

## 致 謝

文章寫到這裡感觸特別多，在這交大碩士班最後的幾天日子裡我想好好感謝心目中最感激的恩師—陳衛國老師。首先要感謝老師這一路以來仍是不厭其煩的給予我指導，尤其是我龐大且繁雜論文的最忠實讀者。碩士生涯中最令我難忘的就是與老師、學長、學弟們經歷過 WK2008 MOCVD 系統架設過程，說真的，一開始真的是完全沒想到我們會把系統組起來。這時回想起老師常跟我們提的，「要不是我的意志力堅決、你們幾隻貓根本組不起來。」跟老師經歷過系統架設真的對於很多事情自我要求都會在無形中提升，由其是在論文與程式編修過程中對每樣硬體要求、邏輯設計細節等；經過老師這樣帶，回頭過來看真的會有很有成就感。我想，人在一生當中真的很難遇到亦師亦友的恩師，還記得以前怕老師躲都來不及了，到現在可以跟老師暢快地談天說地；真的，陳老師感謝您！我想陳老師給我的教誨指導對於未來工作上處理事情的細膩度、責任感等非常得有幫助，陳老師，謝謝您！再來我要好好感謝京玉學長，跟你和阿德一起架系統的那一年雖然很苦，我想若沒有學長在身旁鼓勵，我應該早就陣亡了，那段拼命的日子我永遠忘不了！當然也希望以後也能有機會跟學長共事一起打拼。學長，謝謝！！還有要感謝最佳拍檔學弟--玨愷(辣椒哥哥)，沒有你程式的啟蒙教育，我看我根本不可能完成這麼複雜的程式，也祝你往後碩士班研究順利。再來感謝文哲學長、昱安學長、少甫學姐，Dika、David、小陳、永翔等學弟們碩士班歲月裡的共事，也祝你們研究順利，早日畢業~

最後我要感謝我們父母親，在碩士班額外 2 年歲月裡，仍辛苦的提供我生活上所需，多讓你們辛苦這 2 年真的很愧疚，感謝爸媽在我身後給予我精神上和物質上的支持。還有在我身旁伴我 7 年的女友--家君，感謝妳給予我生活上的支撐和不斷給我繼續打拼的動力，謝謝妳！

僅將這碩士論文獻給在前陣子離開我們的外公，我會永遠謹記著您，並好好地在未來工作、事業上努力打拼！

毛頭 於交大 科學一館 SA006 室

# 自組式有機金屬汽相磊晶系統(MOCVD) LabVIEW 自動控制 程式設計和低溫氮化鎵磊晶成長及其光電特性研究

研究生： 翁嘉駿

指導教授： 陳衛國 教授

國立交通大學

電子物理研究所

## 中文摘要

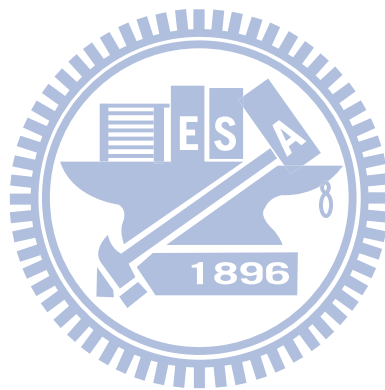
本論文主要分為 2 大部分，一為利用 LabVIEW 人機介面平台整合 MOCVD 磊晶系統軟硬體通訊介面，設計一套符合自組式 MOCVD 系統硬體設計的全自動磊晶控制程式；另一大項則為低溫氮化鎵磊晶成長研究。

在該控制程式設計上除了整合各項硬體時序監控(Time sequence control and monitoring)外，尚有另一獨立狀態判定重複迴圈設計。該重複迴圈提供持續不間斷的特定緊急狀態觸發判定，可供強制系統動作以確保人機安全；程式尚保留了另一獨立"中斷程式"控制按鍵，提供使用者強迫中斷使用。該 LabVIEW 控制程式實際運行時間已逾一年(24hrs 不中斷)，完成近 200 次的磊晶程序並無任何差錯，可見該程式擁有絕佳穩定性及可靠度。在程式人機介面設計亦相當美觀，在整體操作功能上已不遜於商用機台。

在研究部分，利用該自組式  $\text{NH}_3$  預熱 MOCVD 系統(TP-MOCVD)在低溫環境( $<1150^\circ\text{C}$ )下成長一系列( $650\sim 1130^\circ\text{C}$ )氮化鎵薄膜並藉由量測低溫光激螢光光譜來初步判定低溫成長 GaN 磊晶層品質。在我們的研究中，TP-MOCVD 系統 GaN 成長溫度  $700^\circ\text{C}$  的 13K PL 譜線仍保有 *h*-GaN 的近能帶邊緣(NBE, 3.47eV)發光，且沒有發現與雜質、缺陷相關的 2.2eV 黃光訊號。就我們所知，這是在 MOCVD 系統中目前擁有如此近能帶邊緣發光

