

國立交通大學

機械工程研究所

碩士論文

微機電系統化的模仁

及其配套熱壓成形技術的開發

The Development of MEMS Systematic Mold
insert on the Hot-Embossing Technology



研究生：蘇濬賢

指導教授：陳仁浩 教授

中華民國九十四年六月

中文摘要

微機電系統化的模仁及其配套熱壓成形技術的開發

研究生：蘇濬賢

指導教授：陳仁浩 教授

國立交通大學機械工程學系碩士班

摘要

熱壓成形技術可用以製造高精度、高品質、高深寬比之塑膠微結構。在熱壓成形的冷卻脫模步驟中，由於使用之高分子材料與模仁的熱膨脹係數不同，造成收縮夾模，加上仍然持續於保壓狀態下，在微結構根部會產生應力集中，容易發生脫模斷裂的缺陷。為使塑膠微結構在微成形加工能達到良好賦形性，本研究以微機電系統技術製作一矽基的可自加熱模仁，期望在冷卻脫模過程中，模仁仍能保持適當高溫，以消除成形微結構的應力。此模仁以 P 型(110)之矽晶片為基材，在其中製造出有阻值、能導電的區域，同時引入熱電阻的觀念，對導電區域通入電壓或電流，讓導電區域能夠導通並產生熱量，作為模仁脫模時維持溫度的來源。再者，並探討導電區域阻值與溫度及阻值與壓力的關係，期能發展出嵌入式壓力、溫度感測器，以便實際感測模仁近旁的局部溫度、壓力，達到即時監控溫度、壓力的目的，如此有助我們提高脫模時成形品的品質。

此微機電系統化模仁之設計亦可易於應用在大面積的密集且深寬比大之微結構製品，對於解決大面積熱壓時收縮不均勻的問題，有非常良好的效果。

英文摘要

The Development of MEMS Systematic Mold insert on the Hot-Embossing Technology

Student : Chun-Hsien Su

Advisor:Ren-Haw Chen

Institute of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

abstract

Hot embossing technology is used to manufacture high precision, high quality, and high aspect ratio of polymer micro structures. Due to the differences of thermal expansion coefficient between polymer and mold insert, shrinking of polymer material in the cooling step may lead the mold cavities to press micro structures from both sides. In addition, because of it under the state of pressing, the stress concentration will occur in the root of micro structures, and the defect of rupturing will happen during the demolding step. In order to eliminate stress concentration and attain good shape-transformation, this research attempts to develop a MEMS systematic mold insert, which keeps the mold insert at a satisfactory high temperature while the mold is cooling. P type (110) silicon wafer, as a substrate, is used to produce conducted regions with desired resistance. Moreover, these conducted regions with suitable resistance are utilized as the heaters, which are charged an electric current to heat the mold insert in the cooling stage. Furthermore, effects of temperature and pressure on the resistance are investigated respectively to develop the temperature-sensing and pressure-sensing function on the mold insert.

The design of this MEMS systematic mold insert can also be easily applied to manufacturing a large area of intensive and high aspect ratio micro structures. It shows effective results in solving the problem of shrinkage on a large area when hot embossing is used.



誌謝

兩年的研究生生活首先要感謝指導教授陳仁浩老師在這兩年來的諄諄教誨，在研究上的困境提供許多建議與指導，是本論文得以順利完成的關鍵，更重要的是體認到做學問的態度與看事情的方法，在此向老師致上最高的謝意。

感謝實驗室裡所有的成員。特別感謝劉安誠學長提供方向上的建議與改進，針對實驗內容及實驗數據的量測上給予寶貴的意見經驗。感謝盧明初學長在生活上與研究上對我的照顧，使我的休閒活動更為豐富。感謝訓國與坤宏讓我在研究所的日子不孤單，討論課業上的問題，也給彼此真誠的幫助建議，使我的研究生生涯更加充實，一起在實驗室度過的日子是這兩年最美好的回憶。同時也感謝實驗室中的學弟旭昌、沛原、忠晉，彼此互相的勉勵及幫助，希望你們都可以順利地達成目標。

