

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

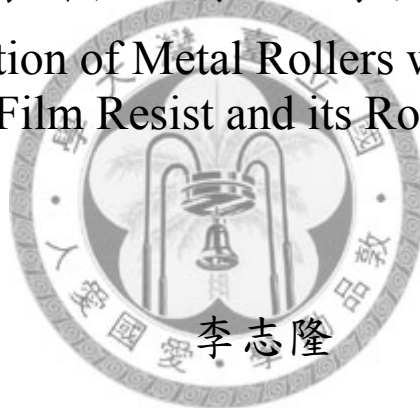
College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

應用乾膜光阻直接製作微結構於金屬滾輪之技術開發與應用

Direct Fabrication of Metal Rollers with Microstructures  
Using Dry Film Resist and its Rolling Application



Lee, Chih-Lung

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

## 致謝

感謝天父上帝的慈愛與恩典，讓我得以在塑膠加工恩典實驗室中學習成長，亦隨著本論文的完成使我碩士兩年求學生涯畫下完美的休止符，並順利修得臺灣大學碩士學位。在這兩年的碩士生涯中，特別要感謝我的指導教授 楊申語博士，因為您的提攜與指導，使我不管在專業領域與為人處事上獲益良多，並給予我很大的幫助，師恩深長，永誌難忘。

感謝口試委員百忙之中前來參加學生的論文口試，承蒙您們的寶貴建議與指教，使本論文之內容更加豐富充實與精彩，在此致上誠摯的謝意。另外，感謝畢業學長鄭芳松博士及實驗室博班學長子健學長，在我研究遇到困難時，因為有您們的建議與指教，才能在各個階段突破瓶頸，使實驗得以順利進行。感謝上一屆俊凱、亮霆、建仁學長與淑雯學姐的關心；同窗的夥伴秉達、柏勳、景棠的互相扶持與照應，彼此相互合作，使我們得以一起攜手共同完成碩士學位；感謝學弟冠男、偉志在實驗上的熱心幫忙，昕駿在圖表上的繪製，建瑋在財務上的管理，映達在財產與實驗設備的籌備，因為有你們的協助，讓我們可以專心的研究論文，謝謝你們；感謝華立科技提供本論文使用之乾膜光阻。

最後，要感謝我親愛的家人，多年來在求學路上的支持與關懷，從小到大提供我無虞的環境，當我在灰心之餘給予我鼓勵和信心，讓我無後顧之憂得以完成碩士學業。衷心感謝每一位曾在生活中關心我，在實驗上幫助過我的人，感恩之意溢於言詞，希望您們身體健康，願將這份畢業的成果和喜悅與所有關心、愛護我的人一起分享。

## 摘要

精密光學元件多以射出或傳統微熱壓成型，效率有待提升，而且製作有反覆升降溫，耗時又成品殘留應力大且，複製面積也受限等缺點。因此，具連續生產特性之滾輪壓印製程便日受重視。滾輪壓印關鍵在於滾輪製作，一般是將具有微結構之薄金屬片包覆在滾輪上，導致在壓印過程中容易模具位移或翹曲等問題；若以軟性材料進行模具製作，模具不耐高溫、強度不足與耐久性不佳。

本研究應用乾膜光阻貼附於曲面滾輪基材，將微結構直接製作在滾輪上，達到一體成型之優點，可避免包覆式緊附不易與軟性模具強度不足等缺點。加上塑膠光罩可以 AutoCAD 繪製，輸出至 PET 可撓性基材，設計製作簡易、成本低廉且圖案製作彈性大，更是一大優點，曝光後之濕式蝕刻與無電鍍鍍，在滾輪上製作微結構技術也十分成熟。以乾膜光阻直接製作滾輪，大幅降低將圖案轉至滾輪之門檻。

利用乾膜光阻製作微結構滾輪有三種方式：(1)先貼合、後曝光再蝕刻；(2)先曝光、後貼合再蝕刻；(3)先曝光、後貼合再無電鍍鍍。本研究探討此三種製程順序，並探討貼合、曝光與蝕刻參數對品質影響，歸納出一完整之成型操作窗與最佳參數。