的最低成長溫度。

此外，在中間成長溫度區域(800~850°C)所成長的 GaN 其峰值 PL 強度和整體積分強度均驟降，還有 1130°C 成長 GaN 光性反而嚴重變差的可能原因與 NH<sub>3</sub> 所裂解的(N-H)<sub>x</sub> radicals 濃度變化有關。再者，GaN 650°C 成長樣品譜線相較於其他高溫成長樣品其譜線轉由 3.27eV 的低能量波峰所主導。藉由  $\theta/2\theta$  XRD 繞射實驗已初步排除產生 GaN Cubic/hexagonal 的混合晶相結構，且由於低能量位置呈現 3 個近似等能量間距的峰值譜線，間距約為 70~90meV；初步認定其峰值為淺層施子受子對(DAP)和其 1, 2 階 phonon replicas(Shallow donor and acceptor pair and its 1<sup>st</sup>、2<sup>nd</sup> order phonon replicas)復合發光。



LabVIEW automatic control program design for the home-made metalorganic chemical vapor deposition(MOCVD) system and study on the optical and electrical properties of low-temperature grown gallium nitride(LT-GaN)

Student : Chia-jiun Wong      Advisor : Prof. Wei-Kuo Chen

Institute of Electrophysics  
National Chiao Tung University



**Abstract**

This thesis is divided into two major parts. One is focused on automatic control epitaxy program design for the home-made MOCVD system based on LabVIEW platform. The other one is focus on the study on the optical and electrical properties of low-temperature grown gallium nitride(GaN). The main function of LabVIEW control program is to integrate all the apparatus installed on the home-made MOCVD system, and its most featured function is that data flows can be transmitted and received simultaneously within 0.1sec by using "#8 independent RS-232 ports" parallel protocol flow-bus microprocessor cards.

The LabVIEW epitaxial control program also have embedded sub-trigger routine program that designed for continuing detecting the various default emergency states, if any of the emergency state triggers, the LabVIEW program will automatically forced itself to load into the user-defined safety state mode to make the first aid for crews and system. The WK2008 MOCVD epitaxy program had been executed over 185 runs, well proving its stability and reliability. The epitaxy control program on LabVIEW platform is comparable to commercial MOCVD system in various aspects.

The second part of this thesis is study on the optical and electrical properties of low-temperature grown gallium nitride(LT-GaN) by our home-made MOCVD. We use our home-made MOCVD called WK2008 TP-MOCVD system to grow a series of Low-temperature GaN ranging from 650 to 1130°C. And we use 13K PL measurement to characterize the epitaxial quality of LT-grown GaN films. According to our data, we show the lowest temperature grown GaN at 700°C that the 13K PL spectrum is dominated by near-band edge emission (NBE, 3.47eV) without defects or impurities related yellow band luminescence (YL, 2.2eV). To our knowledge, no GaN film with this dominant NBE within temperature range that less than 900°C have been grown before by any technique using NH<sub>3</sub> as V source.

Besides, in our 13K PL data, an anomalous behavior of NBE peak intensity and integral intensity of full spectrum had been observed. In the medium temperature range (800-850°C), the NBE peak intensity and integral intensity of full spectrum is greatly reduced, and the exact reason for this phenomenon is still unclear. We may possibly attribute it to relating to the concentration of (N-H)<sub>x</sub> radicals that is produced by NH<sub>3</sub> thermal cracking. The 13K PL main emission peak of 650°C grown GaN is "red-shifted" to 3.27eV. The postulation of cubic/hexagonal mixed phases in 650°C grown GaN is preliminary precluded by the single diffraction peak (34.52°) of  $\theta/2\theta$  XRD experiment. The possible reason of red-shift may be attributed to the dominance of donor acceptor pair (DAP) and its 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> phonon replicas of hexagonal phase GaN, because of its approximately equallivant energy separation (about 70-90meV) between the sequential emission peaks.

