小不潔粒子對接合介面的影響	18
圖 1.16	不同材料在不同溫度下熱膨脹係數的變化	19
圖 1.17	親水性係晶圓接合之介面反應變化	22
圖 1.18	疏水性矽晶圓接合之介面反應變化	22
圖 1.19	一般絕緣層晶片的製作流程	23
圖 1.20	晶圓接合製作之非線性學元件之穿透率	24
圖 1.21	透明基板發光二極體的製作流程	26
圖 1.22	鏡面基板發光二極體的製作流程	27
圖 1.23	晶圓接合與雷射剝離技術流程圖	28
圖 1.24	砷化鎵晶圓接合介面氧化層隨退火時間變化	29
圖 1.25	晶圓接合之旋轉角度與電壓電流特性之關係	31
圖 1.26	旋轉角度與未旋轉角度造成的介面差異	31
圖 1.27	順相與反相接合的差異	32
圖 2.1	砷化鎵半導體的閃鋅礦結構	41
圖 2.2	直接與間接能隙圖	42
圖 2.3	高溫晶圓接合後所產生的缺陷	42
圖 2.4	砷化鎵(100)晶片切割方式之圖示	45
圖 2.5	(a) 砷化鎵晶片清潔及接合流程; (b) 接合固定夾具結構	45
圖 2.6	晶圓接合爐管示意圖	46
圖 2.7	鉬金屬與不鏽鋼之熱膨脹係數差異	47
圖 2.8	砷化鎵晶片接合退火之流程圖	47
圖 2.9	晶圓接合後金屬電極鍍製與電性量測流程	50
圖 2.10	展電阻量測示意圖	50
圖 2.11	單片 n 型砷化鎵晶片在管爐中 400-850°C 退火後的電壓電流特	

	性.....	52
圖 2.12	單片 n-型砷化鎵試片退火前後與研磨後的霍爾量測之載子濃度.....	52
圖 2.13	兩片 n-型砷化鎵晶片在管爐中 400-850°C 接合 2 小時後電壓電流特性.....	53
圖 2.14	n-型砷化鎵接合介面電阻的細分結構圖.....	53
圖 2.15	n-型砷化鎵接合介面於 400°C 2 小時條件下的穿透式顯微鏡影像.....	57
圖 2.16	n-型砷化鎵接合介面於 500°C 2 小時條件下的穿透式顯微鏡影像.....	58
圖 2.17	n-型砷化鎵接合介面於 600°C 2 小時條件下的穿透式顯微鏡影像.....	58
圖 2.18	n-型砷化鎵接合介面於 850°C 退火 2 小時的穿透式顯微鏡影像.....	59
圖 2.19	非晶質氧化層隨退火溫度增加之變化.....	60
圖 2.20	高溫(850°C)砷化鎵接合砷原子外擴散造成介面與試片外部砷缺乏區域.....	62
圖 2.21	n-型(100)砷化鎵 850°C 2 小時接合試片介面展電阻量測結果.....	63
圖 2.22	單片 p 型砷化鎵晶片在管爐中 400-850°C 退火後的電壓電流特性.....	64
圖 2.23	兩片 p 型砷化鎵晶片在管爐中 400-850°C 接合後的電壓電流特性.....	65
圖 3.1	順相與反相晶圓接合的差異.....	71
圖 3.2	順相與反相結構之雷射二極體特性差別.....	72
圖 3.3	n-型的磷化銦鎵與 n-型磷化鎵在不同的旋轉角度執行晶圓接合之電壓電流特性.....	72
圖 3.4	n-型的磷化銦鎵與 n-型磷化鎵在不同的表面角度差執行晶圓接合之電壓電流特性.....	74
圖 3.5	晶片具旋轉角度與表面角度差時所產生的懸空鍵結.....	74
圖 3.6	接合介面懸空鍵結所產生的介面態.....	75
圖 3.7	晶片清洗以及接合工作.....	77
圖 3.8	順相與反相晶片標示與接觸的方式.....	79
圖 3.9	接觸後順相與反相原子鍵結示意圖.....	79
圖 3.10	試片旋轉接合切割、標記和接合方式.....	80
圖 3.11	n-型砷化鎵晶片不同接合結構於 500°C 和 700°C 接合退火時的電壓電流特性.....	82
圖 3.12	(a)無原生氧化層之 n-型砷化鎵於 500°C 順相接合退火 2 小時之穿透式電子顯微鏡影像.....	83