本研究進一步應用上述三種方法所製作之滾輪，裝設在擠出微壓印系統與氣體輔助平台轉印系統壓印微結構，實際進行微結構薄膜製作。擠出微壓印系統結合「滾輪微壓印」與「薄膜擠出成型」製程，以三種不同實驗設置：(1)微結構滾輪無紅外線加熱，驅動輪為矽膠滾輪；(2)微結構滾輪有紅外線加熱，驅動輪為矽膠滾輪；(3)微結構滾輪有紅外線加熱，驅動輪為剛性滾輪。以上述三種實驗設置，探討壓印後微結構於 PC 塑膠薄膜上成型之微結構高度，並成功將微結構轉印至 PC 塑膠薄膜上，且成功使用氣體輔助平台設備將無電鍍後於鋁輪上之微結構轉印至 PET 基材上。

最後，以結構直徑  $79.8\mu\text{m}$  之圓形陣列孔洞模具，成功壓印出直徑  $86.98\mu\text{m}$ ，焦距為  $216\mu\text{m}$  之微透鏡陣列，量測觀察後可知以本研究之製作流程，可大量複製微結構並達到大面積且均勻之連續生產，有效提升微結構滾輪之製作與整合微結構壓印製程之開發及其應用。

## Abstract

Conventionally, the precise optical elements are usually fabricated using injection molding and hot embossing processes. The disadvantages of these processes are long cycle time, residual stress in products, and limited replicating area. Hence, it is important and demanding to develop a continuous roller embossing process with the capacities of high throughput and rapid fabrication. A typical roller was made from that the thin metal sheet which had the microstructure was wrapped onto the roller. With this method, mold sliding and warping were observed during the process. On the other hand, if the mold was soft material, insufficient strength and poor durability of the mold were also problems.

This study proposes a process of fabricating microstructures on the surface of metal rollers. The direct metal roller fabricating process involves three methods including dry film resist (DFR) laminating, wet etching and electroless plating process. Additionally, the flexible film photomask can be easily designed using CAD software; it enhances the design simplicity and flexibility, so the cost is lowered.

In this study, three kinds of roller fabrication processes are developed: (1) lamination before exposure, etching process; (2) exposure before lamination, etching process; and (3) exposure before lamination, electroless plating process. The parameters of lamination, exposure and etching are also investigated.

After the microstructure rollers have been fabricated, the metal rollers with microstructures are used both in the hybrid extrusion embossing system and roller UV micro-stamping process.

The hybrid extrusion embossing system combines “ roller embossing ” and “ film extrusion ” methods to fabricate microlens arrays and grating on PC film. In this experiment, we discuss three conditions in the hybrid extrusion embossing system: (1) non-infrapara radiant ceramic heater using silicon roller; (2) with infrapara radiant ceramic heater using silicon roller; and (3) with infrapara radiant ceramic heater using rigid roller. The height of the microstructures on PC film is discussed. Second, the fabricated roller is used as the mold in the roller UV micro-stamping process to replicate grating pattern on PET film.

Finally, the microlens arrays with 86.98  $\mu\text{m}$  diameter and 216  $\mu\text{m}$  focal length are fabricated successfully using the roller mold with micro-holes array structures. This result proves that the rollers fabricated in this method can be used in roller embossing and UV micro-stamping for microstructure mass production.

