

國立臺灣大學工學院機械工程學研究所

碩士論文

Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

反轉式氣輔 UV 壓印製程應用於大面積微結構之複製

Gas-Assisted UV-Based Complete Reversal Imprinting Process
for Large-Area Replication of Microstructures



黃柏勳

Huang, Po-Hsun

指導教授：楊申語 博士

Advisor: Yang, Sen-Yeu, Ph.D.

中華民國 97 年 6 月

June, 2008

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

反轉式氣輔 UV 壓印製程
應用於大面積微結構之複製

Gas-Assisted UV-Based Complete Reversal
Imprinting Process for Large-Area Replication of
Microstructures

本論文係黃柏勳君 (R95522705) 在國立臺灣大學機械
工程學研究所完成之碩士學位論文，於民國 97 年 06 月 26
日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

指導教授 楊申語 楊申語

碩士學位論文考試委員

劉士榮 劉士榮

施文彬 施文彬

沈永康 沈永康

陳昭彰 陳昭彰

楊申語 楊申語

系主任、所長 黃漢邦 黃漢邦

致 謝

本論文得以順利完成，首先要感謝指導教授 楊申語博士 研究所這兩年來在研究上與生活上的諄諄教誨，使我獲益良多；機械所 施文彬教授、台科大機械所 陳炤彰教授、長庚大學機械所 劉士榮教授、台北醫大牙技系 沈永康教授在百忙之中蒞臨學生的口試，對本研究疏漏之處給予指導並提供寶貴的建議，使本論文的內容更佳完善，在此獻上無限的感激。

本論文的完成另外亦得感謝工研院 孫翊庭學長大力協助，以及台科大 陳智榮學長與龍華科大 洪榮宏學長在硬體及軟體上支援。因為有你們的鼓勵及幫忙，使得本論文能夠更完整而嚴謹。

感謝世智、芳松，子建學長不時地給予我鼓勵，特別是子建學長在實驗上的協助與指導，不厭其煩的指出我研究中的缺失，且總能在我迷惘時為我解惑，讓我信心倍增。感謝同學秉達、景棠、志隆的互相扶持與鼓勵，一起順利度過這兩年。感謝上一屆畢業的亮霆、建仁、俊凱學長以及淑雯學姊常常給予鼓勵，讓我們有繼續前進的動力。感謝學弟建瑋、偉志、映達、冠男以及昕駿在實驗室庶務以及研究上的分擔與協助，讓我們能夠專心地進行研究得以完成論文。

最後，謹以此文獻給我摯愛的親人，感謝祖母、父母、姑姑及姊姊們多年來的支持，讓我能夠放心地在求學這條路上繼續往前邁進。在我感到迷惘與無助時，您們適時的關心與鼓勵，讓我更有力量克服種種挑戰，往自己的夢想邁進；最後謝謝每一位曾經在生活中關心我、在實驗上幫助過我的人，願將這份成果的喜悅與所有關心愛護我的人分享。

摘要

本研究致力於大面積壓印技術之開發，將結合紫外光固化成型技術、反轉式壓印成型技術及氣體輔助壓印製程，進行大面積之微結構複製，並搭配改良式的壓印機構來改善紫外光固化壓印成型最常見的氣泡問題，提供一個室溫、低壓、快速的大面積微結構複製技術。紫外光固化成型技術的運用，使整個壓印製程能夠在室溫低壓下進行，減少了升降溫所造成之變形及殘留應力等問題；運用反轉式壓印成型技術，壓印模具上之微結構模穴將被 UV 樹脂先充填完全，再進行壓印複製，可有效提高微結構之轉寫性；氣體輔助壓印技術其氣體施壓等向、等壓之特性使壓印壓力在整個大面積壓印區域能夠均勻分布，同時也能提高在各位置之微結構的複製成型均勻性。

實驗結果顯示，利用本研究所開發之大面積反轉式氣體輔助紫外光固化壓印製程能夠成功於大面積(230 mm × 203 mm)之壓克力基板上複製出微結構，而複製出之微結構具相當良好的複製均勻性與轉寫性，所製作出的大尺寸壓印成品沒有明顯的殘留應力與翹曲現象發生，成功結合紫外光固化壓印成型與氣體輔助壓印成型的機制與製程特性。另外，針對大面積壓印氣泡缺陷問題，本研究利用反轉式壓印技術結合彈簧式基板載具以改善壓印製程中抽真空的效率，實驗結果也證明能夠成功消除大面積壓印的氣泡缺陷問題，提供一個操作簡單且低成本的氣泡缺陷改善技術。而反轉式壓印技術的導入，並改良其壓印機制，更可有效提高整個大面壓印具區域的微結構高度轉寫率達 99%以上，不受壓印製程參數所影響。本研究結合紫外光固化壓印成型、氣體輔助壓印成型以及改良式反轉式壓印成型技術，成功開發出一大面積微結構光學元件製作技術，預期可運用於大面積薄型導光板、擴散板、微透鏡陣列等光學元件之製作。

Abstract

This study is devoted to developing a process for effective fabrication of large-area microstructures at room temperature and with low imprinting pressure. This process integrates the ultraviolet-curing (UV-curing) imprinting process, the gas-assisted imprinting process, and the reversal imprinting process to fabricate the microstructures onto the large area substrate. The UV-curing imprinting enables the process to perform without heating and cooling and under low pressure, while the gas-assisted embossing provides the uniform pressing pressure over the whole large area. By using gas-assisted and UV-curing mechanisms, the high temperature and high pressure can be avoided. With the reversal imprinting mechanism, the UV resin is coated onto the stamper with microstructures cavity rather than the substrate, and is completely filled into the cavity then imprinting. In addition, in this study the reversal imprinting is incorporated with a gap-retained substrate holder to overcome the problem of air bubble defects.

The experimental results show that the microstructures can be successfully fabricated onto the whole large area (230 mm × 203 mm) substrate with high replication uniformity and negligible residual stress by using the proposed process. The imprinting results also show the negligible air bubble defects, demonstrating the effectiveness of air bubble removing using reversal imprinting technique and gap-retained substrate holder. In addition, the modified reversal imprinting mechanism can effectively enhance the height transcription of microstructures without the control of imprinting processing parameters. In summary, this study has successfully developed a large area gas-assisted UV-curing reversal imprinting process for the large area fabrication of microstructures, which shows the potential of being applied to the large-area optical elements such as ultra-thin light guide plates, diffusers, large array of microlens, etc.

目 錄

致 謝	I
摘 要	II
Abstract.....	III
目 錄	IV
圖目錄	VII
表目錄	XII
第一章 導論	1
1.1 前言	1
1.2 微熱壓成型製程	2
1.3 氣體輔助微熱壓成型製程	3
1.4 紫外光固化奈米壓印製程(UV-NIL)	4
1.5 具體研究方向與目標	4
1.6 論文內容與架構	5
第二章 文獻回顧	10
2.1 氣體輔助壓印成型技術	10
2.2 紫外光固化壓印成型技術	12
2.3 反轉式壓印成型技術 (Reversal Imprinting)	13
2.4 氣泡成型缺陷問題與改善	14
2.5 綜合歸納	15
第三章 反轉式氣輔 UV 壓印製程之初步實驗探討	35

3.1 壓印模腔及相關設備	35
3.2 壓印模具及相關材料製備	36
3.3 壓印製程參數	37
3.4 反轉式氣體輔助 UV 壓印製程	37
3.5 小面積壓印結果與討論	38
3.6 本章結論	40
第四章 應用於大面積微結構複製之實驗探討	58
4.1 製程特性分析	58
4.2 壓印模具及其他相關材料備製	59
4.2.1 壓印模具	59
4.2.2 壓印基板(substrate)與紫外光固化樹脂(UV-cured resin)	60
4.2.3 UV 固化樹脂塗佈方式	60
4.3 大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印設備與製程	61
4.3.1 壓印設備	61
4.3.2 壓印製程步驟	63
4.3.3 壓印成型參數	63
4.4 壓印結果與討論	64
4.5 本章結論	65
第五章 改良式大面積微結構壓印製程之探討	84
5.1 改良式壓印製程原理	84
5.2 彈簧式基板載具之設計與開發	85
5.3 改良式壓印製程設備與相關材料	85

5.3.1 壓印設備	85
5.3.2 壓印模具	86
5.3.3 壓印基板(substrate)與紫外光固化樹脂(UV-cured resin)	86
5.3.4 壓印成型參數	86
5.3.5 壓印製程步驟	87
5.4 壓印結果與討論	88
5.4.1 大面積壓印結果	88
5.4.2 微結構複製結果	88
5.4.3 大面積微結構複製均勻性與高度轉寫性	89
5.4.4 大面積壓印成品殘留應力檢測結果	90
5.4.5 微結構光學檢測結果	90
5.4.6 微結構成品表面粗度檢測結果	91
5.5 本章結論	91
第六章 結論與未來研究方向	109
6.1 研究成果總結	109
6.2 原始貢獻	110
6.3 未來研究方向	111
參考文獻	119
附錄一 作者簡介	124
附錄二 個人著作	125

圖目錄

圖 1-1 典型微熱壓成型設備示意圖.....	7
圖 1-2 傳統微熱壓成型步驟示意圖.....	7
圖 1-3 傳統微熱壓製程壓力分佈不均示意圖.....	8
圖 1-4 氣體輔助熱壓成型示意圖.....	8
圖 1-5 四吋晶圓之感壓軟片受壓後之壓力分佈圖.....	9
圖 1-6 紫外光固化壓印製程示意圖.....	9
圖 2-1 氣體輔助微熱壓製程步驟示意圖.....	16
圖 2-2 氣體輔助壓印之壓力均勻性檢測結果.....	17
圖 2-3 真空輔助壓印設備示意圖.....	17
圖 2-4 硬質平壓板直壓法(SPP).....	18
圖 2-5 氣墊壓印 (ACP) 原理示意圖.....	18
圖 2-6 氣墊壓印之 4 吋感壓軟片壓力測試結果 (置入紙片).....	19
圖 2-7 氣墊壓印之 4 吋感壓軟片壓力測試結果 (置入塵粒).....	19
圖 2-8 空氣輔助步進式壓印技術示意圖.....	20
圖 2-9 壓力槽式壓印系統示意圖.....	21
圖 2-10 氣體輔助微抽引(micro-aspiration)壓印技術示意圖.....	21
圖 2-11 氣體輔助壓印平台式滾輪轉印製程.....	22
圖 2-12 氣囊式輔助壓印製程示意圖.....	22
圖 2-13 液靜壓原理示意圖.....	23
圖 2-14 步進快閃式紫外光壓印微影技術.....	23
圖 2-15 紫外光固化成型示意圖.....	24
圖 2-16 氣體施壓紫外光固化成型製程示意圖.....	24
圖 2-17 滾輪式紫外光轉印製程與設備示意圖.....	25
圖 2-18 以紫外光固化成型技術於 PET 基材上製作出線寬為 100 nm 之結構.....	25

圖 2-19 滾輪連續式紫外光轉印製程示意圖	26
圖 2-20 紫外光微轉印成型機台示意圖	27
圖 2-21 反轉式壓印技術示意圖	27
圖 2-22 運用反轉式壓印技術所製作之多層微結構	28
圖 2-23 真空法改善氣泡問題	29
圖 2-24 樹脂分散滴注法示意圖	30
圖 2-25 樹脂擠壓法改善氣泡缺陷之原理示意圖	31
圖 2-26 氣體濃縮法改善氣泡缺陷之原理示意圖	32
圖 2-27 氣體濃縮法之壓印設備示意圖	33
圖 2-28 五氟丙烷氣體改善氣泡缺陷之結果	34
圖 3-1 小尺寸反轉式氣體輔助 UV 壓印模腔	42
圖 3-2 氮氣(N ₂)壓力瓶與調節針閥	42
圖 3-3 真空幫浦	43
圖 3-4 陣列式發光二極體紫外光燈	43
圖 3-5 光強度計 Power meter (1815-C, Newport)	43
圖 3-6 小尺寸壓印實驗用之不鏽鋼薄板壓印模具尺寸示意圖	44
圖 3-7 光學顯微鏡	44
圖 3-8 掃瞄式電子顯微鏡	45
圖 3-9 白光干涉儀	45
圖 3-10 小尺寸(70 mm × 70 mm)不銹鋼薄板壓印模具	47
圖 3-11 反轉式氣體輔助 UV 壓印製程示意圖	48
圖 3-12 小尺寸初步壓印實驗結果 (無抽真空)	49
圖 3-13 氣泡成型缺陷區域之 OM 圖 (40 倍)	50
圖 3-14 氣泡成型缺陷區域之 SEM 圖	51
圖 3-15 小尺寸初步壓印實驗結果 (抽真空)	52

圖 3-16 小尺寸初步壓印實驗結果之外型與尺寸量測 (抽真空)	54
圖 3-17 持壓時間對微結構轉寫高度之關係圖	55
圖 3-18 氣體壓印壓力對微結構轉寫高度之關係圖	56
圖 3-19 紫外光照光能量對微結構轉寫高度之關係圖	57
圖 4-1 傳統紫外光固化壓印製程氣泡缺陷之形成與消除示意圖	67
圖 4-2 傳統紫外光固化壓印製程氣泡需行經之路徑	67
圖 4-3 傳統反轉式壓印製程氣泡缺陷之形成	68
圖 4-4 本研究提出之壓印方向改變之反轉式壓印製程示意圖	68
圖 4-5 大尺寸壓印實驗用之不鏽鋼薄板壓印模具尺寸圖	69
圖 4-6 大尺寸壓印實驗用之不銹鋼板壓印模具實體照片	70
圖 4-7 表面接觸角量測儀(FTA-125).....	71
圖 4-8 不銹鋼壓印模具表面之表面接觸角量測結果	71
圖 4-9 大面積壓印實驗用之不同尺寸壓克力基板	72
圖 4-10 紫外光固化樹脂塗佈用之刮刀	73
圖 4-11 大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印之壓印模腔設計圖	74
圖 4-12 大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印之壓印模腔實體圖	74
圖 4-13 大面積壓印用之陣列式發光二極體紫外光燈	75
圖 4-14 大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程示意圖	76
圖 4-15 244 mm × 183 mm 之 PMMA 基板壓印結果	77
圖 4-16 244 mm × 183 mm 之 PMMA 基板壓印結果 OM 圖	78
圖 4-17 244 mm × 183 mm 之 PMMA 基板壓印結果 SEM 圖	79
圖 4-18 266 mm × 150 mm 之 PMMA 基板壓印結果一	80
圖 4-19 266 mm × 150 mm 之 PMMA 基板壓印結果二	81
圖 4-20 266 mm × 150 mm 之 PMMA 基板壓印結果 OM 圖	82
圖 4-21 改變壓印方向之反轉式壓印氣泡缺陷形成示意圖	83

圖 5-1 改良抽真空機制以消除氣泡之示意圖	95
圖 5-2 基板載具尺寸設計圖	96
圖 5-3 下模腔設計修正示意圖	96
圖 5-4 彈簧式基板載具實體	97
圖 5-5 改良式大面積壓印模腔	98
圖 5-6 空氣壓縮機	99
圖 5-7 彈簧式基板載具置於下模腔之示意圖	99
圖 5-8 配合基板載具之不鏽鋼薄板壓印模具尺寸圖	100
圖 5-9 配合基板載具之大面積壓克力基板	100
圖 5-10 使用彈簧式基板載具的改良式壓印製程示意圖	101
圖 5-11 230 mm × 203 mm 壓克力基板壓印結果	102
圖 5-12 探針式表面輪廓量測儀	103
圖 5-13 230 mm × 203 mm 壓克力基板壓印結果表面輪廓圖	103
圖 5-14 230 mm × 203 mm 壓克力基板壓印結果 SEM 圖	103
圖 5-15 量測區域劃分示意圖	104
圖 5-16 各區域微結構外型輪廓量測結果	104
圖 5-17 應力偏光儀	105
圖 5-18 光彈量測原理示意圖	105
圖 5-19 各區域殘留應力光彈量測結果	106
圖 5-20 微透鏡陣列之光學檢測架構示意圖	107
圖 5-21 微透鏡陣列光學檢測 CCD 觀察結果圖	107
圖 5-22 單一微透鏡表面粗度量測	108
圖 6-1 有效壓印區域大小為 320 mm × 240 mm 的壓印模腔	112
圖 6-2 壓印模腔固定於直立式射出機之示意圖	113
圖 6-3 大面積紫外光固化氣壓壓板式壓印製程示意圖	114

圖 6-4 大面積菲涅爾鏡片壓印複製結果.....	115
圖 6-5 15 吋顯示器用之增亮膜壓印複製結果.....	116
圖 6-6 15 吋顯示器用之網點式導光板壓印複製結果.....	117
圖 6-7 大面積紫外光固化氣囊輔助壓印製程與設備示意圖.....	118



表目錄

表 3-1 反轉式氣體輔助 UV 壓印製程參數表.....	41
表 4-1 大面積紫外光固化氣輔反轉式壓印成型參數表.....	64
表 5-1 大面積微透鏡直徑複製均勻性.....	92
表 5-2 大面積微透鏡高度複製均勻性與轉寫性.....	93
表 5-3 大面積微透鏡陣列平均焦距與曲率半徑.....	94



第一章 導論

1.1 前言

隨著科技發展，許多生醫、電子、航太、光通訊等方面零件不斷朝向輕薄化與微小化發展，因而衍生出次世代產業需求之製造技術－微機電系統 (Micro-Electro-Mechanical Systems，簡稱 MEMS) 技術。利用此微型製造技術，可使產品微小化，因而提高其性能、品質、可靠度及附加價值。

微機電製程雖可製造微型結構與元件，但製程步驟繁複且設備昂貴，因此需要搭配後段的微模造 (Micro Molding) 成型技術，以量產複製 (Replication) 的方式來達到降低成本、提升競爭力的目標。目前主要微結構複製技術依成型方式可分為三類：微射出成型 (Micro-Injection Molding)、微熱壓成型 (Hot Embossing)、微鑄造成型 (Casting)。其中微鑄造技術較不具自動化，因此只適用於實驗性原型 (Prototype) 產品的開發。

近幾年顯示技術蓬勃發展，大尺寸顯示器因為可視面積大，價格合理等因素，逐漸被大家所採用。但隨著大尺寸顯示器輕薄化的需求，相對整個顯示模組之厚度便需大幅減少，而背光模組中之光學元件也必須大幅減低厚度。欲大量製造塑膠微結構光學元件，微射出成型是最能夠達成大量生產低成本的目標。然而，微射出成型對於成型大面積且厚度極薄 ($< 1 \text{ mm}$) 的微結構光學元件，是有相當的困難度。因為成品厚度過薄會使射出成型時流動阻力太大而需要更大的射出壓力才有可能完全充填滿模穴，但過高的射壓會引發殘留內應力，進而造成射出後成品的翹曲。此外大面積薄片微結構光學元件的模具開發成本昂貴，也需要更高鎖模力噸數的射出成型機，相對地整個製程的成本將提高許多。因此，以微熱壓成型較有可能達成製作大面積薄片微結構光學元件的目的。以下將針對具自動化、高精度與高效率的微熱壓成型之製程特色作詳細介紹與討論。

1.2 微熱壓成型製程

如圖 1-1 所示為典型微熱壓成型機的構造示意圖，主要機台構造包括上下電熱壓板、冷卻系統與加壓系統，可利用高溫與高壓的方式將模具上的微結構複製在塑膠基材上，經由冷卻脫膜後得到成品。詳細的熱壓操作步驟如圖 1-2 所示，首先為備料（將塑膠基材與模具置入加壓與加熱系統中）、抽真空、加熱、熱壓、保壓冷卻、破真空、脫模、取出成品。「加熱與預壓階段」，主要藉由上下電熱壓板來進行材料與模具的加熱，在加熱的同時，亦施加一微小的預壓力以減少材料的收縮與翹曲，待塑膠基材之溫度高於玻璃轉移溫度(Glass Transition Temperature, T_g)後，材料表面會軟化，再利用機台的壓力裝置於模具與塑膠基材上施加一固定之壓力，則塑膠會因壓力產生流動變形而充填入模具上的微模穴，此為「持溫與加壓階段」。待材料充填完畢後，則執行「冷卻與保壓階段」，即開啟冷卻系統，將溫度降至塑膠的玻璃轉移溫度以下，同時維持固定之壓印壓力，以避免材料於模穴內產生收縮與充填不足的現象，最後進行脫模以得到成品，整個熱壓製程經歷了升溫、持溫、加壓與降溫數個階段。

相較於微射出成型，微熱壓成型之製程步驟相當簡易，機台結構設計單純且設備成本低廉，不僅可製造多種微生醫元件與微致動結構 [1-4]，亦非常適合用來量產大面積的光學薄膜，例如 TFT-LCD 背光模組中的增亮薄膜、光擴散薄膜、導光板及反射片等光學元件。

微熱壓成型係將塑膠薄膜或薄片加熱至玻璃轉換溫度(T_g)以上或結晶型塑膠熔點(T_m)附近，再以表面有微結構的模具施壓其上，即可將微結構複製其上，冷卻後脫模就完成微複製成型。傳統微熱壓成型所使用的壓板加壓機構，由於壓板表面粗糙度不佳與壓板不平行的因素，經常發生壓力分佈不均的問題，因而造成壓板中心部分的複製效果優於壓板周邊（如圖 1-3 所示），同時施力不均也會造成模具材料的選用受限，而無法使用晶圓、玻璃等硬脆材料作為壓印模具。除此之外，製程因需將溫度提升至玻璃轉移溫度(Glass Transition Temperature, T_g)以上，製程

既耗時又耗費能源，且升降溫過程也會使塑膠基板產生熱脹冷縮的現象，不僅會影響熱壓成品的尺寸精度，還會有殘留內應力的產生。因此，欲達到大面積、高均勻性、高精度與高品質之品質要求，需有新的塑膠微熱壓施壓方式。

1.3 氣體輔助微熱壓成型製程

為了解決傳統微熱壓使用壓板加壓造成施壓不均之缺陷，張[5]開發流體輔助壓印技術，利用流體等向、等壓的物理特性，以流體微加壓來取代傳統壓板式的施壓方式。其製程原理與步驟如圖 1-4 所示，首先將壓印模具與塑膠基板堆疊於一可加熱與冷卻的平台板上，再利用一密閉模腔 (Chamber) 將模具與塑膠基板密封起來，接著利用平台將模腔內的塑膠基板加熱至材料的 T_g 點以上，再由模腔側邊通入高壓流體 (例如：氣體、蒸汽、熱煤油等) 加壓模具與塑膠基板，使融熔的塑膠填入模具表面的微模穴內，最後利用平台將溫度降至室溫，洩除流體壓力、打開模腔、分離模具與塑膠基板，即可獲得微熱壓成品。

此法因使用流體直接進行加壓工作，因此可達到大面積的壓力均勻分佈，即使用矽晶圓當作壓印模具也不會造成壓印碎裂的現象。圖 1-5 所示為利用感壓軟片 (LW 型，感應範圍 25 ~ 100 bar) 進行四吋晶圓大小之壓印面積其壓力均勻性檢測結果，此感壓軟片受壓後會產生深淺不一的顏色，可利用色度與壓力間的轉換關係進行實際壓力值的量測與均勻性評估。由圖中可觀察到流體施壓後的感壓軟片之顯色非常均勻，且在 102 bar 之高壓施壓下，晶圓沒被壓碎，此結果可驗證流體微熱壓製程有極佳的壓力均勻分佈特性。雖然流體微熱壓製程可以克服傳統熱壓製程壓力分佈不均的缺失，但是在製程原理上仍然擺脫不了高溫與高壓的製程特性，因此在損耗時間與能源方面仍有很大的改善空間。此外，升降溫之過程以及過高的壓印壓力都有可能造成壓印成品產生殘留應力而出現翹曲現象，因此，如何避免升降溫過程以及高壓印壓力是非常重要的課題。

1.4 紫外光固化奈米壓印製程(UV-NIL)

近年來，高分子材料的快速發展，光固化樹脂逐漸受到重視並大量地被採用，該類樹脂為吸收紫外光能量而固化的特殊高分子。該材料起初是為了解決環保問題而開發，而後因該材料硬度高、耐溶劑性、固化速度快、多樣式等特色，使之倍受矚目。

德國阿亨工業大學 M. Otto 教授等人提出在室溫、低壓環境下利用紫外光固化高分子材料的奈米轉印技術[6]，如圖 1-6 所示。首先利用具有一個奈米圖案的壓印模具，模具材料是使用可以讓紫外光穿透的石英玻璃，並且在矽基板塗佈一層低黏度的紫外光固化高分子光阻，在模具和基板對位後，施加相當低的壓力將模具壓入光阻層並同時照射紫外光使光阻硬化成型，壓印完成脫模後，再以蝕刻的方式將基板上殘留的光阻去除便完成整個紫外光固化奈米壓印製程。

鑑於微射出成型與微熱壓成形的缺憾，如圖 1-6 所示，紫外光固化壓印製程只需照光固化樹脂、不需升降溫過程即可複製微結構，有常溫、低壓、快速的優點，可有效縮短製程時間、節省能源，甚至可避免升降溫過程造成壓印成品有殘留應力的問題。雖然紫外光固化壓印機制可解決傳統微熱壓之問題，但是氣泡成型缺陷問題以及紫外光固化樹脂與模具間的沾黏，卻是紫外光固化壓印成型另外急需解決的問題。

1.5 具體研究方向與目標

傳統射出成型目前很難製造大面積(12 吋以上)且厚度薄(厚度 0.8 mm 以下)具微結構之元件，因為流動阻力太大。若使用熱壓成型其生產效率低，且因為熱壓成型是將製作完成之透明平板經由熱壓機再次加溫加壓成型其表面微結構，製程時間冗長且耗費能源及成本。另外，在冷卻過程中也容易發生變形與殘留應力等問題，故本研究將運用紫外光固化(UV-cured)微成型方式來製作大面積薄件微結

構元件，製程可在常溫低壓下進行，能夠有效縮短製程時間及節省能源，也可避免傳統射出成型成品之熱應力問題。另外，傳統熱壓欲製作大面積之成品需加大油壓缸的缸徑，大幅提高成本，且施壓之力量會分布不均，因此本研究將運用氣體等向、等壓之特性來製作大面積之微結構元件，利用氣體施壓同時也能提高大面積壓印在各區域之微結構的複製成型均勻性。

本論文所運用之製程技術係結合紫外光固化成型技術、反轉式壓印技術及氣體輔助壓印製程，即是於壓印模具上先行塗佈 UV 固化的高分子材料，使 UV 固化高分子材料先完全充填微結構模穴，再將壓克力(PMMA)塑膠基板置於壓印模具上方，接著利用灌入氣體之壓力對基板/模具施壓，再經由紫外光曝照後，使材料固化成型後脫模，而完成大面積微結構元件的製做，製程簡易、快速，非常具有大量生產的潛力與商業競爭力。具體的研究方向與目標如下：

1. 開發「常溫」、「低壓」、「快速」大面積紫外光固化氣體輔助反轉式壓印製程以及設備之設計組裝，並能夠在大面積 PMMA 基板上壓印複製出微結構圖案。
2. 完成彈簧式壓印基板載具於氣泡改善效果之實驗探討。
3. 運用此大面積壓印技術製作如導光板、增亮膜、菲涅爾鏡片等光學元件。

1.6 論文內容與架構

本論文共分為六章。第一章為導論，主要簡介微系統科技產業的製作與發展，以及本論文的研究動機、具體研究方向與目標；第二章為文獻回顧，針對紫外光固化壓印成型技術、反轉式壓印技術及氣體輔助壓印技術等相關研究及其延伸應用，作完整的彙整與評論；第三章為紫外光固化氣體輔助反轉式壓印的初步實驗及探討，主要內容包括紫外光固化氣體輔助反轉式壓印的原理說明、實驗結果及其可行性探討；第四章是大面積紫外光固化氣體輔助反轉式壓印壓印支實驗設備

設計與開發，實驗方法說明以及實驗結果與討論；第五章為改良式大面積紫外光固化氣體輔助反轉式壓印成型製程，內容包含改良式基板載具的設計與功用、改良式製程的說明以及相關實驗結果與探討；第六章則是本論文的研究成果總結及未來的研究方向與展望。



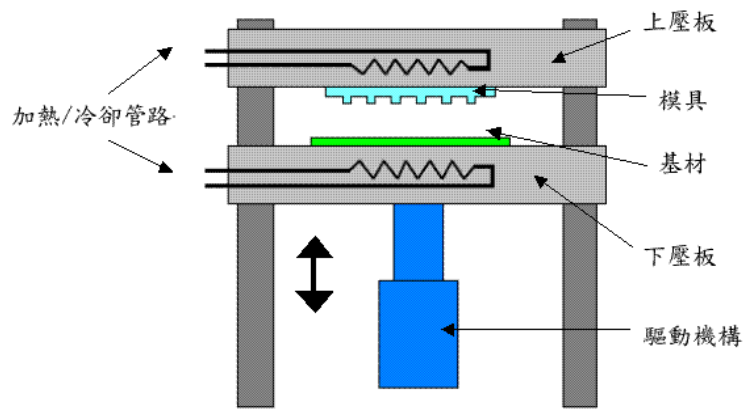


圖 1-1 典型微熱壓成型設備示意圖

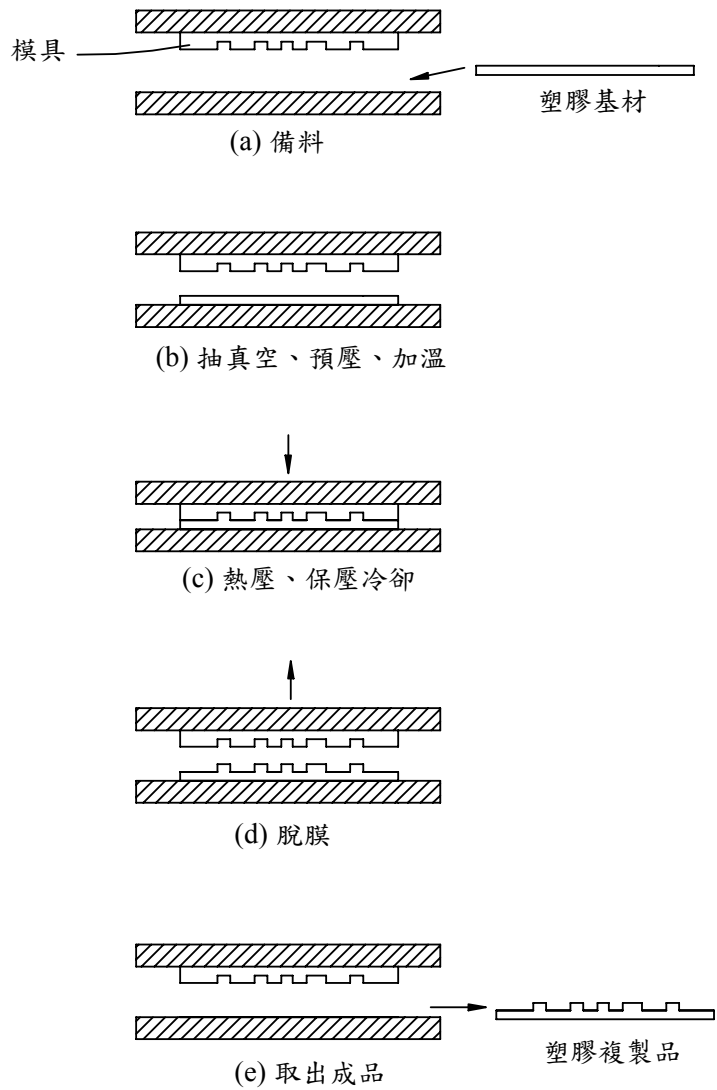


圖 1-2 傳統微熱壓成型步驟示意圖

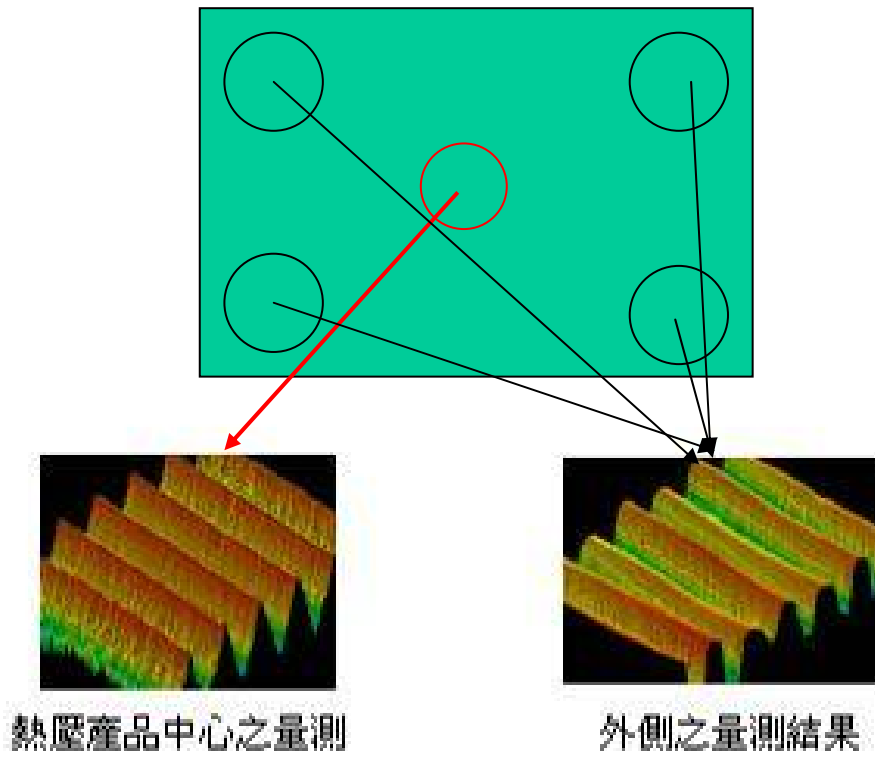


圖 1-3 傳統微熱壓製程壓力分佈不均示意圖

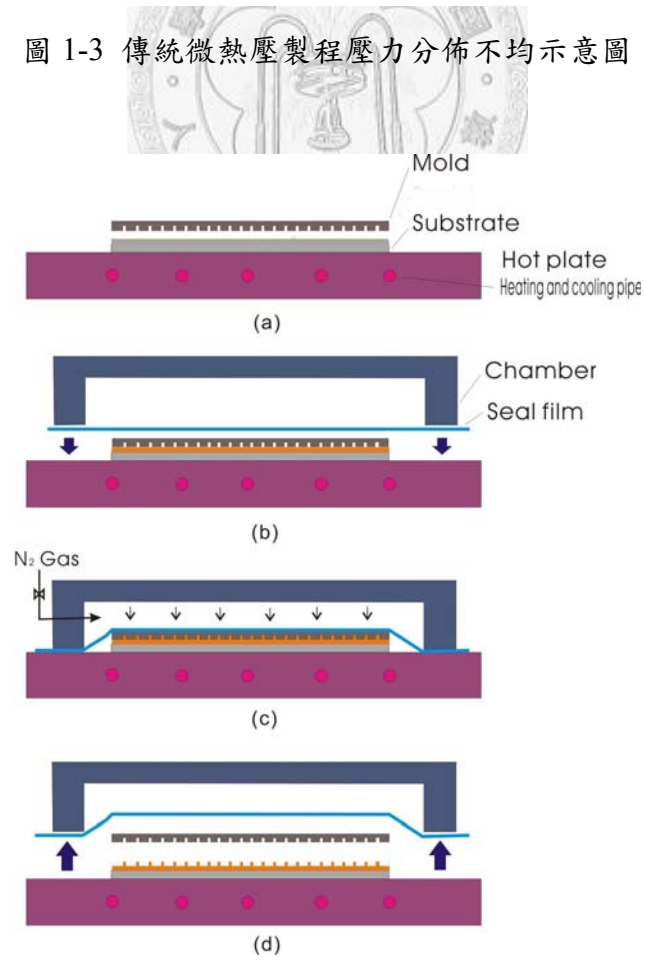


圖 1-4 氣體輔助熱壓成型示意圖 [5]

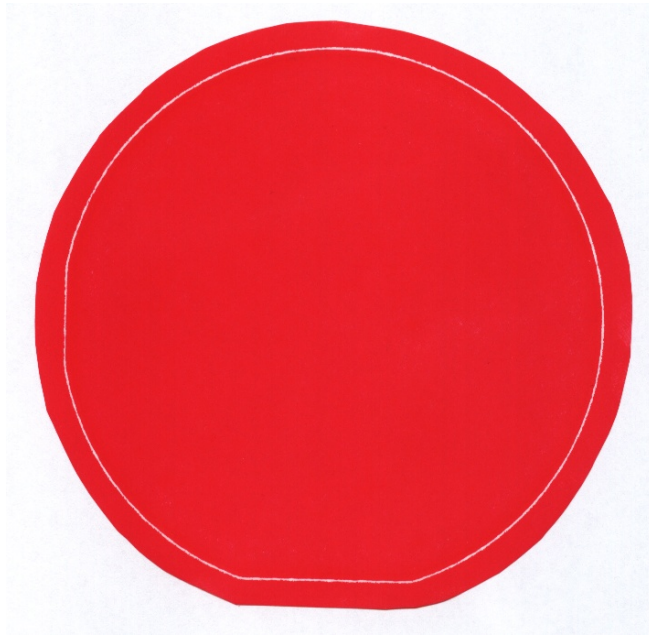


圖 1-5 四吋晶圓之感壓軟片受壓後之壓力分佈圖 [5]

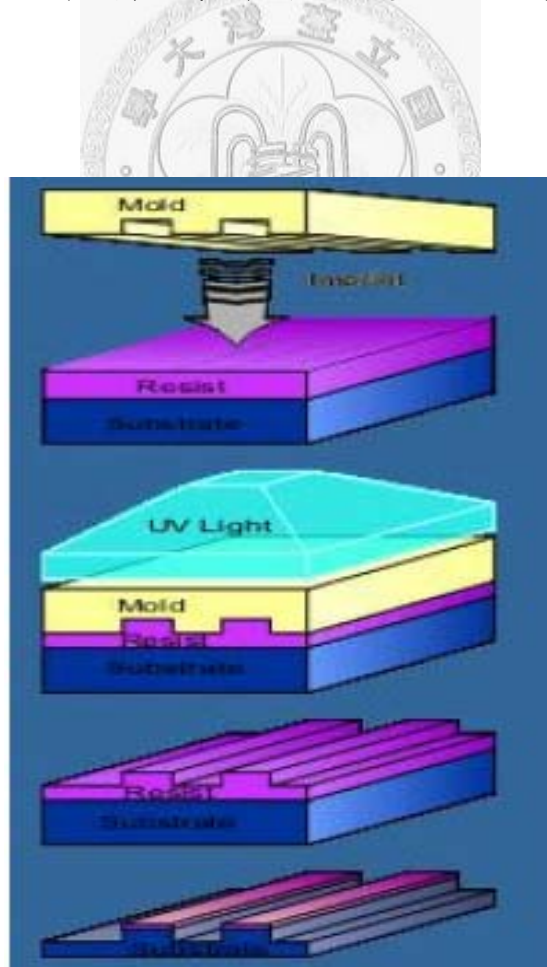


圖 1-6 紫外光固化壓印製程示意圖 [6]

第二章 文獻回顧

本章首先回顧氣體輔助壓印製程相關文獻，接著介紹紫外光固化壓印製程相關研究內容，第三部份對反轉式壓印之發展及應用作一介紹，第四部分對於改善 UV 壓印的氣泡問題之相關研究作一回顧，最後做一整體性之比較及歸納。

2.1 氣體輔助壓印成型技術

一般的微奈米壓印製程，多是藉由油壓式壓板機構來加壓，壓板施壓方式易導致壓力分佈不均，影響微結構複製品質。因此，欲達到大面積、高均勻性、高精度與高品質之要求，就必須改進目前製程之壓板直接施壓方式，以解決壓力分佈不均的問題。奈米壓印技術發展至今，使用氣體做為壓力源來輔助壓印的相關研究不多，以下將針對國內外相關研究作一介紹。

Chang [7-9]等人提出利用流體壓印方式，使用氣體微熱壓成形方法解決加壓不均勻之問題。氣體微熱壓製程如圖 2-1 所示，使用氣體進行加壓動作，可在均勻壓力情況下，進行大面積微結構熱壓複製，並以感壓軟片進行實驗面積為 $15 \times 15 \text{ cm}^2$ 之壓力分佈量測。如圖 2-2 所示為氣體壓力設定為 45 kgf/cm^2 時，感壓軟片之受壓分佈，圖中顯示感壓軟片顯色非常均勻，經量測其平均壓力值為 $43 \pm 3 \text{ kgf/cm}^2$ ，此結果充分證實氣體輔助壓印具有極佳的均勻壓力分佈特色。

Vratzov [10]等人利用抽真空造成壓力差的原理進行壓印成型，如圖 2-3 所示。先將 A、B 兩個模腔內之氣體抽出，直到兩模腔內氣壓約為 10 mbar，再慢慢增加 A 模腔內的壓力值，利用兩者的壓力差來進行壓印；其研究結果證實可成功壓印出結構線寬為 50 nm 之 NMOS 電晶體元件。

美國普林斯頓大學 Prof. Chou [11]其研究團隊於 2006 年提出氣墊式的壓印方法。在此研究中，其研究團隊研究認為模具、基板與壓板之間的平行/平整度/表面粗度等因素會造成壓印力不均之現象（圖 2-4），為了達到均勻的壓力分佈，他們

提出氣墊壓力 (ACP, Air Cushion Press) 的壓印觀念 (圖 2-5)，將皆為 4 吋晶圓大小之模具及基材置於一個 ACP 的設備中以達到均勻施壓的目的。並使用感壓軟片 (Pressure Sensitive Film) 來量測使用壓板直壓及氣墊直壓之壓力分佈狀況。另外將一紙片置於模具上方以及將一塵粒至於模具與基板間分別來觀察兩種壓印方式之壓力分佈狀況(圖 2-6 與圖 2-7)，各項研究結果均顯示出使用氣體為壓力源的優勢。

Jeong 等人[12]提出將氣體應用於步進式紫外光奈米轉印微影製程 (Step-and-Repeat UV-Nanoimprint Lithography)，如圖 2-8 所示。先用噴頭將樹脂塗佈在模具(Element-Wise Patterned Stamp, EPS)上，然後移動模具到微結構複製的區域，再利用一氣壓腔對透光模具壓印範圍通入空氣進行施壓讓模具與基材貼合，再照光固化使模具上的樹脂轉印到基材上，然後再將模具移動到基材的另一個區域，重覆同樣的轉印步驟，達到製作大面積微結構的目的。

韓國首爾大學 Lee 的研究團隊提出一套壓力槽式的壓印系統 [13-14]，如圖 2-9 所示。其有效壓印面積達 8 吋，主要是利用真空系統將石英模具與基材內部空氣排除，然後利用外部加熱及加壓系統迫使微結構成形，最後再利用外部紫外光源照射使阻劑固化而成功壓印出微結構。

法國 Berre 等人[15]提出氣體微抽引(micro-aspiration)壓印的方式，如圖 2-10 所示，讓紫外光固化樹脂經由此抽引的力量充填模具的微結構模穴，再照光固化而得到微結構。

Yang 等人[16]將氣體輔助施壓的機制應用於滾輪式壓印製程，如圖 2-11 所示。研究中設計一氣體輔助壓印平台改善施力不均的問題，結果顯示氣輔平台之運用可有效改善圓柱模在滾動時，因兩端施壓而產生的撓曲，造成接觸不均勻的情況。

Cheng 等人[17]提出創新的氣囊式輔助 PDMS 軟模壓印技術，如圖 2-12 所示，係利用液靜壓的原理 (圖 2-13) 來控制 PDMS 軟模在壓印過程中的變形問題。研究結果顯示氣囊在壓印過程中能將 PDMS 完全地包覆，有效控制 PDMS 軟模於壓印製程中的變形，也證實在不同氣囊壓力下，基板中央及邊緣位置的微結構複

製效果及品質都相當一致。

綜整壓印製程的研究重點，提高有效壓印面積乃是一項重大課題，而氣體輔助壓印技術的發展在這方面實屬重大貢獻。

2.2 紫外光固化壓印成型技術

美國德州大學 C. G. Willson 教授之研究團隊首先提出步進曝光式紫外光壓印微影技術(Step and flash imprint lithography) [18]，其主要是利用步進式壓印機構，將一有效壓印面積約為 $35 \times 35\text{mm}^2$ 的石英玻璃製成微結構模具來作重覆步進式的壓印，再配合紫外光固化材料、壓印成型與反應離子蝕刻技術，進行微奈米結構的製作，如圖 2-14 所示。其製程能力可達 8 吋晶圓面積之壓印，且其壓印後之均勻性可較直接壓印大面積基板提升許多，有效地大幅降低製作成本與不良率。

德國 IOF 公司[19]則利用微模具、透明的紫外光固化樹脂與半導體製程專用的晶圓曝光機，製作出晶圓等級的光電整合元件。

Kim 等人[20]利用紫外光固化成型技術複製微小光學元件，如圖 2-15 所示。Jeong 等人[21]結合氣體施壓與紫外光固化方式，進行大面積的微結構複製，如圖 2-16 所示。先用滴注噴頭將樹脂陣列式地滴注於基板上區域，再對壓印範圍通入空氣進行施壓讓模具與基材貼合，接著照光固化使模具上的樹脂轉印到基材上，達到製作大面積微結構的目的。Liu 與 Chang[22]將紫外光固化成型運用於滾輪式的轉印製程(如圖 2-17 所示)，在硬玻璃基板上複製出彩色濾光片之黑色矩陣微結構。Lee 等人[23]利用紫外光固化成型技術，搭配自行開發之混合單體紫外光樹脂，將整個壓印製程控制在室溫低壓下完成，成功將線寬為 100 nm 的線結構複製於可撓性的 PET 基板上，如圖 2-18 所示。Ahn 等人[24]亦將紫外光固化成型技術運用於滾輪連續式的壓印製程，如圖 2-19 所示，微米與奈米級的結構皆可成功地壓印複製於基板上。