	(b)無原生氧化層之 n-型砷化鎵於 500°C 反相接合退火 2 小時之穿透式電子顯微鏡影像.....	83

	(c)無原生氧化層之 n-型砷化鎵於 600°C 順相接合退火 2 小時之穿透式電子顯微鏡影像.....	84
	(d)無原生氧化層之 n-型砷化鎵於 600°C 反相接合退火 2 小時之穿透式電子顯微鏡影像.....	85
圖 3.13	(a)具原生氧化層之 n-型砷化鎵於 500°C 順相接合退火 2 小時之穿透式電子顯微鏡影像.....	87
	(b)具原生氧化層之 n-型砷化鎵於 500°C 反相接合退火 2 小時之穿透式電子顯微鏡影像.....	87
圖 3.14	(a)n-型砷化鎵晶圓於 500°C 接合 1 小時 0 度與 90 度之間其餘的角度之電壓電流特性.....	89
	(b)n-型砷化鎵晶圓於 700°C 接合 1 小時 0 度與 90 度之間其餘的角度之電壓電流特性.....	89
圖 3.15	n-型砷化鎵晶圓接合介面電阻值與接合角度的關係圖...	90
圖 3.16	n-型砷化鎵在不同角度執行接合後接合強度與旋轉角度的關係.....	90
圖 3.17	(a),(b)砷化鎵晶片分別旋轉 90 度、60 度在 500°C 下接合 2 小時的穿透式電子顯微鏡影像.....	91
圖 3.18	(a),(b)砷化鎵晶片旋轉 90 度(in-phase) 與 60 度的(110)晶格投影圖.....	92
圖 3.19	磷化銦鎵的晶體結構.....	94
圖 3.20	n-型磷化銦鎵晶片於 700°C 接合退火 1 小時兩種不同型態的電壓電流特性.....	94
圖 3.21	兩砷化鎵晶片相互旋轉約 4.6 度所造成的介面螺旋差排網	96
圖 3.22	矽晶片角度差異(傾斜角度 0.34°)造成的刃差排在圖中是與圖片呈 45 度較粗的黑線.....	96
圖 3.23	接合介面的刃差排對於電子流動的影響.....	97
圖 4.1	一般晶圓接合及磊晶層轉移之流程圖.....	100
圖 4.2	(a)鏡面基板發光二極體之接合結構.....	101
	(b)晶圓接合之面射型雷射.....	101
圖 4.3	Smart cut 執行矽磊晶層轉移之方法.....	103
圖 4.4	差排受到映像力往下延伸傳遞之示意圖.....	105
圖 4.5	晶圓旋轉接合製作順從基材之流程.....	106
圖 4.6	(a)砷化鎵基材上的磊晶層有高密度的差排;(b)順從基材上卻沒有高密度差排衍生在磊晶層中.....	107
圖 4.7	以砷化鎵晶片製作的順從基材接合後的缺陷(黑色區域)	108
圖 4.8	(a)實驗所使用的晶片結構 (b)砷化鎵晶片上的線圖形	110
圖 4.9	晶圓清洗程序與接合工作.....	111
圖 4.10	晶圓接合程序以及磊晶種子層轉移程序.....	112
圖 4.11	紅外線光學穿透顯微鏡示意圖.....	115
圖 4.12	磷化銦鎵有無受到拉伸或壓縮應力的能帶變化.....	116
圖 4.13	磷化鋁銦鎵分別沈積在三種不同的材料.....	116

圖 4.14	磷化銦鎵轉移層的介面紅外線穿透影像·····	118
圖 4.15	砷化鎵與磷化鎵基材的熱膨脹係數隨溫度之變化·····	119
圖 4.16	(a)(b)無直線通道圖形的磷化銦鎵/磷化鎵晶圓接合介面穿透式 電子顯微鏡影像·····	120
	(c)無直線通道圖形的磷化銦鎵/磷化鎵晶圓接合介面高解析度穿 透式電子顯微鏡影像·····	121
圖 4.17	磷化銦鎵與磷化鎵接合介面的平面穿透式電子顯微鏡影像	121
圖 4.18	(a)具直線通道圖形的磷化銦鎵/磷化鎵晶圓接合介面穿透電子顯 微鏡影像·····	122
	(b)具直線通道圖形的磷化銦鎵/磷化鎵晶圓接合介面高解析度穿 透電子顯微鏡影像·····	122
圖 4.19	具有 5° 表面角度差的磷化銦鎵/磷化鎵晶圓接合介面示意 圖·····	123