# 目錄

致謝 .....	I
摘要 .....	II
Abstract.....	III
目錄 .....	IV
表目錄 .....	VIII
圖目錄 .....	IX
第一章 導論 .....	1
1.1 微結構元件量產開發的迫切性 .....	1
1.2 各種精密複製成型技術 .....	1
1.3 塑膠微滾壓成型 .....	2
1.4 微結構滾輪製作與複製上之困難 .....	2
1.5 乾膜光阻之應用 .....	3
1.6 研究動機與主要目標 .....	3
1.7 論文架構 .....	4
第二章 文獻回顧 .....	8
2.1 微結構滾輪壓印複製成型技術 .....	8
2.1.1 滾輪應用於熱壓微成型 .....	8
2.1.2 滾輪應用於軟微影文獻回顧 .....	8
2.1.3 滾輪應用於 UV 固化微成型文獻回顧 .....	9
2.2 乾膜光阻之性質介紹與其傳統應用 .....	9
2.3 乾膜光阻應用於創新製程之相關文獻 .....	10
2.3.1 高深寬比—可進行類 LIGA 製程 .....	11
2.3.2 製程簡單致縮短製程所需時間—可製作微流道 .....	11
2.3.3 平坦化與一致性之特性—製作橋狀微結構 .....	12
2.3.4 其他應用 .....	12
2.4 微結構滾輪製作之相關文獻 .....	13
2.5 整體回顧總結與研究創新 .....	14
第三章 應用乾膜光阻製作滾輪與微壓印機台之設計 .....	32
3.1 實驗目的及整體流程規劃 .....	32
3.2 滾輪微壓印機台之設計 .....	32
3.2.1 滾輪組 .....	33

3.2.2	滾輪組 .....	33
3.2.3	滾輪組 .....	33
3.2.4	滾輪加熱系統 .....	33
3.2.5	滾輪圈數記數裝置 .....	33
3.3	蝕刻法製作微結構滾輪 .....	34
3.3.1	材料及設備 .....	34
3.3.2	曲面曝光需使用之光罩 .....	35
3.3.3	蝕刻法製作微結構滾輪之流程 .....	35
3.4	無電鍍法製作微結構滾輪 .....	37
3.4.1	材料及設備 .....	37
3.4.2	無電鍍法製作微結構滾輪之流程 .....	37
3.5	滾輪微壓印實驗 .....	38
3.5.1	擠出壓印成型 .....	38
3.5.2	氣體輔助平台轉印 .....	38
3.6	量測儀器與設備 .....	38
3.6.1	數位式外徑測微器 .....	38
3.6.2	紫外光源強度量測 .....	38
3.6.3	表面輪廓儀與形狀量測儀 .....	38
3.6.4	光學顯微鏡 .....	38
3.6.5	掃瞄式電子顯微鏡 .....	39
3.6.6	微透鏡陣列元件的光學性質檢測 .....	39
第四章	滾輪製程參數探討與量測 .....	53
4.1	應用銅片做初步之實驗參數探討 .....	53
4.1.1	貼合參數探討 .....	53
4.1.1.1	銅片貼合參數探討 .....	53
4.1.2	貼合溫度 .....	54
4.1.2.1	氣壓缸總推力、貼合轉速 .....	54
4.1.3	材料與設備 .....	54
4.1.4	平面曝光參數探討 .....	54
4.1.4.1	平面曝光設置 .....	54
4.1.4.2	平面曝光總能量計算 .....	55
4.1.4.3	平面曝光參數結果探討 .....	55
4.1.5	蝕刻法製作微結構於銅片之結果與討論 .....	55
4.1.6	量測 .....	55
4.1.6.1	光學顯微鏡量測 .....	55
4.1.6.2	表面輪廓儀量測 .....	56
4.2	在滾輪上貼合乾膜光阻之實驗參數探討 .....	56