在國內相關研究方面，交大機械所陳雅雯[25]利用紫外光固化成型技術製作高

分子光學膜片，並進行有限元素分析與模擬。中興機械所黃俊瑋[26]則利用紫外光固化膠與微透鏡陣列模具製作塑膠微光學元件。台大機械所翁永春[27]與黃培穎[28]利用紫外光固化壓印製程製作光波導元件。台大機械所朱明輝[29]與許淑雯將紫外光固化成型製程[30]運用於滾輪式轉印製程上，並成功製作出微透鏡陣列與 V-cut 等微結構。台大機械所張致遠[31]利用毛細現象配合紫外光固化壓印（圖 2-20），並使用 PDMS 透明軟模可成功製作出微透鏡陣列。

紫外光固化成型技術主要之優勢為低溫、快速、簡易、低成本，為其他技術所不及。但目前此技術仍有一些問題需要克服與解決，如脫模與材料沾黏問題、氣泡成型缺陷等相關基礎性課題也急需深入的研究與解決。

2.3 反轉式壓印成型技術 (Reversal Imprinting)

一般不論是熱壓式奈米壓印技術(HE-NIL)、紫外光固化成型技術(UV-NIL)，都是將光阻劑或光固化樹脂以旋轉塗佈的方式塗佈於基材(substrate)上，再使用模具去進行壓印的動作。然而旋轉塗佈能夠塗佈的基材材質、面積大小與形狀皆有所限制，若欲進行大面積壓印，且不是使用矽晶圓此種基材（如 PMMA、PET 塑膠基板），則在塗佈方面將會有相當的難度。

美國密西根大學 Prof. Pang 的研究團隊首先提出反轉式壓印(Reversal Imprinting) [32-33]的概念，如圖 2-21 所示，此技術係將塗佈光阻劑的對象對調，先把阻劑塗在模具上，再將它轉印在基材上。相較於傳統奈米壓印製程，反轉式壓印的優勢是可以轉印在不容易使用旋轉塗佈的基材上，例如：可彎曲的塑膠基材、大面積的非圓形基材等。

近幾年，Prof. Pang 研究團隊[34]、Kehagias 研究團隊[35]以及 Lee 研究團隊[36]等，更分別將反轉式壓印技術配合紫外光固化成型運用於 3-D 的微奈米結構製作，並利用 layer by layer 的方式成功製作出多層式微結構(multi-layered structures)與多層式奈米通道(multi-layered nanochannels)，如圖 2-22 所示。

本論文欲進行大面積 (>12 吋) 壓印，使用基材與模具皆為矩形，因此無法使用旋轉塗佈機 (spin coater) 將 UV 樹脂塗佈於基材或模具上，故本論文將使用刮刀塗佈配合反轉式壓印技術，將 UV 樹脂先塗佈於壓印模具上再進行壓印。如此一方面可解決無法使用旋轉塗佈的問題，一方面亦可使 UV 樹脂在塗佈上模具時先行充填微結構模穴再進行微結構壓印複製，預期可提高壓印後微結構的轉寫性。

2.4 氣泡成型缺陷問題與改善

紫外光固化壓印 (UV-based imprinting/embossing) 製程因不需加熱升降溫，因此可避免熱變形問題而影響壓印精確度。然而紫外光固化壓印製程之關鍵則在於光敏感性 (photo-induced) 樹脂之塗佈方式與過程，因沒有經過加熱之步驟，無法有效排出光阻中之微氣泡，在經紫外光曝光後，氣泡問題會使微結構無法完全成型而造成成型缺陷或瑕疵 [37]。

針對氣泡缺陷問題，Fuchs 等人 [38] 提出將壓印環境抽真空，可有效幫助減少氣泡的產生。如圖 2-23 所示，不同的壓印環境真空壓力下，改善氣泡問題的效果也不同，其中以 20 mbar 的真空壓力改善效果最為顯著。

美國德州大學 C. G. Willson 教授等人 [39-40] 提出步進式壓印技術來改善氣泡問題，如圖 2-24 所示，此技術係利用樹脂分散滴注 (resin dispensing) 方式，將 UV 樹脂陣列狀地滴注在基板上。然而 UV 樹脂的滴注需耗費更長時間，另外如何控制每個樹脂滴注量均勻一致更是一個相當大的挑戰。

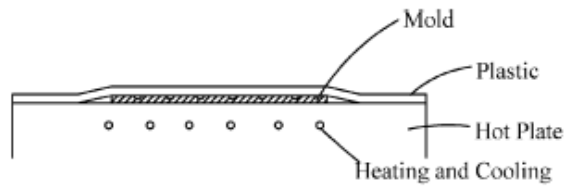
日本產業技術總合研究所 Hiroshima 等人 [42] 提出樹脂擠壓法 (resin squeezing)，增加持壓 (holding) 時間，使氣泡能夠由微結構模穴內往外被排出，如圖 2-25 所示。相較於前述兩種方法，此法不需額外的成本，但只適用樹脂塗佈厚度較厚的情況與壓印面積極小的情況，對於大面積壓印，勢必是個較無效率且會拉長成型時間的方法。

Hiroshima 等人 [43-44] 又於 2007 年提出利用氣體濃縮 (gas condensation) 的方式

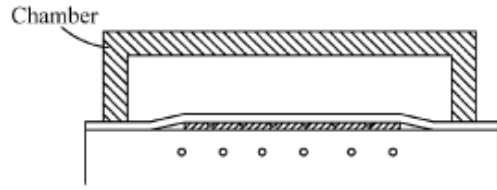
來解決氣泡的問題，原理如圖 2-26 所示。此方法利用五氟丙烷與三氟甲烷等氟化物氣體充入壓印模腔中(如圖 2-27 所示)，此氟化物氣體會與氣泡產生作用，逐漸濃縮減少氣泡的體積進而使氣泡消失。圖 2-28 所示為模腔內通入不同流量五氟丙烷氣體改善氣泡缺陷之結果，當持壓時間設定為將近於 0 秒時，氣體流量 (sccm, 單位時間通過之氣體莫耳數) 越大，改善效果越佳。相較於前面所提改善氣泡問題之方法，此法對於小面積壓印所產生之氣泡問題改善效果極佳且效率高，但過程中使用氟化物之氣體，有汙染環境之虞。對於大面積壓印，使用此法可能會有製程難以掌控及氣體擴散不均等問題。

2.5 綜合歸納

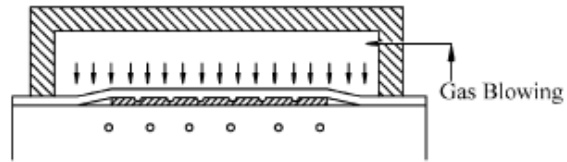
本研究將結合紫外光固化成型技術、反轉式壓印成型技術及氣體輔助壓印製程，進行大面積之微結構複製，並搭配改良式的壓印機構來改善 UV 壓印最常見的氣泡問題。紫外光固化成型技術的運用，使整個壓印製程能夠在室溫低壓下進行，減少了升降溫所造成之變形及殘留應力等問題；運用反轉式壓印成型技術，壓印模具上之微結構模穴將被 UV 樹脂先充填完全，再進行壓印複製，可有效提高微結構之轉寫性；氣體輔助壓印技術其氣體施壓等向、等壓之特性使壓印壓力在整個大面積壓印區域能夠均勻分布，同時也能提高在各位置之微結構的複製成型均勻性。因此本研究最終目的是開發「常溫」、「低壓」、「快速」之大面積紫外光固化氣輔反轉式壓印之成型技術。



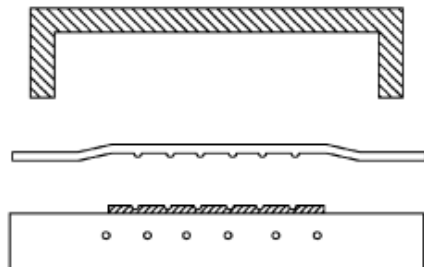
(a) Preparation Material



(b) Covering a Chamber



(c) Gas Pressurization (Plate Heating)
& Gas Packing (Plate Cooling)



(d) Exhausting
& De-Embossing

圖 2-1 氣體輔助微熱壓製程步驟示意圖[7-9]

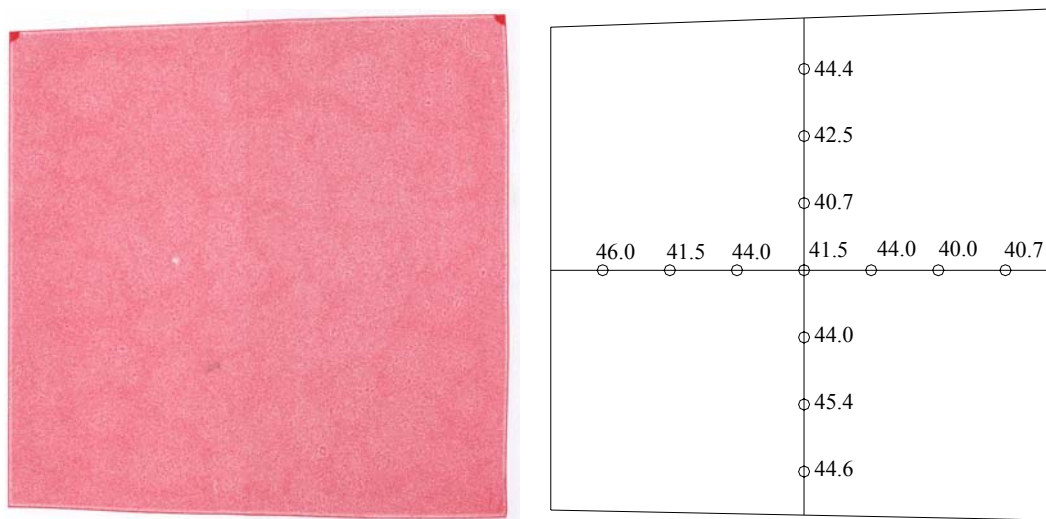


圖 2-2 氣體輔助壓印之壓力均勻性檢測結果（面積為 150 mm × 150 mm） [7]

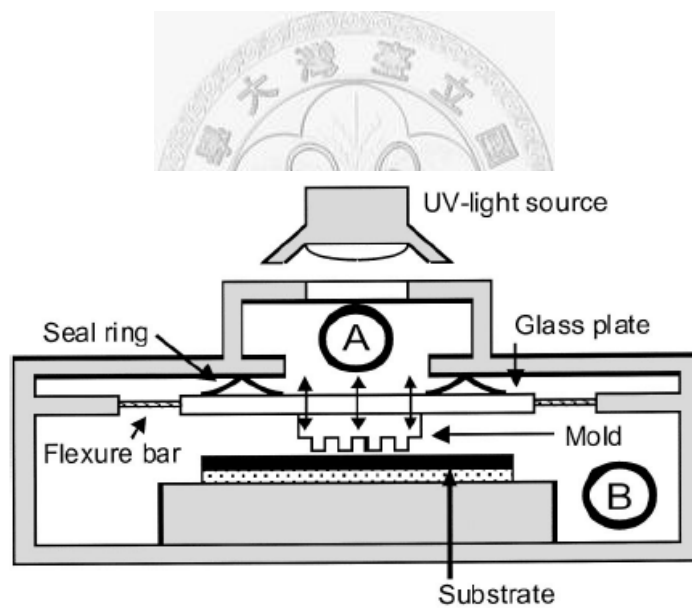


圖 2-3 真空輔助壓印設備示意圖[10]

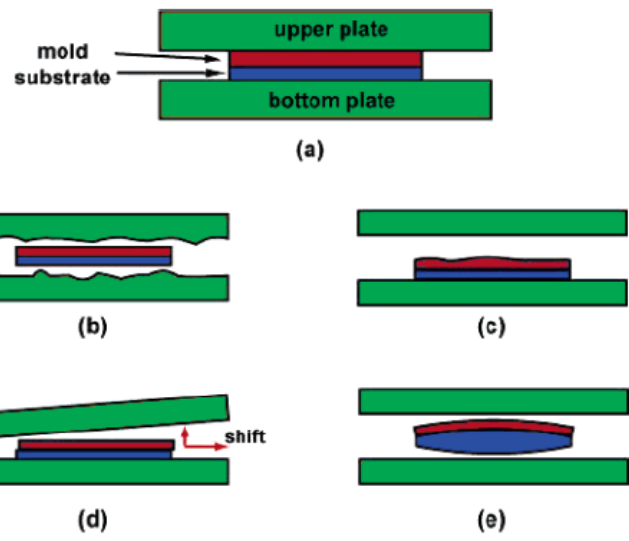


圖 2-4 硬質平壓板直壓法(SPP)。(a) 理想情況；(b) 壓板表面平整度不佳；(c) 模具/基板之背面不平整；(d) 上下壓板位移不平行；(e) 模具/基板之表面不平 [11]

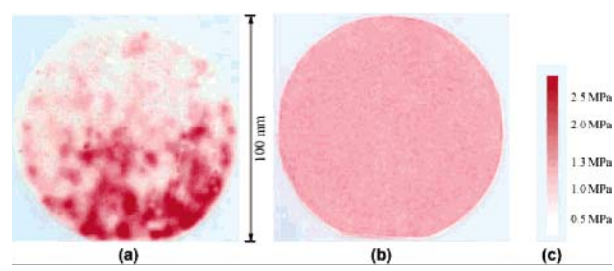
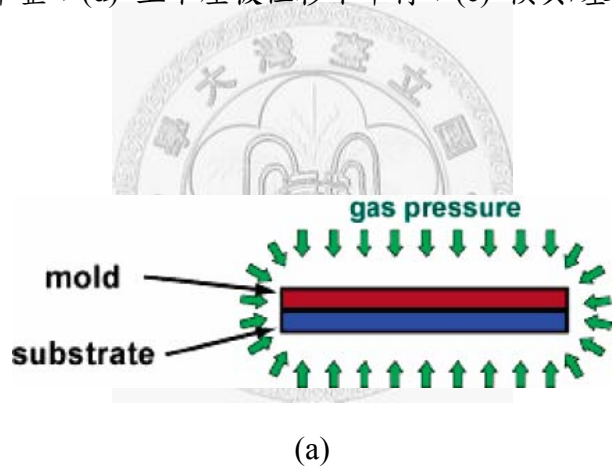


圖 2-5 氣墊壓印 (ACP) 原理示意圖：(a) 壓板直壓 SPP 及 (b) 氣墊直壓 ACP 之 4 吋感壓軟片壓力測試，壓力為 1.38 MPa (c) 感壓值對照表 [11]

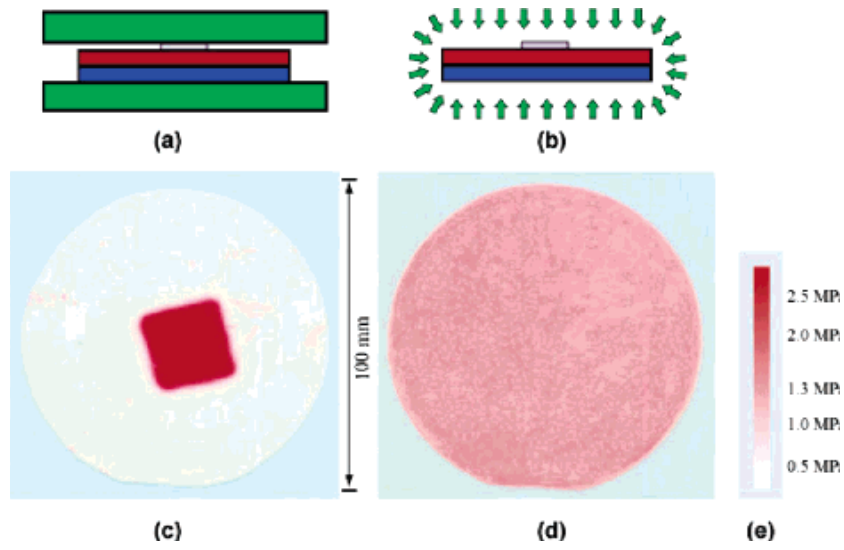


圖 2-6 氣墊壓印之 4 吋感壓軟片壓力測試結果（置入紙片）。(a) 硬壓板直壓 SPP 及 (b) 氣墊直壓 ACP 之 4 吋感壓軟片壓力測試，壓力

為 1.38 MPa [11]

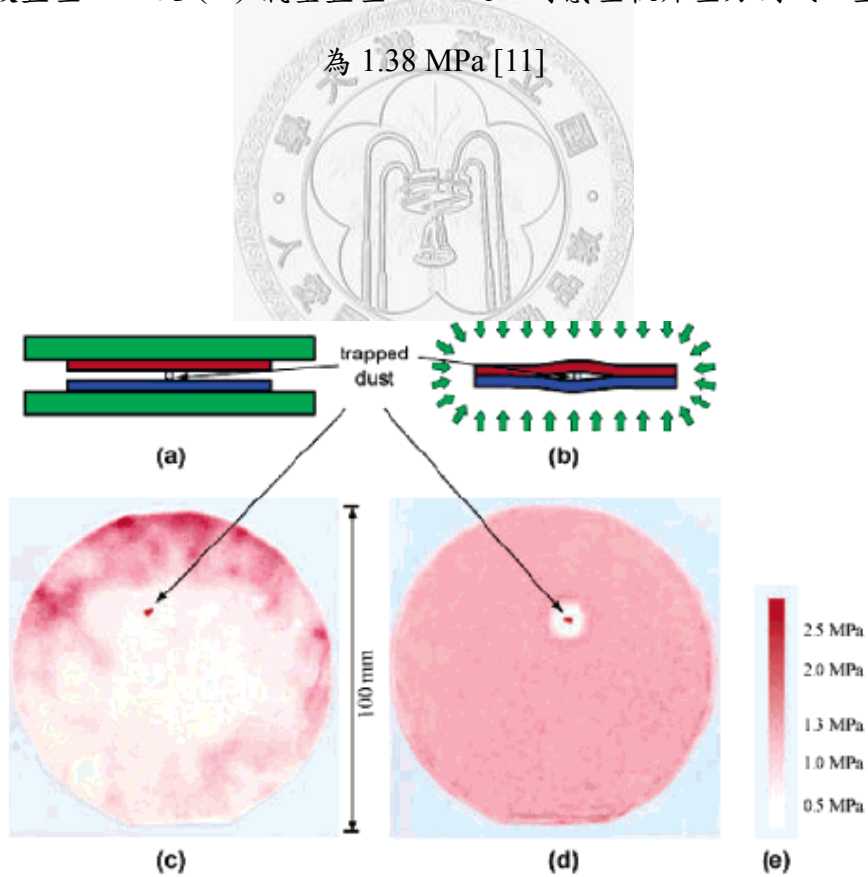


圖 2-7 氣墊壓印之 4 吋感壓軟片壓力測試結果（置入塵粒）。(a) 硬壓板直壓 SPP 及 (b) 氣墊直壓 ACP 之 4 吋感壓軟片壓力測試，壓力為

1.38 MPa [11]

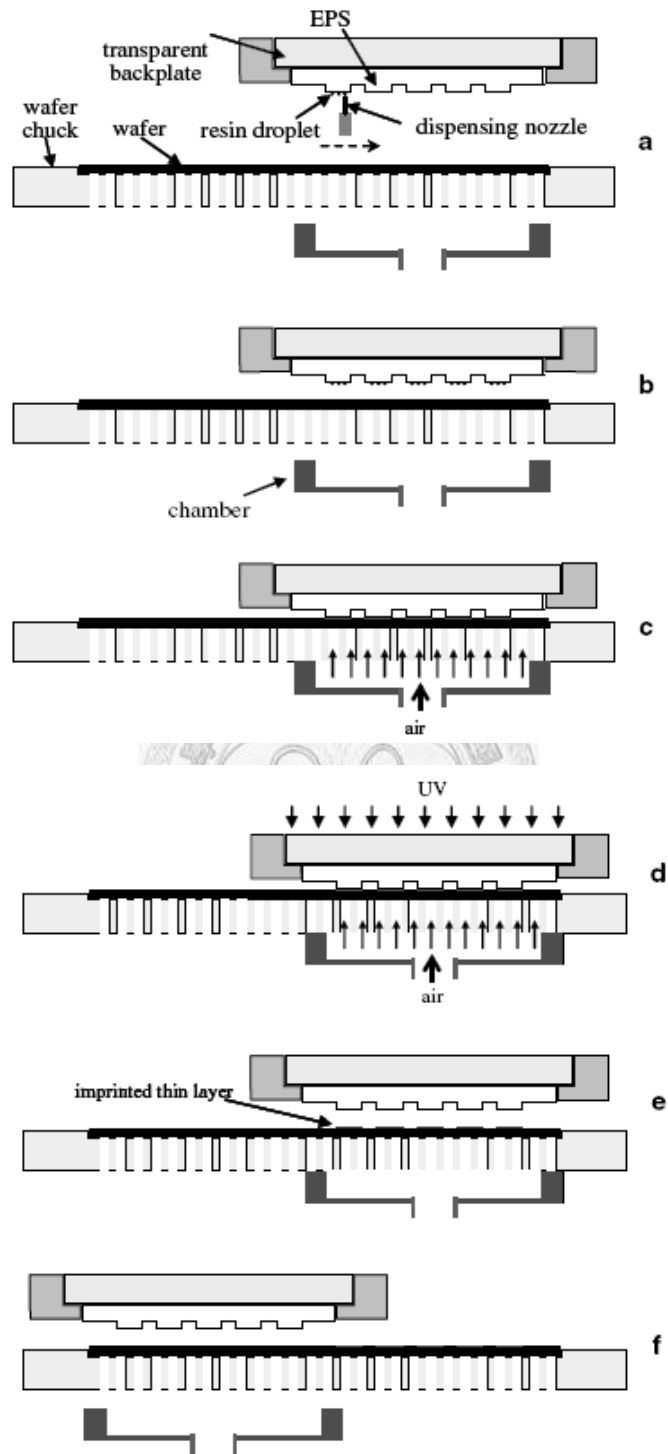


圖 2-8 空氣輔助步進式壓印技術示意圖[12]

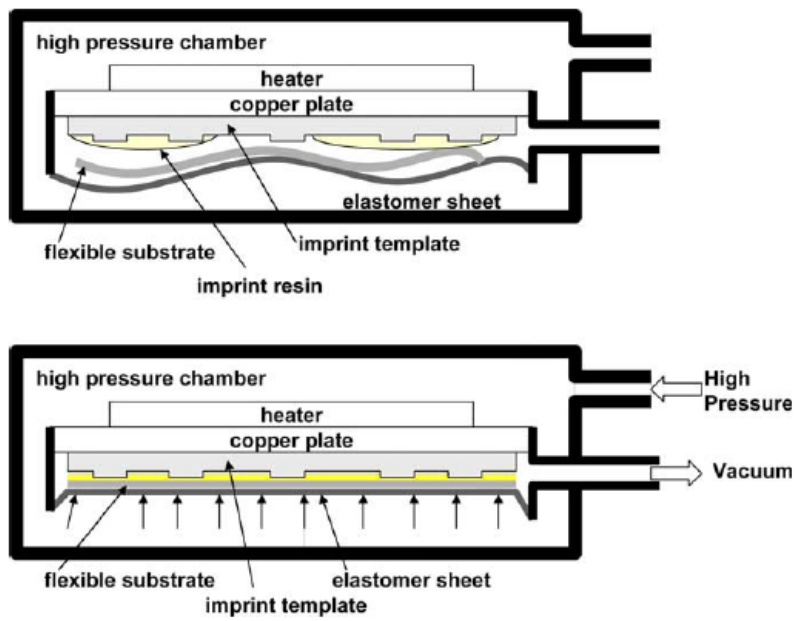


圖 2-9 壓力槽式壓印系統示意圖 [14]

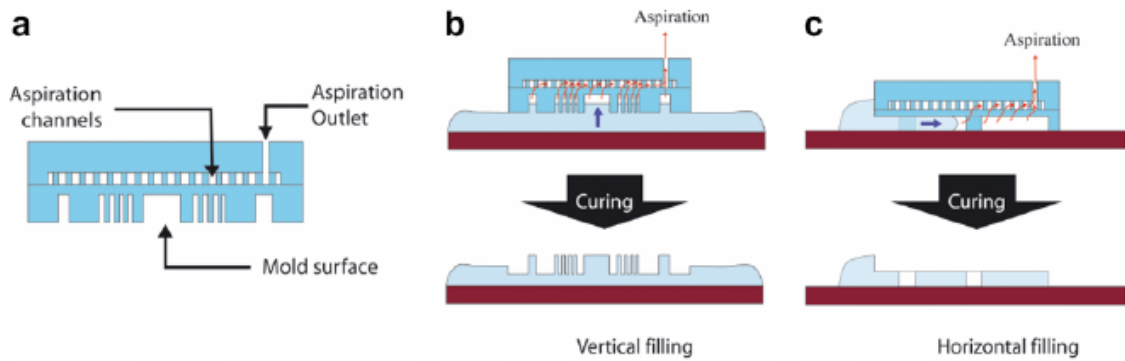


圖 2-10 氣體輔助微抽引(micro-aspiration)壓印技術示意圖 [15]

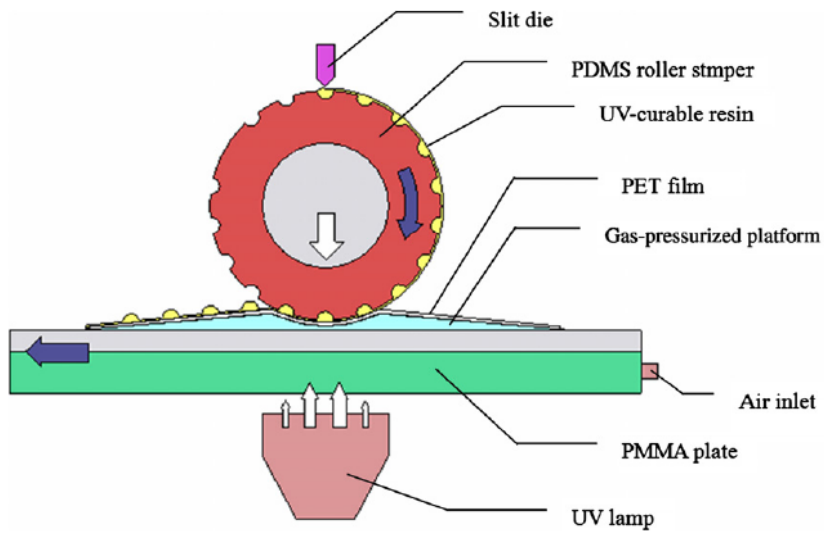


圖 2-11 氣體輔助壓印平台式滾輪轉印製程 [16]

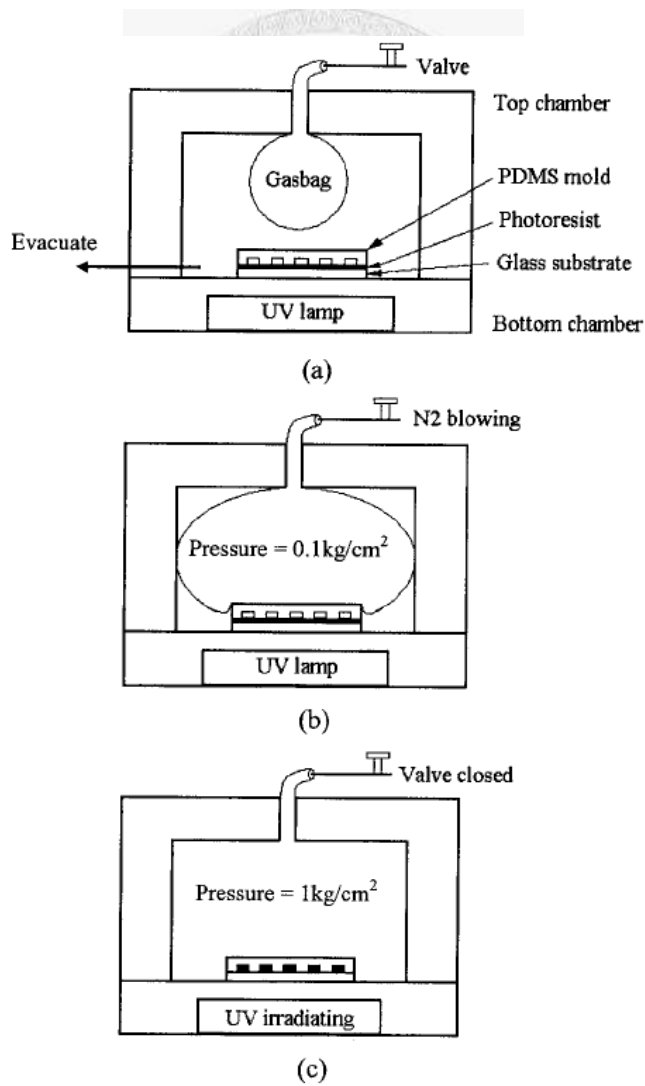


圖 2-12 氣囊式輔助壓印製程示意圖 [17]

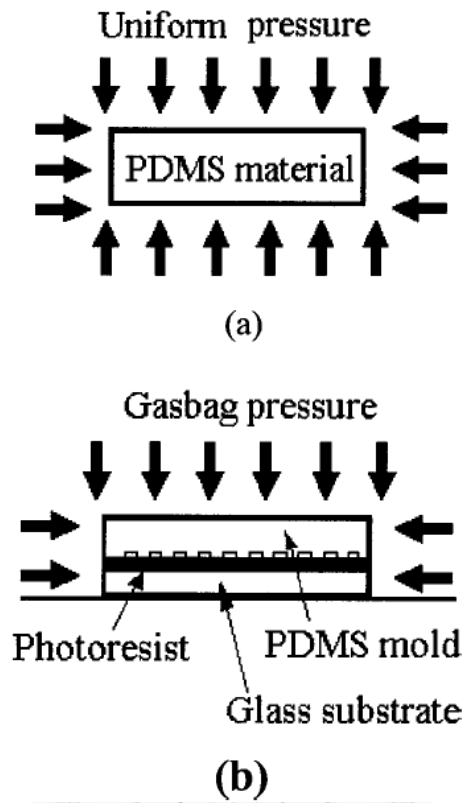


圖 2-13 液靜壓原理示意圖 [17]

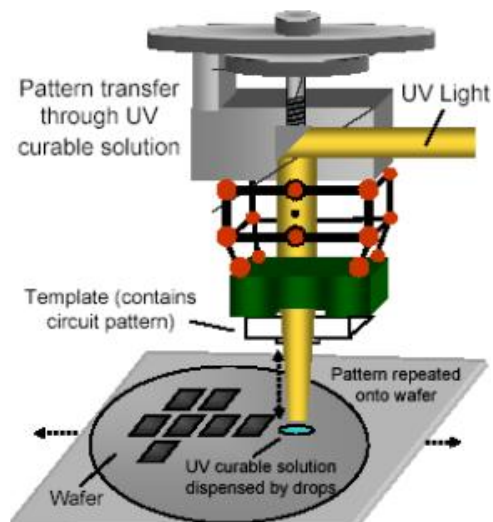


圖 2-14 步進快閃式紫外光壓印微影技術 [18]

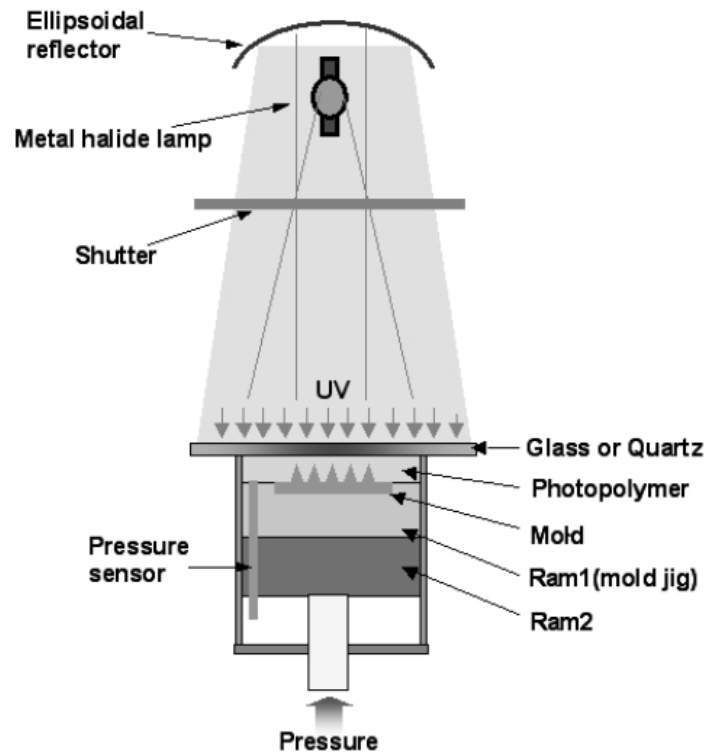


圖 2-15 紫外光固化成型示意圖 [20]

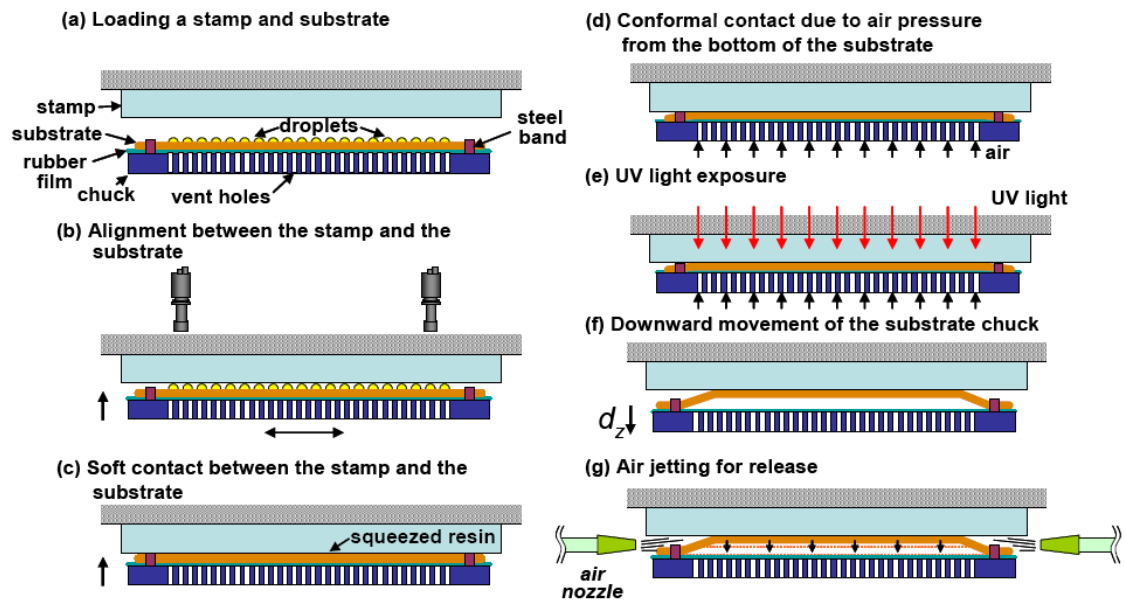


圖 2-16 氣體施壓紫外光固化成型製程示意圖 [21]

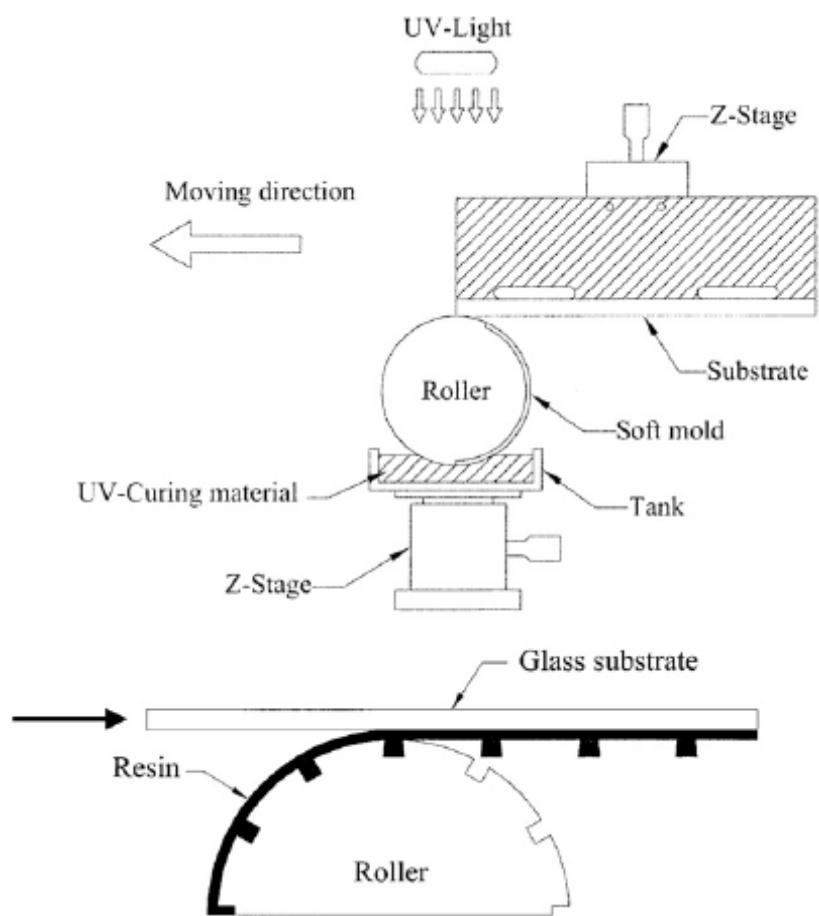


圖 2-17 滾輪式紫外光轉印製程與設備示意圖 [22]

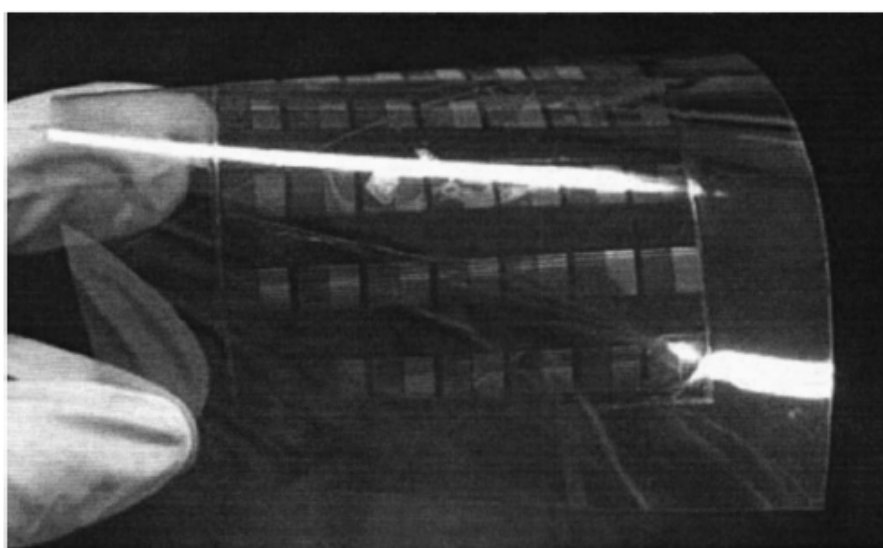


圖 2-18 以紫外光固化成型技術於 PET 基材上製作出線寬為 100 nm 之結構 [23]

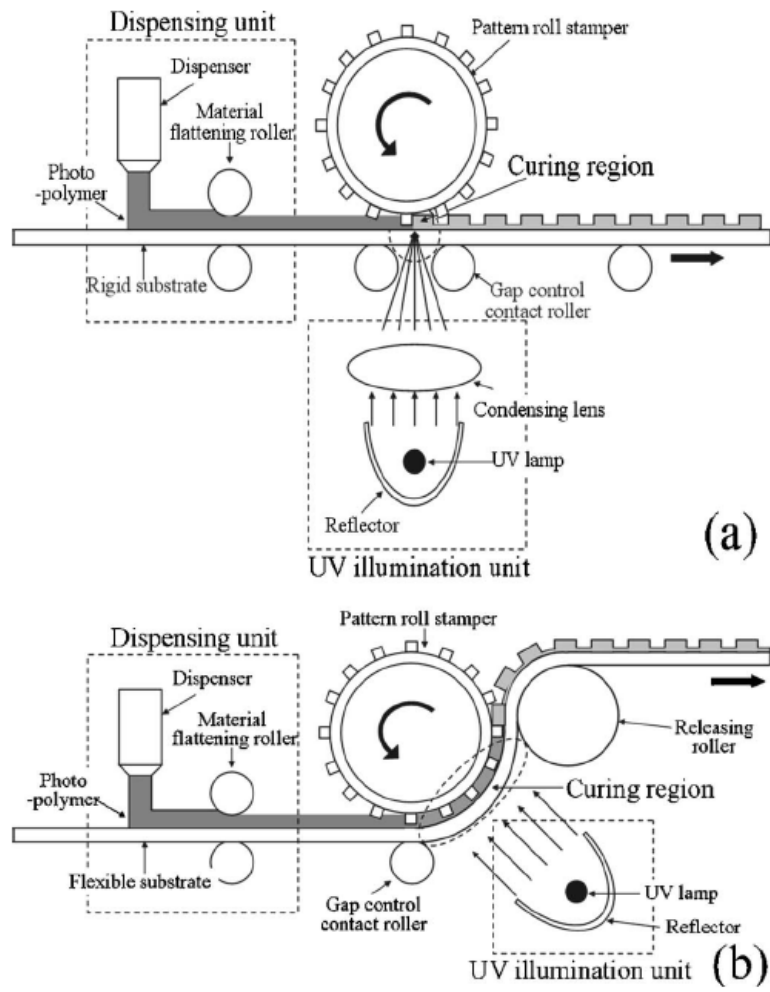


圖 2-19 滾輪連續式紫外光轉印製程示意圖 [24]

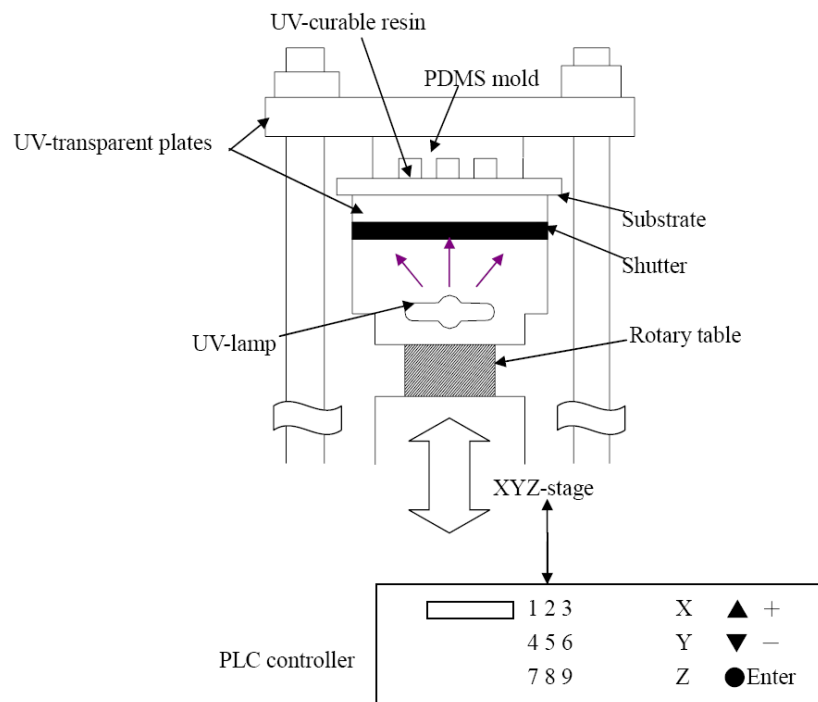
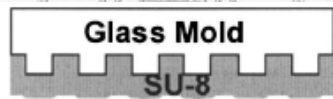
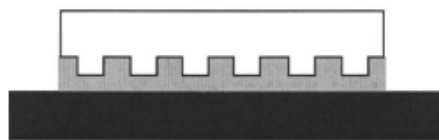


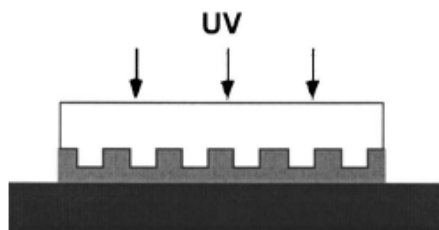
圖 2-20 紫外光微轉印成型機台示意圖 [31]