感謝我的高中和大學同學，雖然已各奔東西為各自的目標而努力著，卻還不忘能偶爾交流彼此現況、給予關心問候，在偶有低潮之時總能從你們獲得情緒上的抒發，鼓起勇氣再出發。感謝棒球隊學長學弟們一路上的扶持，在平日所帶給我的歡樂及多采多姿的生活，梅竹勝利與大專盃冠軍對我是迎接勝利方格旗的終點，對你們而言卻是創造另外一個交大棒球隊十年霸業的起點，相約梅竹再見囉！

謹以此篇論文獻給我的父母與哥哥，由衷地感謝你們辛苦栽培與無怨無悔的包容，在我求學過程中的支持鼓勵，使我能夠專注學業而無後顧之憂。如果我能因此而有任何成就，我會驕傲的說這份榮耀是屬於你們的。

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	IV
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
第一章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	3
1.3 文獻回顧.....	4
1.4 研究方法.....	7
第二章 微機電系統化模仁的製作程序.....	10
2.1 摻雜.....	10
2.1.1 擴散法原理.....	11
2.1.2 離子植入法原理.....	13
2.2 微奈米模仁光罩之設計.....	14
2.3 微機電系統化模仁之製作.....	15
2.3.1 清潔晶圓.....	15
2.3.2 氧化層與氮化矽層之製作.....	17
2.3.2.1 氧化層之製作.....	17
2.3.2.2 氮化矽層之製作.....	18
2.3.3 微影.....	19
2.3.3.1 光阻塗佈.....	20
2.3.3.2 曝光.....	22
2.3.3.3 顯影.....	22
2.3.4 蝕刻.....	23
2.3.4.1 乾式蝕刻.....	24
2.3.4.2 濕式蝕刻.....	25
2.3.5 摻雜.....	25

第三章 熱壓實驗規劃	41
3.1 實驗目的.....	41
3.2 實驗設備.....	42
3.2.1 微機電系統化模仁.....	42
3.2.2 實驗裝置-熱壓機	42
3.3 實驗方法.....	43
3.3.1 熱壓步驟.....	43
3.3.2 熱壓實驗參數.....	44
3.3.3 模仁施加加熱功率方式.....	45
3.3.4 實驗量測與分析.....	46
第四章 實驗結果與討論	57
4.1 施加加熱功率對於賦形性的影響	57
4.1.1 無施加加熱功率模仁熱壓.....	57
4.1.2 施加加熱功率模仁熱壓.....	57
4.1.2.1 施加加熱功率過大之影響.....	57
4.1.2.2 各種施加加熱功率方式之影響.....	58
4.1.2.3 不同高深寬比與線寬施加加熱功率後之影響	59
4.1.2.4 施加加熱功率後成形品與模仁之觀察.....	59
4.2 收縮率探討.....	60
第五章 結論與建議	79
參考文獻.....	82

表目錄

表 2-1 實驗設備	27
表 2-2 微機電系統化模仁製程之步驟	28
表 2-3 晶圓清洗之步驟[RCA CLEAN]	29
表 2-4 微影製程之步驟-薄膜光阻FH-6400L	30
表 2-5 微影製程之步驟-厚膜光阻AZ-P4620	31
表 3-1 熱壓試驗之各項參數表	47
表 3-2 熱壓實驗參數表	47