4.2.1	乾膜光阻貼合厚度 $2 \times 2^k$ 因子實驗	57
4.2.2	實驗設計與執行	57
4.2.3	乾膜光阻厚度量測	57
4.2.4	滾輪貼合溫度	58
4.2.5	氣壓缸總推力	58
4.2.6	滾輪貼合滾輪轉速	58
4.2.7	曲面貼合操作窗	58
4.2.8	材料與設備	58
4.2.9	滾輪曲面曝光參數探討	59
4.2.9.1	滾輪曲面曝光設置	59
4.2.9.2	滾輪曲面曝光總能量計算	59
4.2.9.3	滾輪曲面曝光參數結果探討	60
4.2.10	蝕刻法製作微結構滾輪結果與討論	60
4.2.10.1	低碳鋼	60
4.2.10.2	磷青銅	61
4.2.10.3	紅銅	61
4.2.11	量測	61
4.2.11.1	光學顯微鏡量測	61
4.2.11.2	形狀量測	62
4.3	乾膜光阻先曝光後貼合實驗參數探討	62
4.3.1	材料與設備	62
4.3.2	先貼合後曝光實驗流程	63
4.3.3	先曝光後貼合實驗流程	63
4.3.4	乾膜光阻先曝光後貼合蝕刻法製作滾輪結果與討論	63
4.3.5	量測	63
4.3.5.1	光學顯微鏡量測	64
4.3.5.2	表面輪廓儀量測	64
4.3.5.3	形狀量測	64
4.4	無電鍍鎳製作微結構滾輪	65
4.4.1	材料與設備	65
4.4.2	無電鍍介紹	65
4.4.3	無電鍍鎳鍍浴配置	66
4.4.4	鋁滾輪與無電鍍鎳製程探討	66
4.4.4.1	情況一	67
4.4.4.2	情況二	67
4.4.4.3	情況三	67
4.4.5	形狀量測	68

4.5 本章結論 .....	68
第五章 滾輪壓印與量測 .....	106
5.1 滾輪模具介紹 .....	106
5.2 擠出滾輪微壓印 .....	106
5.2.1 實驗參數設定 .....	107
5.2.2 壓印結果與量測 .....	107
5.2.2.1 微結構滾輪溫度對 PC 成型高度之影響 .....	107
5.2.2.1.1 擠出壓印設置一(無紅外線加熱，驅動輪：矽膠滾輪).....	107
5.2.2.1.2 擠出壓印設置二(有紅外線陶瓷加熱，驅動輪：矽膠滾輪)	108
5.2.2.2 施加於滾輪之推力對 PC 成型高度之影響 .....	108
5.2.2.2.1 微結構滾輪模具 A(先平面曝光，後貼合).....	108
5.2.2.2.2 微結構滾輪模具 B(先貼合，後曲面曝光).....	109
5.2.2.3 驅動滾輪材質不同對 PC 成型高度之影響 .....	109
5.2.2.3.1 驅動滾輪材質為矽膠滾輪 .....	109
5.2.2.3.2 驅動滾輪材質為剛性滾輪 .....	109
5.3 氣體輔助平台轉印 .....	110
5.3.1 機台介紹 .....	110
5.3.1.1 氣體輔助平台 .....	110
5.3.1.2 平台移動傳輸機構 .....	110
5.3.1.3 滾輪施壓機構 .....	111
5.3.2 UV 轉印流程 .....	111
5.3.3 實驗參數設定 .....	111
5.3.4 壓印結果與量測 .....	111
5.4 微透鏡陣列光學檢測 .....	112
5.5 本章結論 .....	112
第六章 結論與未來研究方向 .....	131
6.1 結論 .....	131
6.2 研究貢獻 .....	133
6.3 未來研究方向 .....	134
參考文獻 .....	135
附錄 A CALIBRE™ 301-15 性質表 .....	140
附錄 B UV1321 性質表 .....	141
附錄 C 作者簡歷 .....	143