(a) Spin-coated glass mold



(b) Short imprint

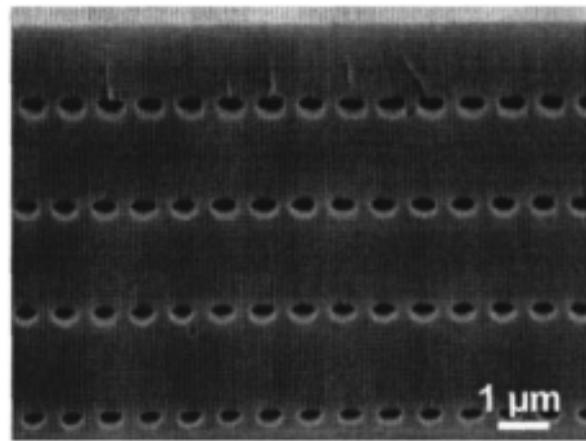


(c) UV exposure

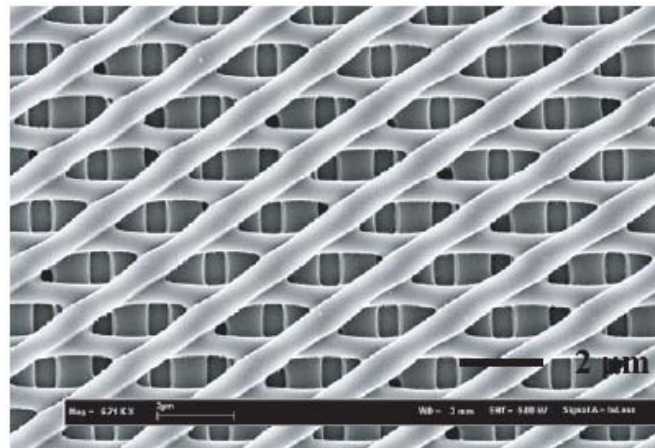


(d) Hardened polymer transferred to substrate

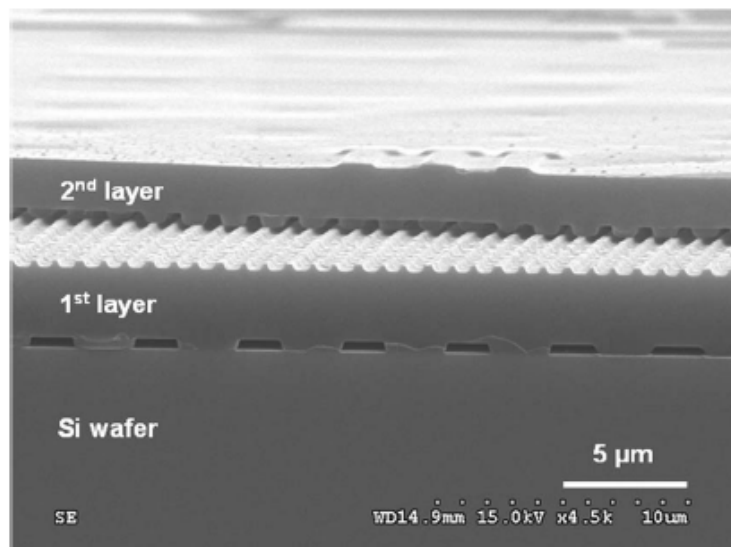
圖 2-21 反轉式壓印技術示意圖 [33]



(a) 通道寬度為 400nm 之 4 層奈米通道

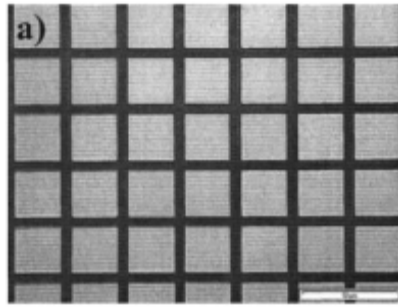


(b) 交錯狀之 3 層奈米結構



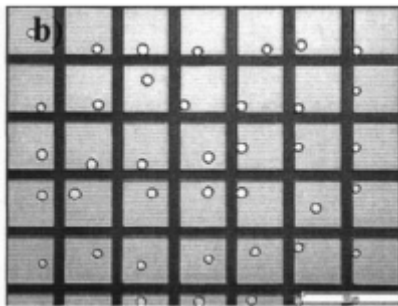
(c) 平行狀之 2 層奈米結構

圖 2-22 運用反轉式壓印技術所製作之多層微結構 [34-36]

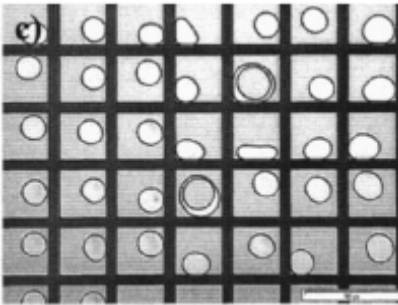


(a) 真空壓力 20mbar

(b)

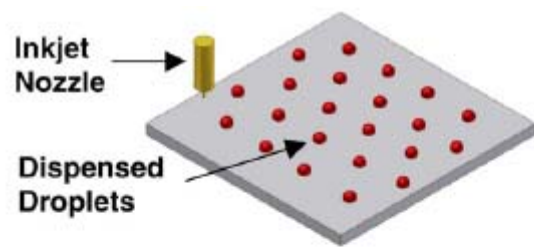


(b) 真空壓力 500mbar

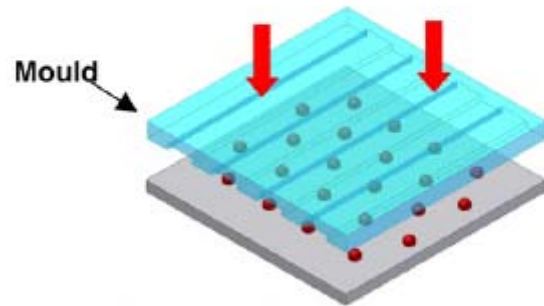


(c) 真空壓力 850mbar

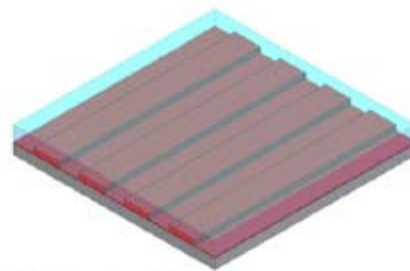
圖 2-23 真空法改善氣泡問題 [38]



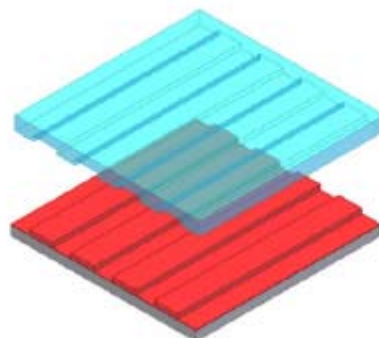
(a) Resist Dispensing



(b) Imprint



(c) Curing Process



(d) Mould Removal

圖 2-24 樹脂分散滴注法示意圖 [41]

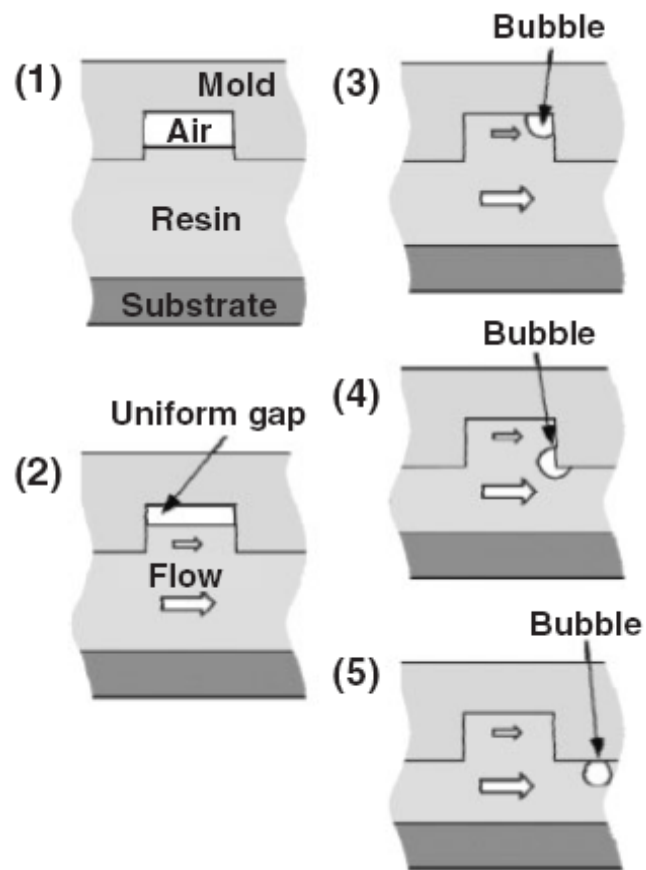


圖 2-25 樹脂擠壓法改善氣泡缺陷之原理示意圖 [42]



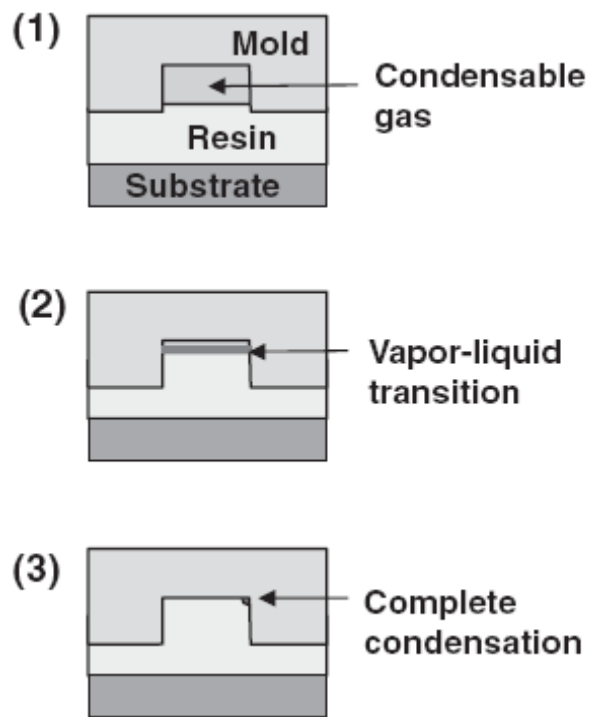


圖 2-26 氣體濃縮法改善氣泡缺陷之原理示意圖 [43]



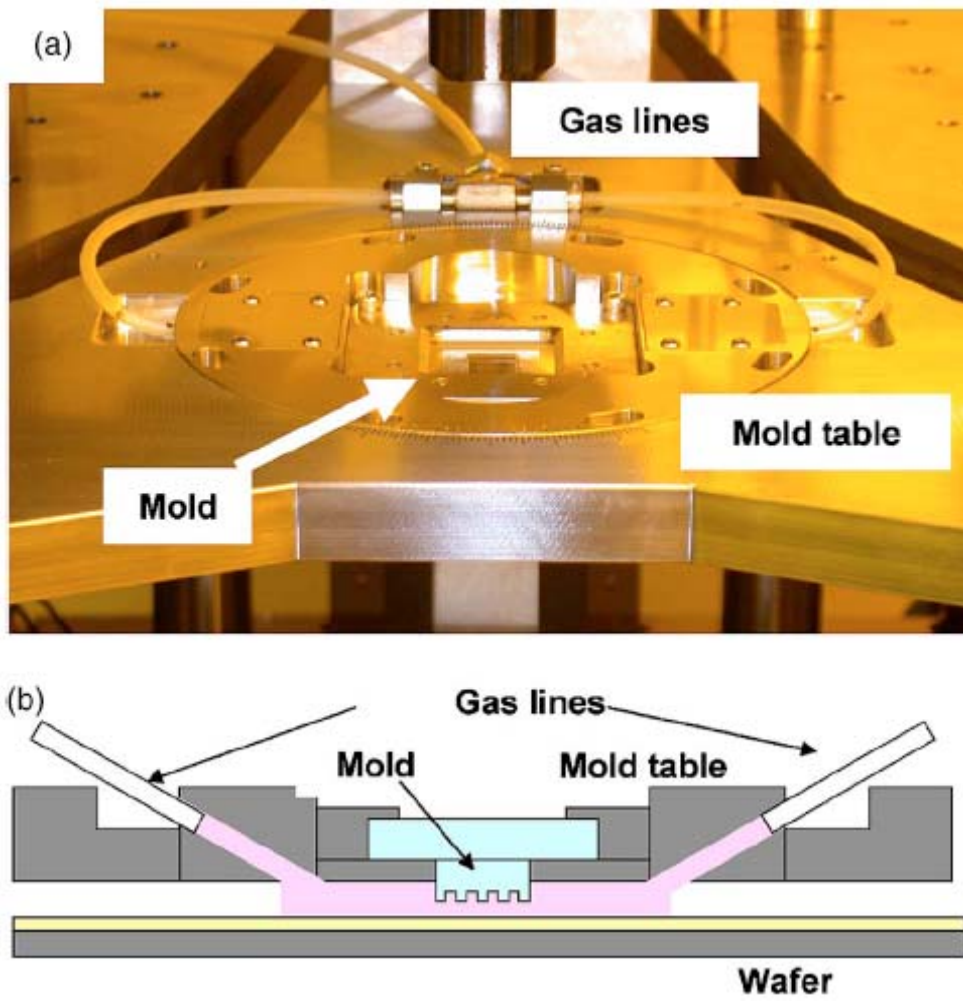


圖 2-27 氣體濃縮法之壓印設備示意圖 [44]

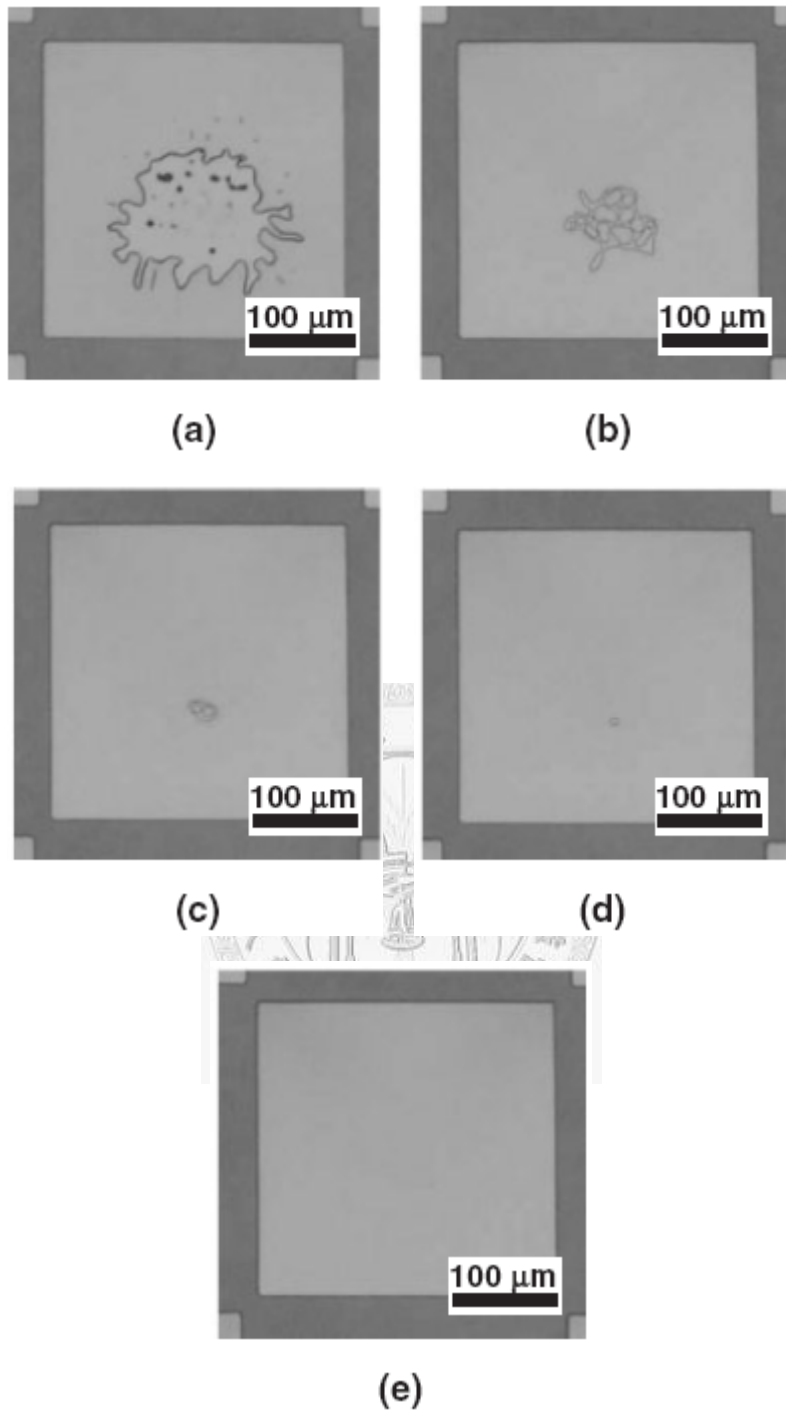


圖 2-28 五氟丙烷氣體改善氣泡缺陷之結果。(a) 0sccm ; (b) 50 sccm ; (c) 100 sccm ;
(d) 150 sccm ; (e) 200 sccm 。 [43]

第三章 反轉式氣輔 UV 壓印製程之初步實驗探討

本章主要內容為反轉式氣體輔助 UV 壓印成型的初步實驗進行與結果討論，分為六部分：第一部分，為反轉式氣體輔助 UV 壓印成型的相關設備說明；第二部分，說明微結構不銹鋼壓印模具以及相關壓印材料的製備；第三與第四部分則分別說明反轉式氣體輔助 UV 壓印成型所考慮的成型參數以及整個壓印製程步驟；第五與第六部分，分別進行初步實驗結果的說明與探討並做一歸納。

3.1 壓印模腔及相關設備

張[2003]開發氣體輔助熱壓成型製程，利用氣體等壓、等向之物理特性，達到均勻壓印壓力之分佈，改善傳統熱壓利用油壓缸及壓板施壓所造成壓力不均勻之缺點。根據此原理，初步設計製作一可透光之壓印模腔來進行紫外光固化氣體輔助壓印的初步實驗。實驗中各設備主要功能說明如下：

(1) 壓印模腔(chamber)

如圖 3-1(a)、(b)所示，壓印模腔主要分為上下模腔，上模腔包含高壓氣體之進出閥口，上模腔可透光範圍 $\phi 100 \text{ mm}$ ；下模腔有真空系統之進出閥口，壓印基板載具之直徑為 110 mm 。為了方便實驗觀察，壓印模腔採用螺紋鎖固方式而不用油壓式之壓板壓合，配合氣密 O 型環，此組模腔最高承受壓力可達 10 kgf/cm^2 。

(2) 高壓氣體壓力源

為避免壓印材料在實驗過程中變質或氧化，需考慮以惰性氣體為施壓之壓力源，故本實驗所使用之加壓氣體為氮氣，其他惰性氣體亦可適用。本實驗氮氣來源，係由一般工業用高壓氮氣瓶所提供，如圖 3-2 所示，最大輸出壓力約為 130 kgf/cm^2 ，配合氣壓微調針閥(Needle valve)，調整模腔內氣體壓力。

(3) 真空幫浦

如圖 3-3 所示為本實驗所使用之真空幫浦(GVD 050-A, ULVAC, Japan)，排氣速度每分鐘約 60 L，可到達最高真空壓力為 5×10^{-4} torr (約 6.5×10^{-7} atm)。真空幫浦則用來保持下模腔內的真空度，並將腔體內殘留氣體抽離以及促使壓印時多餘的光阻劑能往外排出，防止氣體包封及氣泡等現象發生，也可以使壓印殘留層能夠薄且均勻。

(4) 紫外光固化光源

本實驗使用的紫外光固化光源是利用平面式發光二極體的 UV-LED 光源，如圖 3-4 所示，其波長範圍約為 375 nm ~ 395 nm。另外使用光強度計(Power meter, 1815-C, Newport)，如圖 3-5 所示，依壓印模腔之相對位置，可在壓印平面量測得其光強度約為 10 mW/cm^2 。

(5) 氣密膜(seal film)

氣密膜之功能，主要目的為產生壓力差，使氣體灌進膜腔後，能與待壓物區別，而讓氣體之壓力可施壓於堆疊組合上。若沒有此層密封膜，則模具、塑膠、氣體皆在同一模腔空間內，無法達到氣體加壓效果。密封膜之材質可以擇自塑膠薄膜或金屬箔(如鋁箔)...等阻氣性良好材料。本論文使用 PET(Polyethylene Terephthalate Film)當作一密封膜，為日本東利公司(Toray)生產之 S-Type 型，薄膜厚度為 $188 \mu\text{m}$ 。屬半結晶型(Semicrystalline)塑膠，玻璃轉移溫度約為 $76.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ，熔點溫度約為 $240 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

3.2 壓印模具及相關材料製備

本實驗為驗證反轉式氣體輔助 UV 壓印成型之可行性，首先進行小尺寸之壓印實驗與探討，初步實驗使用尺寸為 $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 之不銹鋼薄板壓印模具，其上具有微孔陣列之微結構，係利用濕蝕刻的方式製作出來，如圖 3-6 所示。為了解壓印模具上之微結構外型輪廓與尺寸，本實驗利用光學顯微鏡(Optical Microscope, OM)、掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)以及白光

干涉儀(White Light Interferometry, WLI), 準確且真實地呈現出壓印模具其微結構的 2D 與 3D 影像, 本研究所使用之光學顯微鏡、掃描式電子顯微鏡、白光干涉儀分別如圖 3-7、圖 3-8、3-9 所示。如圖 3-10 所示為模具上其微結構之 OM、SEM 及 WLI 影像, 微結構外型為微孔洞陣列(約 120×120 arrays), 蝕刻出之平均孔徑約為 $200 \mu\text{m}$, 平均深度約為 $18\sim 20 \mu\text{m}$ 。

製程中所使用的基材為 PMMA (polymethylmethacrylate) 塑膠板材, 屬於不定形塑膠, 玻璃轉移溫度約為 110°C 。基板大小裁切成與壓印模具大小略同, 厚度為 1 mm 。

本實驗所使用之 UV 樹脂是由工研院機械所提供, UV 固化樹脂其黏度約為 1000 cps (at 25°C), 在可見光波段, 折射率(refractive index)平均約為 1.52 。UV 固化樹脂塗佈方面, 因本實驗採用非圓形壓印模具與基材, 故採用手動刮刀塗佈方式將 UV 固化樹脂塗佈於不銹鋼壓印模具上, 此法塗佈出之光阻厚度分布不均, 但預期以氣體輔助施壓機制使壓印後之殘留層厚度均一。

3.3 壓印製程參數

本研究導入反轉式壓印技術, 將 UV 固化樹脂塗佈於壓印模具上, 使 UV 固化樹脂能先行充填滿微結構模穴後, 再以基板對模具作壓印的動作, 預期可有效提高微結構高度之轉寫率, 而不受成型參數之影響。

因此, 為驗證本研究所提之反轉式壓印技術之優點, 本實驗採用單一參數法實驗法, 探討氣體壓印壓力 $-P$ (kgf/cm^2)、持壓時間 $-t$ (sec.) 以及 UV 曝光能量 $-E$ (mJ/cm^2) 對於微結構轉寫高度之影響。表 3-1 所示為本實驗之壓印製程參數條件, 劃有底線的製程參數值為固定的中心參數。

3.4 反轉式氣體輔助 UV 壓印製程

本實驗欲結合紫外光固化壓印成型原理、氣體輔助壓印原理及反轉式壓印原

理進行大面積壓印實驗，為驗證三種製程結合之可行性，初步進行小面積壓印區域之壓印實驗，整個壓印製程如圖 3-11 所示，壓印步驟依序說明如下：

- (1) 將塗佈有 UV 固化樹脂的壓印模具與壓印基板，依相對位置堆疊組合後，放置在下壓印模腔之中央位置，如圖 3-11(a)。
- (2) 接著使用 PET 密閉膜覆蓋在此模具與基材堆疊的組合上，並鎖上模腔，使其成為一密閉空間而達到壓力差之效果，如圖 3-11(b)。
- (3) 上模腔通入高壓氮氣，經由壓力控制閥將氣體壓力調至適當之成型壓力條件，此時塗佈於壓印模具上之 UV 固化樹脂因受壓印力而開始與壓印基板緊密接觸，多餘的 UV 固化樹脂則會排出。待保壓一段時間後，開始進行紫外光照射固化，此時氣體需持續保壓，依 UV 固化樹脂的固化性質照射一定的固化時間，如圖 3-11(c)。
- (4) 當完成紫外光照射固化微結構壓印複製的過程後，經由壓力控制閥將上模腔高壓氣體洩出，再打開上下模腔，即可取出壓印完成之成品，如圖 3-11(d)。

3.5 小面積壓印結果與討論

如圖 3-12 所示為小尺寸 PMMA 基板在壓印壓力 2 kgf/cm^2 、持壓時間 60 秒、UV 光照時間 20 秒以及無抽真空的情形下之壓印結果，以肉眼初步觀察，結果顯示微結構複製性不佳、微結構成型不完全、氣泡缺陷等問題非常嚴重。另外，圖 3-13 與圖 3-14 所示分別為小尺寸壓印成品上有氣泡缺陷區域之 OM 圖與 SEM 圖，結果顯示有氣泡的區域其微結構成型不完全，甚至微結構完全無法成型，進而造成成型上的缺陷，將會影響其之後的應用。此結果是因為壓印製程中沒有進行抽真空的動作以將下模腔之殘留氣體抽出，因此在上模腔導入高壓氣體施壓後，被模具、UV 固化樹脂以及基板所包住之氣泡無法有效排出，因而影響微結構成型性。因此，為改善氣泡成型缺陷的問題，本實驗進一步在壓印過程中將下模腔進行抽真空的動作。圖 3-15 所示為壓印製程中導入抽真空的壓印結果，結果顯示微

結構可成功地且完整地複製於整片 PMMA 基板上，沒有氣泡成型缺陷產生。圖 3-16 所示為微結構複製結果之 OM 圖、SEM 圖與 WLI 圖，結果顯示微結構之複製性極佳，平均直徑約為 200 μm ，平均高度約為 19 μm 。由以上結果可以證明在壓印過程中抽真空對於氣泡缺陷之消除有顯著的幫助，也有助於提高微結構的複製性。因此，在後續大面積壓印實驗中，本研究將同樣使用抽真空的方式來改善氣泡缺陷之問題。

本研究導入反轉式壓印技術，並改變傳統之壓印方向（模具對基板壓印），以基板對塗佈有 UV 固化樹脂之壓印模具施壓，預期可有效提高微結構高度之轉寫率，而不受成型參數之影響。因此，本實驗探討氣體壓印壓力、壓印時間以及 UV 曝光能量此三個壓印製程參數對於微結構轉寫高度之影響。圖 3-17 顯示在氣體壓印壓力(P)為 2 kgf/cm^2 ，紫外光照光能量(E)為 200 mJ/cm^2 ，不同持壓時間(t)為 15s、30s、45s、60s、75s 對於微結構平均轉寫高度之影響。圖中所示每個持壓時間所對應的微結構轉寫高度值，是於 70 mm \times 70 mm 面積的壓印結果隨機量取 20 個微結構之高度，並計算其平均值所得之數值。由圖中可明顯看出微結構平均轉寫高度不會隨著持壓時間增加而增加，且高低差非常小，約在 1 μm 左右，亦有可能是量測時所造成之誤差，因此，可以確定持壓時間此製程參數在本研究中並不會影響結構轉寫之高度。

圖 3-18 顯示在氣體壓印壓力(P)為 2 kgf/cm^2 ，持壓時間(t)為 60s，不同氣體壓印壓力(P)為 1 kgf/cm^2 、2 kgf/cm^2 、3 kgf/cm^2 、4 kgf/cm^2 、5 kgf/cm^2 對於微結構平均轉寫高度之影響。圖中所示不同壓力值對應的微結構轉寫高度，同樣是隨機量取 20 個微結構之高度，並計算其平均值所得之數值。結果顯示，提高氣體壓印壓力，微結構平均轉寫高度並不會因而增加，整體高低差約在 2 μm 左右，亦有可能利用白光干涉儀量測微結構所造成之量測誤差。因此，同樣可以證明壓印壓力之大小，於本研究中並不會影響微結構轉寫之高度。

圖 3-19 顯示在紫外光照光能量(E)為 200 mJ/cm^2 ，持壓時間(t)為 60s，不同紫

外光照光能量(E)為 50 mJ/cm^2 、 100 mJ/cm^2 、 150 mJ/cm^2 、 200 mJ/cm^2 、 250 mJ/cm^2 對於微結構平均轉寫高度之影響。壓印結果顯示，隨著增加紫外光照光能量（增加照光時間），微結構平均轉寫高度有逐漸增加的趨勢，但並不是很明顯的轉寫高度落差，因此可以推論，照光能量低（照光時間短）可能無法完全固化壓印出之微結構，在壓印完成並脫模時，會有微結構脫落或部分被剝離的現象產生，而使量測出來的微結構高度較低。然而，較高的照光能量（照光時間長）雖有助於完全固化微結構使其順利脫模，但卻不會因而增加微結構轉寫高度。

3.6 本章結論

本章利用反轉式氣體輔助 UV 壓印製程進行初步小面積壓印實驗以驗證其應用於大面積壓印之可行性，實際壓印面積約為 $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$ ，並探討製程中抽真空與不抽真空對壓印結果之影響。結果顯示，本實驗成功結合紫外光固化壓印成型技術、氣體輔助壓印成型技術以及反轉式壓印成型技術，可於 $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$ 之壓克力基板上壓印出微結構。另外，實驗結果也顯示壓印製程中若無導入抽真空機制將模腔中殘留氣體抽離，壓印成品將會有氣泡缺陷產生，對微結構成型性有非常大之影響；相反來說，若製程中導入抽真空機制、微結構可完全且成功地複製於整個壓印基板上。因此，接下來大面積壓印實驗部份，將導入抽真空機制來試圖改善大面積壓印亦有可能產生的氣泡缺陷問題。

另外，本章初步實驗也探討氣體壓印壓力、壓印時間以及 UV 曝光能量此三個壓印製程參數對於微結構轉寫高度之影響。結果顯示，反轉式壓印技術的導入配合改變壓印方向，將使微結構之高度轉寫性不受壓印成型參數之影響，可有效提高微結構之轉寫性。因此，對於更大壓印面積，反轉式壓印技術除了可避免傳統 UV 固化樹脂塗佈於基板上的不易，對於提高整個大面積微結構之轉寫性與複製均勻性，將有非常大的幫助。

表 3-1 反轉式氣體輔助 UV 壓印製程參數表
 (畫有底線之參數為固定參數)

Processing parameters		
UV-curing dose (mJ/cm²)	Pressing pressure (kgf/cm²)	Pressing duration (sec.)
50	1	15
100	<u>2</u>	30
150	3	45
<u>200</u>	4	<u>60</u>
250	5	75



(a) 上模腔



(b) 下模腔

圖 3-1 小尺寸反轉式氣體輔助 UV 壓印模腔



圖 3-2 氮氣(N₂)壓力瓶與調節針閥

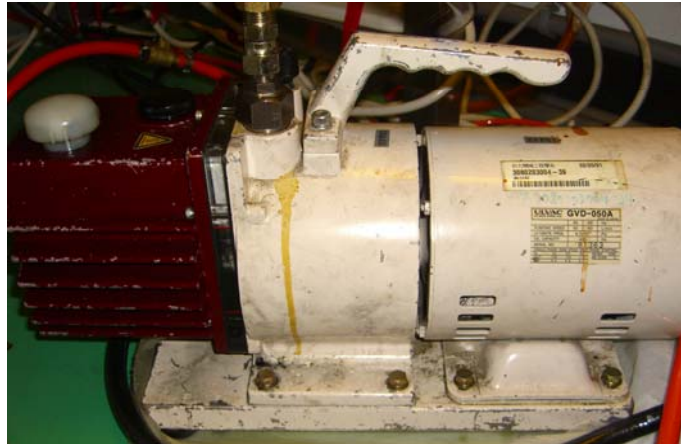


圖 3-3 真空幫浦

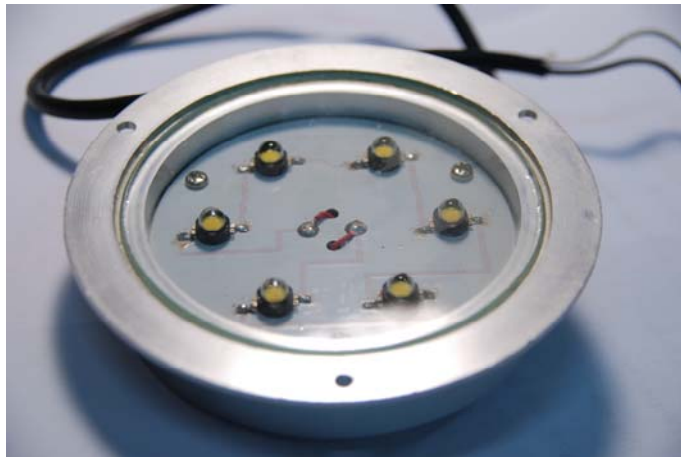


圖 3-4 陣列式發光二極體紫外光燈



圖 3-5 光強度計 Power meter (1815-C, Newport)

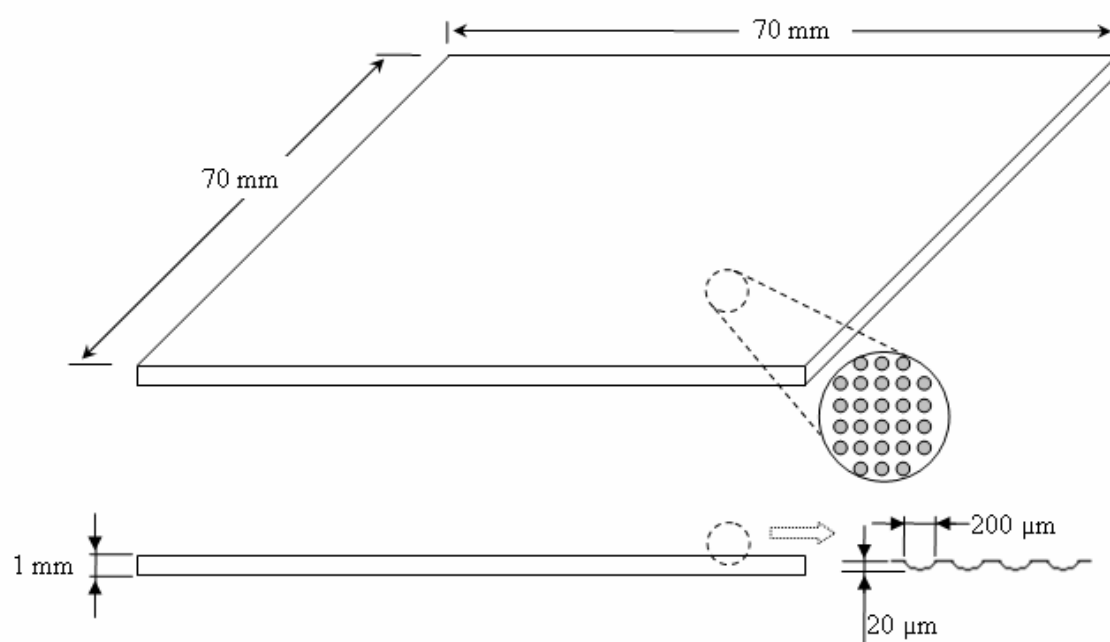


圖 3-6 小尺寸壓印實驗用之不鏽鋼薄板壓印模具尺寸示意圖

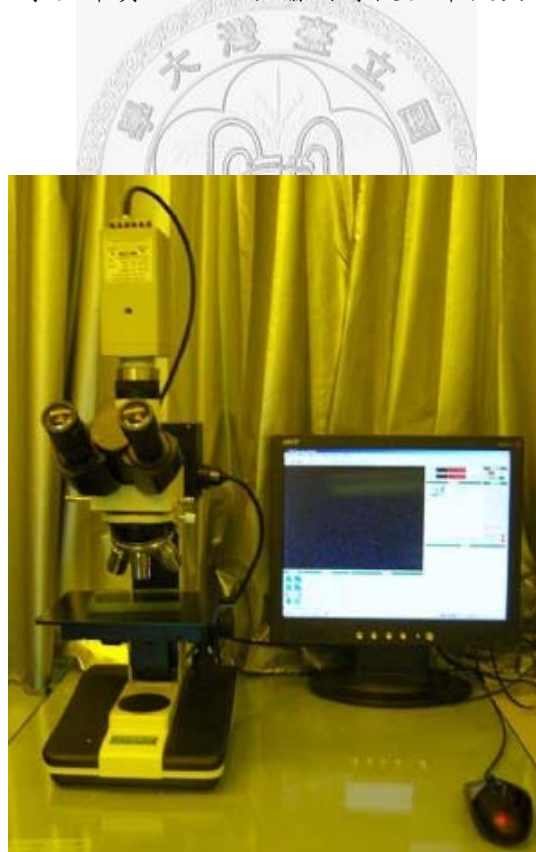


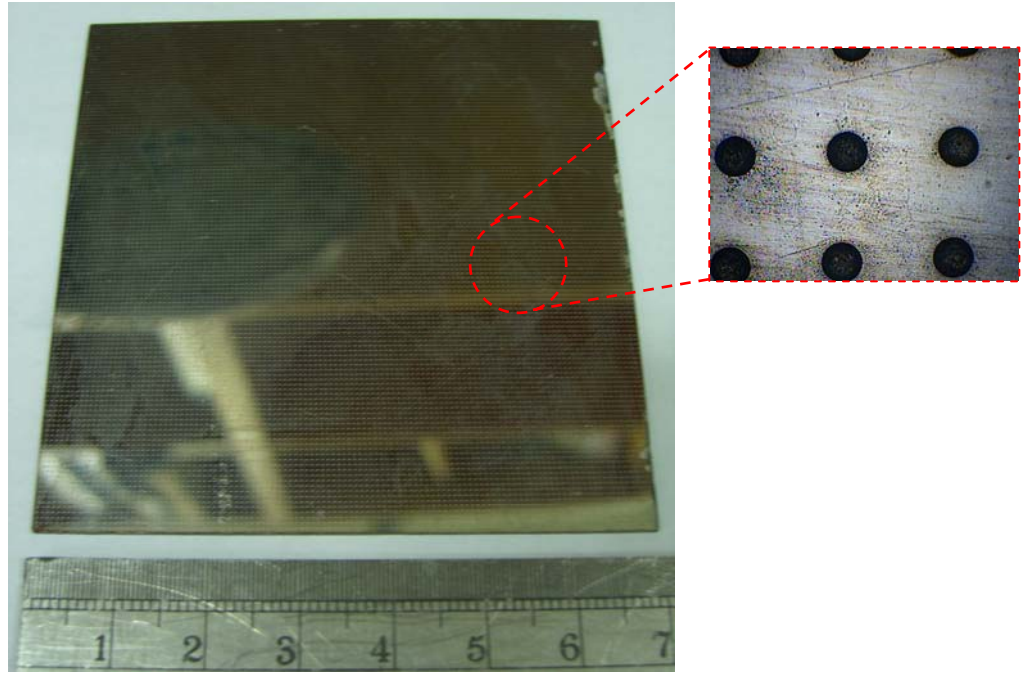
圖 3-7 光學顯微鏡 (ZOOMKOP)



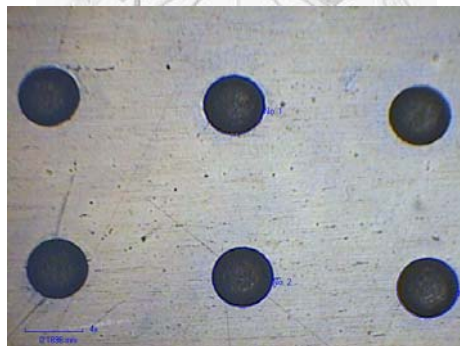
圖 3-8 掃瞄式電子顯微鏡 (JSM-6390LV, JEOL Ltd., USA)



圖 3-9 白光干涉儀
(圖片來源：國立台灣大學機械所 精密量測實驗室)



(a) 70 mm × 70 mm 不銹鋼壓印模具實體照片

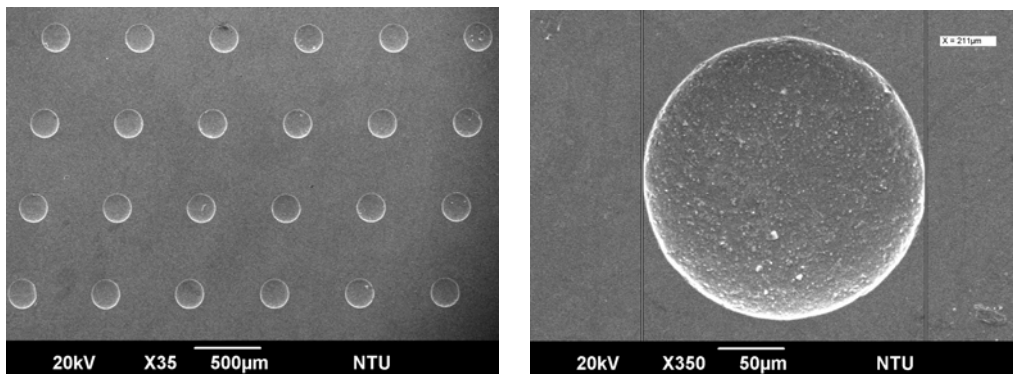


[No. 1] 三點圓 $R = 0.0991 \text{ mm}$, $D = 0.1981 \text{ mm}$, $L = 0.6224 \text{ mm}$, $\text{Area} = 0.0308 \text{ mm}^2$

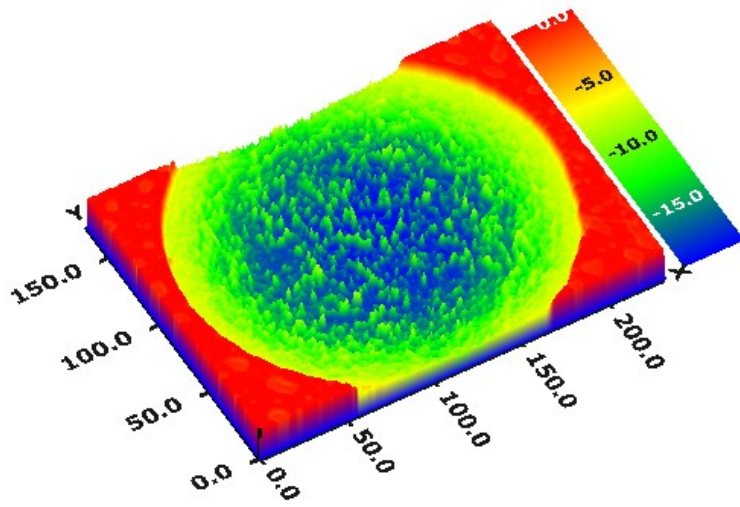
[No. 2] 三點圓 $R = 0.1003 \text{ mm}$, $D = 0.2007 \text{ mm}$, $L = 0.6305 \text{ mm}$, $\text{Area} = 0.0316 \text{ mm}^2$

[No. 3] 三點圓 $R = 0.1010 \text{ mm}$, $D = 0.2020 \text{ mm}$, $L = 0.6347 \text{ mm}$, $\text{Area} = 0.0321 \text{ mm}^2$

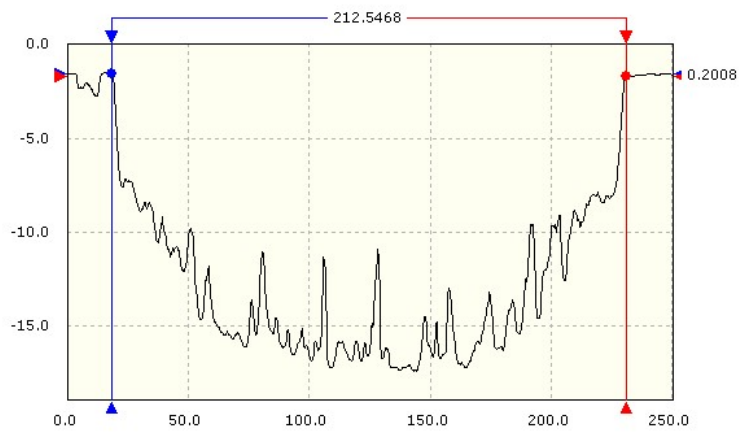
(b) OM 圖 (直徑約 200 μm ，光學顯微鏡放大倍率 40 倍)



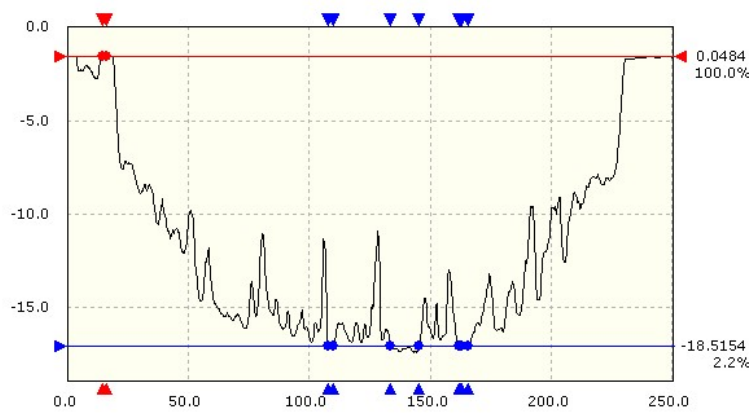
(c) SEM 圖



(d) 3D 形貌

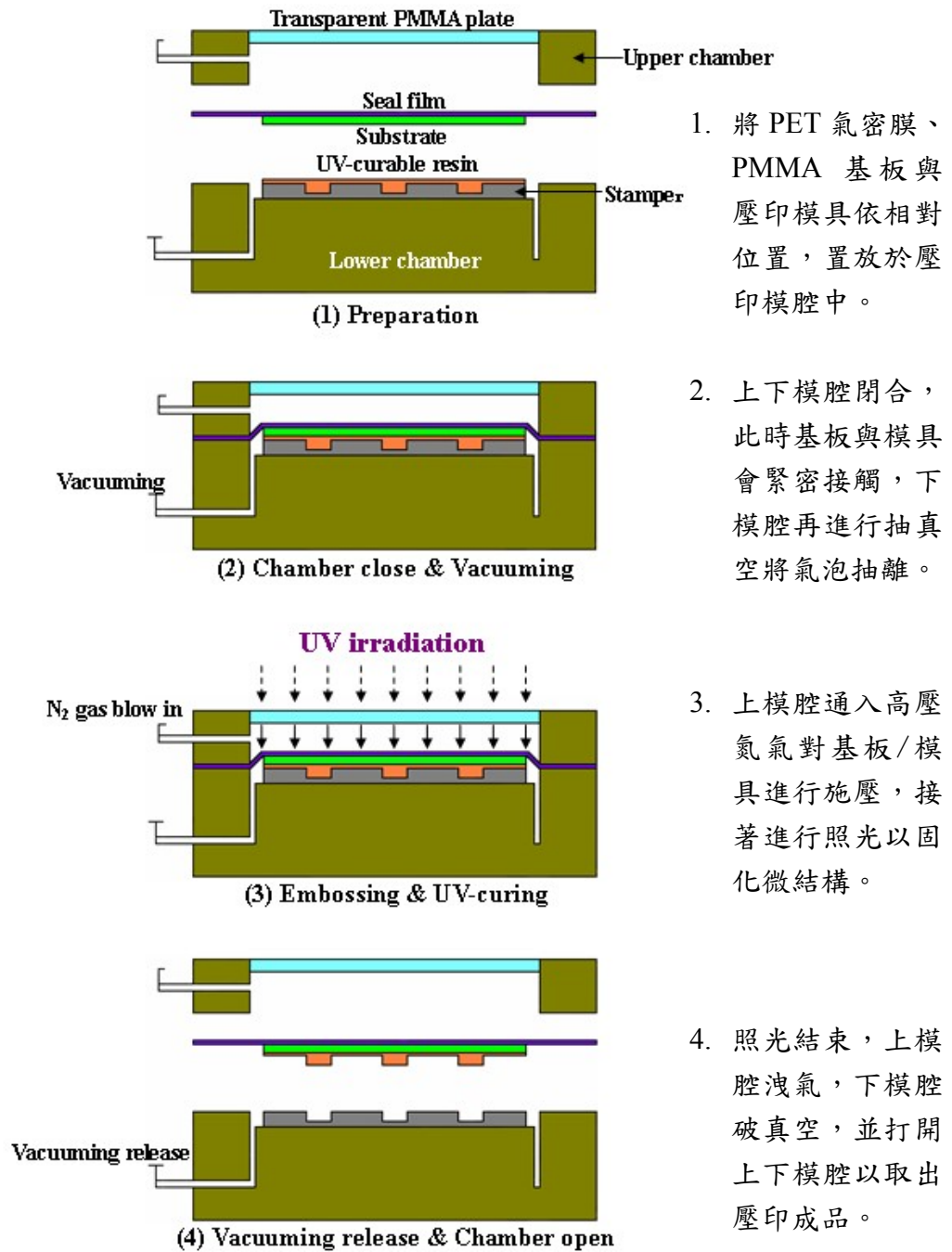


(e) 橫向尺寸 (蝕刻出平均孔徑約 $200\ \mu\text{m}$)