## 目錄

致謝.....	i
中文摘要.....	ii-iii
英文摘要.....	iv-v
目錄.....	vi-xiii
<b>第一章 緒論.....</b>	<b>1</b>
1-1 前言.....	1
1-2 WK2008 TP-MOCVD 系統設計概念.....	5
1-3 WK2008 MOCVD 磊晶系統控制軟體設計概念.....	6
1-4 論文架構及其編排方式.....	7
參考文獻.....	9
<b>第二章 WK2008 磊晶系統硬體規劃與控制程式設計.....</b>	<b>10</b>
2-1 WK2008 磊晶系統硬體規劃簡介.....	11
2-2 WK2008 磊晶系統控制程式設計簡介.....	12
<b>第三章 低溫氮化鎵成長緣由.....</b>	<b>15</b>
<b>第四章 量測系統原理.....</b>	<b>23</b>
4-1 光激螢光光譜基本原理.....	23
4-2 霍爾量測基本原理.....	27
<b>第五章 實驗方法.....</b>	<b>29</b>
5-1 樣品製備程序.....	29
5-2 光激螢光量測系統配置.....	30
<b>第六章 結果與討論.....</b>	<b>32</b>
6-1 實驗結果--低溫 PL.....	32
6-2 低溫 PL 譜線變化趨勢分析/譜線定義.....	35
6-3 650°C 成長樣品.....	40
6-4 TP-MOCVD 系統成長 GaN 室溫霍爾量測結果.....	48
6-5 結論.....	51

參考文獻.....	52
附錄 A WK2008 磊晶控制系統硬體設計及規劃.....	57
A-1 WK2008 磊晶系統氣體傳輸管路設計.....	58
A-1-1 【氣體傳輸管路設計理念】.....	60
A-1-2 【真空系統管路】.....	92
A-1-3 【有機金屬分子源手閥端測漏管路】.....	94
A-2 WK2008 磊晶系統硬體傳輸介面配置.....	94
A-2-1 【WK2008 磊晶系統硬體傳輸介面配置】.....	94
A-2-2 【WK2008 磊晶系統硬體配置及其規格表】.....	97
A-3 WK2008 控制系統指令邏輯及相關硬體對應關係說明.....	105
A-4 氣動閥控制流程及電路規劃.....	111
A-4-1 【氣動閥控制設計概念】.....	111
A-4-2【WK2008 磊晶系統氣動閥邏輯設計】.....	112
A-5 D I/O 控制卡(48 Channels I/O PCI-1739U)設定.....	119
A-5-1 【實際輸出輸入腳位對應】.....	119
A-5-2 【實際輸出輸入腳位對應】.....	122
A-5-3 【安裝驅動程式】.....	123
A-5-4 【研華之 Advantech Device Manager 埠屬性設定】.....	123
A-6 WK2008 控制系統數位輸出埠配置.....	124
A-7 WK2008 系統狀態偵測.....	132
A-7-1 【WK2008 系統異常狀態偵測】.....	132
A-7-2 【WK2008 PCI-1739U(Device01) I/O 通訊埠配置】.....	133
A-8 WK2008 手套傳輸箱控制設計.....	135
A-8-1 【WK2008 手套傳輸箱控制設計】.....	135
A-8-2 【WK2008 手套傳輸箱控制按鍵電磁迴路接法】.....	136
A-9 WK2008 腔體及 RF 冷卻系統介紹.....	137
A-9-1 【RF 加熱系統循環冷卻水迴路】.....	138

A-9-2	【反應腔腔體外壁(Reactor wall)及上蓋板冷卻水迴路】	.....139
A-9-3	【RF 加熱線圈法蘭接頭(RF Coil Flange)及下蓋板冷卻水迴路】	...140
A-10	鈀金屬膜(Palladium cell)氫氣純化器加熱系統	.....140
A-10-1	【鈀金屬特性】	.....140
A-10-2	【鈀膜(Palladium membrane)氫氣純化原理】	.....141
A-10-3	【氫氣純化器管路設計】	.....142
A-10-4	【氫氣純化器控制電路設計】	.....143
	【參考文獻】	.....147
附錄 B	WK2008 磊晶系統 LabVIEW 控制程式設計	.....148
B-1	LabVIEW 平台概述	.....149
B-2	WK2008 MOCVD System LabVIEW 軟體控制簡介	.....150
B-3	WK2008 MOCVD 磊晶系統 LabVIEW 程式前置面板	.....154
B-3-1	【顯示介面】	.....156
B-3-2	【控制按鍵】	.....159
B-4	菜單編譯程式(Recipe compile program)	.....160
B-4-1	【菜單編輯面板】	.....162
B-4-2	【菜單編譯/輸出】	.....166
B-5	WK2008 MOCVD epitaxy system LabVIEW 控制程式架構	.....168
B-5-1	【WK2008 MOCVD Epitaxy system LabVIEW 控制程式架構】	...168
B-5-2	【WK2008 MOCVD LabVIEW 控制程式設計架構流程】	.....173
B-5-3	【安全模式中斷旗標布林(Interruption flag Boolean)設計】	.....174
B-6	主程式迴圈中『菜單指令字元控制』程式區段	.....176
B-6-1	【菜單字元控制程式設計架構】	.....176
B-6-2	【系統潔淨區段(System purge segment)】	.....180
B-6-3	【系統潔淨程式設計架構】	.....181
B-7	系統安全模式設計	.....184
B-7-1	【系統安全模式考量】	.....184