## 表目錄

表 2-1 乾膜光阻與濕式光阻分析比較表 .....	15
表 2-2 不同厚度之乾膜光阻(Ordyl P-50100)所需的曝光強度 .....	15
表 2-3 SU-8 厚膜光阻與乾膜光阻之性質比較表 [Vulto (2004)] .....	16
表 3-1 超小型電子計數器(TCST-1103) 規格表 .....	40
表 3-2 ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102 建議製程參數表 .....	41
表 4-1 銅蝕刻法製作微結構於銅片上製程中各步驟造成之橫向尺寸誤差 .....	71
表 4-2 實驗因子高低水準設定表 .....	71
表 4-3 實驗進行資料表 .....	72
表 4-4 曲面曝光曝光能量測試 .....	72
表 4-5 使用光罩三、光罩四在各參數下顯影與蝕刻後之誤差 .....	73
表 4-6 使用光罩五、光罩六在各參數下顯影與蝕刻後之誤差 .....	74
表 4-7 使用光罩七、光罩八在各參數下顯影與蝕刻後之誤差 .....	75
表 4-8 微結構滾輪製程比較 .....	76
表 5-1 壓印使用之微結構滾輪模具 .....	114
表 5-2 以氣壓缸總推力 300kgf 圓形陣列模具壓印前後 PC 直徑和高度 .....	115
表 5-3 以模具四、不同之氣壓缸總推力實驗壓印前後之結構尺寸 .....	115
表 5-4 以模具七、不同之氣壓缸總推力實驗壓印前後之結構尺寸 .....	115
表 5-5 以剛性滾輪、模具四、不同之氣壓缸總推力實驗壓印前後之結構尺寸 ..	116
表 5-6 氣體輔助平台轉印前後之微結構尺寸 .....	116
表 5-7 機台不同之設置，當氣壓缸總推力 300kgf 以模具四壓印後之成型高度 ..	116

## 圖目錄

圖 1-1	微透鏡陣列之應用 .....	5
圖 1-2	傳統微熱壓機器示意圖 .....	6
圖 1-3	氣體熱壓成型步驟示意圖[張(2003)].....	6
圖 1-4	滾輪壓印製程示意圖[Gale (1997)].....	7
圖 1-5	擠出成型設備 .....	7
圖 2-1	LIGA 製程步驟示意圖 .....	17
圖 2-2	滾輪應用於微熱壓示意圖 .....	18
圖 2-3	滾輪應用於軟微影示意圖 .....	18
圖 2-4	滾輪應用於 UV 固化微成型示意圖 .....	20
圖 2-5	乾膜光阻之構造示意圖[Kukharenska (2003)].....	20
圖 2-6	乾膜光阻貼合機[志聖工業].....	20
圖 2-7	乾膜光阻應用於 PCB 製程示意圖 .....	21
圖 2-8	製程示意圖[Kukharenska (2003)].....	22
圖 2-9	顯影後 SEM 側壁觀察[Kukharenska (2003)].....	22
圖 2-10	電鍍鍍結構完成圖[Kukharenska (2003)].....	23
圖 2-11	應用乾膜光阻製造使用於 X 光微影之光罩[Shih (1998)].....	23
圖 2-12	乾膜光阻微流道完成圖[Vulto (2004)].....	24
圖 2-13	乾膜光阻微流道製程步驟[Tsai (2005)].....	24
圖 2-14	乾膜光阻微流道完成圖[Tsai (2005)].....	25
圖 2-15	乾膜光阻微流道製程步驟[Stephan (2007)].....	25
圖 2-16	PDMS 微流道完成圖[Stephan (2007)].....	26
圖 2-17	應用乾膜光阻製造橋狀結構製程示意圖[Spiering (1995)].....	26
圖 2-18	應用乾膜光阻製造之橋狀結構 SEM 圖[Spiering (1995)].....	27
圖 2-19	以 90°C 硬烤 60 秒後的側壁量測圖 [Ke (2001)].....	27
圖 2-20	乾膜光阻法製作彩色濾光片 .....	28
圖 2-21	微影術應用於微結構滾輪製作之示意圖[Feinerman (1996)] .....	28
圖 2-22	REM 應用於曲面成形示意圖[Xia (1998)] .....	28
圖 2-23	PDMS 曲面模具製作流程圖[Choi (2004)].....	29
圖 2-24	成品實體圖[Choi (2004)].....	29
圖 2-25	微影術應用於微結構滾輪製作之示意圖[Li (1998)].....	30
圖 2-26	製作微透鏡模穴流程圖[Chang (2007)] .....	30
圖 2-27	蝕刻技術製作微結構滾輪[潘 等人(2006)].....	31
圖 3-1	實驗流程 .....	42
圖 3-2	滾輪機台設計圖 (組合圖) .....	43
圖 3-3	滾輪機台設計圖 (爆炸圖) .....	43