(f) 縱向尺寸 (蝕刻出平均深度約 $18\sim 20\ \mu\text{m}$)

圖 3-10 小尺寸(70 mm × 70 mm)不銹鋼薄板壓印模具



1. 將 PET 氣密膜、PMMA 基板與壓印模具依相對位置，置放於壓印模腔中。

2. 上下模腔閉合，此時基板與模具會緊密接觸，下模腔再進行抽真空將氣泡抽離。

3. 上模腔通入高壓氮氣對基板/模具進行施壓，接著進行照光以固化微結構。

4. 照光結束，上模腔洩氣，下模腔破真空，並打開上下模腔以取出壓印成品。

圖 3-11 反轉式氣體輔助 UV 壓印製程示意圖

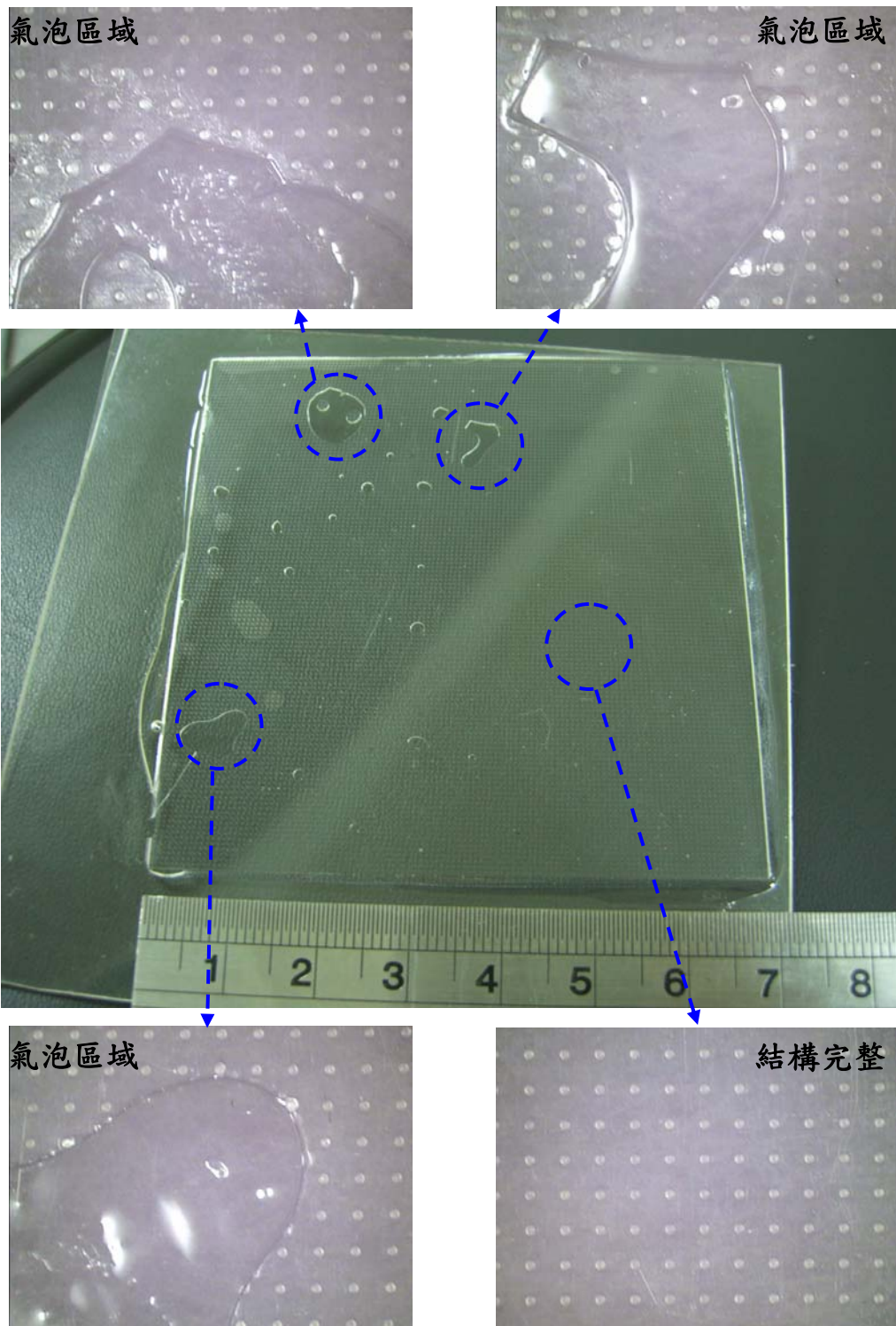
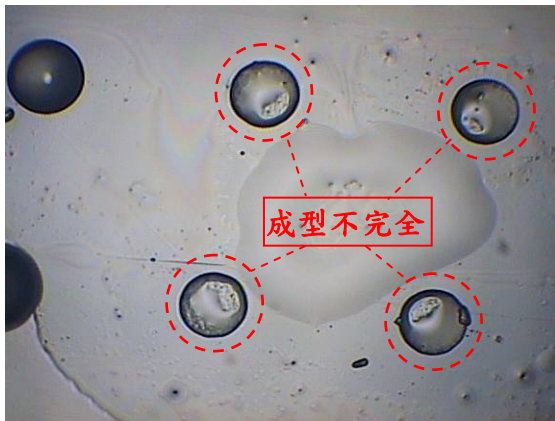
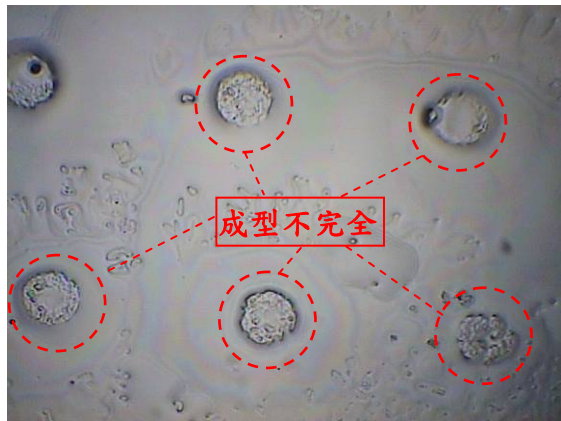


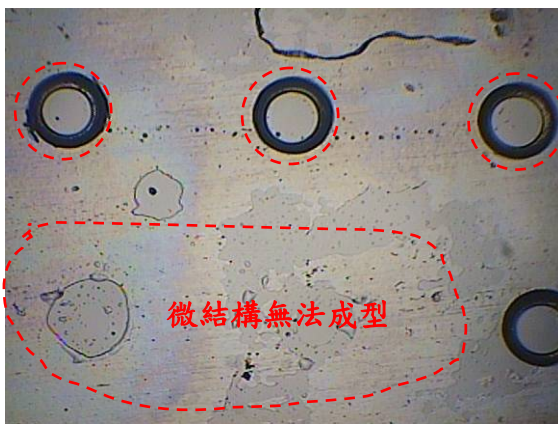
圖 3-12 小尺寸初步壓印實驗結果（無抽真空）



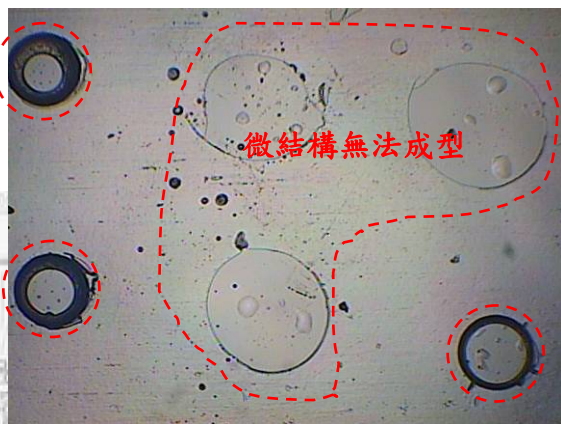
(a) 微結構成型不完全



(b) 微結構無法成型



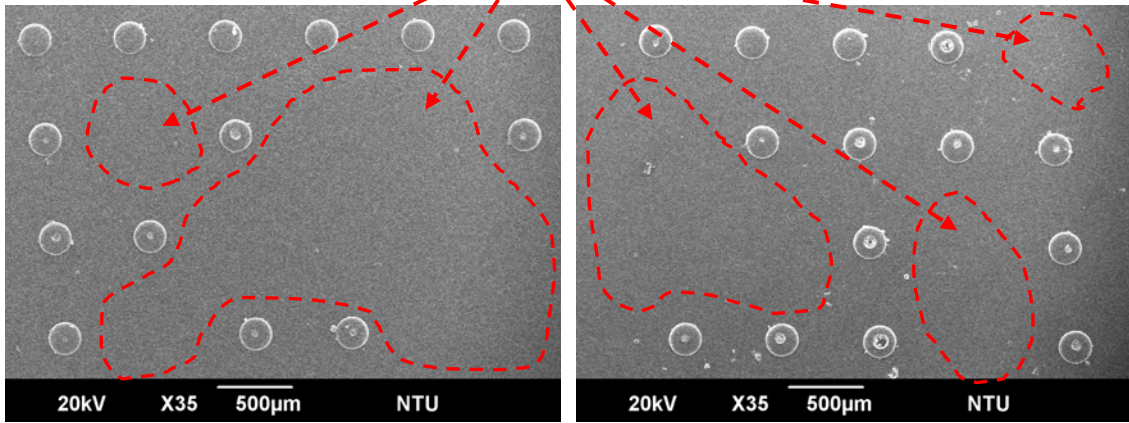
(c) 微結構成型不完全與無法成型



(d) 微結構成型不完全與無法成型

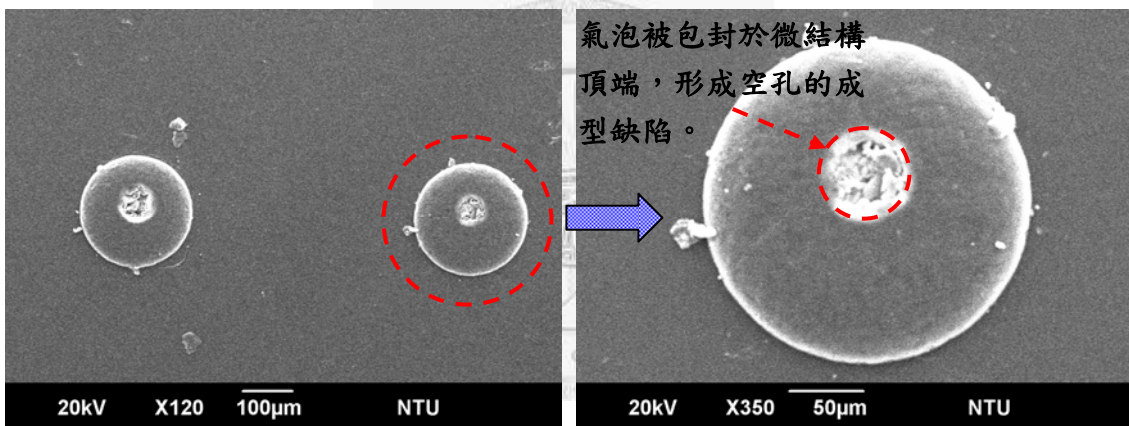
圖 3-13 氣泡成型缺陷區域之 OM 圖 (40 倍)
 (紅色虛線包圍區域即為氣泡成型缺陷處)

氣體無法排除而被包封，將造成微結構無法成型。



(a) X 35

(b) X 35



(c) X 120

(d) X 350

圖 3-14 氣泡成型缺陷區域之 SEM 圖
(紅色虛線包圍區域即為氣泡成型缺陷處)

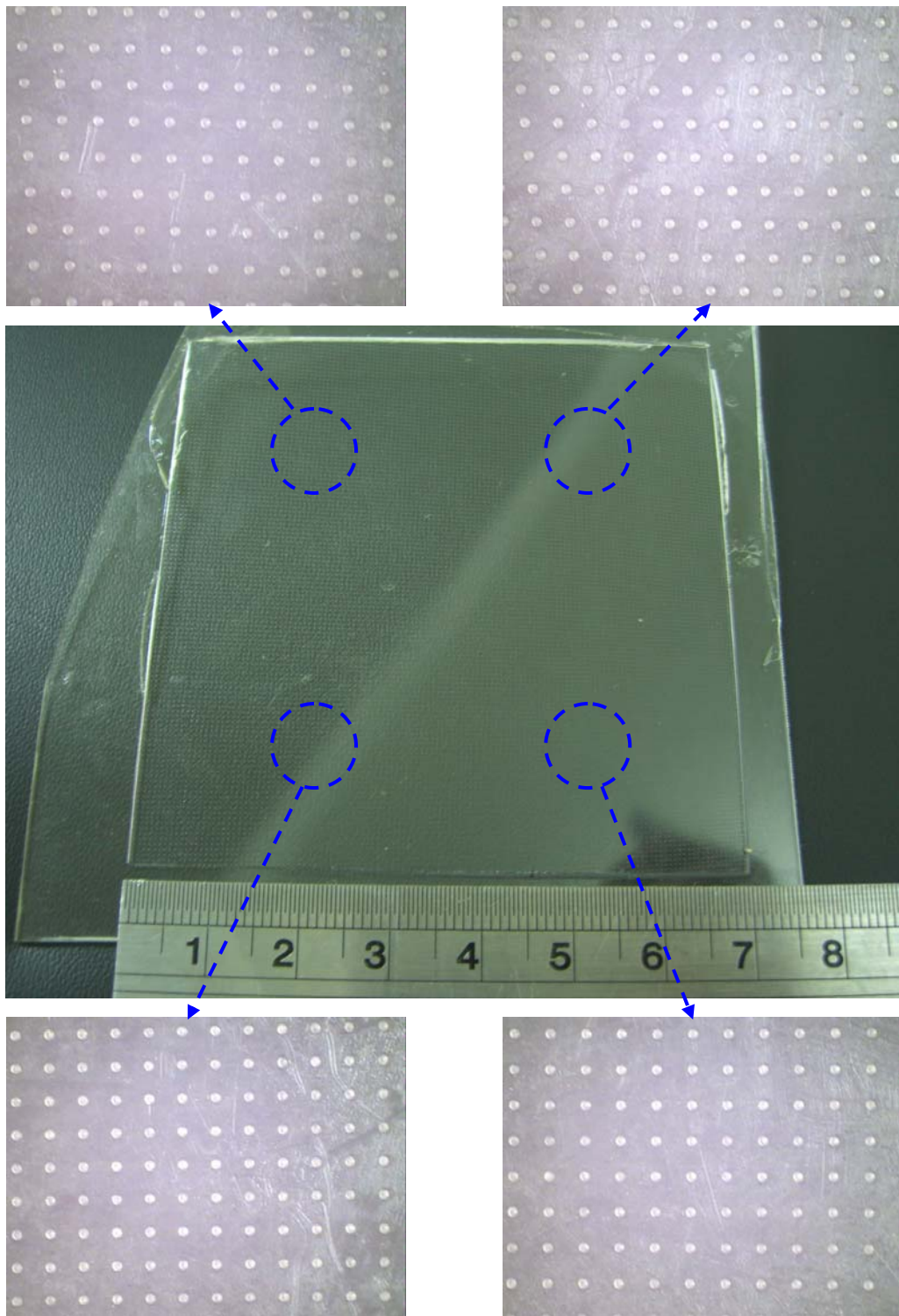
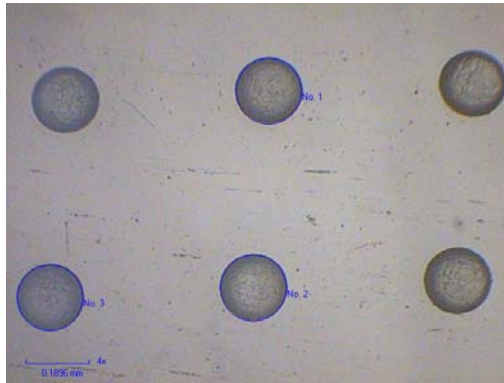


圖 3-15 小尺寸初步壓印實驗結果（抽真空）

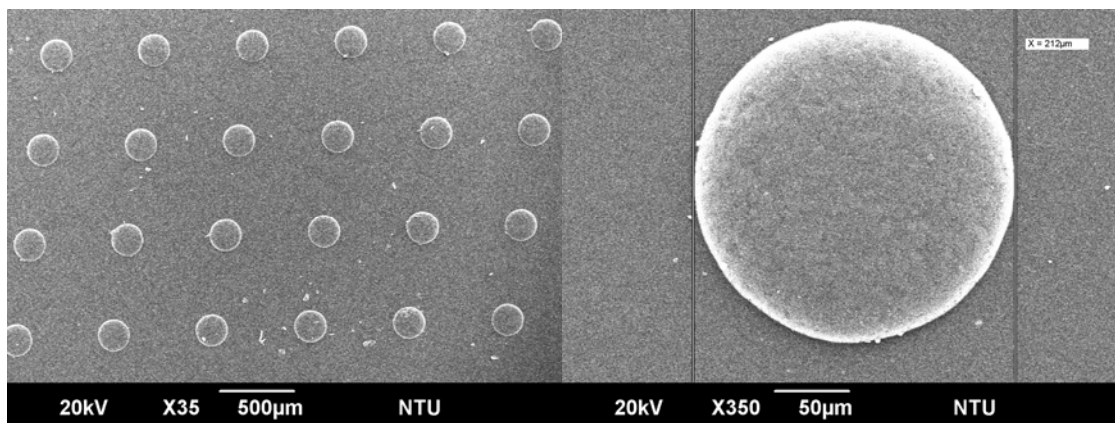


[No. 1] 三點圓 $R = 0.0995$ mm, $D = 0.1989$ mm, $L = 0.6249$ mm, Area = 0.0311 mm²

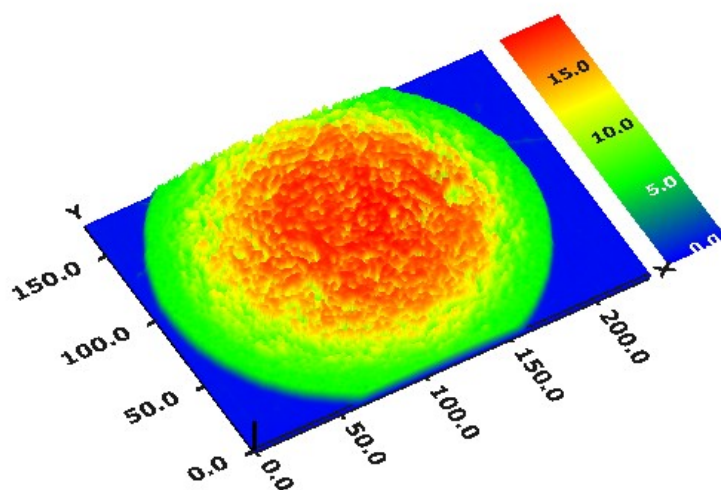
[No. 2] 三點圓 $R = 0.1010$ mm, $D = 0.2020$ mm, $L = 0.6346$ mm, Area = 0.0320 mm²

[No. 3] 三點圓 $R = 0.0998$ mm, $D = 0.1995$ mm, $L = 0.6268$ mm, Area = 0.0313 mm²

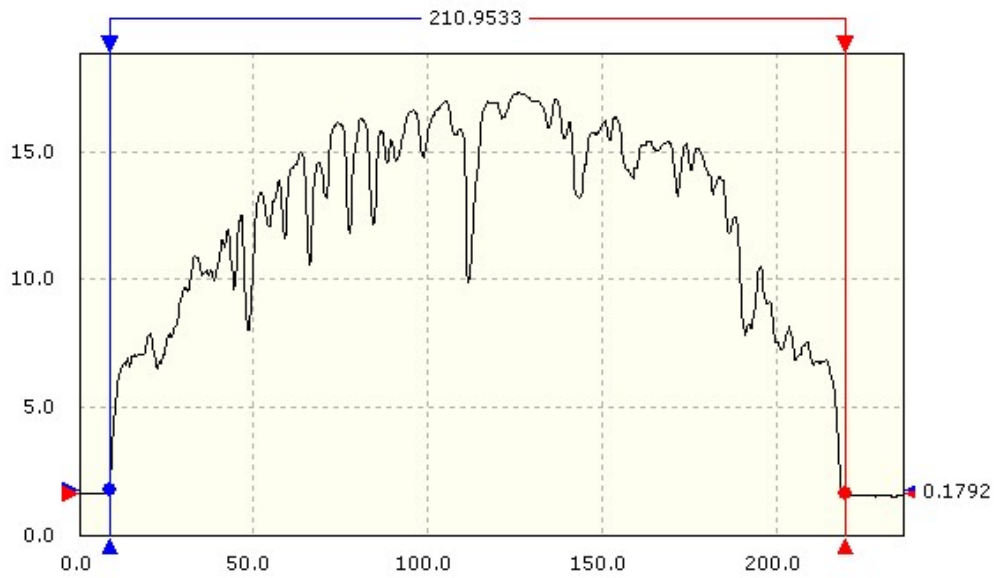
(a) OM 圖 (直徑約 $200\mu\text{m}$, 光學顯微鏡放大倍率 40 倍)



(b) SEM 圖



(c) WLI-3D 形貌圖



(d) WLI 圖-橫向尺寸 (壓印出之微結構平均直徑約 200 μm)



(e) WLI 圖-縱向尺寸 (壓印出之微結構平均高度約 18~20 μm)

圖 3-16 小尺寸初步壓印實驗結果之外型與尺寸量測 (抽真空)

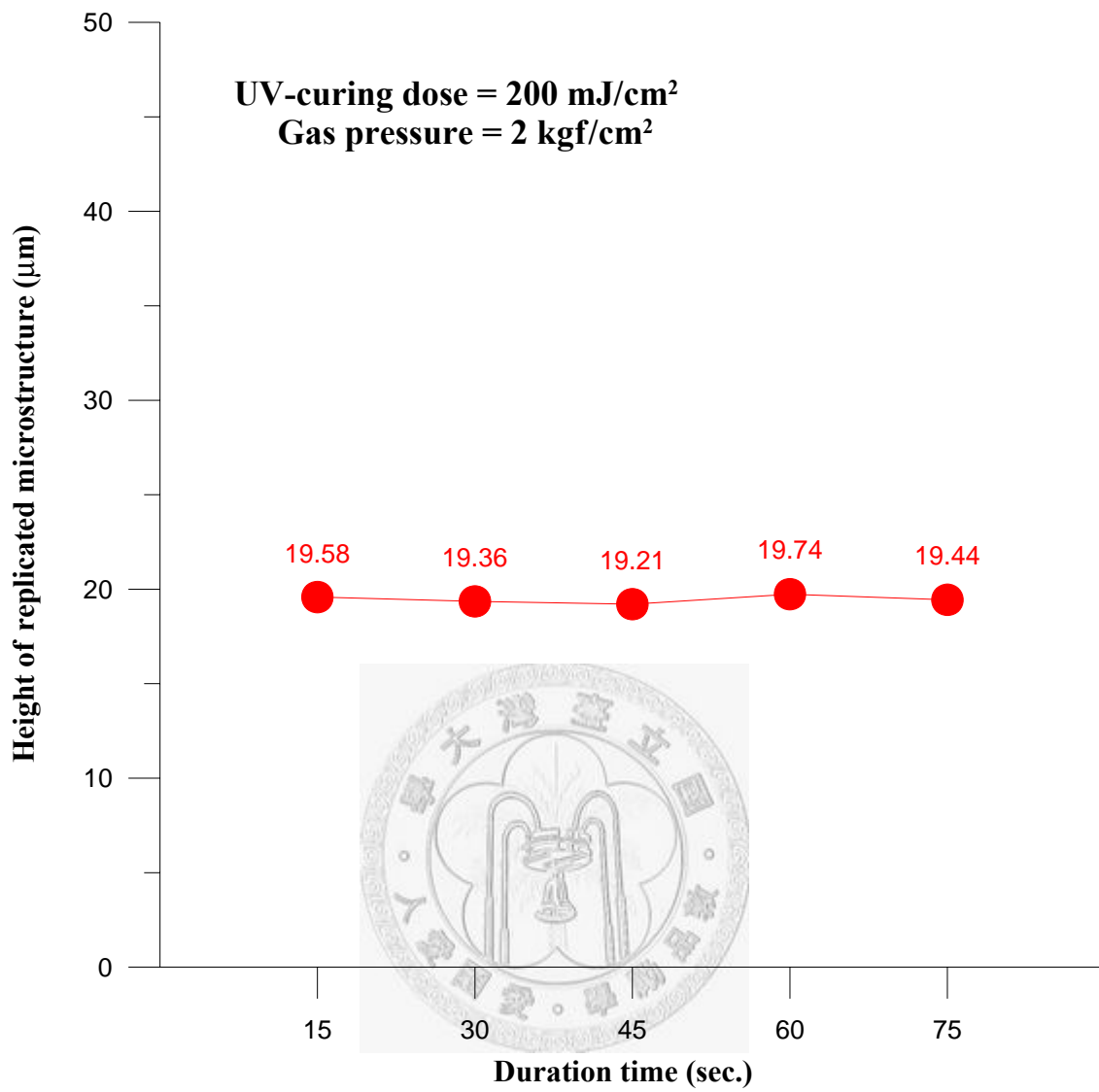


圖 3-17 持壓時間對微結構轉寫高度之關係圖

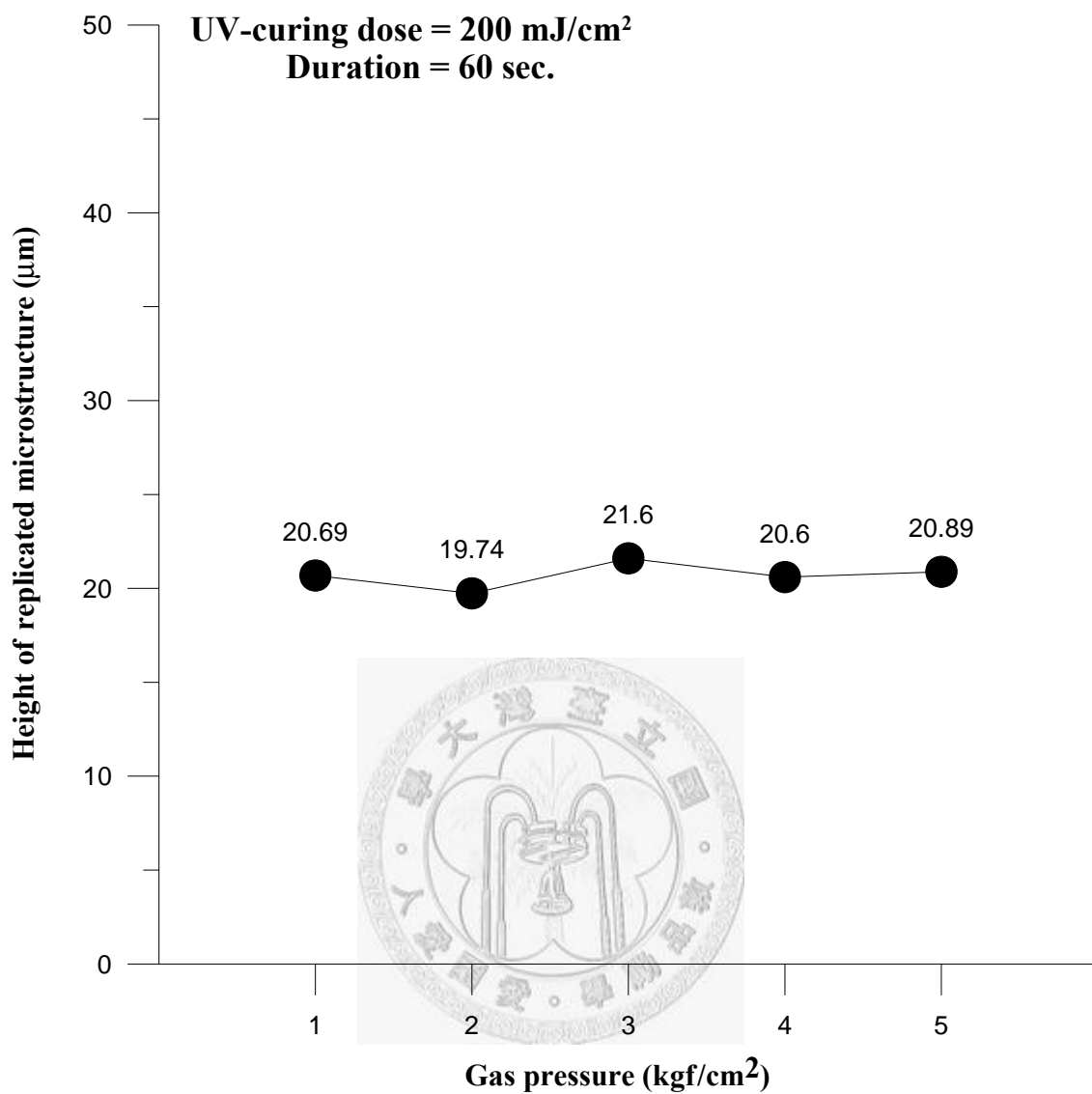


圖 3-18 氣體壓印壓力對微結構轉寫高度之關係圖

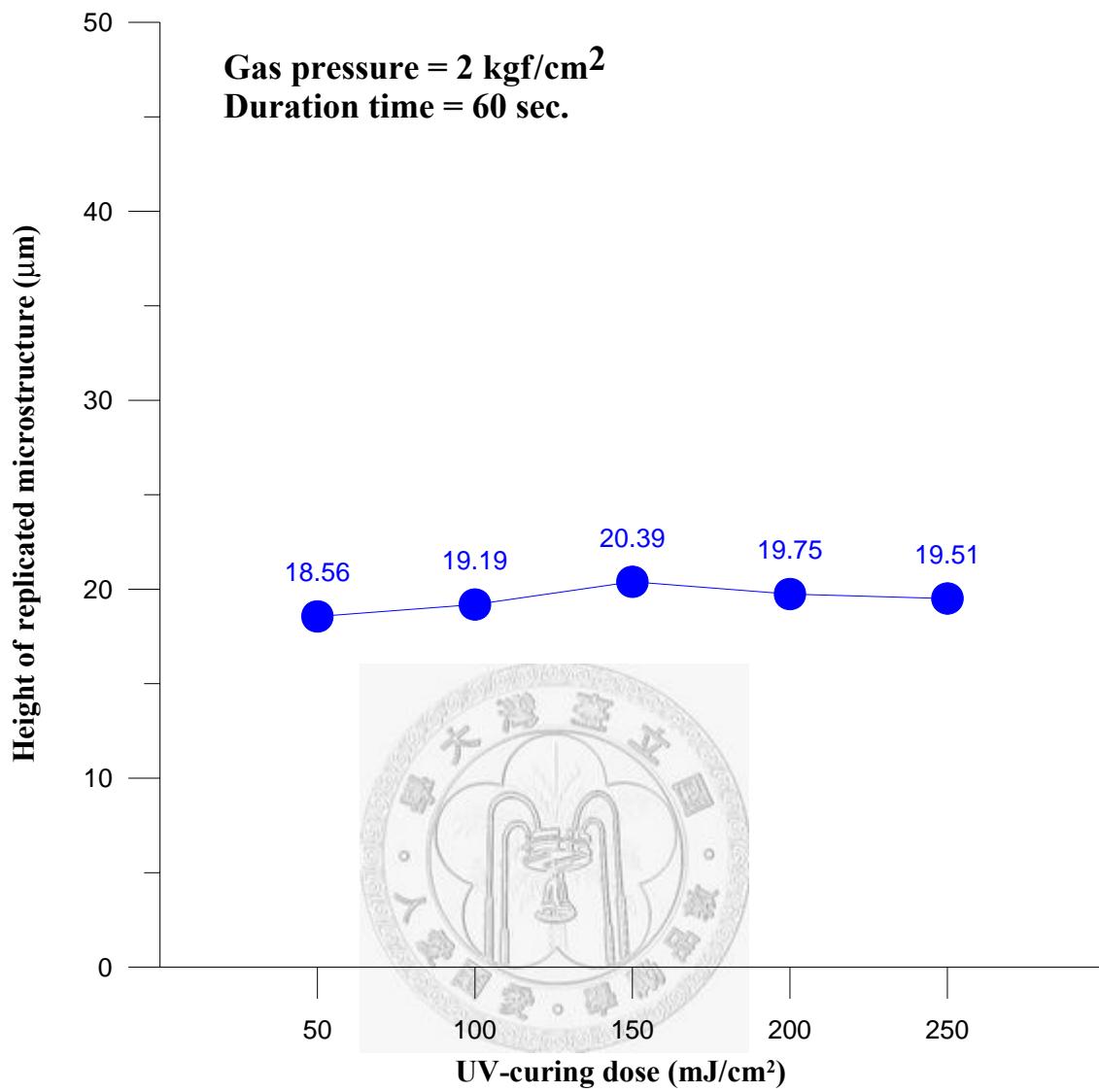


圖 3-19 紫外光照光能量對微結構轉寫高度之關係圖

第四章 應用於大面積微結構複製之實驗探討

本實驗研究係結合紫外光固化壓印成型技術、氣體輔助壓印以及反轉式壓印技術進行大面積壓印成型實驗，因此本章首先針對此創新製程進行製程特性分析；接著介紹進行大面積壓印實驗所需的模具以及相關材料；第三部分說明大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印設備的設計開發與製程方法；第四部份，是大面積的壓印結果與討論，並探討此複合式製程對氣泡缺陷改善之效果。

4.1 製程特性分析

如圖 4-1 所示，傳統紫外光固化壓印成型技術係先將 UV 樹脂(resin)塗佈於基板上(substrate)，再將壓印模具(stamper)置放於基板上施予壓印力，接著再照光固化獲得成品。此方式會將 UV 固化樹脂中含有之氣泡以及壓印環境中之空氣困於壓印模具的凹陷處（即模穴），若利用抽真空的方式來抽離氣泡時，氣泡會沿著模具上微結構之外形起伏流動，從壓印區域之中間位置流動到壓印區域之邊緣而被抽離，如圖 4-2 所示。因此，若以傳統紫外光固化壓印成型技術進行大面積壓印成型，此氣泡成型缺陷的問題會更嚴重，純粹以抽真空的方式將無法有效解決氣泡成型缺陷的問題，因為氣泡在 UV 固化樹脂中須走更遠的距離才會被抽離。

本研究主要進行大面積壓印成型，除了結合紫外光固化壓印成型與氣體輔助壓印製程，另外更利用反轉式壓印成型原理來嘗試解決氣泡問題。如圖 4-3 所示，反轉式壓印技術是將 UV 樹脂先塗佈於模具上，再將模具壓於基板上進行壓印，然而此方式還是會將氣泡以及壓印環境中之空氣困於模穴中，利用抽真空可能還是無法完全消除氣泡；另外，已經塗佈於壓印模具上的 UV 固化樹脂也會因重力作用而滴落。因此，本實驗改變反轉式壓印的方向，以基板對塗佈有 UV 固化樹脂的壓印模具進行施壓的動作，如圖 4-4 所示。以此概念進行壓印，可使 UV 固化樹脂中含有之氣泡以及壓印環境中之空氣不被模具之模穴所困住，抽真空時能夠

較容易被抽離壓印區域。

4.2 壓印模具及其他相關材料備製

4.2.1 壓印模具

本研究進行大面積微結構壓印成型，但大面積壓印模具不易取得，若以電子束直寫(EBDW)之方式製作大面積壓印模具，將耗費相當可觀的時間與金錢成本。因此，為驗證大面積壓印之可行性與微結構複製均勻性，本實驗使用不銹鋼薄板壓印模具，為工研院機械所所提供，如圖 4-5 所示其尺寸大小分別為 244 mm × 183 mm × 0.8 mm 與 266 mm × 150 mm × 0.8 mm。如圖 4-6 所示，不銹鋼壓印模具上具有微孔陣列之微結構，係利用濕蝕刻的方式製作出來。濕蝕刻藉由控制蝕刻速率，可以獲的較均一的微結構深度，但微結構模穴的表面形貌及品質不易控制。不鏽鋼板模具上所蝕刻出之微結構屬於微孔洞陣列，平均蝕刻深度約為 8 μm，蝕刻孔徑約為 120 μm。

本研究利用紫外光固化成型的方式，使大面積壓印能夠在室溫、低壓下完成。但在紫外光固化成型製程中，影響結構複製完整性的重要因素之一，即是模具與基板間的脫模性。因此，微結構不銹鋼板壓印模具在進行 UV 成型壓印之前，模具表面進行抗沾黏表面處理，目的在於壓印成型後，固化之 UV 樹脂微結構可以和模具順利的脫模；同時鋼板表面經抗沾黏處理後，亦可提升壓印模具使用壽命。有效降低殘膠現象。抗沾黏表面處理主要是利用大氣電漿活化氟化物單體，噴塗在鋼板上，在鋼板模具表面形成氟化物鍵結，可大幅降低模具表面能，避免膠材殘留在模具表面；當模具表面能低時，模具表面呈現疏水性，水滴與模具之接觸角提升。為驗證表面能之改變，使用表面接觸角量測儀(FTA 125, First Ten Ångstrom, USA)如圖 4-7 所示，觀察鋼板模具表面經抗沾黏處理前後，水滴接觸角變化，結果如圖 4-8 所示。我們可以明顯發現，鋼板模具在抗沾黏處理前，液滴接觸角為 82.67 度；經抗沾黏處理後，液滴接觸角為 128.84 度；模具表面疏水效果明顯提升，

將有助於脫模。

4.2.2 壓印基板(substrate)與紫外光固化樹脂(UV-cured resin)

本研究主要動機是為了解決一般精密光學元件複製成型技術（如微射出成型、微熱壓成型等）無法製作出大面積薄件微結構光學元件之問題，故本實驗中採用厚度為 1 mm 之透明壓克力板(PMMA)為壓印基板，尺寸有 244 mm × 183 mm (4:3) 與 266 mm × 150 mm (16:9)兩種，皆約為 12 吋大小，如圖 4-9 所示。

本實驗所使用之 UV 固化樹脂是由工研院機械所與廠商所共同開發，屬於光學應用等級，可直接應用於光學微結構之製作，不同於市售的 UV 固化樹脂多為黏著用途。此 UV 固化樹脂其黏度約為 1000 cps(at 25°C)，在可見光波段，折射率(refractive index)平均約為 1.52。

4.2.3 UV 固化樹脂塗佈方式

目前為止所發展的相關奈米壓印技術，皆是利用旋轉塗佈機(spin coater)將光阻(resist)或樹脂(resin)旋塗於壓印基板上，但旋轉塗佈機可塗佈之基材形狀、大小與材質皆有所限制。本研究進行大面積反轉式壓印成型，係將 UV 固化樹脂先塗佈於壓印模具上，再進行壓印動作將微結構複製於近 12 吋大小且為四方形之 PMMA 基板上，因此，無法使用旋轉塗佈之方式將 UV 固化樹脂塗佈於模具上。故本研究採用手動刮刀塗佈方式將 UV 固化樹脂塗佈於不銹鋼壓印模具上，使用之刮刀(Faithful Printing Equipment & Supply Co., Ltd., Taiwan)如圖 4-10 所示，刮刀材質為橡膠，刮刀柄材質為鋁合金。以手動刮刀塗佈法所塗佈出之 UV 固化樹脂厚度可能較無法均勻一致，但預期以氣體輔助施壓機制使壓印後殘留層厚度均一。

4.3 大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印設備與製程

4.3.1 壓印設備

本研究為進行大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印實驗，設計一組外部大小為 520 mm × 390 mm 的壓印模腔，實際可壓印面積約為 275 mm × 190 mm 之螺紋鎖固式壓印模腔來進行實驗，如圖 4-11 所示。另外，在本研究主要實驗中，為實驗方便與人員安全性，不同於第三章初步小面積壓印實驗使用外部照光之方式，本研究將照光方式改為內照式（由 chamber 內照 UV 光）。因此，大面積紫外光固化氣體輔壓印設備將包括一組螺紋鎖固式大面積壓印模腔、一組 LED 紫外光燈、氣體壓力鋼瓶（氣體壓力源）、及一台真空幫浦。以下針對各壓印設備之設計與用途作一詳細介紹。

(1) 壓印模腔(chambers)

考慮強度要求，模腔材質使用鋁 6061 合金。如圖 4-12 所示，壓印模腔主要分為上下模腔，上模腔包含高壓氣體之進出閥口與氣密環，主要目的是通入高壓氣體進行施壓動作，另外，UV 燈組是裝置於上模腔，模腔中可照光區域大小約 330 mm × 220 mm；下模腔有真空系統之進出閥口，壓印模具載具(stamper holder)大小為 275 mm × 190 mm。為了方便實驗觀察，壓印模腔採用螺紋鎖固方式而不用油壓式之壓板壓合，配合氣密 O 型環與壓力調節閥，此組模腔最高承受氣體壓力可達 10 Kgf/cm²。

(2) 高壓氣體壓力源

為避免壓印材料在實驗過程中變質或氧化，需考慮以惰性氣體為施壓之壓力源，固本實驗所使用之加壓氣體為氮氣，其他惰性氣體亦可適用。本實驗氮氣來源，係由一般工業用高壓氮氣瓶所提供，如圖 3-2 所示，最大輸出壓力約為 130 Kgf/cm²，配合氣壓微調針閥(Needle valve)，調整壓印模腔內氣體施壓壓力大小。

(3) 真空幫浦

在本實驗中，真空幫浦用來將腔體內殘留氣體以及 UV 固化樹脂內的氣泡抽離，並促使壓印時多餘的光阻劑能往外排出，以防止氣體包封及氣泡等成型缺陷發生。如圖 3-3 所示為本實驗所使用之真空幫浦(GVD 050-A, ULVAC, Japan)，排氣速度每分鐘約 60L，可到達最高真空壓力為 5×10^{-4} torr (約 6.5×10^{-7} atm)。

(4) LED 紫外光燈組(UV-LED)

本研究係針對大面積之微結構壓印成型，因此大面積之照光均勻性要求相當高，但一般紫外光汞燈為線光源搭配反射板燈罩，對於大面積無法有效均勻照光，故本實驗設計開發一組平面式發光二極體的紫外光 UV-LED 光源，如圖 4-13 所示。此 UV-LED 其光源波長範圍約在 375 nm ~ 395 nm，另外使用光強度計，可在模腔中之壓印平面量測得其光強度約為 10 mW/cm^2 。整組光源包含 126 顆 LED，有效照光面積約為 $350 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ ，使用一般 110V 電源。以 UV-LED 為照光光源具相當之設計彈性，可依實際照光面積大小增加 LED 的顆數，另外也可以節省成本及能源。

(5) 氣密膜(seal film)

氣密膜之功能，主要目的為產生壓力差，使氣體灌進膜腔後，能與待熱壓物區別，而讓氣體之壓力可施壓於堆疊組合上。若沒有此層密封膜，則模具、塑膠、氣體皆在同一模腔空間內，無法達到氣體加壓效果。密封膜之材質可以擇自塑膠薄膜或金屬箔(如鋁箔)等阻氣性良好材料。本論文使用 PET(Polyethylene Terephthalate Film)當作一密封膜，為日本東利公司(Toray)生產之 S-Type 型，薄膜厚度為 $188 \mu\text{m}$ 。屬半結晶型(Semocrystalline)塑膠，玻璃轉移溫度約為 76.5°C ，熔點溫度約為 240°C 。

4.3.2 壓印製程步驟

本實驗結合紫外光固化壓印成型原理、氣體輔助壓印原理及反轉式壓印原理進行大面積壓印實驗，當上下腔模閉合，壓印基板與壓印模具上的 UV 固化樹脂接觸時，進行抽真空動作以消除模腔內殘留空氣，並使模具上的 UV 樹脂微結構圖案緊密接觸基板，以便複製於基板上，接著再使用高壓氣體對基板與模具施壓，最後再以紫外光照射固化 UV 樹脂，使微結構成型於基板上。整個大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程如圖 4-14 所示，壓印步驟依序說明如下：