圖目錄

圖 1-1 熱壓步驟示意圖.....	9
圖 1-2 冷卻脫模步驟會產生因收縮率不同而互相挾持之缺陷.....	9
圖 2-1 離子與固體靶面原子相撞擊後靶面產生的主要粒子.....	32
圖 2-2 光罩一-電極區.....	32
圖 2-4 光罩二-結構區.....	33
圖 2-5 光罩三-電路區.....	33
圖 2-6 微機電系統化模仁製作流程.....	34
圖 2-7 高溫爐管.....	35
圖 2-8 LPCVD.....	35
圖 2-9 微影技術.....	36
圖 2-10 正、負光阻顯影示意圖.....	36
圖 2-11 YES 烤箱.....	37
圖 2-12 光阻塗佈機.....	37
圖 2-13 KARL SUSS 光罩對準曝光機.....	38
圖 2-14 等向性蝕刻(A)與非等向性蝕刻(B).....	38
圖 2-15 複晶矽活性離子蝕刻系統.....	39
圖 2-16 (110)晶片蝕刻後之截面圖.....	39
圖 2-17 40WT%之KOH水溶液對蝕刻(110)晶片之蝕刻速率圖.....	40
圖 2-18 40WT%之KOH水溶液對SiO ₂ 之蝕刻速率圖.....	40
圖 3-1 微熱壓成形設備概要圖.....	48
圖 3-2 微機電系統化模仁.....	48
圖 3-3 微機電系統化模仁的接線.....	48
圖 3-4 熱壓機結構體.....	49
圖 3-5 熱壓機控制系統.....	49
圖 3-6 熱壓系統示意圖.....	50
圖 3-7 模溫機.....	50
圖 3-8 力量與溫度控制變化圖.....	51
圖 3-9 熱壓成形溫度對深寬比之關係.....	52

圖 3-10 熱壓成形壓力對深寬比之關係	52
圖 3-11 熱壓時間對深寬比之關係	52
圖 3-12 保壓時間對深寬比之關係	53
圖 3-13 模溫冷卻測試.....	53
圖 3-14 施加功率過程.....	53
圖 3-15 晶片加熱測試實驗設備	54
圖 3-16 固定電阻 30KΩ下不同功率之加熱效果	54
圖 3-17 固定電阻 50KΩ下不同功率之加熱效果	55
圖 3-18 固定電阻 100KΩ下不同功率之加熱效果	55
圖 3-19 場發射掃描式電子顯微鏡	56
圖 4-1 將晶片依密集結構區分成A-M 13 個區域觀察其賦形性	61
圖 4-2 成形溫度低(120°C)其高深寬比低，易脫模.....	61
圖 4-3 受成形位置影響脫模成果不同	61
圖 4-4 邊界處脫模成果.....	62
圖 4-5 受膨脹係數不同影響結構傾倒	62
圖 4-6 產生脫模破壞殘留夾持結構之模仁	63
圖 4-7 施加功率過大-中心處結構SEM圖.....	64
圖 4-8 施加功率過大-邊界-A-B間結構SEM圖.....	65
圖 4-9 施加功率過大-邊界-M處結構SEM圖.....	65
圖 4-10 施加功率法(1)-H處結構SEM圖	66
圖 4-11 施加功率法(1)-I處結構SEM圖	66
圖 4-12 施加功率法(1)-(A)G處結構SEM圖 (B)L處結構SEM圖	66
圖 4-13 施加功率法(2)-G處結構SEM圖	67
圖 4-14 施加功率法(2)-B處結構SEM圖	67
圖 4-15 施加功率法(3)-(A)D處結構SEM圖(B)M處結構SEM圖	68
圖 4-16 施加功率法(3)-G處結構SEM圖	68
圖 4-17 施加功率法(4)-G處結構SEM圖	69
圖 4-18 施加功率法(4)-K處結構SEM圖	70
圖 4-19 同一試片以施加功率法(4)各處結構SEM圖	71

圖 4-20 以施加功率法(4)在同一試片上不同部位之截面SEM圖	71
圖 4-21 不同成形尺寸與俯視圖	72
圖 4-22 施加功率下高深寬比結構傾倒現象	72
圖 4-23 以施加功率法(2)熱壓 2MM線寬結構- A-B處	73
圖 4-24 以施加功率法(4)熱壓 2MM線寬結構- M處	74
圖 4-25 以施加功率法(4)熱壓 2MM線寬結構- J處	74
圖 4-26 以施加功率法(4)熱壓 2MM線寬結構- G處	74
圖 4-27 施加功率後根部有融熔狀	75
圖 4-28 有無施加功率之比較	75
圖 4-29 模仁SEM圖(1).....	75
圖 4-30 模仁SEM圖(2).....	76
圖 4-31 CCD顯微鏡與量測收縮量之螺旋測微儀	76
圖 4-32 有無施加加熱功率對試片收縮率之影響	77
圖 4-33 有無施加加熱功率對密集區結構收縮率之影響	78