圖 4.20	磷化銦鎵層轉移前後的 PL 能譜圖·····	125
圖 4.21	磷化銦鎵受拉伸及壓縮應力能隙與應變的變化·····	125
圖 4.22	砷化鎵與磷化鎵晶片以(011)大平邊為基準的相對旋轉角為 (a) 0°, 90° 和 180° 時, 其向對應的真實角度差為(b) 25°, 18° 和 5°·····	127
圖 4.23	磷化銦鎵/磷化鎵在不同旋轉角度執行接合的電壓電流特性	128
圖 4.24	(Al _{0.17} Ga _{0.83}) _{0.5} In _{0.5} P 異質磊晶層磊晶後的原子力顯微鏡影像 (a) 磷化鎵基板; (b) 具直線圖形轉移層的基板; (c) 砷化鎵基 板·····	130
圖 4.25	(Al _{0.17} Ga _{0.83}) _{0.5} In _{0.5} P 異質磊晶層分別在(a)磷化鎵基材; (b)具有直 線圖形轉移層之磷化鎵基材; (c)砷化鎵基板上之穿透式電子顯 微鏡影像·····	131
圖 4.26	(Al _{0.17} Ga _{0.83}) _{0.5} In _{0.5} P 異質磊晶層分別在(a)磷化鎵基材; (b)具有直 線轉移層基材; (c)砷化鎵基材上之PL能譜圖·····	134
圖 4.27	(Al _{0.17} Ga _{0.83}) _{0.5} In _{0.5} P 異質磊晶層PL 峰值波長的強度與PL半高寬 隨距離之變化·····	135
圖 4.28	(Al _{0.17} Ga _{0.83}) _{0.5} In _{0.5} P 異質磊晶層在具直線圖形轉移層基材上於 不同溫度下執行快速溫度退火PL的變化·····	135
圖 4.29	臨界厚度和晶格常數差異的關係圖·····	136
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·····	145
圖 5.2	磷化銦鎵/氧化銦錫晶圓接合後分析流程·····	146
圖 5.3	磷化鋁銦鎵發光二極體結構·····	147
圖 5.4	利用氧化銦錫薄膜執行發光二極體晶圓接合流程·····	148
圖 5.5	發光二極體元件製作與量測流程·····	149
圖 5.6	磷化銦鎵/氧化銦錫接合晶片的電壓—電流特性·····	150
圖 5.7	磷化銦鎵/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·····	151

圖 5.8	接合介面雪花狀區域百分比隨溫度增加之變化量·····	153
圖 5.9	磷化銦鎳/氧化銦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·····	154
圖 5.10	磷化銦鎳/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·····	155
圖 5.11	氧化銦錫/磷化銦鎳於 500°C 下接合並分開後氧化銦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	157
圖 5.12	氧化銦錫/磷化銦鎳於 500°C 下接合並分開後磷化銦鎳表面上的歐傑成分分析 (a)在雪花區域;(b)在非雪花區域··	158
圖 5.13	(a)氧化銦錫上的表面的點狀圖形與磷化銦鎳接合的示意圖;(b)磷化銦鎳上的表面的點狀圖形與氧化銦錫接合的示意圖	159
圖 5.14	(a)氧化銦錫上的表面的點狀圖形與磷化銦鎳接合後的紅外線影像圖;(b)磷化銦鎳上的表面的點狀圖形與氧化銦錫接合的紅外線影像圖·····	159
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·····	160
圖 5.16	晶圓接合發光二極體的電壓-電流曲線·····	161
圖 5.17	晶圓接合發光二極體的發光-電流曲線·····	162