- (1) 將壓印基板與塗佈有 UV 固化樹脂的壓印模具，依相對位置堆疊組合後，放置在下壓印模腔之中央位置，如圖 4-14(a)。
- (2) 接著使用 PET 密閉膜覆蓋在此模具與基材堆疊的組合上，並鎖上模腔，使上下模腔成為各自獨立的密閉空間而能夠有壓力差之效果，下模腔同時抽真空以減少模腔內殘留氣體，避免壓印結束後之氣泡成型缺陷問題，如圖 4-14(b)。
- (3) 上模腔通入高壓氮氣，經由壓力控制閥將氣體壓力調至適當之成型壓力條件，此時 UV 樹脂因受壓印力而開始往微結構模穴充填，多餘的 UV 樹脂則會排出。待保壓一段時間後，開始進行紫外光照射固化，此時氣體需持續保壓，依 UV 固化樹脂的固化性質照射一定的固化時間，如圖 4-14(c)。
- (4) 當完成紫外光照射固化微結構壓印複製的過程後，經由壓力控制閥將上模腔高壓氣體洩出，再打開上下模腔，即可出壓印完成之大面積成品，如圖 4-14(d)。

4.3.3 壓印成型參數

本研究使用反轉式壓印技術，係將 UV 樹脂先塗佈於壓印模具上，讓 UV 樹脂先填滿微結構模穴再進行壓印，使微結構轉寫性不受成型參數之影響，不同於一般奈米壓印製程需探討壓印製程參數對微結構複製轉寫性之影響。而承前章實驗結果，證明壓印成型參數並不會顯著地影響微結構之轉寫性，因此，本實驗將使用固定一組成型參數進行大面積壓印實驗。成型參數包含氣體壓力、持壓時間、

抽真空時間，UV 光照時間四項，其數值範圍如下表 4-1 所示。

表 4-1 大面積紫外光固化氣輔反轉式壓印成型參數表

	氣體壓力	持壓時間	抽真空時間	UV 光照時間
數值範圍	2 kgf/cm ²	60 秒	60 秒	20 秒

4.4 壓印結果與討論

如圖 4-15 所示，利用本研究所開發之大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程與設備，在氣體壓印壓力 2 kgf/cm²、持壓時間 60 秒、UV 光照時間 20 秒以及抽真空的成型條件下，能夠成功在大小為 244 mm × 183 mm 之 PMMA 基板上複製出微結構，然而如圖中紅色虛線包圍區域所示，微結構無法成型或複製性不佳，氣泡所造成之成型缺陷非常明顯。圖 4-16 所示為利用光學顯微鏡檢視複製於 PMMA 基板上之微結構，圖片顯示微結構完整複製之區域其微結構成型性及形狀均佳，但在結構複製不完整區域之微透鏡成型性不佳、有嚴重的氣泡包封現象導致微結構無法成型。圖 4-17 所示為利用掃描式電子顯微鏡檢視大面積壓印結果，結構完整區域之微透鏡成型性及形狀均佳，然而，也明顯可看出氣泡對微結構的複製性及完整性有非常大之影響。

此外，本實驗也進行不同尺寸壓印面積之實驗。如圖 4-18 與圖 4-19 所示，利用本研究所開發之大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程，在氣體壓印壓力 2 kgf/cm²、持壓時間 60 秒、UV 光照時間 20 秒以及抽真空的成型條件下，亦可成功於大小為 266 mm × 150 mm 之 PMMA 基板上壓印出微結構。但如圖中紅色虛線所包圍區域所示，同樣可以發現因氣體包封與氣泡問題而導致微結構無法成型之問題非常明顯。圖 4-20 所示為利用光學顯微鏡檢視複製之微結構，同樣地在結構完整區域之微透鏡成型性及形狀均佳，而成型性不佳之區域的微透鏡也明顯有複製性不佳、包封現象、微透鏡無法成型等現象存在。從不同尺寸之壓印結果可以得知，反轉式壓印技術與真空機制的導入，仍無法完全解決大面積壓印結果會有氣

泡缺陷之產生。

如圖 4-4 所示，本研究利用反轉式壓印技術並改變壓印方向，以基板對塗佈有 UV 樹脂的壓印模具進行施壓的動作，使 UV 樹脂中含有之氣泡以及壓印環境中之空氣不被模具之模穴所困住，抽真空時能夠較容易被抽離壓印區域，預期能改善氣泡缺陷。然而，由上述實驗結果顯示，氣泡缺陷仍然存在且非常嚴重。由圖 4-21，在本研究大面積實驗中，當基板與塗佈有 UV 樹脂的壓印模具接觸後再進行抽真空動作，此時 UV 樹脂中含有之氣泡以及壓印環境中之空氣，需經過非常遠的距離才會被抽離，即使拉長抽真空時間，氣泡可能還是難以被抽離，因此成型後氣泡缺陷還是存在，對微結構能否完全成型有很大之影響。由上述結果顯示，解決氣泡問題將是一個非常重要課題，因此須改善整個壓印製程之機制。

另外，從不同尺寸之壓印結果也顯示本研究所設計開發之壓印模腔能夠成功在不同大小之 PMMA 基板上壓印出微結構，充分展現本研究所開發設計模腔之彈性，欲成型同尺寸不同比例或不同尺寸之大面積導光板，只需更換模具載具大小即可，可節省壓印設備之成本。

4.5 本章結論

本研究所開發的大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程與設備，能成功在不同尺寸(244 mm × 183 mm × 1 mm 及 266 mm × 150 mm × 1 mm)之大面積 PMMA 基板上複製出微陣列結構，相較於其他精密微結構複製方法，此創新製程在製造原理上製程簡易之特性，在製造過程上具室溫、低壓、低成本以及製程時間短等優勢。

另外，本研究導入反轉式壓印技術並改變壓印方向，結合抽真空的機制來改善大面積紫外光固化壓印成型一定會出現的氣泡成型缺陷問題，結果顯示，反轉式壓印技術結合抽真空的機制無法解決氣泡缺陷的問題，但卻能使氣泡缺陷出現位置較集中於壓印區域的兩側與四周區域，已經證明其改善氣泡成型缺陷的可行

性。因此，為完全改善氣泡缺陷問題，需改良大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程之機制，使壓印基板與塗佈有 UV 固化樹脂的壓印模具，在抽真空開始到結束這段時間，皆尚未接觸，促使 UV 固化樹脂中含有之氣泡能夠輕易地從 UV 固化樹脂之液面被抽離而不用行經非常長的距離。



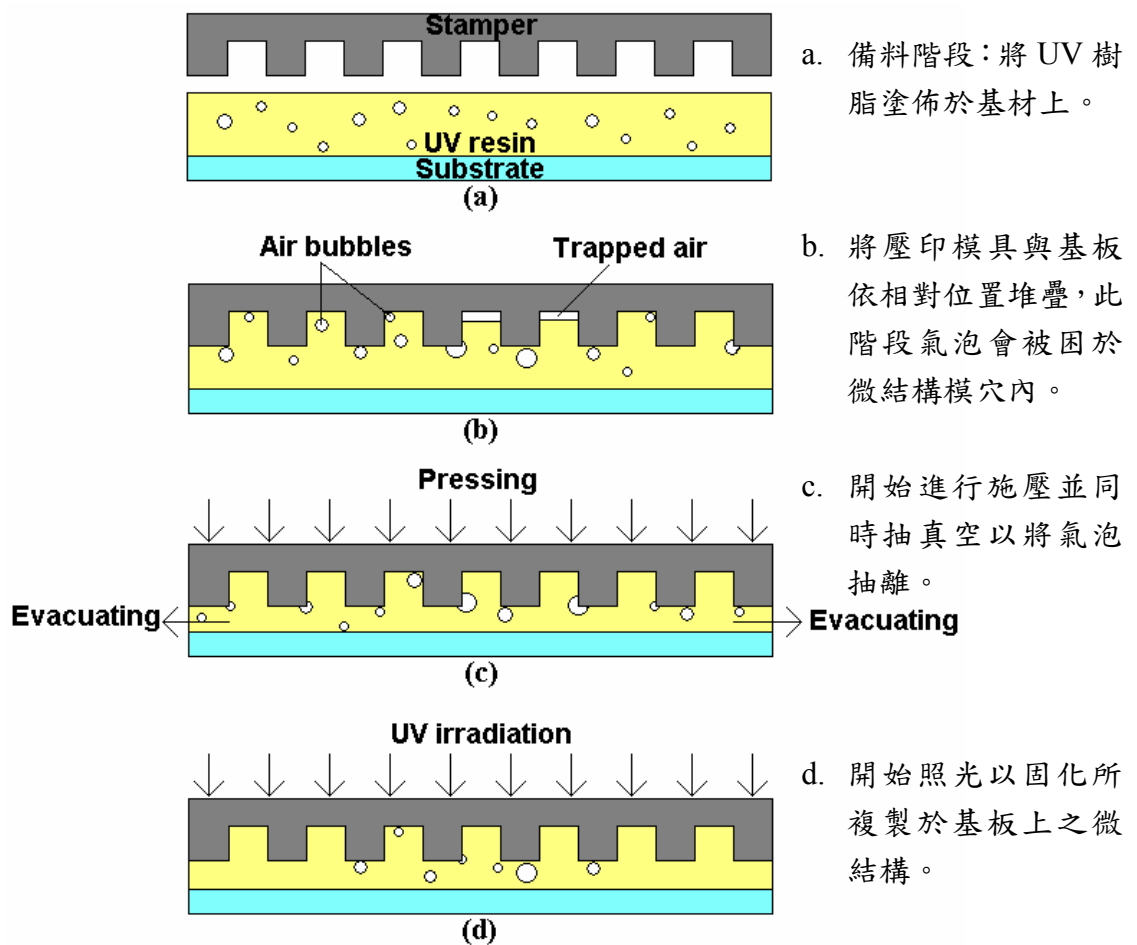


圖 4-1 傳統紫外光固化壓印製程氣泡缺陷之形成與消除示意圖

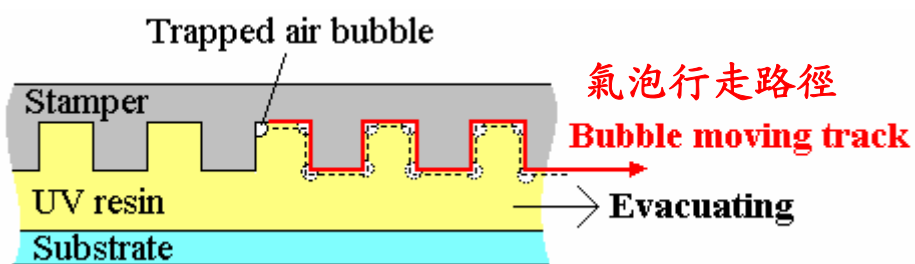


圖 4-2 傳統紫外光固化壓印製程氣泡需行經之路徑

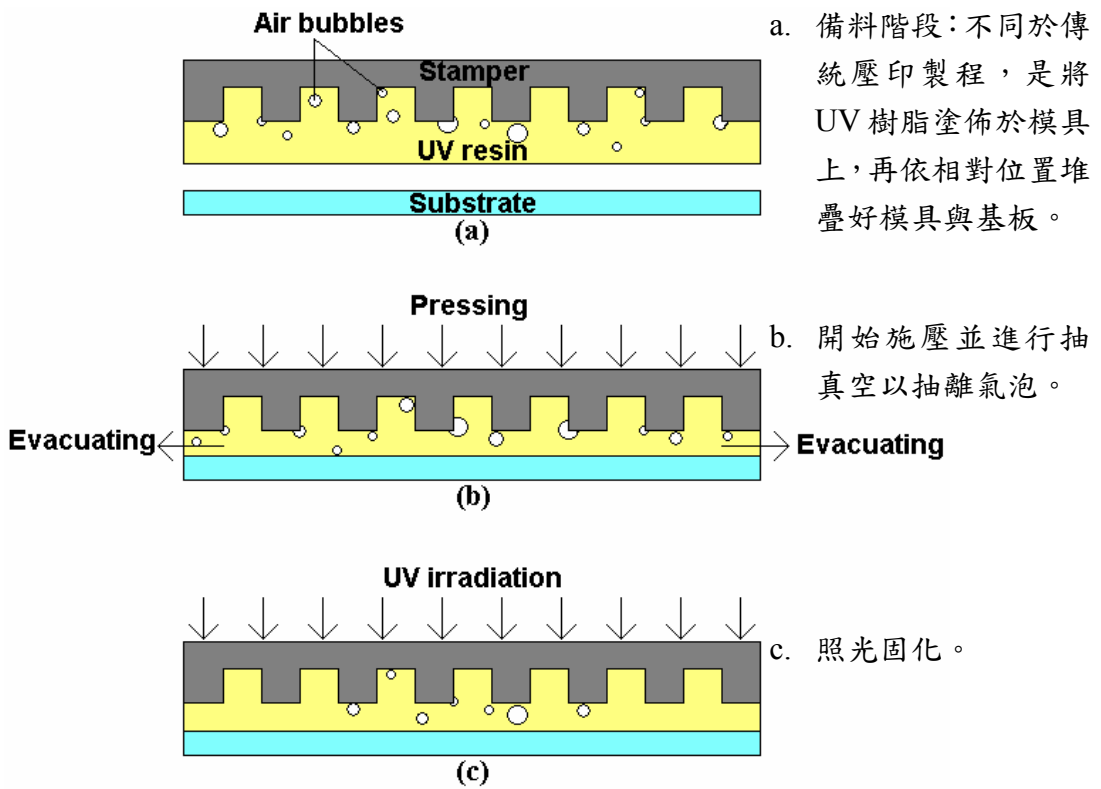


圖 4-3 傳統反轉式壓印製程氣泡缺陷之形成

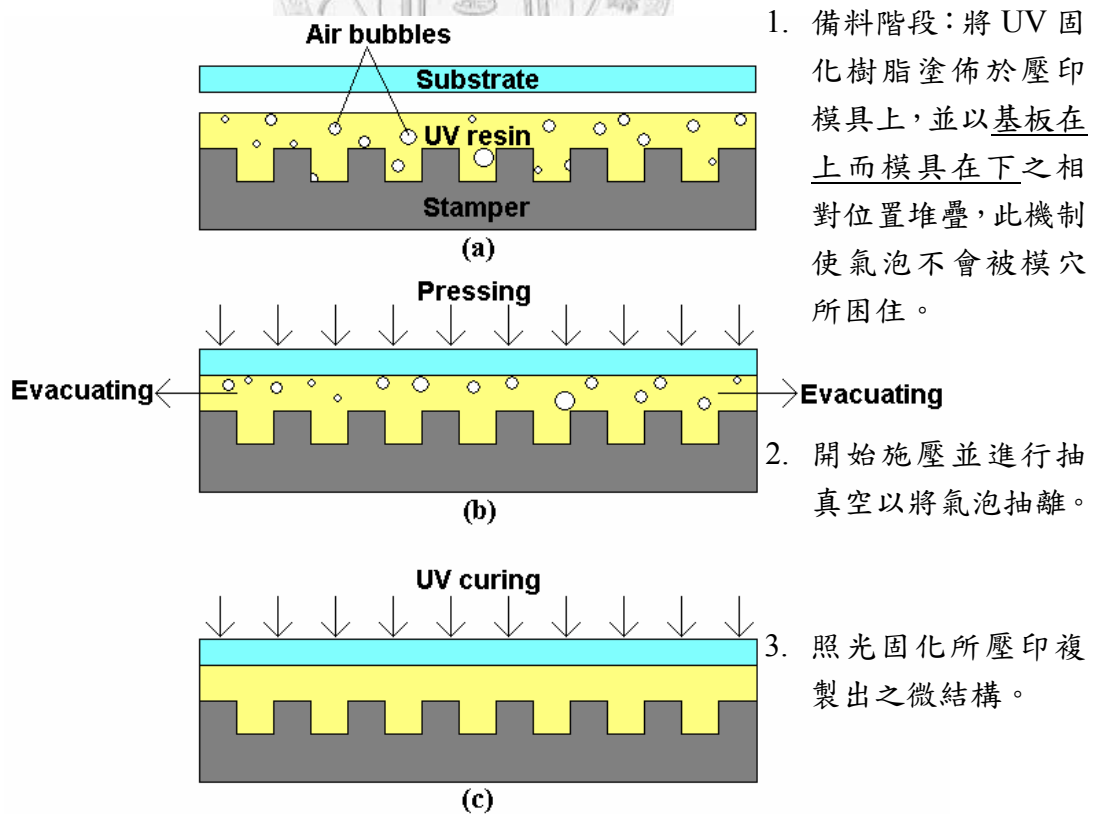
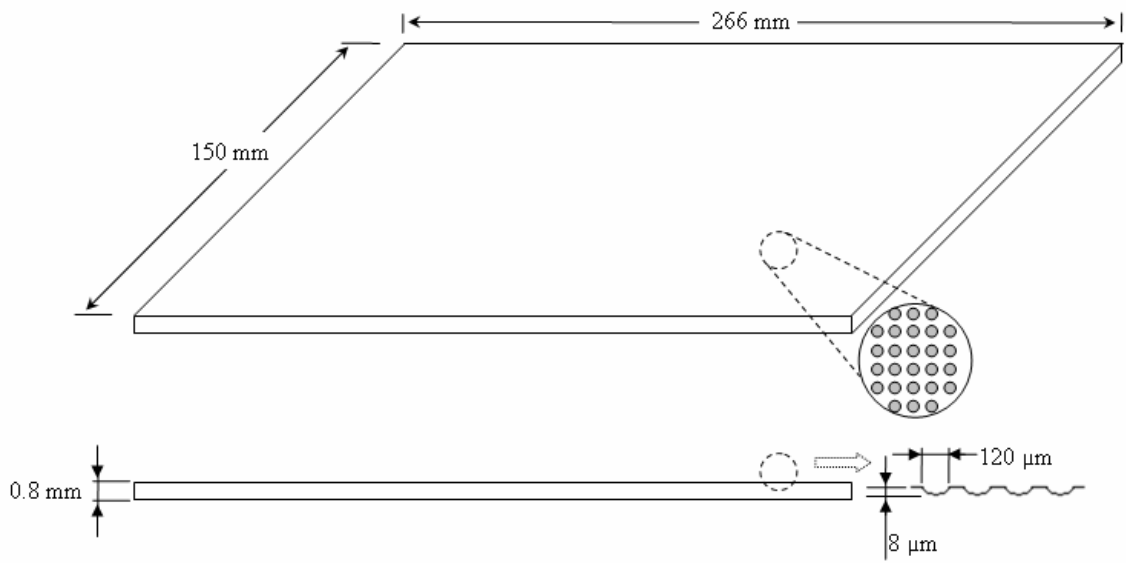
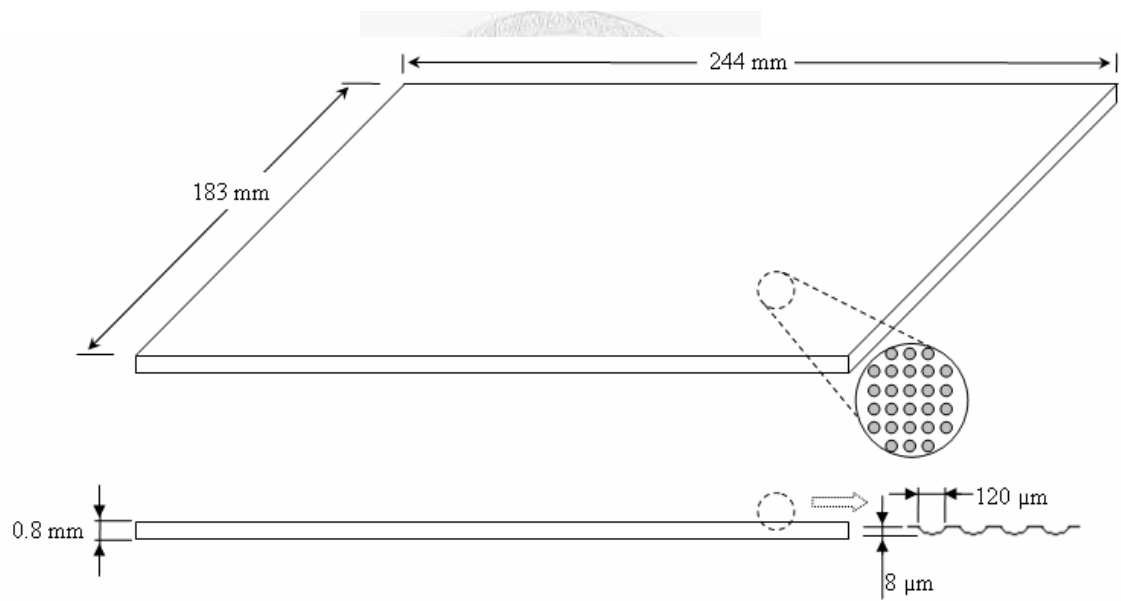


圖 4-4 本研究提出之壓印方向改變之反轉式壓印製程示意圖

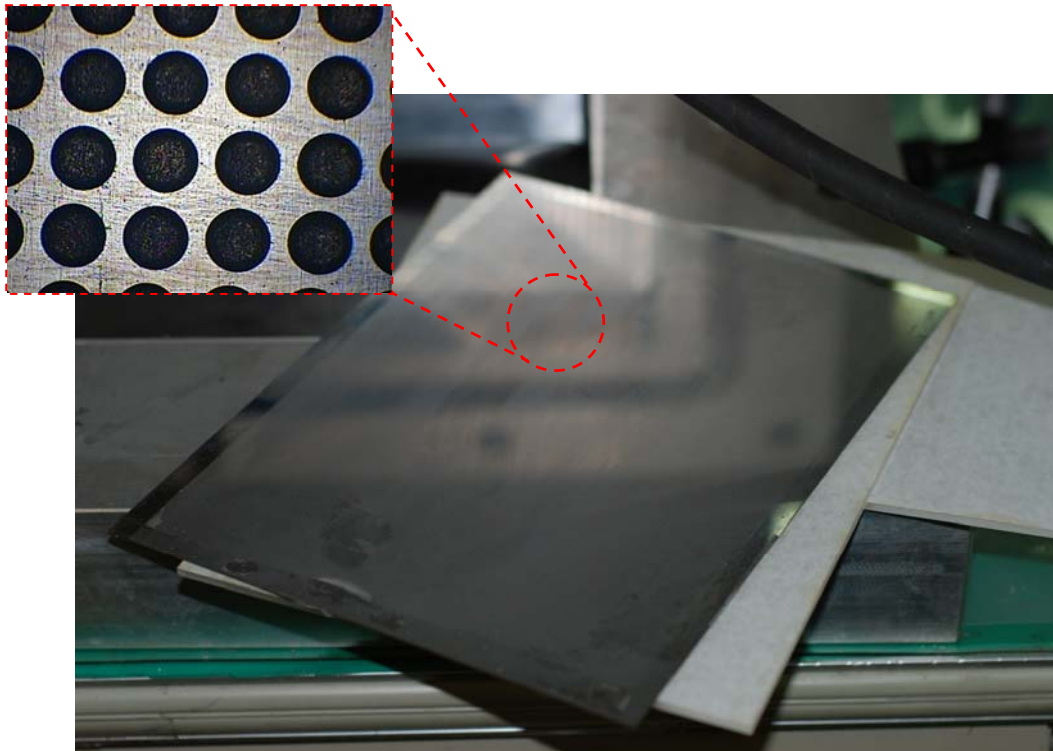


(a) 266 mm × 150 mm × 0.8 mm

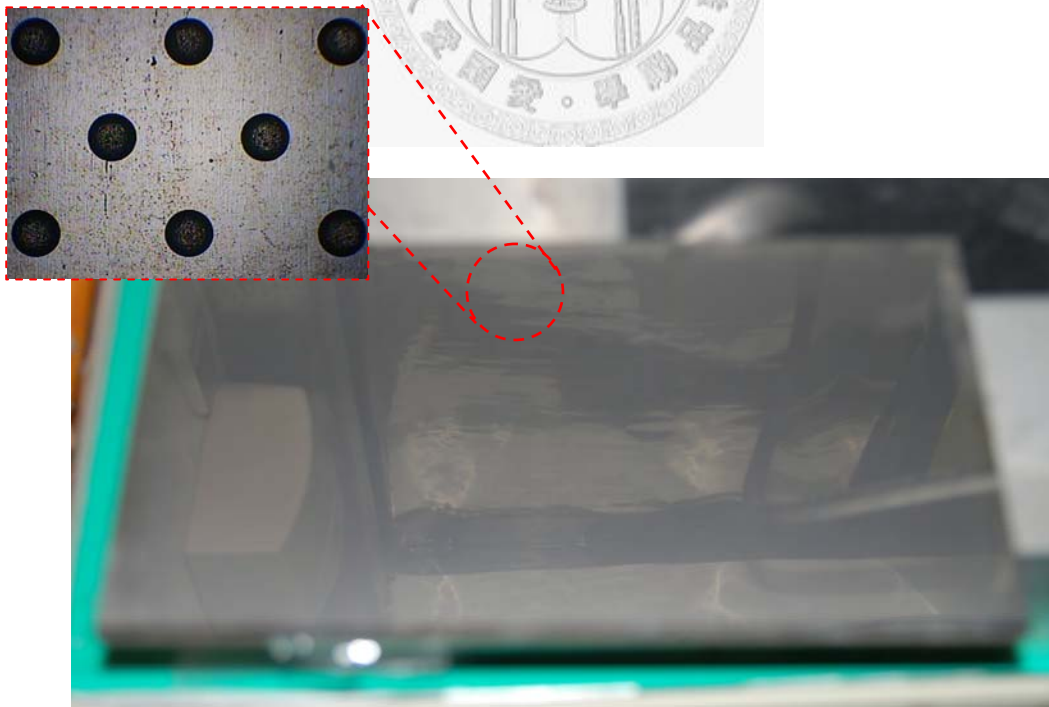


(a) 244 mm × 183 mm × 0.8 mm

圖 4-5 大尺寸壓印實驗用之不鏽鋼薄板壓印模具尺寸圖



(a) 244 mm × 183 mm × 0.8 mm

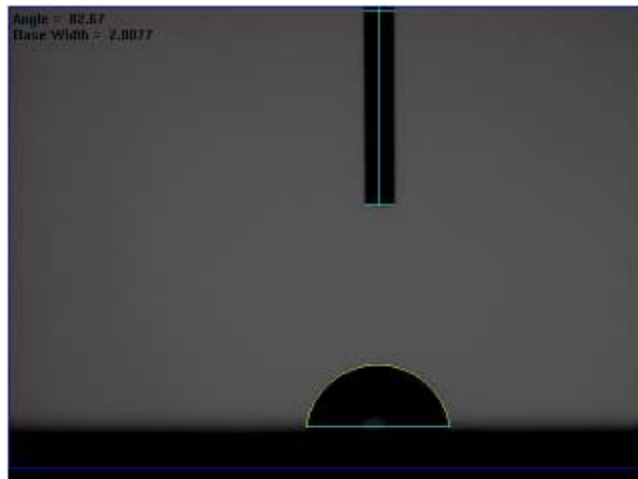


(b) 266 mm × 150 mm × 0.8 mm

圖 4-6 大尺寸壓印實驗用之不銹鋼板壓印模具實體照片



圖 4-7 表面接觸角量測儀(FTA-125)

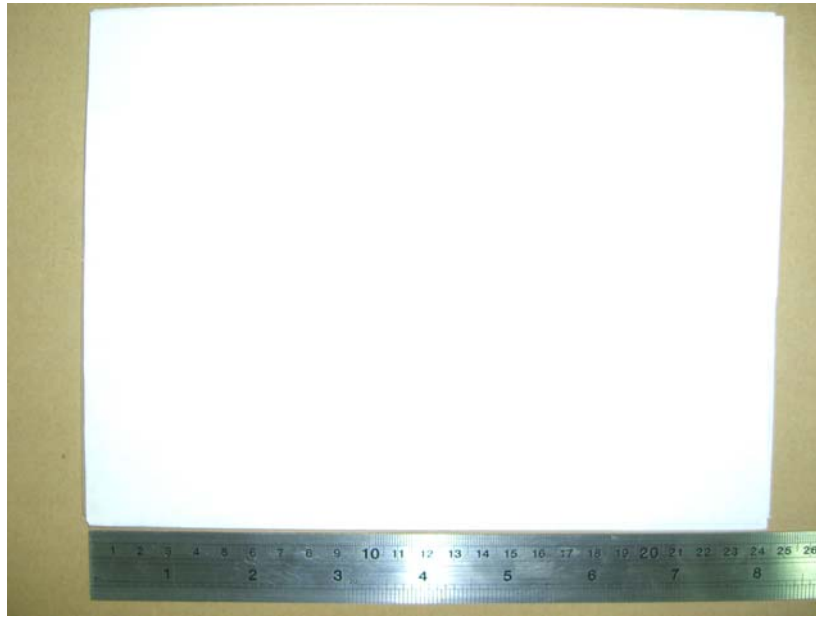


(a) 抗沾黏處理前 (表面接觸角= 83°)



(b) 抗沾黏處理後 (表面接觸角= 129°)

圖 4-8 不銹鋼壓印模具表面之表面接觸角量測結果



(a) 244 mm × 183 mm × 1 mm 壓克力基板

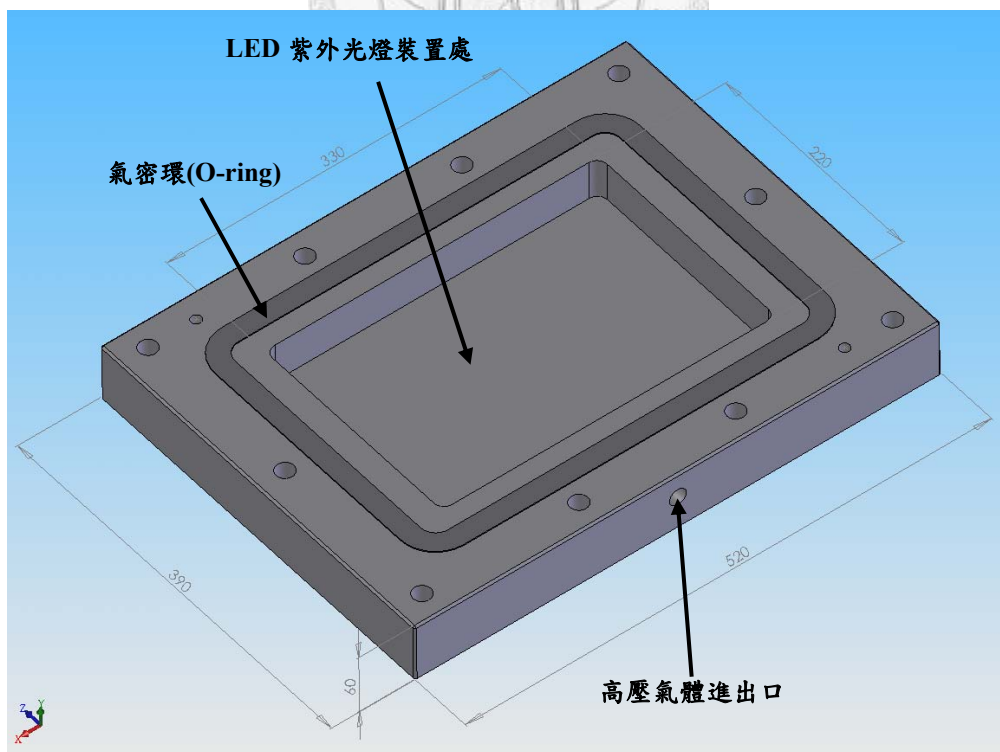


(b) 266 mm × 150 mm × 1 mm 壓克力基板

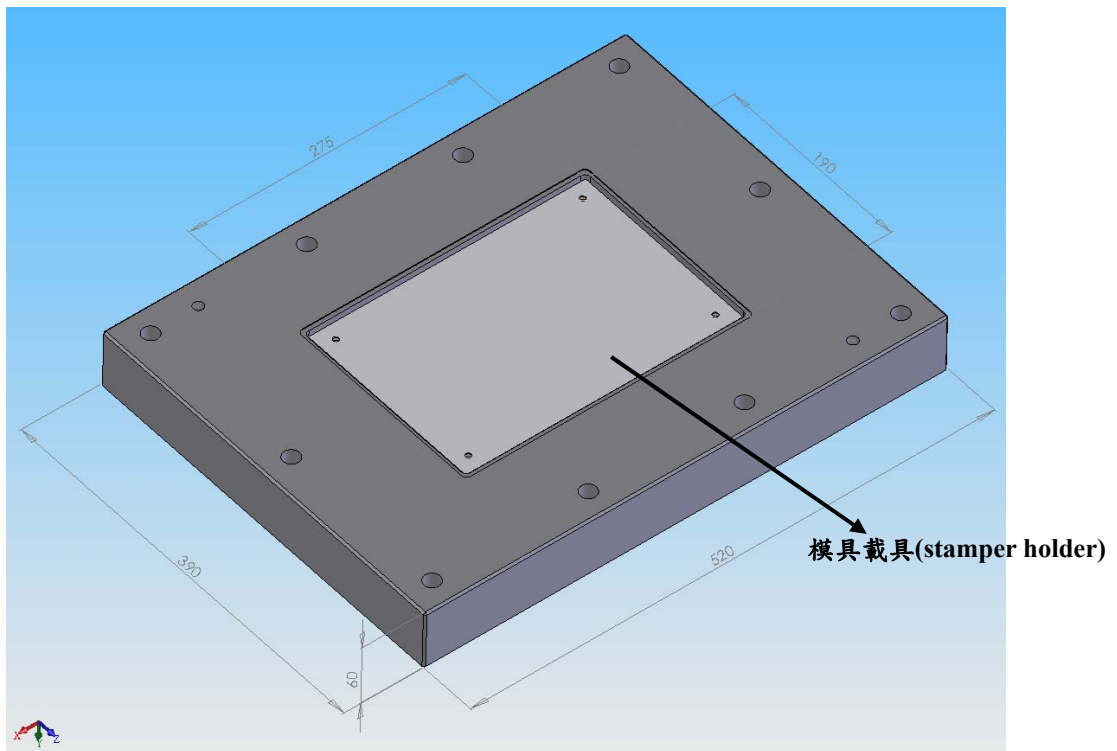
圖 4-9 大面積壓印實驗用之不同尺寸壓克力基板



圖 4-10 紫外光固化樹脂塗佈用之刮刀



(a) 上模腔



(b) 下模腔

圖 4-11 大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印之壓印模腔設計圖

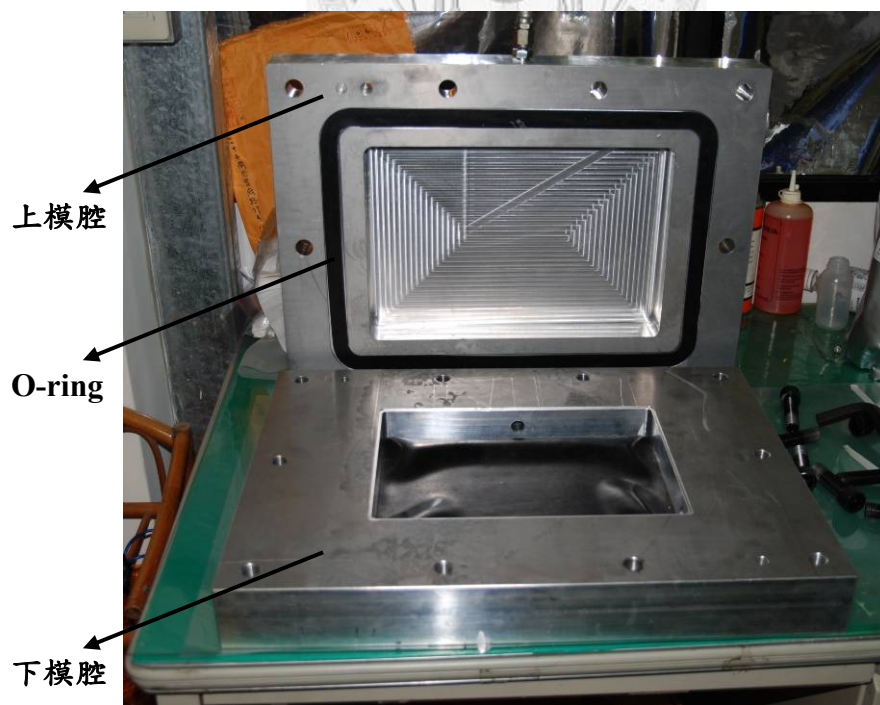


圖 4-12 大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印之壓印模腔實體圖

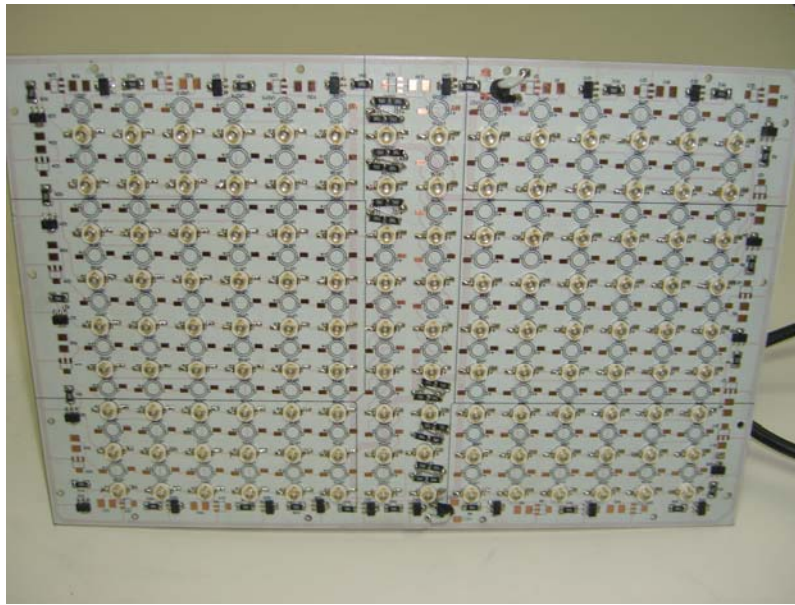


圖 4-13 大面積壓印用之陣列式發光二極體紫外光燈



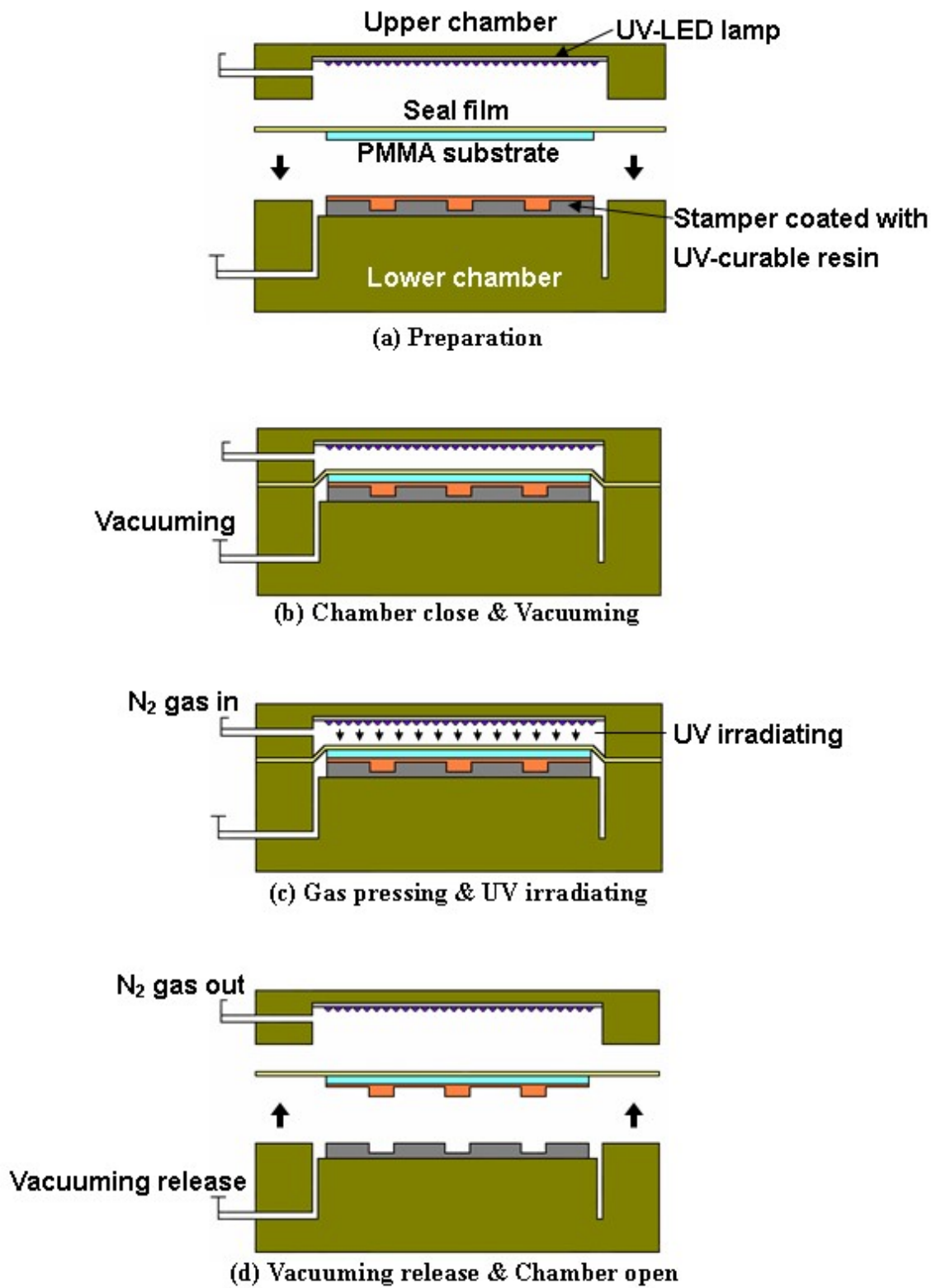
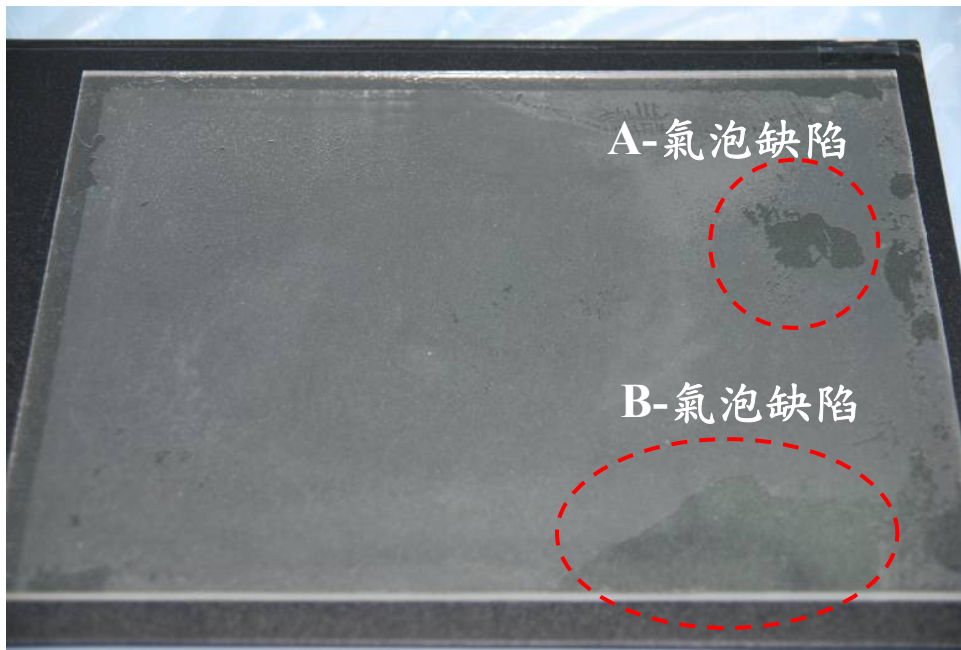
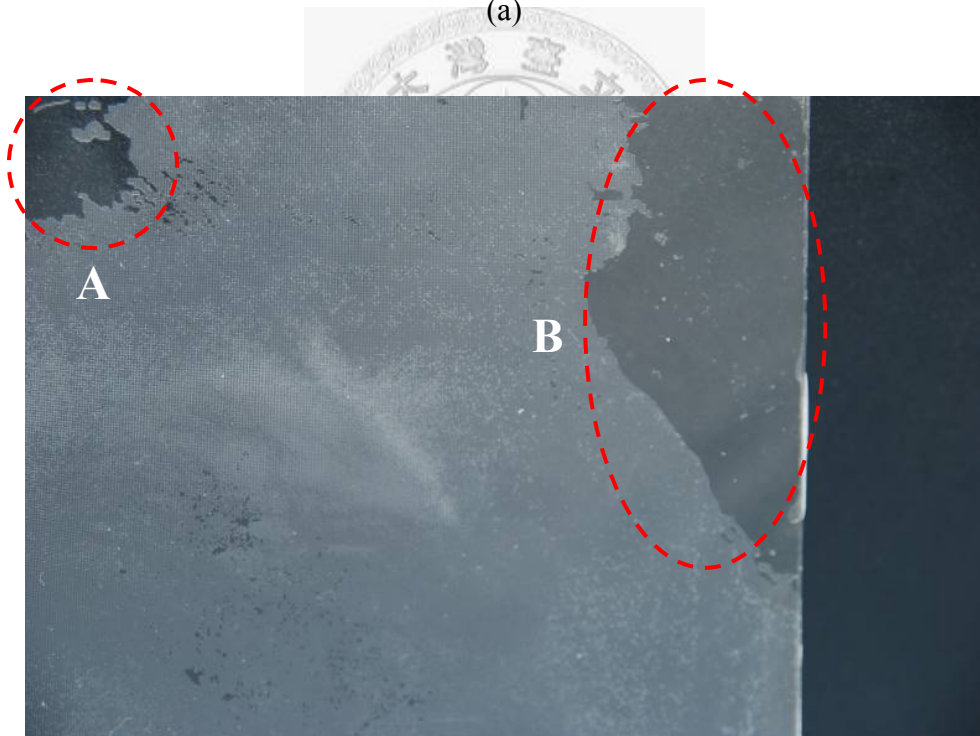