B-7-2	【系統安全模式狀態下的硬體設定】	188
B-7-3	【安全模式程式設計架構】	190
B-8	附錄(Appendix)	192
VIIA-1	【獨立程式區】	192
VIIA-1-1	【磊晶菜單耗時計算區塊】	193
VIIA-1-2	【菜單格式轉換及輸入部分(Spreadsheet String to Array)】	193
VIIA-2	【主程式迴圈中菜單字元控制區段各項子程式介紹】	194
VIIA-2-1	【擷取菜單陣列數值】	195
VIIA-2-2	【菜單該步驟列秒數倒數迴圈】	196
VIIA-2-3	【氣動閥邏輯狀態設定】	198
VIIA-2-4	【流量計設定(寫入/讀取)】	200
VIIA-2-5	【MO 分子源氣體壓力控制器(Bronkhorst)設定】	208
VIIA-2-6	【溫度控制器(Eurotherm 818P)溫控程式設計】	209
VIIA-2-7	【腔體壓力控制器(MKS 651C)設定】	223
VIIA-2-8	【主程式(菜單字元控制區段)中其他顯示項】	227
VIIA-3	【安全模式程式部分節錄】	228
VIIA-3-1	【溫控器重置(Reset)指令】	229
VIIA-3-2	【節流閥(Throttle valve)動態控制】	229
VIIA-4	【其他程式設計】	230
VIIA-4-1	【系統異常狀態偵測程式】	230
VIIA-4-2	【UPS 硬體狀態偵測程式】	233
VIIA-4-3	【真空泵浦(Vacuum Pump)開關控制程式】	234
VIIA-4-4	【WK2008 系統硬體輸出值監控記錄檔】	235
VIIA-4-5	【MO 分子源消耗量(mg)計算】	237
VIIA-5	【附表】	238
附錄 C	EUROTHERM 腔體溫度控制器	242
C-1	Eurotherm 818P 基本硬體介紹	243

C-1-1	【Eurotherm 818P 前置面板手動操作】 .....	245
C-2	Eurotherm 818P 基本手動設定 .....	247
C-2-1	【Eurotherm 818P 製程溫控程式介紹】 .....	248
C-2-2	【進入製程溫控程式參數設定】 .....	249
C-2-3	【Eurotherm 818P 其他參數介紹】 .....	254
C-3	Eurotherm 818P PID 控制簡介 .....	257
C-3-1	【Self-tune】 .....	257
C-3-2	【執行 Self-tune】 .....	259
C-3-3	【Adaptive-tune】 .....	261
C-3-4	【執行 Adaptive-tune】 .....	262
C-3-5	【手動(Manual)設定 P/I/D】 .....	263
C-3-6	【Cutback 參數】 .....	264
C-4	Eurotherm 818P 硬體內部組態功能設定 .....	269
C-4-1	【Eurotherm 818P 內部組態檢視】 .....	270
C-4-2	【Eurotherm 818P 內部組態變更的硬體設定步驟】 .....	271
C-4-3	【Eurotherm 818P 硬體輸入(溫度計)組態設定】 .....	274
C-4-4	【Eurotherm 818P 硬體直流輸出參數變更設定】 .....	275
C-4-5	【Eurotherm 818P 數位通訊組態設定】 .....	276
C-4-6	【Eurotherm 818P 錯誤碼】 .....	277
C-5	Eurotherm 818P 溫度控制器之 RS-232 通訊 .....	277
C-5-1	【Eurotherm 818P 遠端電腦控制】 .....	277
C-5-2	【Eurotherm 818P 通訊指令格式】 .....	279
C-5-3	【讀取指令】 .....	279
C-5-4	【有效的硬體回覆訊息】 .....	280
C-5-5	【寫入指令】 .....	281
C-5-6	【硬體回覆指令】 .....	282
C-5-7	【Eurotherm 818P 指令碼】 .....	283