圖 4-14 大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程示意圖

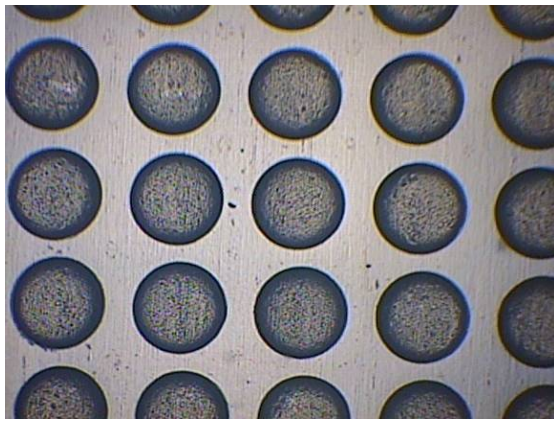


(a)

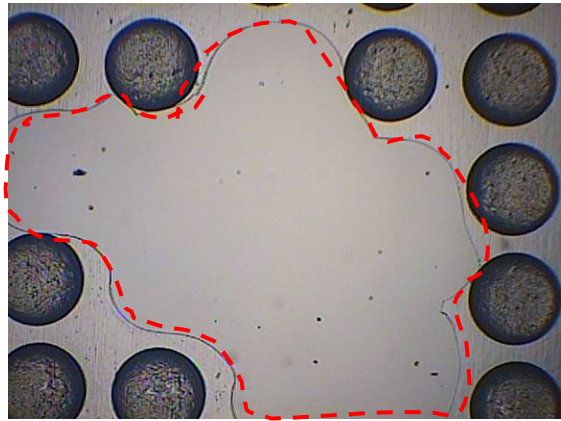


(b)

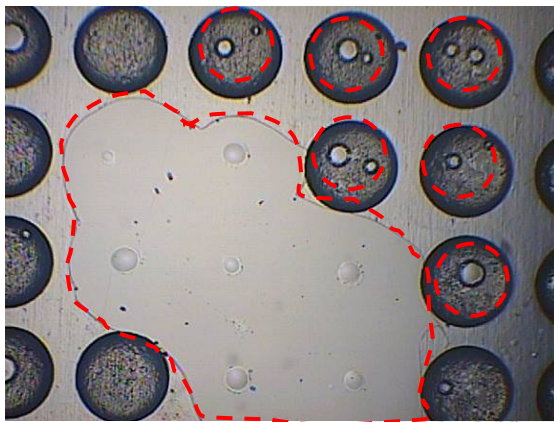
圖 4-15 244 mm × 183 mm 之 PMMA 基板壓印結果
(紅色虛線包圍區域即為氣泡成型缺陷處)



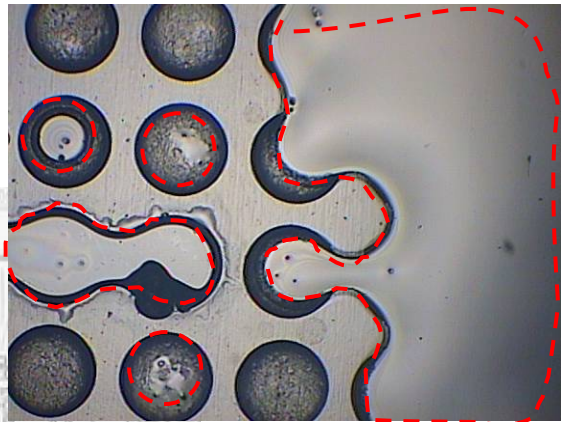
(a)結構完整區



(b)微結構無法成型



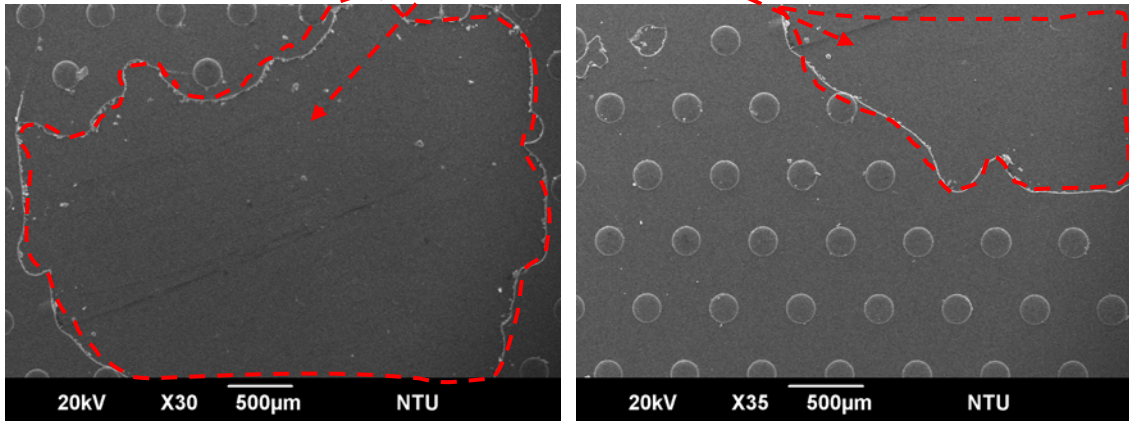
(c)結構無法成型缺陷



(d)微結構無法成型

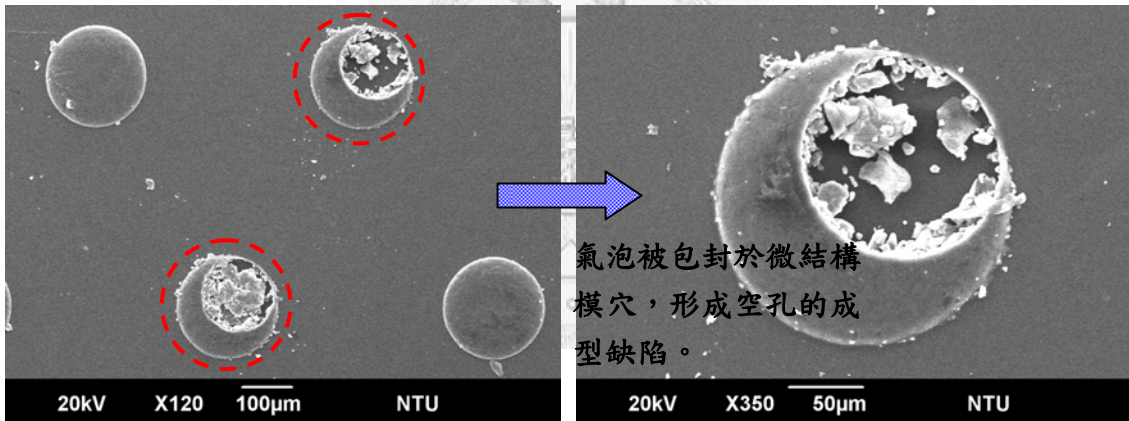
圖 4-16 244 mm × 183 mm 之 PMMA 基板壓印結果 OM 圖
(紅色虛線包圍區域即為氣泡成型缺陷處)

氣體無法排除而被包封，將造成微結構無法成型。



(a) X30

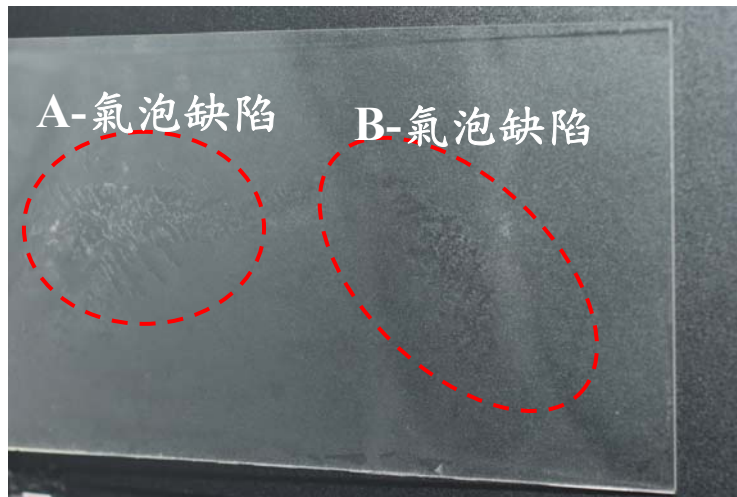
(b) X35



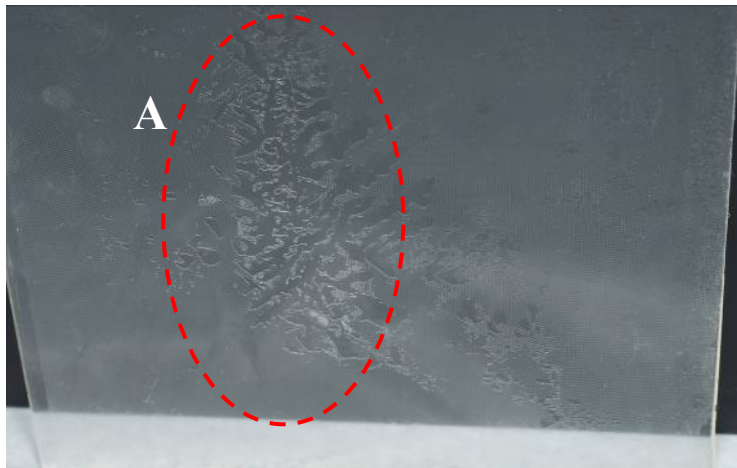
(c) X120

(d) X350

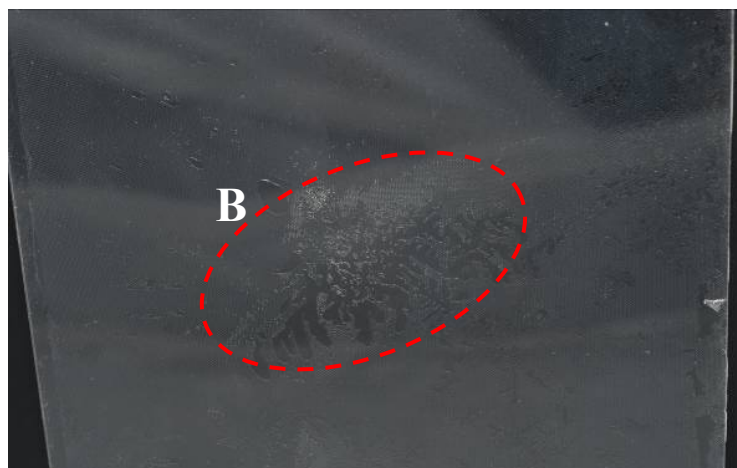
圖 4-17 244 mm × 183 mm 之 PMMA 基板壓印結果 SEM 圖
(紅色虛線包圍區域即為氣泡成型缺陷處)



(a)



(b)

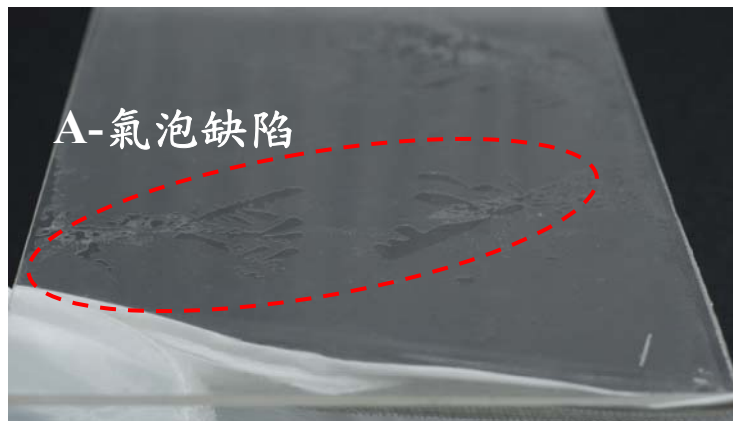


(c)

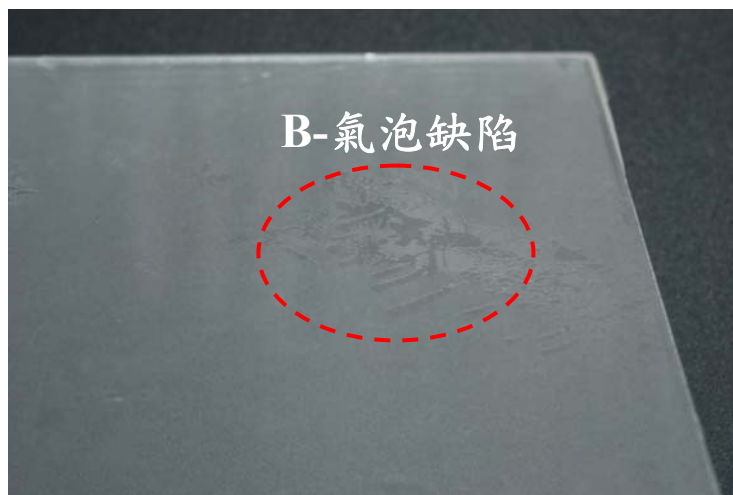
圖 4-18 266 mm × 150 mm 之 PMMA 基板壓印結果一
(紅色虛線包圍區域即為氣泡成型缺陷處)



(a)

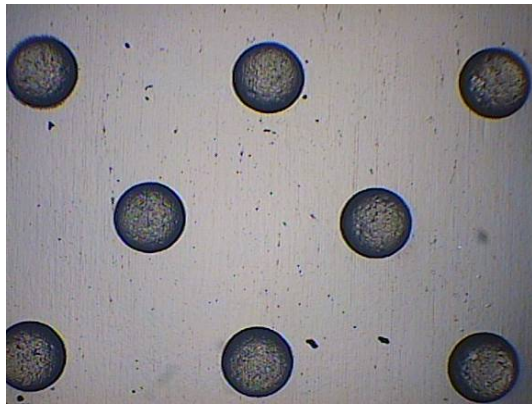


(b)

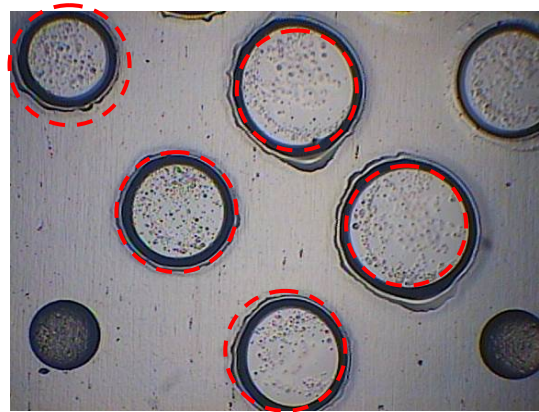


(c)

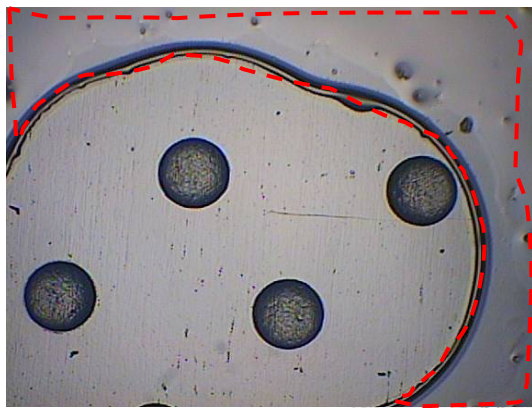
圖 4-19 266 mm × 150 mm 之 PMMA 基板壓印結果二
(紅色虛線包圍區域即為氣泡成型缺陷處)



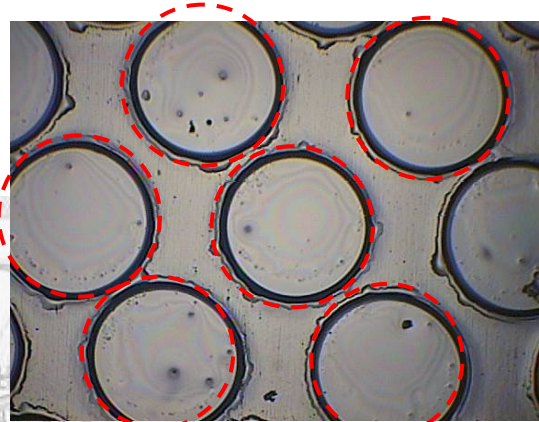
(a)結構完整區



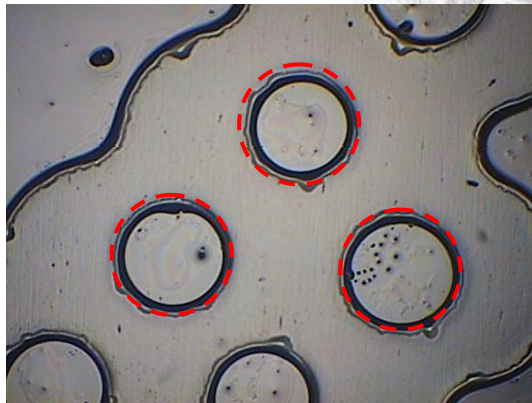
(b)結構完整區



(c)缺陷區域



(d)缺陷區域

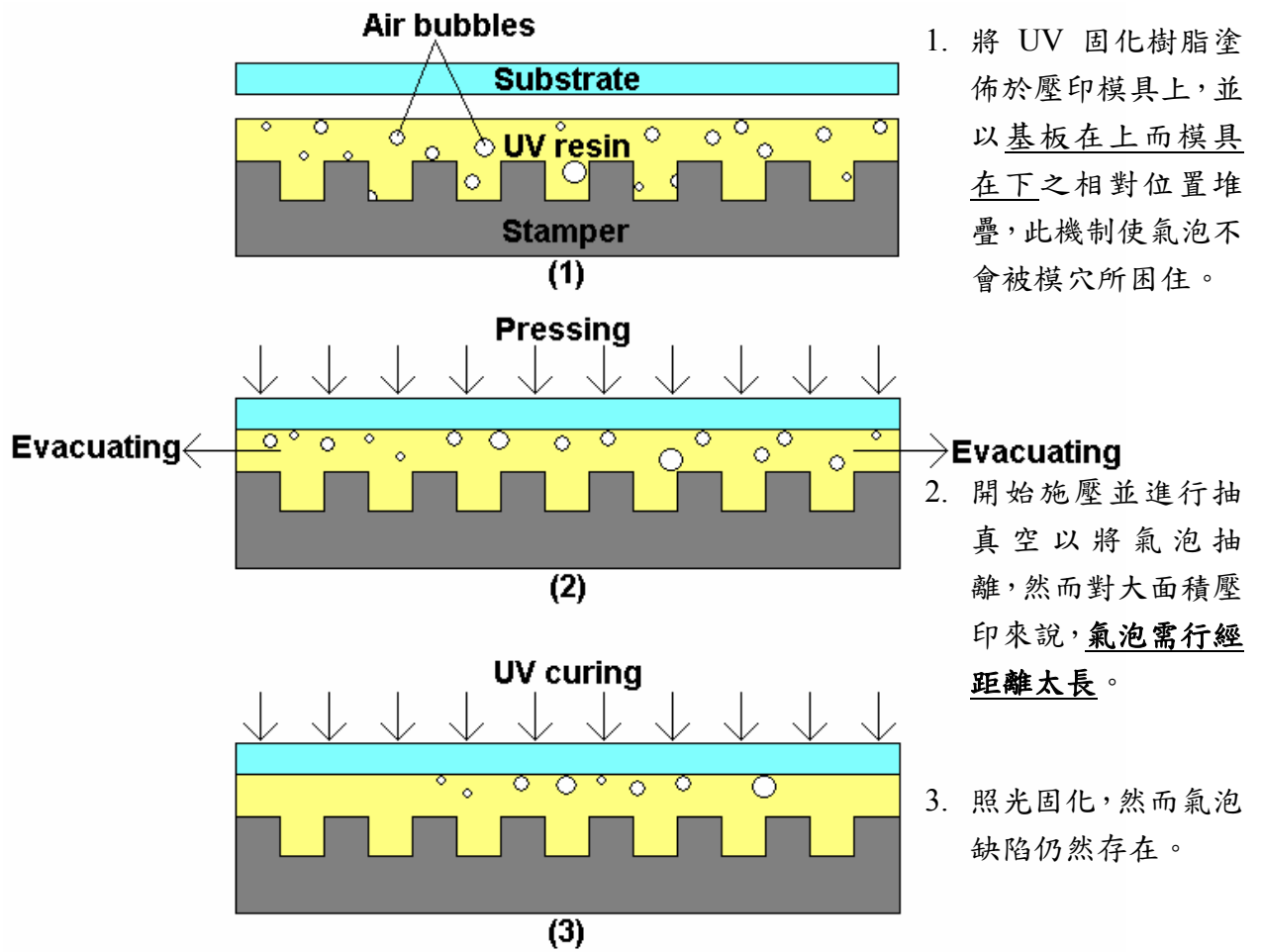


(e)缺陷區域



(f)缺陷區域

圖 4-20 266 mm × 150 mm 之 PMMA 基板壓印結果 OM 圖
(紅色虛線包圍區域即為氣泡成型缺陷處)



1. 將 UV 固化樹脂塗佈於壓印模具上，並以基板在上而模具在下之相對位置堆疊，此機制使氣泡不會被模穴所困住。

2. 開始施壓並進行抽真空以將氣泡抽離，然而對大面積壓印來說，氣泡需行經距離太長。

3. 照光固化，然而氣泡缺陷仍然存在。

圖 4-21 改變壓印方向之反轉式壓印氣泡缺陷形成示意圖

第五章 改良式大面積微結構壓印製程之探討

本章承第四章研究結果，為進一步改善氣泡缺陷問題，設計開發一可動式基板載具(substrate holder)並裝置於壓印模腔中，以改善氣泡成型缺陷。主要內容分為四部分：第一部分，說明改良式壓印製程的原理；第二部份則詳細說明彈簧式基板載具的設計開發及功能；第三部份為改良式壓印製程之設備介紹以及改良式壓印製程的方法；最後則是利用改良式壓印製程的實驗結果以及對氣泡缺陷改善之探討。

5.1 改良式壓印製程原理

本研究導入反轉式壓印技術並改變壓印方向，亦即使用基板(上)對模具(下)進行壓印的動作(圖 4-3)並結合抽真空的機制來達成大面積無氣泡(bubble free)壓印需求。然而，由第四章實驗結果顯示，氣泡缺陷問題仍然存在，原因歸咎於抽真空沒有辦法有效地將氣泡抽離整個大面積壓印區域，微觀來說，氣泡要被完全抽離需行經非常長的距離。因此，為完全改善氣泡缺陷問題，需改良本實驗的壓印機制與抽真空機制。如圖 5-1 所示，本實驗改善壓印機制，在抽真空開始到結束前這段時間，讓壓印基板與塗佈有 UV 固化樹脂的壓印模具之間皆保持著一定的間隙(gap)，在抽真空這段時間內，UV 固化樹脂中含有之氣泡因為壓力差(模腔內壓力與氣泡內壓力)與密度差(氣體密度小於 UV 固化樹脂之密度)能夠逐漸浮上 UV 固化樹脂之液面並且輕易地從液面被抽離，而不用行經非常長的距離，最後，待抽真空結束再進行壓印的動作。經由改良原有壓印機制與抽真空機制，預期能夠有效解決大面積氣泡缺陷的問題，並達到無氣泡的大面積壓印成品。因此，為符合上述需求，本研究進一步設計、開發、製作一彈簧式基板載具，彈簧式基板載具詳細設計與功用將於下一節介紹。

5.2 彈簧式基板載具之設計與開發

為進一步解決大面積壓印成型氣泡缺陷問題，本實驗設計、開發、製作一彈簧式基板載具。考量載具需要高強度及重量輕等特性，使用鋁 6061 合金作為載具之材質。如圖 5-2 所示，為不更動原有上模腔之設計與加工，以及配合 UV-LED 燈有效照光區域，設計基板載具最外部尺寸為 300 mm × 220 mm，內部可承載基板最大尺寸約為 250 mm × 205 mm。另外，改善下模腔設計如圖 5-3 所示，使基板載具可於下模腔中上下移動。如圖 5-4 所示，彈簧式基板載具主要由鋁合金基板載具、鋁合金導柱、彈簧組裝而成，其中彈簧在基板載具的功用中扮演一個相當重要的角色。彈簧主要功能有二，首先是在上下模腔合模且壓印動作開始前，能夠使基板與壓印模具間維持固定距離(gap)而不碰到，讓抽真空的效率更為提高；第二項功能是能夠在壓印結束後且上模腔氣體洩壓時，分離模具與基板。因為此時彈簧沒有受外力作用而壓縮，會恢復其自由長度，也就是使基板載具回到原來高度。若模具(stamper)能有效固定於下模腔之模具載具上，將可以在彈簧恢復其原來狀態時，自動分離模具與基板，即自動脫模。

5.3 改良式壓印製程設備與相關材料

5.3.1 壓印設備

本章為改善氣泡成型缺陷，另設計一可動式基板載具裝置於壓印模腔中，以改善原有製程之缺點。為進行改良式大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印實驗，設備包含壓印螺紋鎖固式大面積壓印模腔（圖 5-5）、可動式基板載具、LED-UV 燈、氣體壓力鋼瓶、真空幫浦與空壓機。除了可動式基板載具與空氣壓縮機外，其餘設備與第四章所使用之設備皆同。以下針對改良式基板載具之設計與功用，以及空氣壓縮機之功能作一介紹。

(6) 空氣壓縮機：如圖 5-6 所示，空壓機可與照光步驟完成時，於下模腔灌入氣體

以分離模具與基板。

- (7) 彈簧式基板載具(gap-retained holder)：為避免模具及基板在模腔未合模時就互相接觸而遭成氣體包封，因此設計一組以彈簧驅動之基板載具(holder)，此載具之設計預期可避免模具及基板在模腔未合模時即接觸（如圖 5-7 所示），如此可促使塗佈於模具上之 UV 固化樹脂中的氣泡能夠在下模腔抽真空時被抽離。此外，此機構亦預期有助於脫模。

5.3.2 壓印模具

本實驗使用與第四章實驗相同之不銹鋼板模具，但為配合使用彈簧式基板載具，將壓印模具尺寸改為 270 mm × 195 mm × 0.8 mm，壓印模具上同樣具有以濕蝕刻法所製作出之微孔陣列結構，平均蝕刻深度約為 8 μm，蝕刻孔徑約為 120 μm，如圖 5-8 所示。

5.3.3 壓印基板(substrate)與紫外光固化樹脂(UV-cured resin)

為配合所使用之壓印模具大小以及彈簧式基板載具可承載基板大小之限制，本實驗使用尺寸為 230 mm × 203 mm × 0.8 mm 之透明壓克力板(PMMA)為壓印基板，如圖 5-9 所示。另外，本實驗使用之 UV 樹脂與前一章實驗相同，並同樣使用手動刮刀塗佈之方式將其塗佈於不銹鋼壓印模具上。

5.3.4 壓印成型參數

根據本論文第三章與第四章實驗結果，本章實驗同樣將大面積壓印成型所需氣體壓力設定為 2 kgf/cm²，持壓時間設定為 120 秒，抽真空時間設定為 60 秒以及 UV 光照時間設定為 20 秒。

5.3.5 壓印製程步驟

本實驗為達到均勻的加壓效果，使用氣體輔助壓印及紫外光固化成型原理，當上下腔模閉合，PMMA 基材與壓印模具上的 UV 固化樹脂接觸時，便可預先灌入些許氣體直接施壓，使得模具上的導光板結構圖案緊密接觸 PMMA 基材，以便將結構複製至基板上，而非使用一般傳統壓印方式的剛體對剛體施壓，之後再輔以紫外光照射固化光阻劑，使得結構成型。整個 UV 氣體輔助壓印固化製程如圖 5-10 所示，可分為備料、合模對位、下模腔抽真空、上模腔氣體加壓與保壓、紫外光照射固化、下模腔氣體灌入脫模、洩氣、開模取出成品。壓印步驟依序說明如下：

- (a) 將塗佈有 UV 固化樹脂的不鏽鋼板模具放置於下模腔中的模具載具上，再將 PMMA 基板置於彈簧式的基板載具上，兩者依相對位置堆疊組合後，放置在壓印模腔之中央位置。
- (b) 接著使用 PET 密閉膜覆蓋在此模具與基材堆疊的組合上，並鎖上模腔，使其成為一密閉空間，下模腔開始抽真空將 UV 固化樹脂內所含氣泡及下模腔內之殘留氣體抽離。
- (c) 抽真空結束後，上模腔通入高壓氮氣，經由壓力控制閥將氣體壓力調至設定的成型壓力，此時壓力會施加於彈簧式基板載具上，進而帶動基板下降與模具完全接觸，此時模具上的 UV 樹脂微結構因受壓印力而開始往 PMMA 基板複製，多餘的 UV 樹脂則會排出。待保壓一段時間使其完全複製後，開始進行紫外光照射固化，此時氣體需持續保壓，依 UV 固化樹脂的固化性質照射一定的固化劑量。
- (d) 當完成紫外光照射固化微結構壓印複製的過程後，上模腔繼續保壓，下模腔破真空並由空壓機灌入氣體以分離模具與基板，接著再由壓力控制閥分別將上下模腔之高壓氣體洩出。當上模腔之高壓氣體洩出後，此時彈簧式基板載具處於沒有受力的狀態下，會回到其原來高度，同時帶著 PMMA 基板上升，

達到自動將模具與基板分離的目的。接著再打開模腔，即可取出成品。

5.4 壓印結果與討論

5.4.1 大面積壓印結果

如圖 5-11 所示，在適當的成型參數下（氣體壓力設定為 2 kgf/cm^2 、持壓時間設定為 120 秒、UV 光照時間設定為 20 秒，下模腔抽真空），本研究所提出之大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程與設備以及彈簧式基板載具的應用，能夠成功於整片大面積($230 \text{ mm} \times 203 \text{ mm}$)PMMA 基板上複製出微結構，並且沒有明顯的氣泡成型缺陷。實驗結果證明本研究改良反轉式壓印製程的機制，並利用彈簧式基板載具改善抽真空的機制並提升其效率，可有效解決大面積紫外光固化壓印成型的氣泡缺陷問題。另一方面，實驗中運用彈簧式基板載具以及經表面抗沾處理的壓印模具，能夠使壓印結束後，模具與基板能夠自動分離，即自動脫模，無須以手動方式使模具與基板分離，避免施力不均而造成已複製於 PMMA 基板上的微結構脫落或大面積壓印成品翹曲的問題。

5.4.2 微結構複製結果

實驗結果證明所開發之製程可成功將微結構完全複製於 $230 \text{ mm} \times 203 \text{ mm}$ 的 PMMA 基板上，因此，為觀察所複製之微結構尺寸與外型輪廓，本研究利用表面輪廓儀進行量測，圖 5-12 所示為本研究所使用之表面輪廓儀。圖 5-13 所示為複製於 PMMA 基板上之表面輪廓圖，微結構直徑約為 $120 \text{ }\mu\text{m}$ ，高度約為 $8 \text{ }\mu\text{m}$ 。另外由表面輪廓圖也可以看出相鄰的微結構表面輪廓外型並不完全一樣，是因為模具上之微結構係利用濕蝕刻的方式所製作出來，利用濕蝕刻法所製作之陣列微結構，每單一個微結構外型輪廓皆會不太相同，但蝕刻深度卻會較一致。圖 5-14 所示為所複製之微結構 SEM 圖，由圖中可看出複製之微結構成型性相當好且外型完整，再次證明本研究所開發之製程用於大面積微結構複製的可行性。

5.4.3 大面積微結構複製均勻性與高度轉寫性

針對大面積微結構複製結果之均勻性，本研究將整個大面積(230 mm × 203 mm)的壓印成品劃分為九個區域(圖 5-15 所示)，再以表面輪廓儀於每個量測區域隨機量取 30 顆微透鏡之直徑與高度，以比較各區域微結構複製均勻性以及高度轉寫性。表 5-1 所示為九個量測區域微透鏡直徑之複製均勻性，結果顯示九個區域在微透鏡直徑橫向的複製均勻性極佳，而整個大面積區域的平均直徑為 119.77 μm(標準差為 1.33 μm)，相較於原始壓印模具之微孔洞平均直徑 120.5 μm，成型誤差約只有 0.61%。表 5-2 所示為九個量測區域微透鏡高度之複製均勻性，顯示九個區域之高度複製均勻性非常好，平均複製高度為 7.886 μm，且全區域微透鏡高度轉寫率高達 99.2%，證明本研究運用反轉式壓印技術能夠有效地提升微結構高度的轉寫性。因為反轉式壓印機制是將 UV 固化樹脂先塗佈於模具上，使樹脂先完全充填進模具上之微結構模穴中再進行壓印動作，因此壓印製程參數對於微結構轉寫性影響不大，不同於一般紫外光固化壓印製程是將 UV 固化樹脂塗佈於基板上，壓印製程參數對微結構轉寫性影響極大。另一方面，也證明了氣體輔助施壓的機制使壓力能夠均勻地施加於整個大面積壓印區域。

另外，由量測到的微透鏡直徑(D)與高度(h)可計算微透鏡的曲率半徑(radius of curvature, R)與焦距(focal length, f)，如 5-1 與 5-2 式，其中 n 為本實驗中所使用之 UV 樹脂之折射率。如表 5-3 所示，計算後，全區域平均微透鏡曲率半徑為 232.1 μm，而平均焦距為 414.46 μm。

$$R = \frac{D^2 + 4h^2}{8h} \quad (5-1 \text{ 式})$$

$$f = \frac{R}{n-1} \quad (5-2 \text{ 式})$$

如圖 5-16 所示為利用表面輪廓儀量測九個區域之微透鏡結構外型輪廓，結果顯示不同區域之微結構表面形貌皆不同，此現象可能是由於不鏽鋼模具在蝕刻微

孔陣列時，所蝕刻出之微孔表面形貌皆不同。但另一方面，此結果也證明了本研究運用反轉式壓印機制能夠完全複製微結構模穴外型輪廓，有效提升微結構的轉寫性與複製性。

5.4.4 大面積壓印成品殘留應力檢測結果

本研究開發之大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程具有室溫、低壓力成型之優點，因此使用應力偏光儀來檢測大面積壓印成品其殘留應力狀況。如圖 5-17 使用的應力偏光儀為國立台灣科技大學機械所之設備，為英國 Sharples 公司生產，產品型號為 COMPACT STRAIN VIEWER (Ref. S-70)。應力偏光儀是利用光彈法 (Photoelasticity method) 的一種光學式全域性應力量測方法，以偏極光 (polarized light) 及雙折射現象檢測成型產品中的殘留應力之分佈狀況，主要是檢測透明之材料，如玻璃、壓克力等。光彈法量測原理如圖 5-18 所示，量測時將待測成品置於偏光鏡與分析鏡間，使用白光光源，當待測成品內部存在殘留應力時即產生光彈條紋，並依據光彈條紋數的多寡來判斷殘留應力的集中程度。

如圖 5-15 所示，同樣將整個大面積壓印成品劃分為九區，分別進行殘留應力的檢測。如圖 5-19 所示，九個區域幾乎沒有觀察到殘留應力，證明本研究結合紫外光固化壓印機制以及氣體輔助施壓機制，使整個壓印製程能夠在常溫、低壓下完成，以及壓印壓力可均勻施加於整個壓印區域，可避免一般大面積微結構光學元件製作方法會產生殘留應力而導致成品翹曲的問題。

5.4.5 微結構光學檢測結果

本研究利用大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印成型製作之大面積微透鏡陣列元件，架設一光學檢測系統量測其光學特性，如圖 5-20 所示，此光學檢測系統的關鍵配件包括：CCD 影像擷取與量測系統、精密三軸移動平台、He-Ne 雷射、光束擴大鏡組、反射鏡與其他支架零件。主要檢測原理是藉由平行雷射光束通過微透

鏡元件後產生聚焦效果，再利用精密移動平台控制量測元件與 CCD 系統的相對位置，進而檢測微透鏡元件的焦距、聚焦光點等特性。

如圖 5-21 所示，經由此光學檢測系統，證實本實驗所製作出之微透鏡之聚焦光點強度分布均勻，且其聚焦平面之聚焦光點相當清晰。另外由光學檢測系統量測其焦距為 $418\ \mu\text{m}$ ，與理論計算值 $414.46\ \mu\text{m}$ 相當接近，誤差約只有 0.2 %。

5.4.6 微結構成品表面粗度檢測結果

為了準確評估微轉印成形結構的表面品質，本研究採用原子力顯微鏡(Atomic Force Microscopy, AFM)進行微結構表面的掃描與表面粗糙度的量測，其型號為 DI-3100 (Veeco Instruments, USA)。如圖 5-22 所示為以原子力顯微鏡掃描所壓印複製出的微透鏡之頂端，並量測其表面粗度之結果。掃描面積為 $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$ ，成品的表面粗度(Ra)平均值為 $1.699\ \text{nm}$ ，顯示此微透鏡陣列聚光性佳、低散射率。

5.5 本章結論

本研究開發大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程，並運用彈簧式基板載具以改善抽真空效率，能成功在大尺寸($230\ \text{mm} \times 203\ \text{mm} \times 0.8\ \text{mm}$)的壓克力基板上複製出微結構陣列，並且沒有明顯的氣泡缺陷，且微結構的複製均勻性以及轉寫性都相當不錯，再次證明本研究所開發之反轉式氣體輔助 UV 壓印製程應用於大面積微結構複製的可行性。

表 5-1 大面積微透鏡直徑複製均勻性

區域	透鏡直徑平均值 (μm)	標準差 (μm)	平均誤差(%)
No. 1	118.780	1.400	1.43
No. 2	119.500	1.265	0.83
No. 3	119.930	2.496	0.47
No. 4	120.100	1.835	0.33
No. 5	120.100	0.001	0.33
No. 6	120.100	2.089	0.33
No. 7	119.260	1.332	1.03
No. 8	120.004	1.310	0.41
No. 9	120.3	2.419	0.17
全區域	<u>119.770</u>	<u>1.733</u>	<u>0.61</u>

$$\text{誤差} = \frac{\text{壓印模具上平均微孔洞直徑} - \text{微透鏡平均直徑}}{\text{壓印模具上平均微孔洞直徑}} \times 100\%$$

表 5-2 大面積微透鏡高度複製均勻性與轉寫性

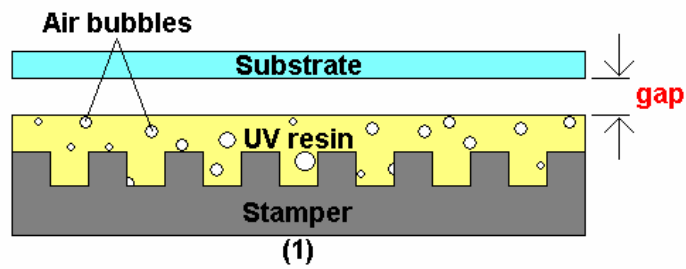
區域	透鏡高度平均值 (μm)	標準差 (μm)	高度平均轉寫率 (%)
No. 1	7.761	0.371	97.6
No. 2	8.124	0.353	102.2
No. 3	7.990	0.370	100.5
No. 4	7.548	0.359	95.9
No. 5	7.896	0.527	99.3
No. 6	7.907	0.427	99.5
No. 7	7.932	0.378	99.8
No. 8	8.030	0.727	101
No. 9	7.733	0.300	97.3
全區域	<u>7.886</u>	<u>0.467</u>	<u>99.2</u>

$$\text{微透鏡高度平均轉寫率} = \frac{\text{微透鏡高度平均值}}{\text{模具微結構平均深度}} \times 100\%$$

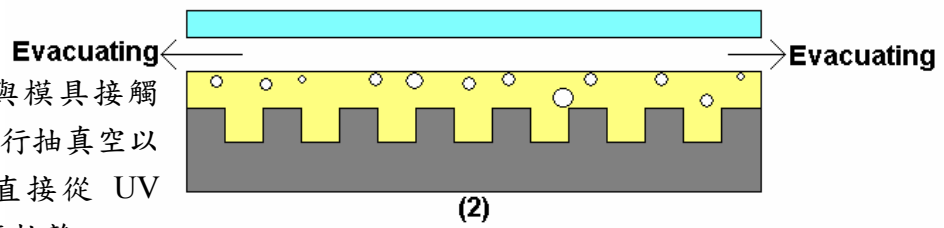
表 5-3 大面積微透鏡陣列平均焦距與曲率半徑

區域	微透鏡曲率半徑平均值 (μm)	微透鏡焦距平均值(μm)
No. 1	413.57	231.60
No. 2	400.30	224.7
No. 3	410.13	229.67
No. 4	434.11	243.10
No. 5	416.77	233.39
No. 6	415.37	232.61
No. 7	408.28	228.64
No. 8	410.37	229.81
No. 9	425.37	238.21
全區域	<u>414.46</u>	<u>232.10</u>

2. 備料階段：將 UV 樹脂塗佈於壓印模具上，同時基板與模具間先保持一間隙 (gap) 而不互相接觸。



3. 在基板與模具接觸前，先進行抽真空以將氣泡直接從 UV 樹脂液面抽離。



4. 抽完真空後，再開始進行施壓動作，接著照光固化以得到無氣泡缺陷之大面積壓印成品。

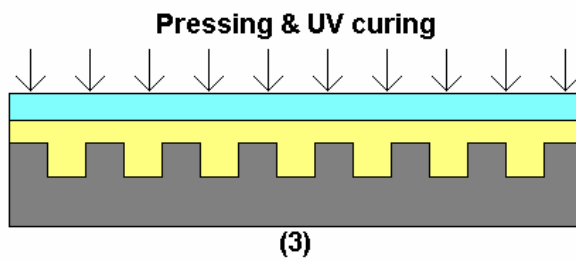


圖 5-1 改良抽真空機制以消除氣泡之示意圖



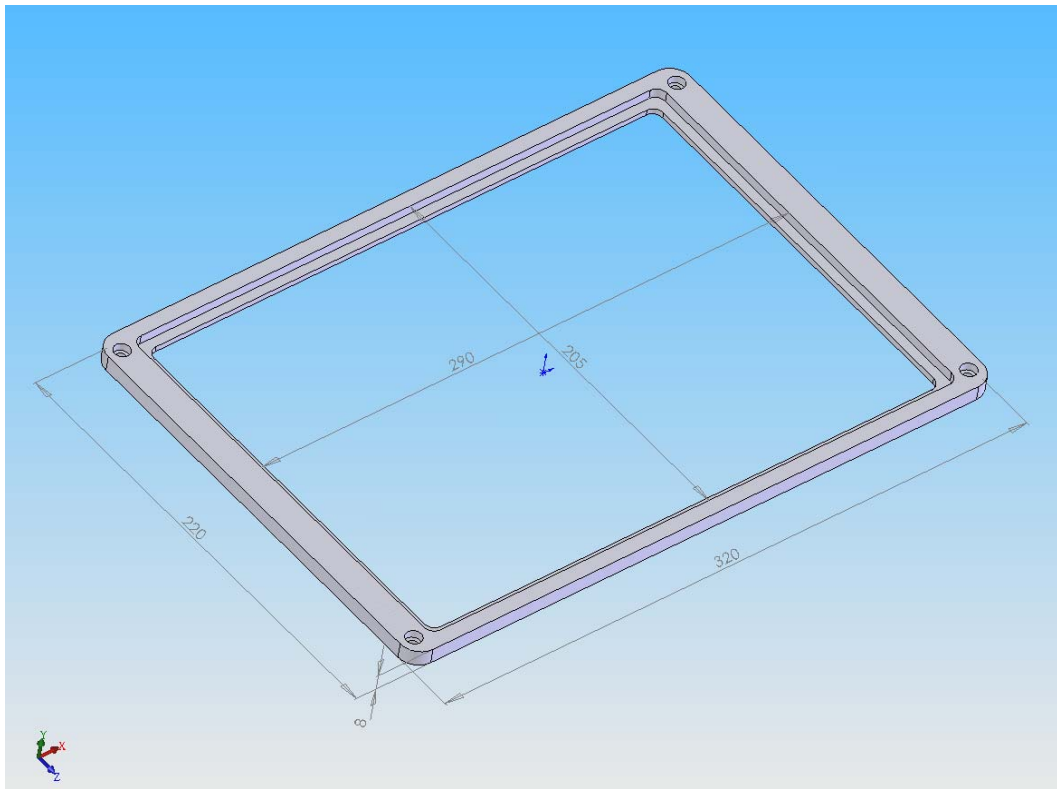


圖 5-2 基板載具尺寸設計圖

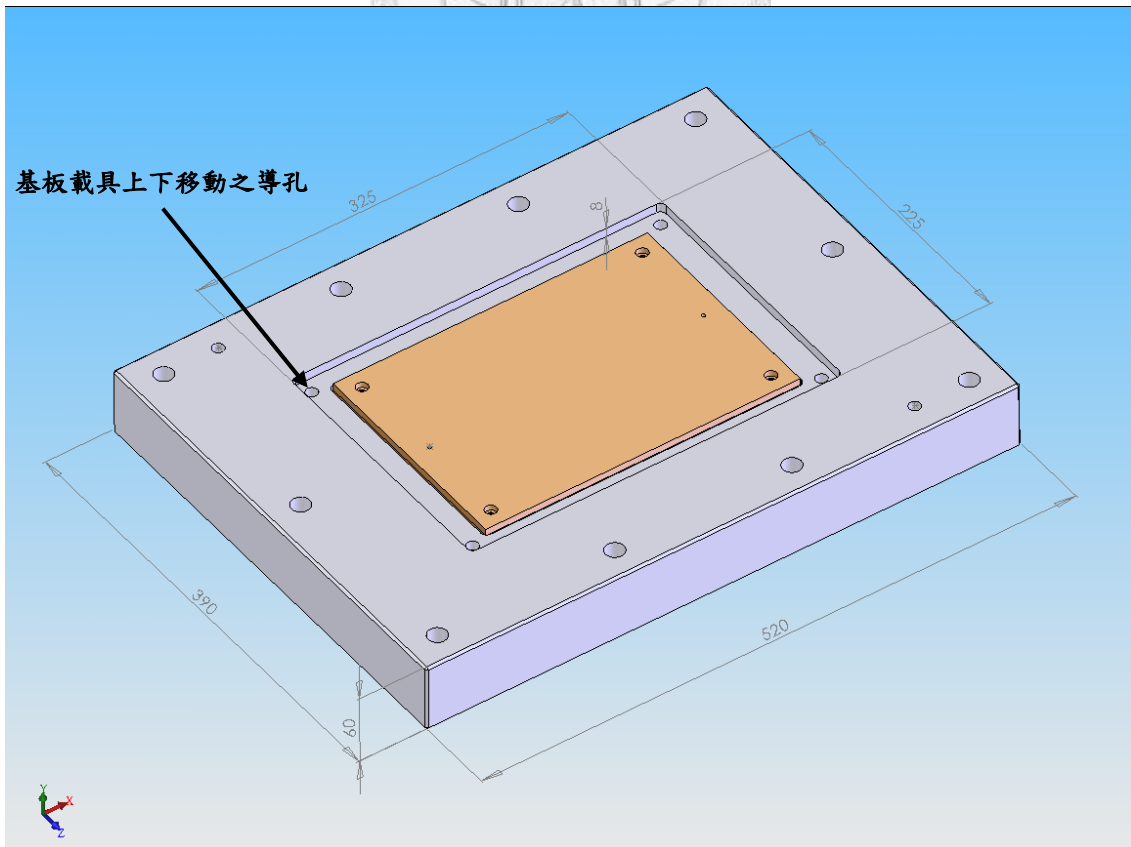
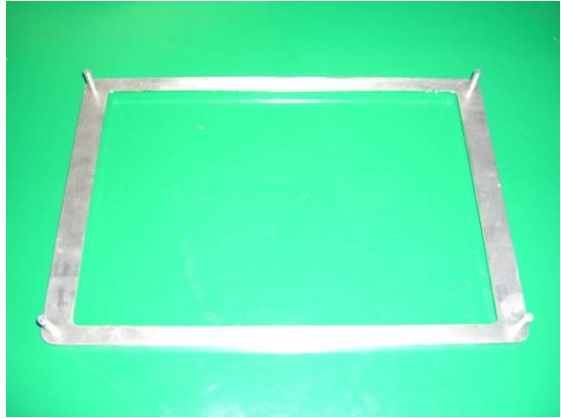


圖 5-3 下模腔設計修正示意圖



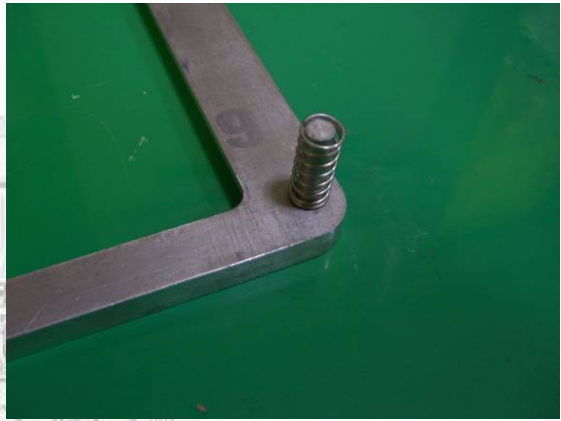
(a) 可動式基板載具上視圖



(b) 可動式基板載具下視圖

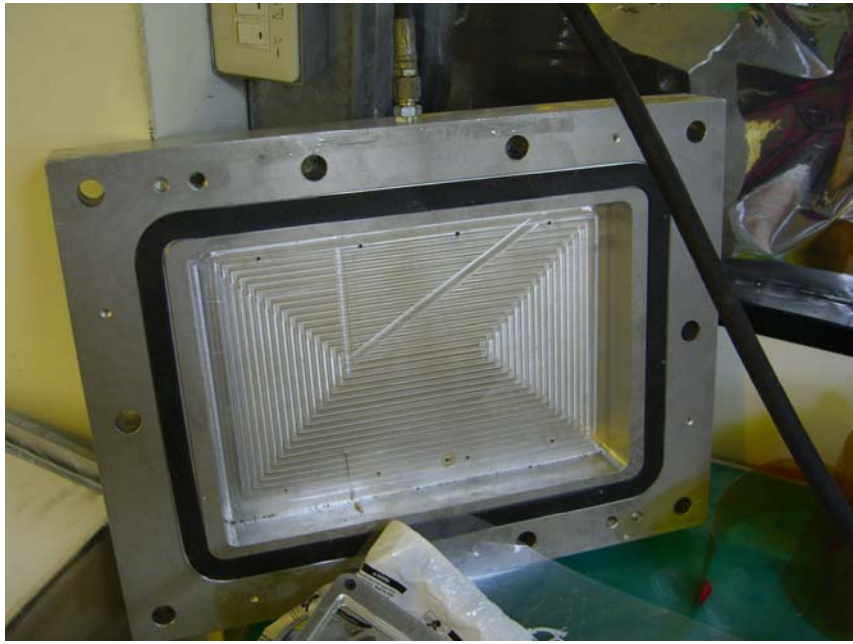


(c)

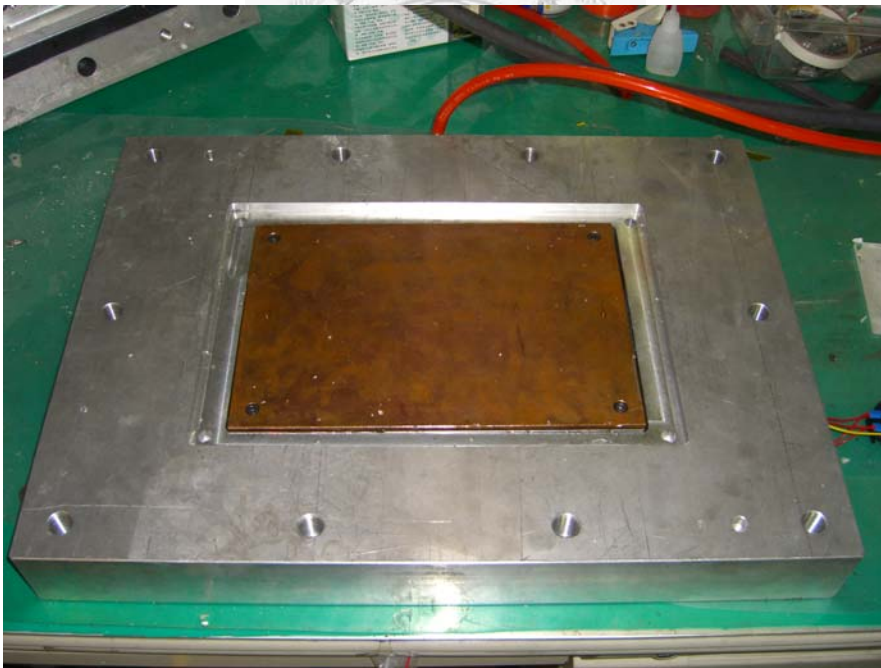


(d)

圖 5-4 彈簧式基板載具實體



(a) 上模腔



(b) 下模腔

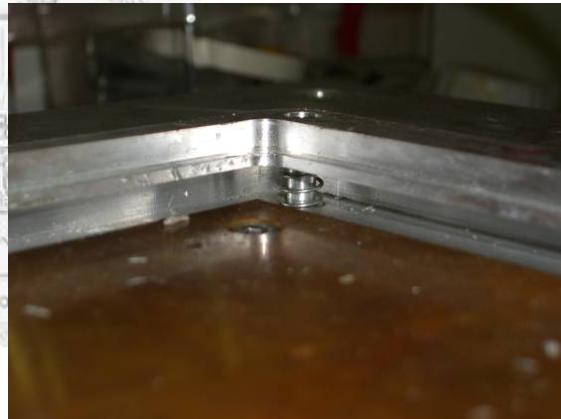
圖 5-5 改良式大面積壓印模腔



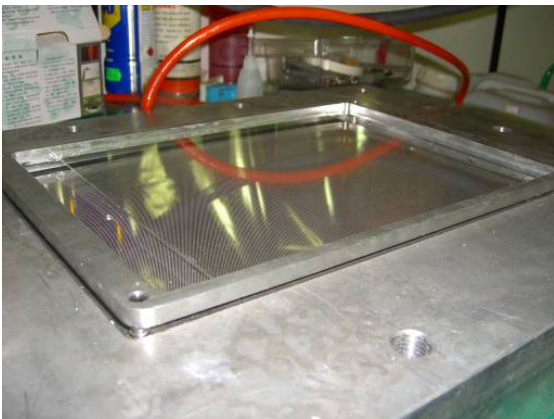
圖 5-6 空氣壓縮機 (JUN-AIR, Denmark)



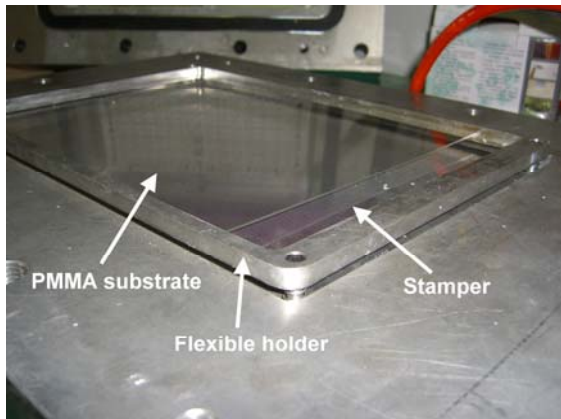
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 5-7 彈簧式基板載具置於下模腔之示意圖

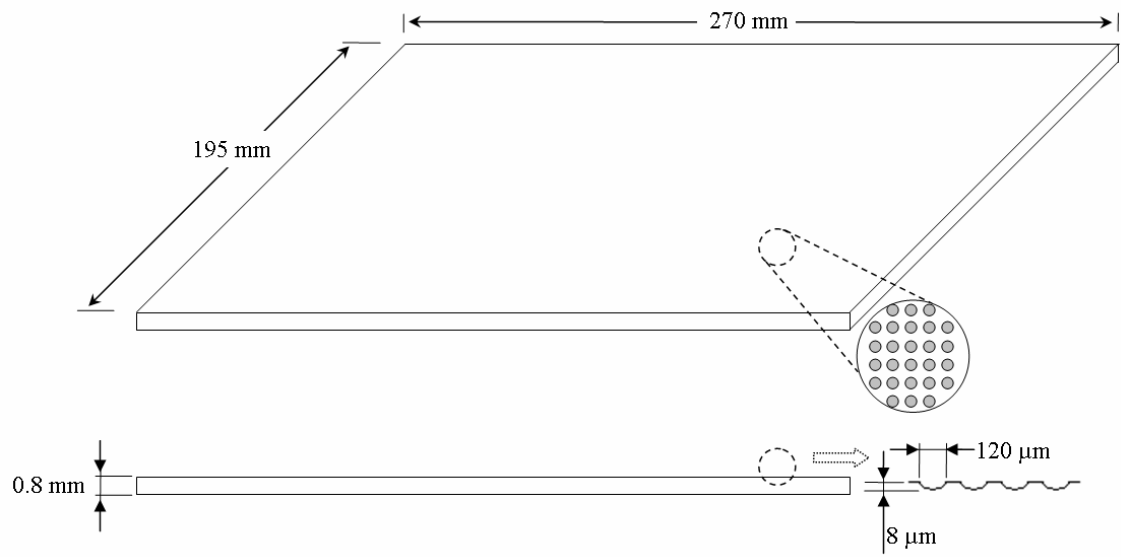


圖 5-8 配合基板載具之不鏽鋼薄板壓印模具尺寸圖

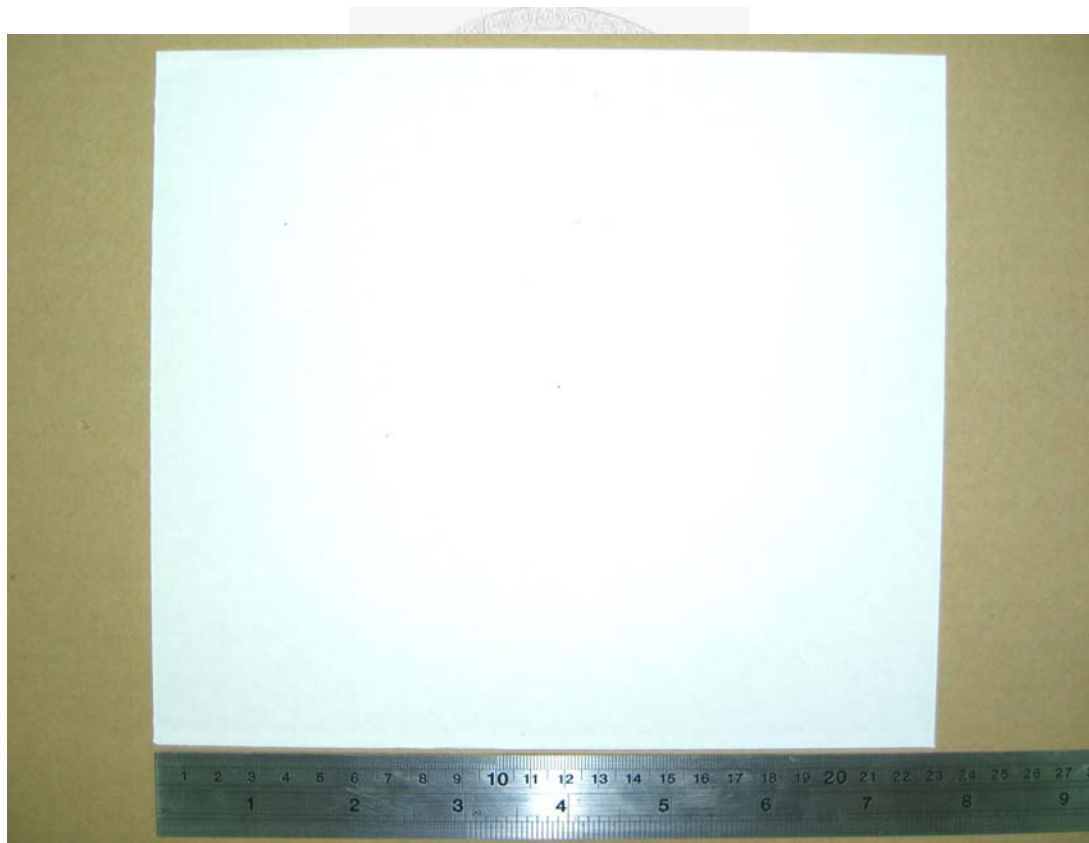
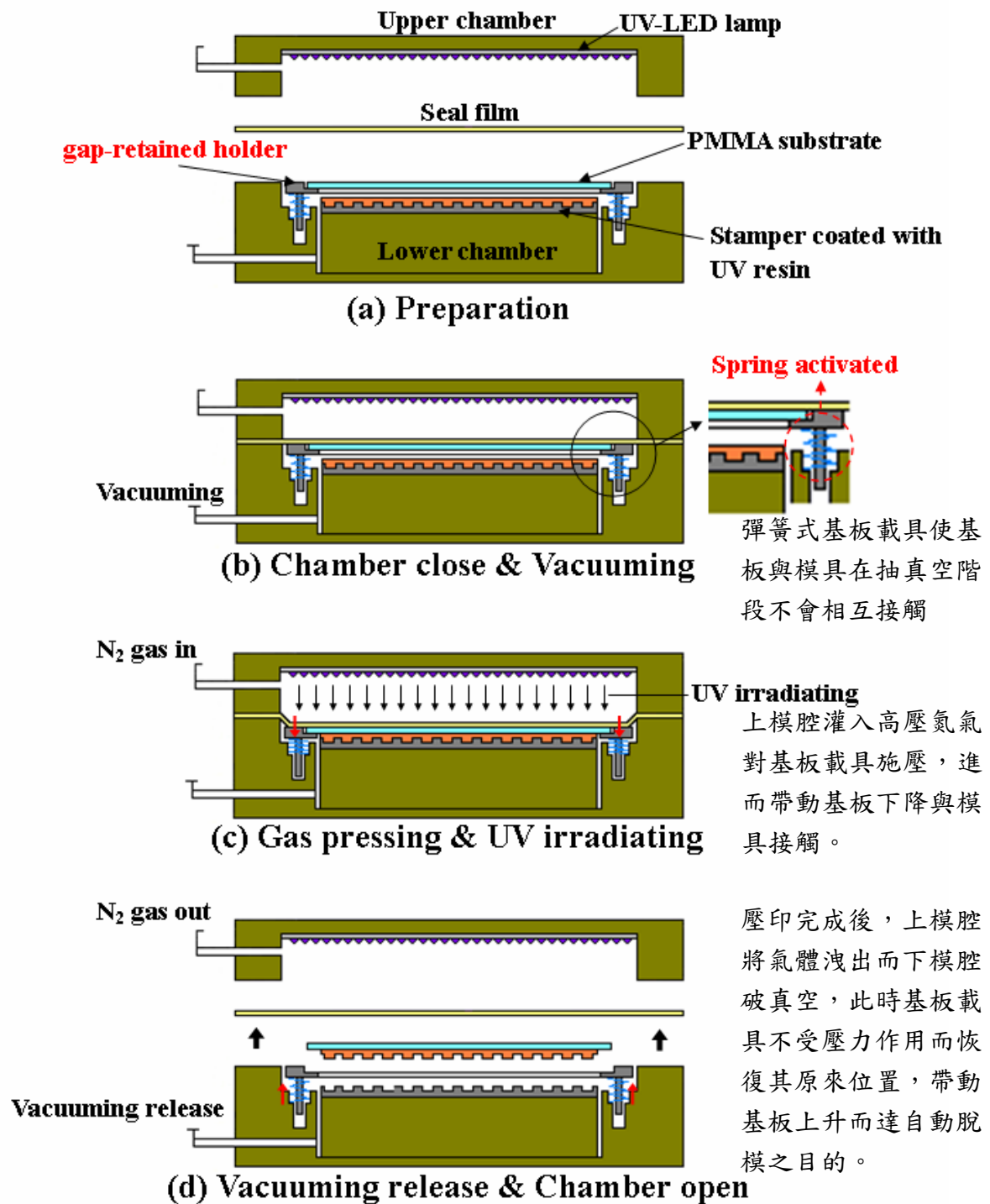


圖 5-9 配合基板載具之大面積壓克力基板(230 mm × 203 mm × 0.8 mm)

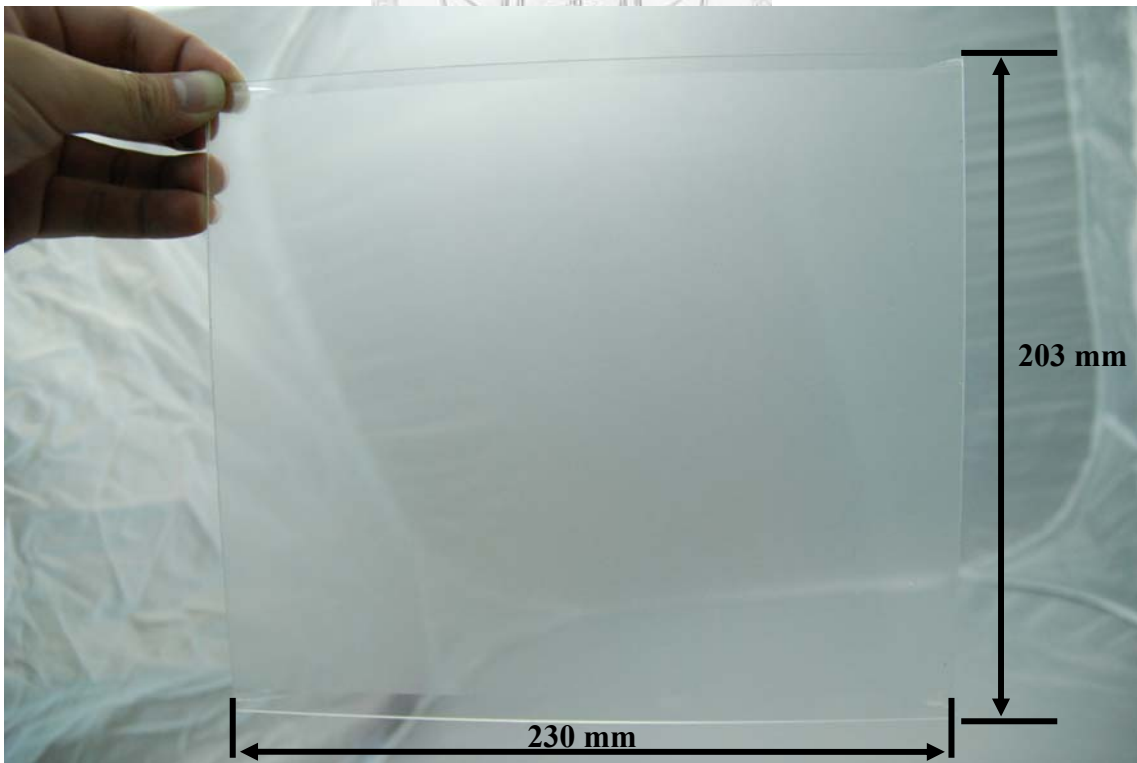
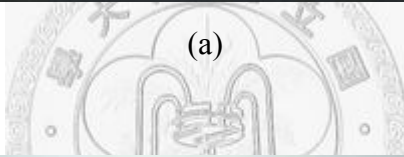
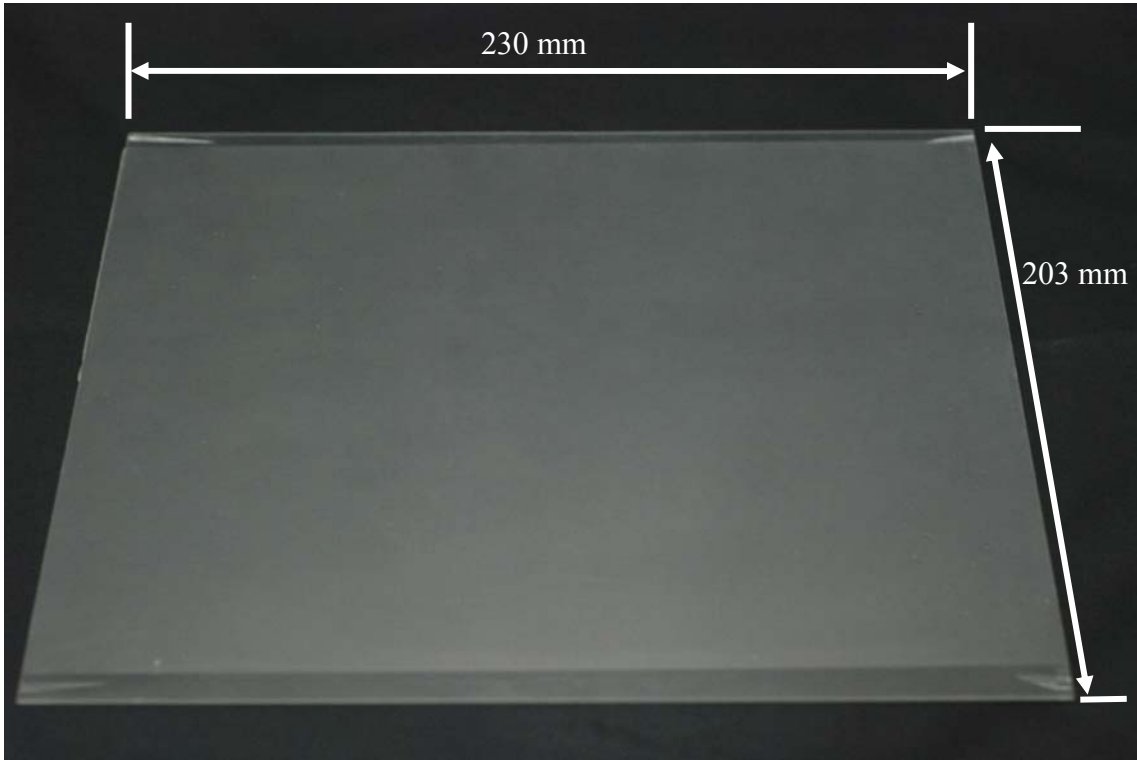


彈簧式基板載具使基板與模具在抽真空階段不會相互接觸

上模腔灌入高壓氮氣對基板載具施壓，進而帶動基板下降與模具接觸。

壓印完成後，上模腔將氣體洩出而下模腔破真空，此時基板載具不受壓力作用而恢復其原來位置，帶動基板上升而達自動脫模之目的。

圖 5-10 使用彈簧式基板載具的改良式壓印製程示意圖



(b)

圖 5-11 230 mm × 203 mm 壓克力基板壓印結果



圖 5-12 探針式表面輪廓量測儀(Surface profiler, Alpha-step 500, TENCOR, USA)

(圖片來源：台灣師範大學機電系)

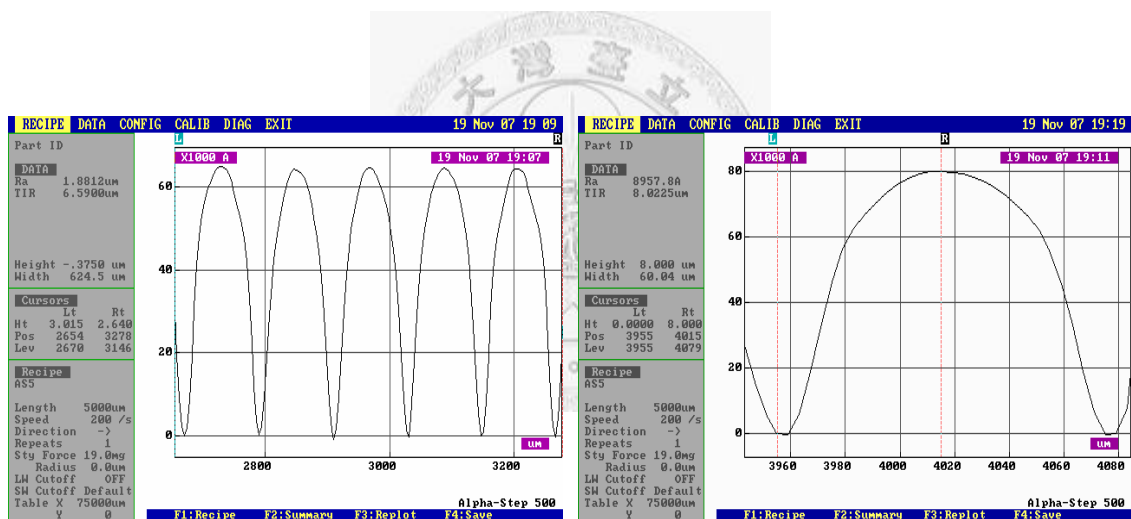


圖 5-13 230 mm × 203 mm 壓克力基板壓印結果表面輪廓圖

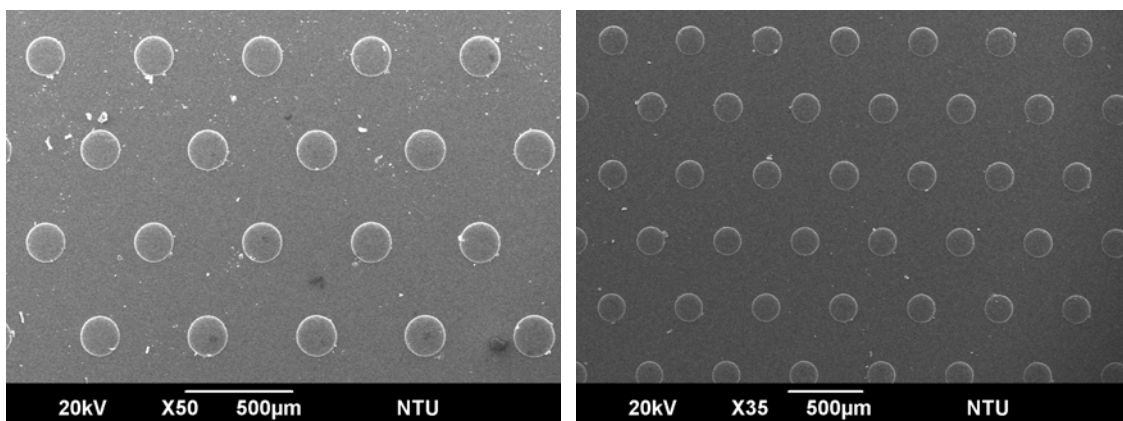


圖 5-14 230 mm × 203 mm 壓克力基板壓印結果 SEM 圖

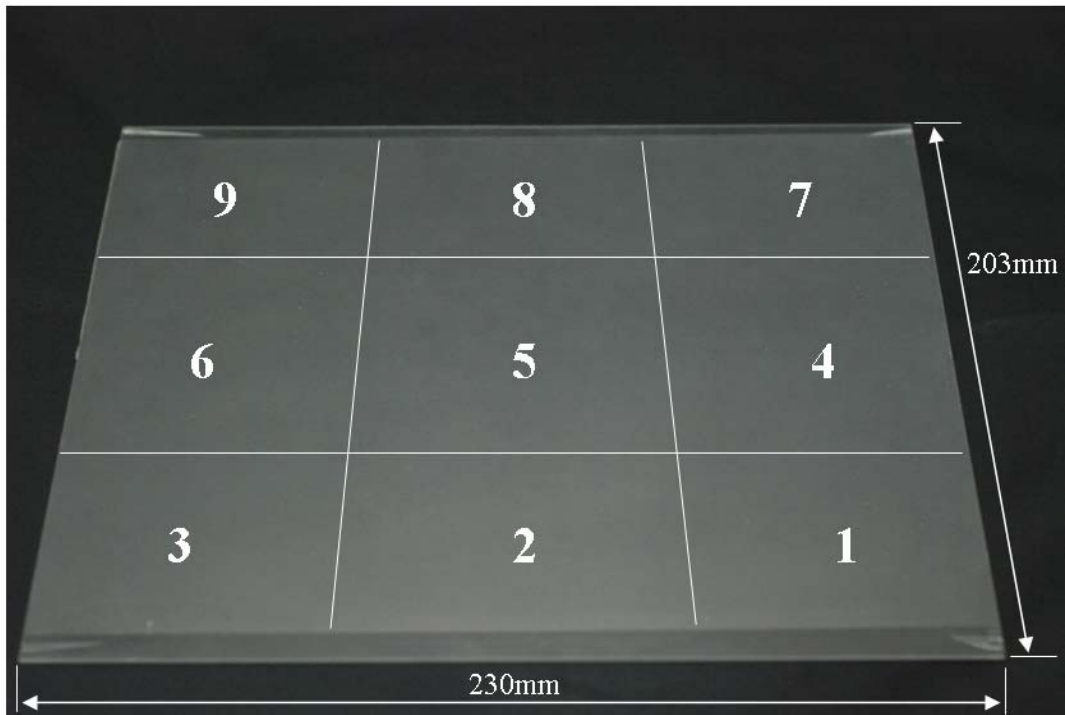


圖 5-15 量測區域劃分示意圖

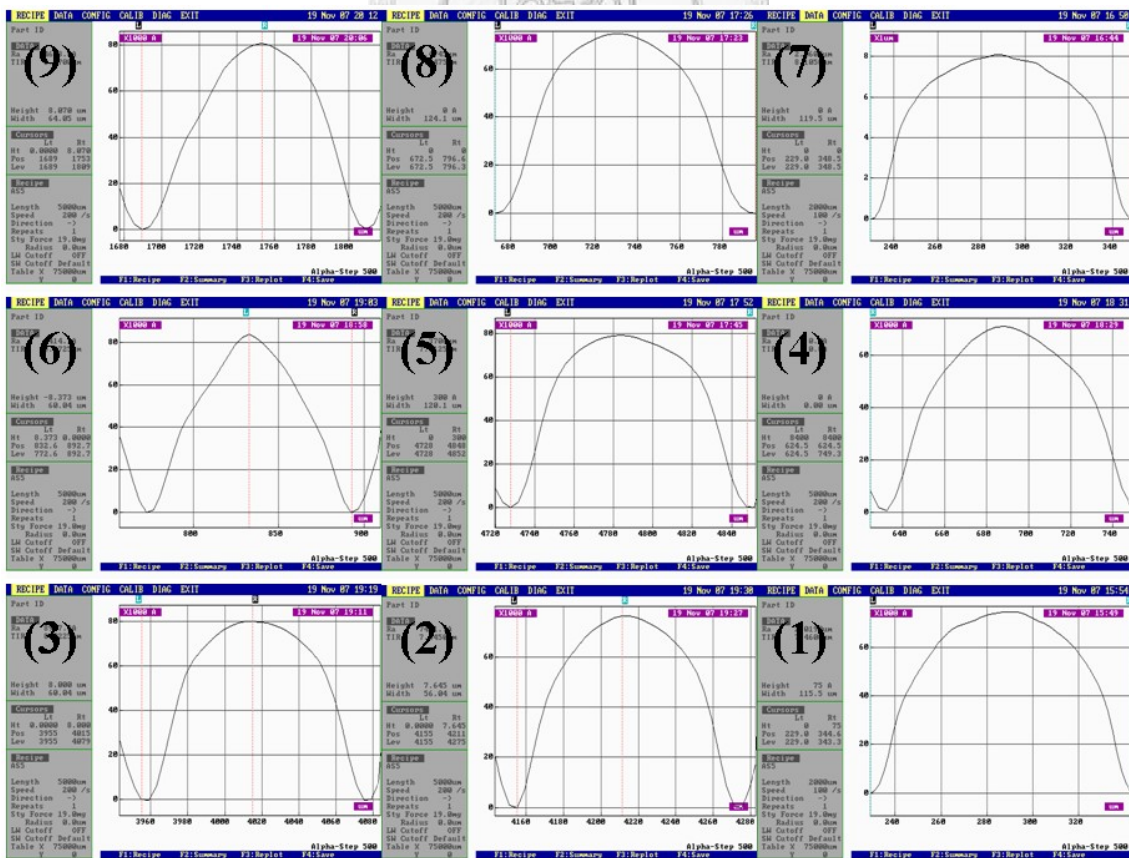


圖 5-16 各區域微結構外型輪廓量測結果

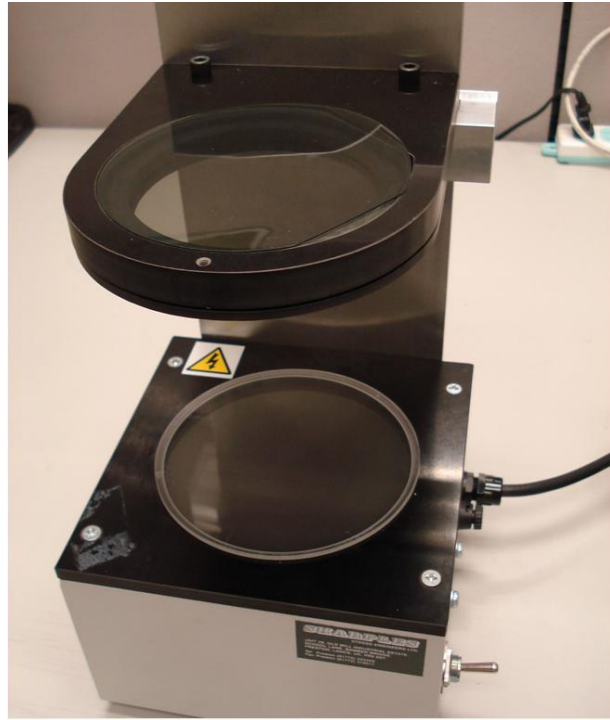


圖 5-17 應力偏光儀(Compact Strain Viewer S-70, Sharples, UK)

(圖片來源：台灣科技大學機械系)

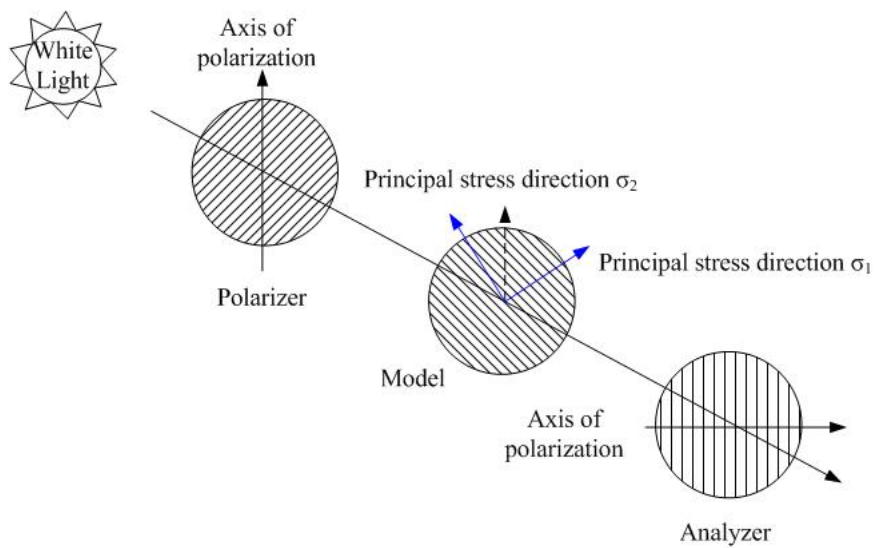


圖 5-18 光彈量測原理示意圖

(圖片來源：台灣科技大學機械系)

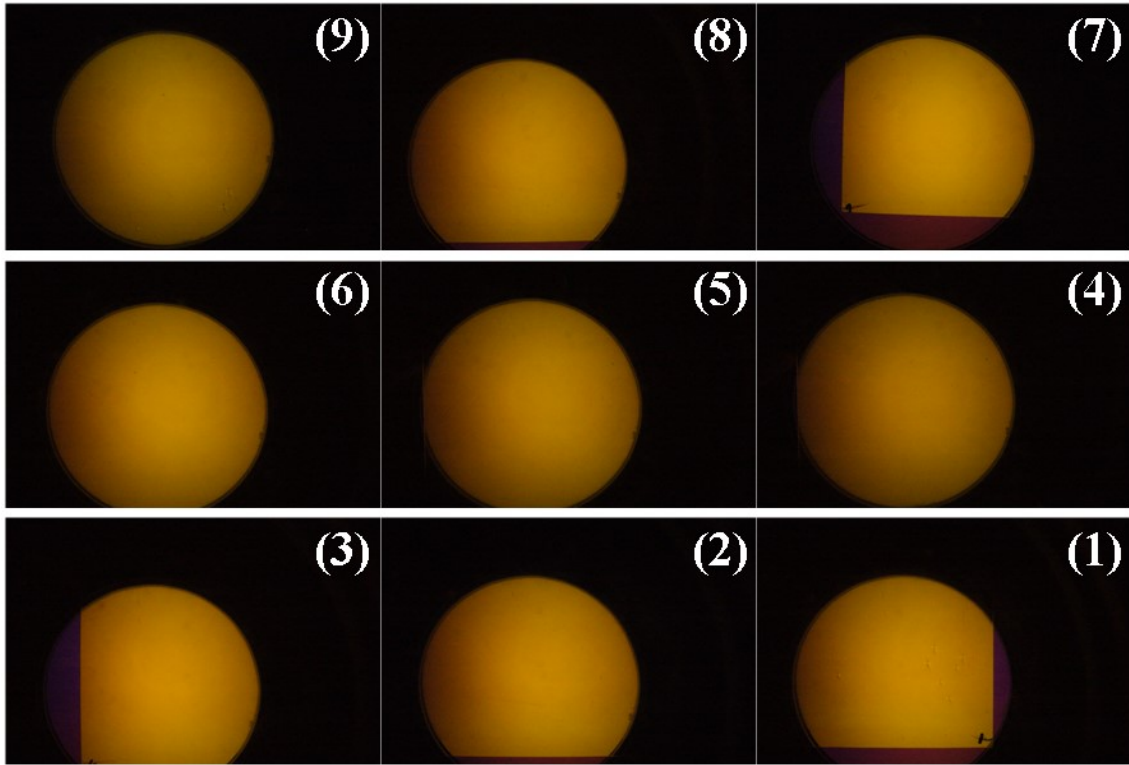


圖 5-19 各區域殘留應力光彈量測結果



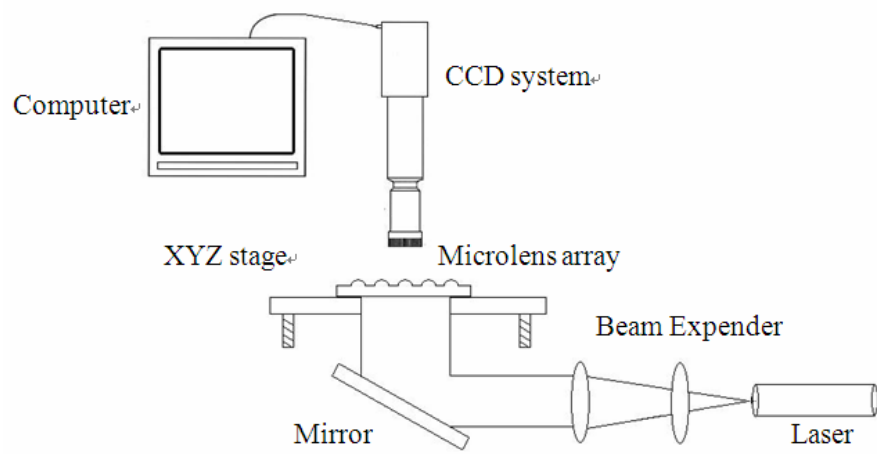


圖 5-20 微透鏡陣列之光學檢測架構示意圖

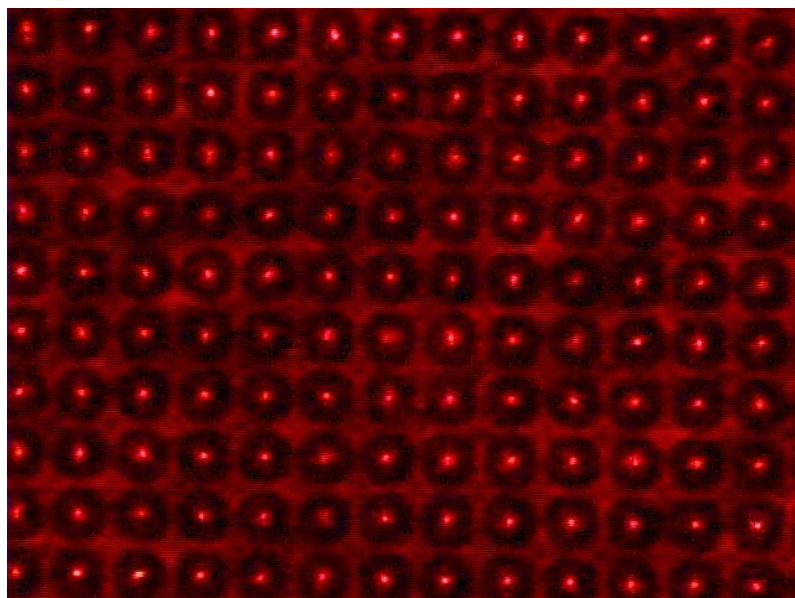
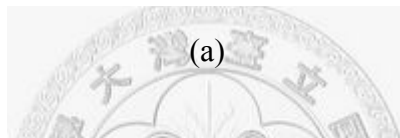
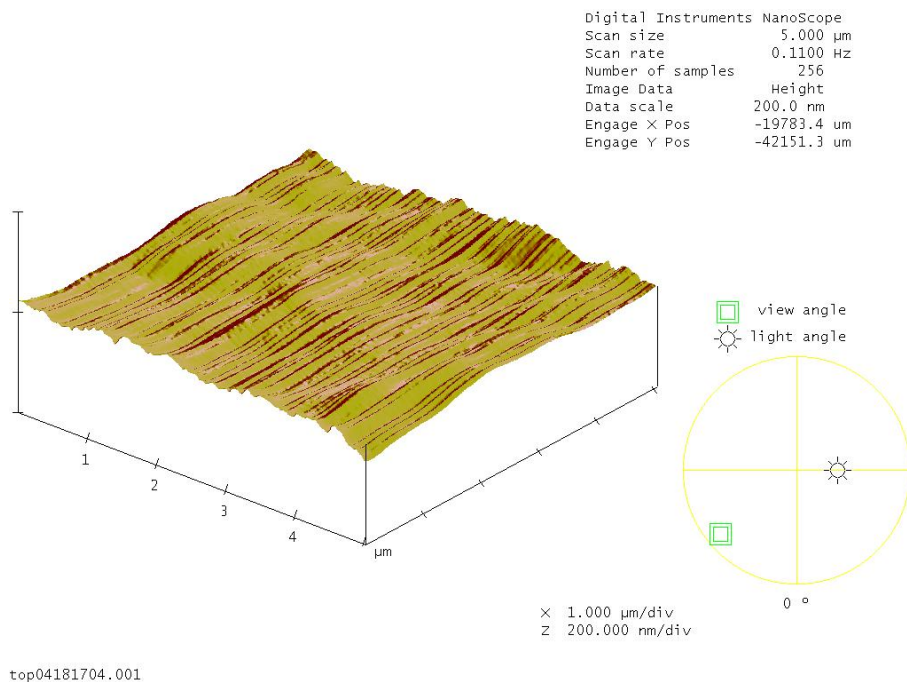
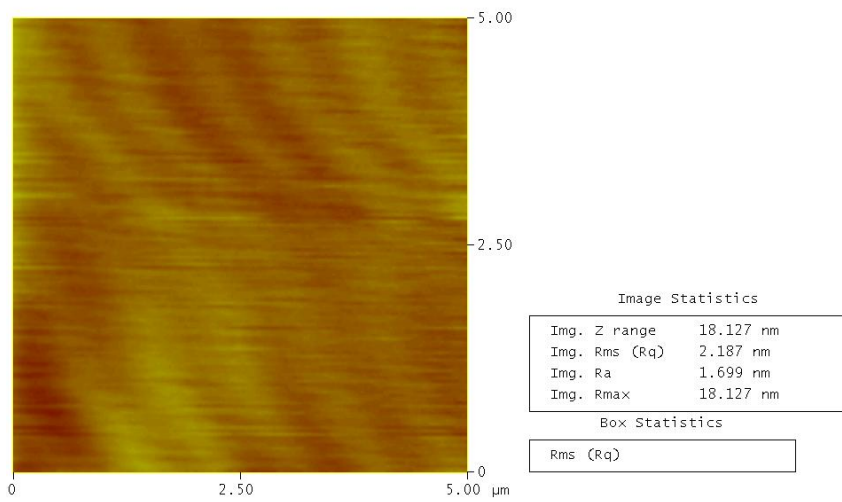