C-5-8	【Status Word】	.....	285
C-5-9	【Eurotherm 818P 程式控制】	.....	286
C-6	Eurotherm 818P 硬體資料附件	.....	288
<b>附錄 D MKS 腔體壓力控制器</b>			.....291
D-1	腔體壓力控制機制介紹	.....	293
D-1-1	【WK2008 真空系統設計】	.....	293
D-1-2	【腔體壓力控制機制】	.....	295
D-2	MKS 651C 腔體壓力控制器介紹	.....	297
D-2-1	【MKS 651 壓力控制器前置面板(Front panel)】	.....	297
D-2-2	【MKS 651C 壓力控制器後置面板(Rear panel)】	.....	299
D-2-3	【MKS 651C 壓力控制器基本參數手動設定(選取)】	.....	299
D-2-4	【數位信號設定點之相關數值手動輸入】	.....	308
D-3	MKS 651C 真空系統參數校正/零點壓力校正功能	.....	312
D-3-1	【學習致能(Learn)功能】	.....	313
D-3-2	【壓力值零點校正(Zero calibration)】	.....	315
D-4	MKS 651C 真空系統參數校正/零點壓力校正功能	.....	319
D-4-1	【指令格式(Command Format)】	.....	320
D-4-2	【設定 MKS 動作指令】	.....	321
D-4-3	【讀取數值指令】	.....	321
D-5	MKS 651C 壓力控制器硬體附件&參考資料	.....	325
	【參考資料】	.....	330
<b>附錄 E SIC 數位式氣體質量流量控制器</b>			..... 331
E-1	流量計硬體設計簡介	.....	332
E-1-1	【流量單位介紹】	.....	332
E-1-2	【質流量(Mass flow)感測原理】	.....	334
E-1-3	【流量計 I/O 埠定義】	.....	338
E-1-4	【流量計不易控制之氣體】	.....	340

E-2	流量計基本硬體參數設定.....	341
E-2-1	【流量計基本設定參數功能介紹】.....	341
E-3	流量計 RS-232 序列通訊相關指令集.....	346
E-3-1	【流量計 RS-232 序列通訊協定初始設定】.....	347
E-3-2	【流量計基本 RS-232 通訊指令集】.....	349
E-3-3	【流量計零點設定】.....	356
E-4	流量計內部警告函數(Alarm Function A/B).....	359
E-4-1	【流量計警告函數 A(Alarm function A)】.....	359
E-4-2	【流量計警告函數 B(Alarm function B)】.....	360
E-4-3	【Alarm A/Alarm B 相關指令集】.....	361
E-5	啟成流量計之測試程式相關功能及操作.....	364
E-5-1	【測試程式的基本流量計設定功能】.....	364
E-5-2	【測試程式之流量計進階設定功能】.....	367
E-6	啟成(SIC)數位式氣體流量計硬體資料附件.....	374
	【協助廠商資料】.....	379
附錄 F	<i>Bronkhorst</i> 數位式氣體壓力控制器暨流量控制器.....	380
F-1	<i>Bronkhorst</i> 數位式氣體壓力控制器簡介.....	381
F-1-1	【氣體壓力控制器應用】.....	381
F-1-2	【壓力控制器硬體設計】.....	383
F-1-3	【 <i>Bronkhorst EL-Press</i> 氣體壓力控制器硬體規格】.....	387
F-2	<i>Bronkhorst</i> 數位式氣體壓力控制器 RS232 序列通訊傳輸.....	389
F-2-1	【RS-232 序列通訊初始設定】.....	391
F-2-2	【RS-232 通訊指令格式】.....	391
F-2-3	【錯誤訊息代碼】.....	393
F-3	通訊訊息(Communication Message).....	394
F-3-1	【FLOW-BUS 指令格式】.....	394
F-3-2	【寫入/讀取指令格式(Write-In/Read-Out message)】.....	397

F-4 指令範例.....	401
F-4-1 【寫入特定壓力值】 .....	401
F-4-2 【讀取設定壓力值指令範例】 .....	405
F-4-3 【讀取目前壓力值指令範例】 .....	407
F-5 <i>Bronkhorst FlowDDE</i> 測試程式.....	409
F-5-1 【FLOWDDE 測試程式使用方法】 .....	409
F-6 <i>Bronkhorst</i> 氣體流量控制器規格及 RS-232 序列通訊.....	413
F-6-1 【 <i>Bronkhorst</i> EL-Flow 氣體流量控制器規格】 .....	413
F-6-2 【RS-232 通訊之初始設定】 .....	414
F-7 <i>Bronkhorst FlowDDE</i> 測試程式操作.....	415
F-7-1 【FLOWDDE 測試程式使用方法】 .....	415