圖 5-21 微透鏡陣列光學檢測 CCD 觀察結果圖



Peak Surface Area Summit Zero Crossing Stopband Execute Cursor

Roughness Analysis



04181414.001
 Peak On Summit On Zero Cross. Off Box Cursor

(b)

圖 5-22 單一微透鏡表面粗度量測 (量測區域面積：5 μm \times 5 μm)

第六章 結論與未來研究方向

6.1 研究成果總結

本研究致力於大面積壓印技術開發，結合紫外光固化壓印成型技術、氣體輔助壓印技術以及反轉式壓印技術進行大面積壓印，提供一個室溫、低壓、快速的大面積微結構複製技術。另外，本研究亦改良反轉式壓印技術來改善整個壓印製程中抽真空的效率，以解決紫外光固化大面積壓印最常見的氣泡問題。最終利用自行設計開發的大面積壓印設備，在大尺寸且厚度極薄（230 mm × 203 mm × 0.8 mm）的壓克力基板進行微結構圖案的複製成型，具體的研究成果包括：

1. 成功開發大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印技術與設備，提供一個「室溫操作」、「低壓」、「快速量產」、「低成本」的大面積微結構複製技術。
2. 利用本研究所開發之大面積壓印技術能夠成功在單次壓印製程中於大面積之壓克力基板上複製出微結構，而複製出之微結構具相當良好的複製均勻性與轉寫性。
3. 為解決傳統紫外光汞燈無法均勻照射固化大面積壓印區域的缺點，本研究設計開發一組陣列式發光二極體之紫外光固化燈具(UV-LED)。實驗結果顯示，所設計開發之陣列式 UV-LED 可成功完全固化大面積的紫外光固化樹脂微結構，證明其應用於大面積紫外光固化壓印成型的可行性。
4. 針對大面積壓印氣泡缺陷問題，本研究利用反轉式壓印技術結合彈簧式基板載具，可改善壓印製程中抽真空的效率。實驗結果證明，能夠成功消除大面積壓印的氣泡缺陷問題，提供一個操作簡單且低成本的氣泡缺陷改善技術。
5. 本研究利用反轉式壓印技術的概念，並改良其壓印機制，可有效提高整個大面積壓印具區域的微結構高度轉寫率達 99% 以上。
6. 成功結合紫外光固化壓印成型與氣體輔助壓印成型的機制與製程特性，本研究所製作出的大尺寸壓印成品沒有明顯的殘留應力與翹曲現象發生。

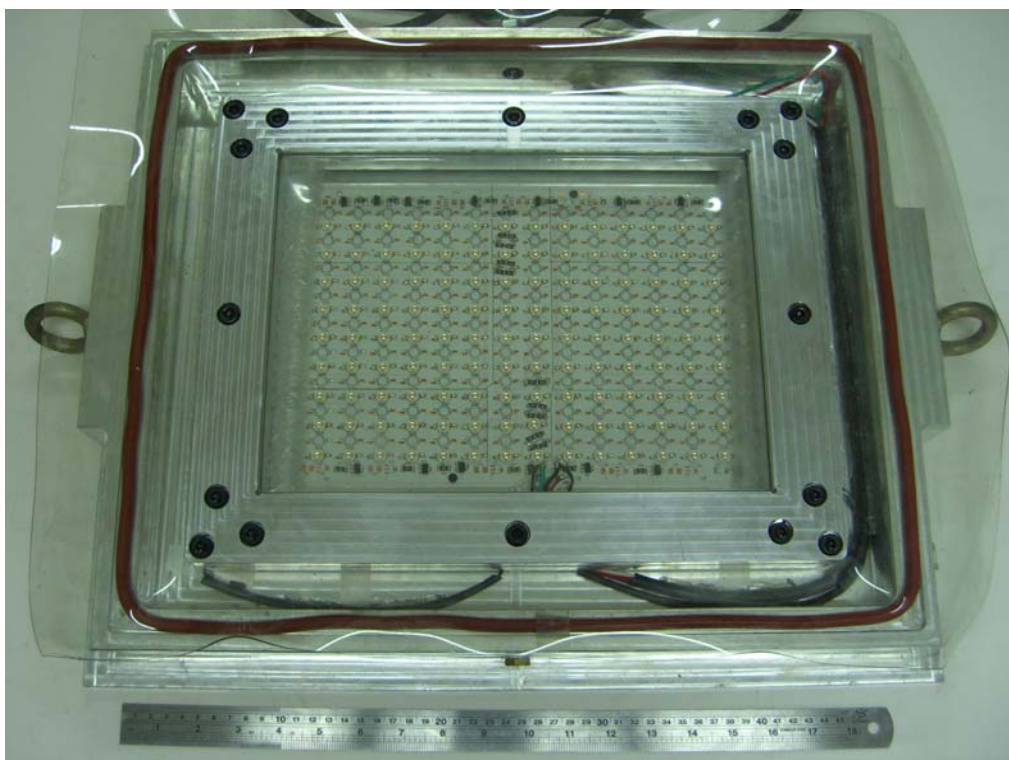
6.2 原始貢獻

- (1) 針對大面積壓印，本實驗室曾利用氣體輔助熱壓技術於 12 吋晶圓上複製出微結構，然而熱壓製程的升降溫時間長，且升降溫的機制會造成微結構的錯位 (mismatch) 以及大面積塑膠基板的殘留應力；另外，微結構的複製性與轉寫性也需藉由精確地控制成型參數來提高。本研究結合紫外光固化成型、氣體輔助壓印成型以及反轉式壓印成型，成功在 230 mm × 203 mm × 0.8 mm 的大尺寸壓克力基板上複製出微結構；紫外光固化成型使製程能夠在常溫下進行，避免了升降溫的熱應力問題，也大幅縮減了整個製程時間；氣體輔助壓印提供一個均勻的壓力施加於整個大面積的壓印區域來提高大面積各區域微結構的複製均勻性，亦可解決施壓不均勻造成大面積薄件壓印成品的翹曲問題；反轉式壓印技術先將紫外光固化樹脂塗佈於模具上，使樹脂能夠先充滿微結構模穴再進行壓印，因此，不必精確地控制相關成型參數，即可使整個大面積微結構的高度轉寫率高達 99%。
- (2) 紫外光固化壓印成型最常見的問題即是氣泡缺陷問題，目前文獻提出氣泡缺陷的改善方法皆只適用於小面積的壓印區域，若應用於大面積紫外光固化壓印製程將大幅提高成本與製程操作的困難。本研究導入反轉式壓印技術，純粹利用氣泡的物理特性配合彈簧式基板載具的運用，成功且有效地解決大面積紫外光固化壓印氣泡缺陷問題，可以得到壓印出的大面積壓印成品沒有明顯的氣泡缺陷。
- (3) 目前國內外紫外光固化壓印成型相關研究，所使用固化光源皆為紫外光汞燈（線光源）無法涵蓋大面積壓印區域，若欲完全固化大面積壓印區域，大尺寸紫外光汞燈的成本勢必提高許多。本研究首度利用陣列式發光二極體之紫外光固化燈具(UV-LED)，並成功固化大面積的紫外光固化樹脂微結構，證明其應用於大面積紫外光固化壓印成型的可行性且可隨著壓印面積的增加，增加 LED 燈的顆數，可以大幅降低成本，亦可以節省能源。

6.3 未來研究方向

隨著顯示器技術的發展，大尺寸薄型顯示器與可撓性顯示器越來越受到重視，其相關光學元件的製造技術也越來越受到重視，越來越多專家或研究團隊投入這塊領域。針對其薄型化的需求，本研究所開發之大面積反轉式氣體輔助 UV 壓印製程的室溫操作、大面積均勻施壓（低壓）、無殘留應力（避免翹曲）、極佳的微結構轉寫率及低成本等特性，非常符合其製造需求，並可朝向更大面積的壓印製程去發展。以下就研究展望與未來工作項目做說明：

1. 延續本研究所開發之創新製程原理，另外設計開發一組有效壓印面積可達 320 mm × 240 mm 的壓印模腔（圖 6-1），並可架設於直立式射出機上進行模腔自動化開合的功能（如圖 6-2 所示），可繼續進行更大壓印面積之相關研究，如嘗試製作光學擴散板、增光膜(brightness enhanced film, BEF)或超薄型導光板、雙面微結構導光板等具微結構之大面積薄型光學元件。如圖 6-3 所示，新設計之壓印模腔，係將彈簧式載具改裝置於上模腔，使其同時具有壓板之功能，利用氣體施壓機制，形同是以一個放大面積的壓板進行施壓，可以涵蓋整個壓印區域。實際利用此新設計之壓印模腔，可壓印出大面積菲涅爾鏡片（圖 6-4）、15 吋顯示器用增亮膜（圖 6-5）以及 15 吋顯示器用之網點式導光板（圖 6-6），進一步證明氣體輔助 UV 反轉式壓印製程應用於大面積微結構元件製作的可行性。
2. 本研究所提出之創新製程原理以及彈簧式載具的運用，可結合氣囊式輔助壓印機制，如圖 6-7 所示，預期可更有效地改善模腔抽真空的效率以改善大面積壓印氣泡缺陷進一步使壓印壓力更均勻分布並有製程自動化脫模的功能。

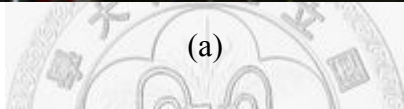
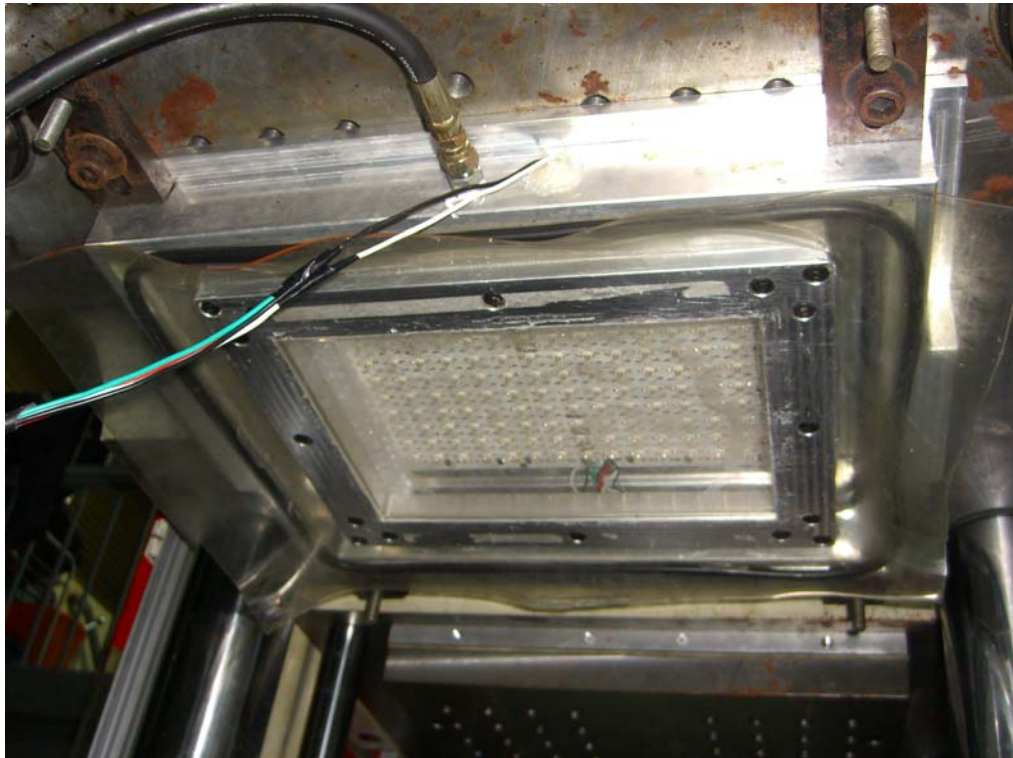


(a) 上模腔



(b) 下模腔

圖 6-1 有效壓印區域大小為 320 mm × 240 mm 的壓印模腔



(b)

圖 6-2 壓印模腔固定於直立式射出機之示意圖

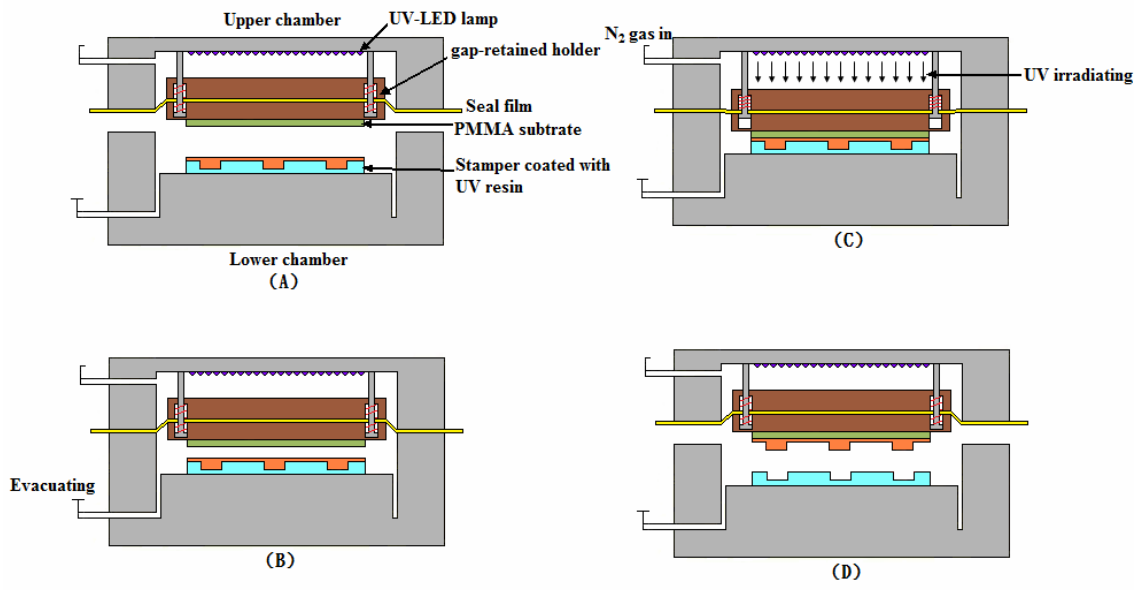


圖 6-3 大面積紫外光固化氣壓壓板式壓印製程示意圖



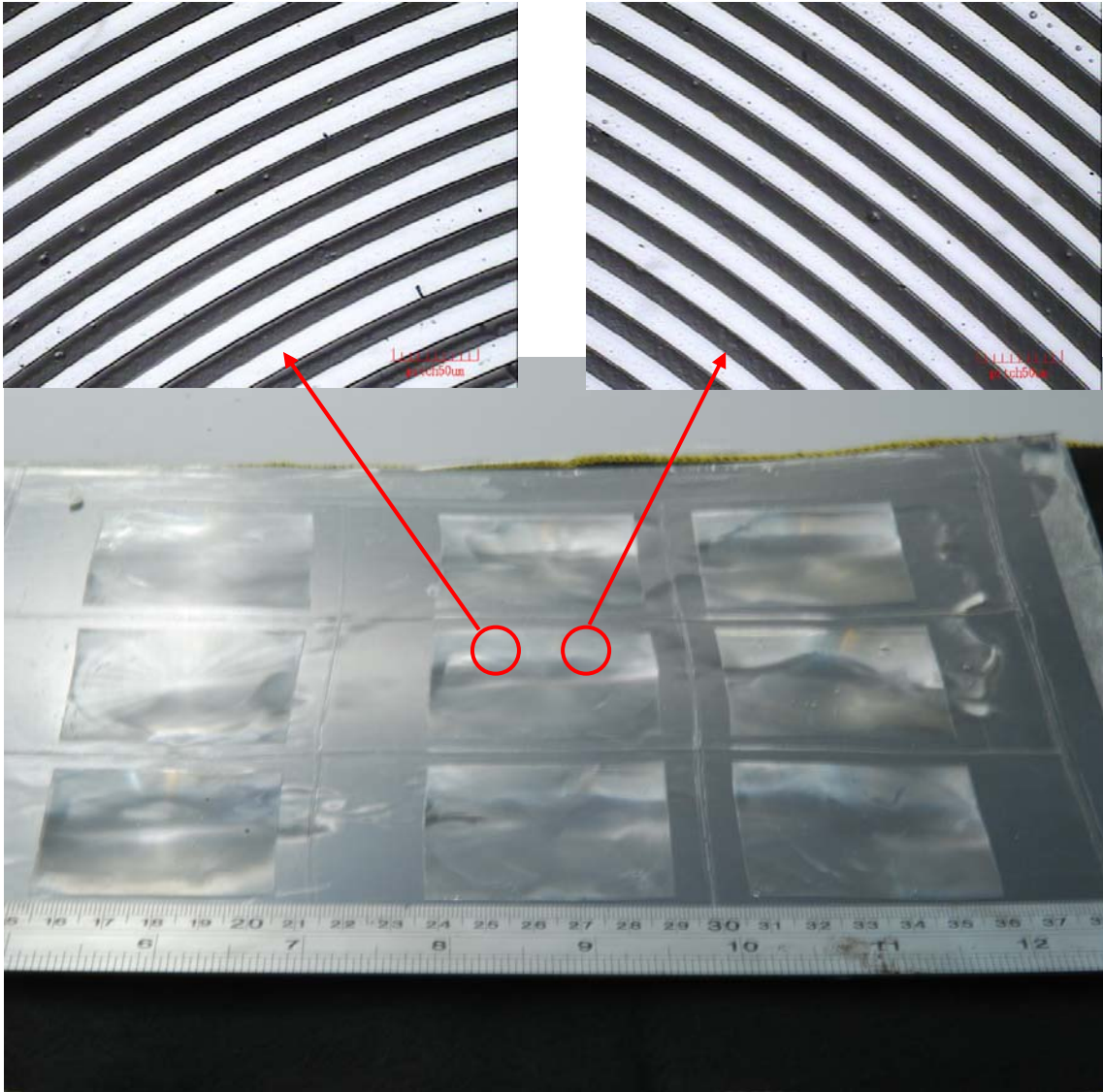


圖 6-4 大面積菲涅爾鏡片壓印複製結果

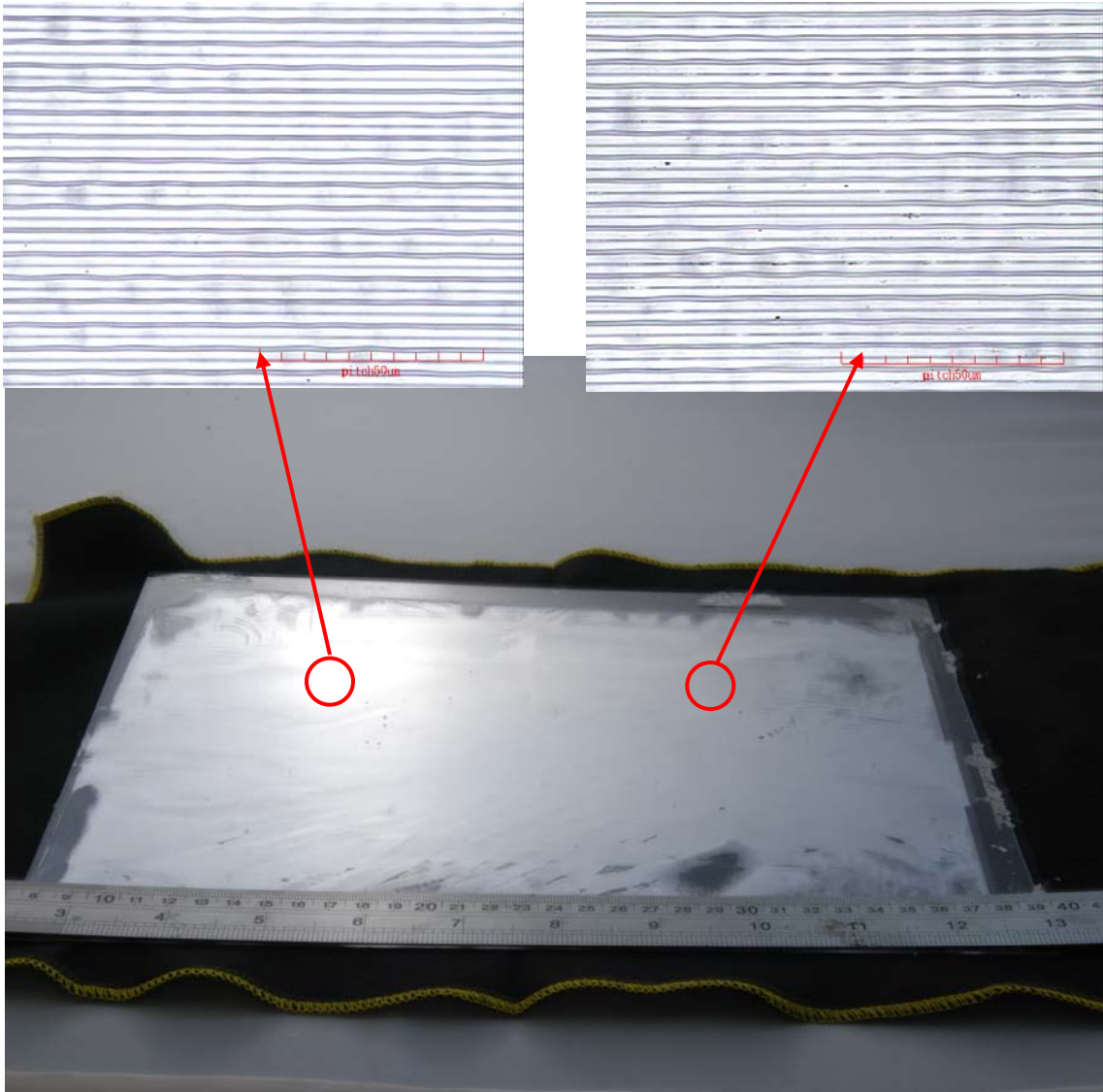


圖 6-5 15 吋顯示器用之增亮膜壓印複製結果

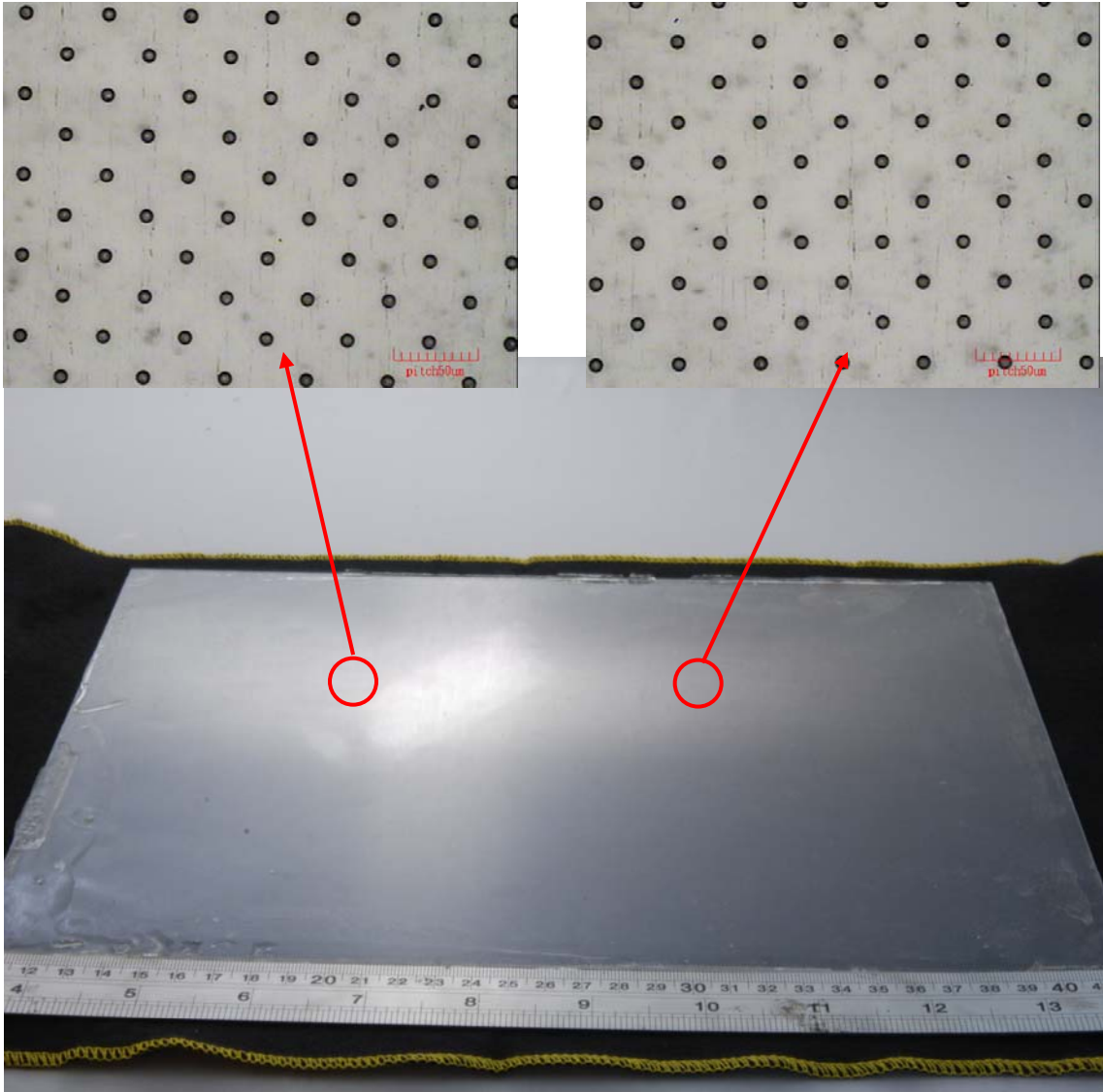


圖 6-6 15吋顯示器用之網點式導光板壓印複製結果

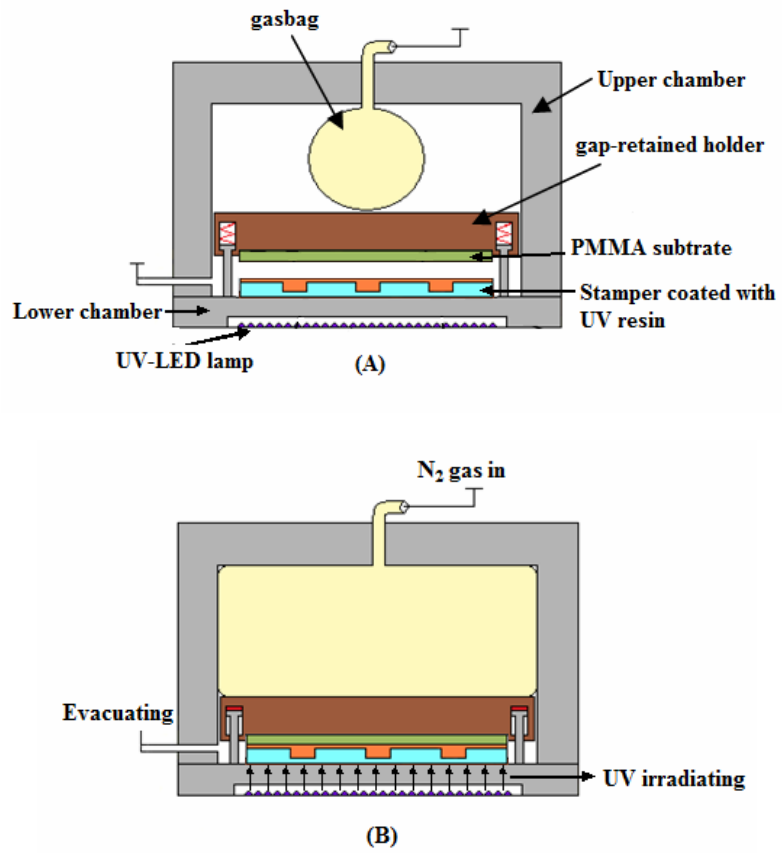


圖 6-7 大面積紫外光固化氣囊輔助壓印製程與設備示意圖

參考文獻

- [1] H. Becker, and C. Gärtner, “Polymer based micro-reactors,” *Reviews in Molecular Biotechnology*, Vol. 82, pp. 89-99 (2001).
- [2] Jenoptik Mikrotechnik, Datasheet of HEX03 hot embossing system. (2002).
- [3] M. T. Gale, “Replicated Diffractive Optics and Micro-Optics”, *Optics & Photonics News*, Vol. 14, pp. 24-29, 2003.
- [4] M. Hecke and W. K. Schomburg, “Review on micro molding of thermoplastic polymers”, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 14, R1-R14, 2004.
- [5] 張哲豪，流體微熱壓製程開發研究，國立台灣大學博士論文，民國 93 年 6 月。
- [6] Bender M, Otto M, Hadam B, et al. “Fabrication of nanostructures using a UV-based imprint technique,” *Microelectronic Engineering*, Vol. 53, pp. 233-236, 2000.
- [7] J. H. Chang and S. Y. Yang, “Gas Pressurized Hot Embossing for Transcription of Micro-features,” *Microsystem Technologies*, Vol. 10, pp76-80, 2003.
- [8] J. H. Chang, F. S. Cheng, C. C. Chao, Y. C. Weng, S. Y. Yang, and L. A. Wang, “Direct imprinting using soft mold and gas pressure for large area and curved surfaces”, *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 23, pp. 1687-1690, 2005.
- [9] J. H. Chang and S. Y. Yang, “Development of Fluid-Based Heating and Pressing Systems for Micro Hot Embossing,” *Microsystem Technologies*, Vol. 11, pp.396-403, 2005.
- [10] B. Vratzov, A. Fuchs, M. Lemme, W. Henschel, and H. Kurz, “Large scale ultraviolet-based nanoimprint lithography,” *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 21 2760-2764, 2003.
- [11] H. Gao, H. Tan, W. Zhang, K. Morton, and S. Y. Chou, “Air cushion press for

- excellent uniformity, high yield, and fast nanoimprint across a 100 mm field”, Nano Lett., Vol. 6, pp. 2438 -2441, 2006.
- [12] J. H. Jeong, K. D. Kim, Y. S. Sim, H. K. Sohu, and E. S. Lee, “A step-and-repeat UV-nanoimprint lithography process using an elementwise patterned stamp,” Microelectronic Engineering, Vol. 82, 2005, pp. 180-188.
- [13] H. Lee and G. Y. Jung, “Wafer to wafer nano-imprinting lithography with monomer based thermally curable resin,” Microelectronic Eng., Vol. 77, pp.168-174, 2005.
- [14] H. Lee, S. Hong, K. Yang, and K. Choi, “Fabrication of nano-sized resist patterns on flexible plastic film using thermal curing nano-imprint lithography,” Microelectronic Eng., Vol. 83, pp.323-327, 2006.
- [15] M. L. Berre, J. Shi, C. Crozatier, G. V. Casquillars, and Y. Chen, “Micro-aspiration assisted lithography,” Microelectronic Engineering, Vol. 84, pp. 864-867, 2007
- [16] S. Y. Yang, F. S. Cheng, S. W. Xu, P. H. Huang, and T. C. Huang, “Fabrication of Microlens Arrays Using UV Micro-Stamping with Soft Roller and Gas-pressurized Platform” Microelectronic Engineering, Vol. 85, pp. 603-609, 2008.
- [17] F. S. Cheng, S. Y. Yang, and C. C. Chen, “Novel hydrostatic pressuring mechanism for soft UV-inprinting processes” Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 26, pp. 132-136, 2008.
- [18] M. Colburn, S. Johnson, M. Stewart, S. Damle, T. Bailey, B. Choi, H. Nounu, M. Wedlake, T. Michaelson, S. V. Sreenivasan, J. Ekerdt, and C. G. Willson, “Step and Flash Imprint Lithography: A new approach to high-resolution patterning,” Proc. of SPIE, Vol. 3676, pp. 379-389, 1999.
- [19] P. Dannberg, R. Bierbaum, L. Erdmann, and A. Braeuer, “Wafer scale integration of micro-optic and optoelectronic elements by polymer UV reaction molding,”

- Proc. of SPIE, Vol. 3631, pp. 244-251, 1999.
- [20] S. M. Kim, D. Kim, and S. Kang, "Replication of micro-optical components by ultraviolet-molding process," *Journal of Microlithography, Microfabrication, and Microsystems*, Vol. 2, pp. 356-359, 2003.
- [21] J. H. Jeong, K. D. Kim, D. G. Choi, J. H. Choi, and E. S. Lee, "Ultraviolet nanoimprint lithography applicable to thin-film transistor liquid-crystal display," *Proc. Of SPIE*, Vol. 6517, 6517161-6517168, 2007.
- [22] S. J. Liu and Y. C. Chang, "A novel soft-mold roller embossing method for the rapid fabrication of micro-blocks onto glass substrate," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 17, 172-179, 2007.
- [23] H. Lee, S. Hong, K. Yang, and K. Choi, "Fabrication of 100nm metal lines on flexible plastic substrate using ultraviolet curing nanoimprint lithography," *Applied Physics Letters*, Vol. 88, 143112, 2006.
- [24] S. H. Ahn, J. W. Cha, H. Myung, S. M. Kim and S. Kang, "Continuous ultraviolet roll nanoimprinting process for replicating large-scale nano- and micropatterns," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, pp. 2131011-2131013, 2006.
- [25] 陳雅雯，光學膜片紫外光固化轉寫成形之有限元素分析研究，國立交通大學碩士論文，民國 92 年 6 月。
- [26] 黃俊瑋，以類 LIGA 技術與紫外光固化膠製作微透鏡陣列之新式製程設計探討，國立中興大學碩士論文，民國 93 年 6 月。
- [27] 翁永春，氣輔軟模紫外光固化微奈米壓印製程應用於製作光波導元件之研究，國立台灣大學碩士論文，民國 94 年 6 月。
- [28] 黃培穎，氣體輔助軟模壓印技術之研發應用於製作 SU-8 瘡樑式光波導元件，國立台灣大學碩士論文，民國 95 年 6 月。
- [29] 朱明輝，軟模低壓滾輪式轉印製程的研發與應用，國立台灣大學碩士論文，

民國 95 年 6 月。

- [30] 許淑雯，氣壓輔助滾輪紫外光轉印製程之開發與應用，國立台灣大學碩士論文，民國 96 年 6 月。
- [31] C. Y. Chang, S. Y. Yang, L. S. Huang and K. H. Hsieh “Fabrication of polymer microlens arrays using capillary forming with a soft mold of micro-holes array and UV-curable polymer,” *Optics Express*, Vol. 14, pp. 6253-6258, 2006.
- [32] X. D. Huang, L. R. Bao, X. Cheng, L. J. Guo, and S. W. Pang, A. F. Yee, “Reversal imprinting by transferring polymer from mold to substrate”, *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 20, No. 6, pp. 2872-2876, 2002.
- [33] W. Hu, B. Yang, C. Peng, and S. W. Pang, “Three-dimensional SU-8 structures by reversal UV imprint,” *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 24, pp. 2225-2229, 2006.
- [34] B. Yang, C. Peng, and S. W. Pang, “Multiple level nanochannels fabricated using reversal UV nanoimprint,” *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 24, pp. 2984-2987, 2006.
- [35] N. Kehagias, V. Rebound, G. Chansin, M. Zelsmann, C. Jeppeses, C. Schuster, M. Kubenz, F. Reuther, G. Gruetzner, and C. M. Sotomayor Torres, “Reverse-contact UV nanoimprint lithography for multilayered structure fabrication”, *Nanotechnology*, Vol. 18, pp. 2954-2957, 2005.
- [36] K. S. Han, S. H. Hong, and H. Lee, “Fabrication of complex nanoscale structures on various substrates,” *Applied Physics Letters*, Vol. 91, 123118, 2007
- [37] H. Hiroshima, S. Inoue, N. Kasahara, J. Taniguchi, I. Miyamoto, and M. Komoro, “Uniformity in patterns imprinted using photo-curable liquid polymer,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 41, pp. 4173-4177, 2002.
- [38] A. Fuchs, M. Bender, U. Plachetka, U. Hermanns, and H. Kurz, “Ultraviolet-based nanoimprint at reduced environment pressure,” *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 23, pp. 2925-2928, 2005.
- [39] P. Ruchhoeft, M. Colburn, B. Choi, H. Nounu, S. Johnson, T. Bailey, S. Damle, M.

Stewart, J. Ekerdt, S. V. Sreenivasan, J. C. Wolfe, and C. G. Willson, "Patterning curved surfaces: Template generation by ion beam proximity lithography and relief transfer by step and flash imprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 17, pp. 2965-2969, 1999.

[40] D. J. Resnick, S. V. Sreenivasan, and C. G. Wilison, "Step & flash imprint lithography," *Mater. Today*, Vol. 8, pp. 34-42, 2005.

[41] X. Liang, H. Tan, Z. Fu, and S. Y. Chou, "Air bubble formation and dissolution in dispensing nanoimprint," *Nanotechnology*, Vol. 18, in press, 2007.

[42] H. Hiroshima, M. Komuro, N. Kasahara, Y. Kurashima, and J. Taniguchi, "Elimination of pattern defects of nanoimprint under atmospheric conditions," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 42, pp. 3849-3853, 2003.

[43] H. Hiroshima and M. Komuro "Control of bubble defects in UV nanoimprint," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 46, pp. 6391-6394, 2007.

[44] H. Hiroshima and M. Komuro, "UV-nanoimprint with the assistance of gas condensation at atmospheric environment pressure," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 25 2333-2336, 2007.

附錄一 作者簡介

姓名：黃柏勳

性別：男

生日：民國 73 年 07 月 14 日

求學經歷：

國立台灣大學

機械工程學研究所

畢業(97.7)

國立台灣科技大學

機械工程系（二技）

畢業(95.6)

國立高雄應用科技大學

機械工程科（五專）

畢業(93.6)

E-mail：r95522705@ntu.edu.tw



附錄二 個人著作

■ 國際期刊論文(SCI, EI)

1. Tzu-Chien Huang, **Po-Hsun Huang**, Sen-Yeu Yang*, and Tai-Yu Ko, "Improving Flow Balance during Filling a Multi-Cavity Mold with Modified Runner Systems" *International Polymer Processing*. (accepted, in press) [SCI]
2. L.T. Jiang, T.C. Huang, C.R. Chiu, C.Y. Chang, S.Y. Yang*, and **P.H. Huang**, "Direct Fabrication of Rigid Microstructures on A Metallic Roller Using A Dry Film Resist," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol.18, No.1, in press (2008). [SCI, EI]
3. **Po-Hsun Huang**, Tzu-Chien- Huang, Yi-Ting Sun, and S. Y. Yang*, "Fabrication of large-area resin microlens array using gas-assisted ultraviolet embossing", *Optics Express*, Vol.16, No. 5, 3041-3048 (2008) [SCI, EI] (was reported by *Photonics Spectra magazine*: May 2008, Gas-assisted embossing and UV-curing combine to make microlens arrays)
4. Tzu-Chien Huang, Jian-Ren Ciou, **Po-Hsun Huang**, Kuo-Huang Hsieh, and Sen-Yeu Yang*, "Fast fabrication of integrated surface-relief and particle-diffusing plastic diffusers by use of a hybrid extrusion roller embossing" *Optics Express*, Vol.16, No.1, 440-447 (2008). [SCI, EI]
5. Sen-Yeu Yang*, Fang-Sung Cheng, Sue-Wen Xu, **Po-Hsun Huang**, and Tzu-Chien Huang, "Fabrication of Microlens Arrays Using UV Micro-Stamping with Soft Roller and Gas-pressurized Platform" *Microelectronic Engineering*, Vol.85, No. 3, 603-609 (2007). [SCI, EI]
6. Sen-Yeu Yang*, Tzu-Chien Huang, **Po-Hsun Huang**, and Tai-Yu Ko," Study on flow imbalance during filling a multi-cavity mold using a H-type runners", *Key Engineering Materials*, Vol.364-366, 1306-1311 (2008). [EI]

■ 投稿、審稿中之國際期刊

1. **Po-Hsun Huang**, Tzu-Chien Huang, Yi-Ting Sun, and Sen-Yeu Yang*, "Bubble-free large area replication of microstructures using gas-assisted UV embossing with complete reversal imprinting and gap-retained vacuuming", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, (under peer review process)
2. Sen-Yeu Yang*, Tzu-Chien Huang, Jian-Ren Ciou, **Po-Hsun Huang**, and Jing-Tang Wu, "A preliminary experiment of direct transcription of

- microstructure using extrusion roller-embossing” Journal of The Chinese Society of Mechanical Engineers. (under peer review process)
3. Sen-Yeu Yang*, Tzu-Chien Huang, Jian-Ren Ciou, **Po-Hsun Huang**, and Jing-Tang Wu, “Direct melt transcription of microstructure using extrusion roller embossing” *Polymers for Advanced Technologies* (under peer review process)
 4. **Po-Hsun Huang**, Tzu-Chien Huang, Jian-Wei Chen, Yi-Ting Sun, and Sen-Yeu Yang*, “Microlens array with high transcription fabricated using modified reversal imprinting process” (in preparation)
 5. **Po-Hsun Huang**, Tzu-Chien Huang, Jian-Wei Chen, Yi-Ting Sun, and Sen-Yeu Yang*, “Large-area optical elements fabricated using reversal gas-assisted UV imprinting” (in preparation)

■ 國際會議論文

1. **Po-Hsun Huang**, Jian-Wei Chen, Tzu-Chien Huang, Yi-Ting Sun, and Sen-Yeu Yang*, “Modified reversal imprinting for fabricating microlens array with high height transcription,” *34th International Conference on Micro- and Nano-Engineering (MNE 2008)*, 15-18 Sep 2008, Athens, Greece. (submitted)
2. S.Y. Yang*, T.C. Huang, **P.H. Huang**, F.S. Cheng, Y.T. Chu, and H.C. Lai, “Large area nanoimprint equipment and processes”, *The 1st Asian Symposium on Nano Imprint Lithography (ASNIL 2008)*, 24-26 April 2008, Seoul, Korea. (Invited contribution)
3. **Po-Hsun Huang**, Tzu-Chien- Huang, Sen-Yeu Yang*, Yi-Ting Sun, and John G. Loeser, “Large-area microlens arrays fabricated by integrated gas-assisted UV-curing embossing with UV-LED array lamp”, *The 52nd International Conference on Electron, Ion, and Photon Beam Technology and Nanofabrication (EIPBN 2008)*, 27-30 May 2008, Portland, Oregon, USA.
4. Sen-Yeu Yang*, Tzu-Chien- Huang, Jian-Ren Ciou, **Po-Hsun Huang**, and John G. Loeser, “Diffusers with both surface-relief and particle-diffusing functions fabricated using hybrid extrusion roller embossing”, *The 52nd International Conference on Electron, Ion, and Photon Beam Technology and Nanofabrication (EIPBN 2008)*, 27-30 May 2008, Portland, Oregon, USA.
5. Sen-Yeu Yang*, Tzu-Chien Huang, Jian-Ren Ciou, **Po-Hsun Huang**, and Jing-Tang Wu, “A preliminary experiment of direct transcription of microstructure using extrusion roller-embossing” *International Conference on Advanced Manufacturing Technology 2007 (ICAM 2007)*, 26-30 Nov 2007, Tainan, Taiwan.
6. Fang-Sung Cheng, **Po-Hsun Huang**, Sue-Wen Xu, and Sen-Yeu Yang*,

"Fabrication of Microlens Arrays Using Soft Roller Embossing with Gas-Pressurized Platform," *33rd International Conference on Micro- and Nano-Engineering (MNE 2007)*, 23-26 Sep 2007, Copenhagen, Denmark.

7. Sen-Yeu Yang*, Tzu-Chien Huang, **Po-Hsun Huang**, Tai-Yu Ko," Study on flow imbalance during filling a multi-cavity mold using a H-type runners", *Asia Pacific Conference on Optics Manufacture 2007 (APCOM 2007)*, 11-13 Jan 2007, Hong Kong, China.

■ 國內研討會論文

1. Sen-Yeu Yang*, Tzu-Chien Huang, **Po-Hsun Huang**, Tai-Yu Ko," Effects of Processing Conditions on flow imbalance during filling a multi-cavity mold using a H-type runners", *Annual Meeting of the Polymer Society 2007*, 19-20 Jan 2007, Taipei, Taiwan.
2. Chao-Chang A. Chen*, and **Po-Hsun Huang**, "Injection Molding of Thin Plate with Double-Side Micro Features" *5th National Conference on Precision Manufacturing*, 11-12 Nov 2006, Kaohsiung, Taiwan.
3. Chao-Chang A. Chen*, **Po-Hsun Huang**, Wen-Pin Liu, and Ching-Hui Yeh, "Effects of Geometric Features to Fiber Orientation in Injection Molding Process" *Mold Conference 2006*, 17-18 Aug 2006, Taipei, Taiwan.
4. Min-Wen Wang*, Kai-Hsiang Chang, and **Po-Hsun Huang**, "Process Parameters Optimization on Injection Molding of a Micromechanics Part" *Annual Meeting of the Polymer Society 2004*, 21-22 Feb 2004, Taipei, Taiwan.