圖 3-4	矽膠滾輪 .....	44
圖 3-5	氣壓幫浦 .....	44
圖 3-6	加熱片 .....	44
圖 3-7	電熱管溫度控制器 .....	45
圖 3-8	計數器架設於機台上 .....	45
圖 3-9	ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102 負型乾膜光阻 .....	45
圖 3-10	UV 紫外光光源[Philips Co.].....	46
圖 3-11	電熱定溫水浴器 .....	46
圖 3-12	高氣(巧固實業).....	46
圖 3-13	曲面曝光使用之光罩 (光學顯微鏡 100 倍) .....	47
圖 3-14	曲面曝光使用之光罩 (光學顯微鏡 100 倍) .....	47
圖 3-15	蝕刻法製作微結構滾輪之圖示製程示意圖 .....	48
圖 3-16	滾輪置於錐形夾具貼合 .....	48
圖 3-17	貼合完成之銅滾輪 .....	49
圖 3-18	曲面曝光機台設置示意圖 .....	49
圖 3-19	曲面曝光機台實體設置圖 .....	49
圖 3-20	乾膜光阻顯影後之滾輪 .....	50
圖 3-21	氯化鐵蝕刻液 .....	50
圖 3-22	數位式外徑測微器 .....	50
圖 3-23	Power meter (1815-C, Newport).....	51
圖 3-24	二維輪廓及表面輪廓儀 (Alpha-Step 500, TENCOR, USA) .....	51
圖 3-25	形狀量測儀(PGI 1240, 2002 Taylor Hobson Ltd).....	51
圖 3-26	光學顯微鏡 (ZOOMKOP) .....	52
圖 3-27	掃瞄式電子顯微鏡(S-3000H, Hitachi, Japan).....	52
圖 3-28	微透鏡陣列之光學檢測架構示意圖 .....	52
圖 4-1	貼合機 (Laminating Machine, TATUNG) .....	77
圖 4-2	銅片光罩原始圖形 .....	77
圖 4-3	平面曝光示意圖 .....	78
圖 4-4	實際平面曝光設置圖 .....	78
圖 4-5	滾輪機台實體圖 .....	78
圖 4-6	銅片顯影後光阻結構 .....	79
圖 4-7	銅片蝕刻並剝除光阻後 .....	80
圖 4-8	銅片蝕刻後光阻結構 .....	80
圖 4-9	線寬與蝕刻因子關係圖 .....	81
圖 4-10	富士感壓軟片測試於滾輪各點的均壓性 .....	81
圖 4-11	乾膜光阻之貼合操作窗 .....	81
圖 4-12	乾膜光阻曝光分子反應機制示意圖 .....	82
圖 4-13	曲面曝光示意圖 .....	82

圖 4-14 曲面曝光顯影後於滾輪上之乾膜光阻結構 (光學顯微鏡 100 倍) .....	83
圖 4-15 曝光能量不足於顯影製程中脫落 (光學顯微鏡 100 倍) .....	83
圖 4-16 過度曝光於滾輪上之乾膜光阻結構 (光學顯微鏡 100 倍) .....	83
圖 4-17 曲面曝光曝光量與線寬重現性曲線圖 .....	84
圖 4-18 低碳鋼顯影與蝕刻後 (光學顯微鏡 100 倍) .....	84
圖 4-19 磷青銅顯影與蝕刻後 (光學顯微鏡 100 倍) .....	84
圖 4-20 製程中之銅滾輪 .....	85
圖 4-21 乾膜光阻顯影之分子反應機制 .....	85
圖 4-22 圓形光罩曲面曝光顯影後之 OM 圖 .....	86
圖 4-23 圓形光罩曲面曝光滾輪側邊受曝示意圖 .....	86
圖 4-24 銅滾輪上取八點量測示意圖 .....	86
圖 4-25 在 F=32kgf T=100°C S=6rpm 下顯影後微結構 OM 圖 .....	87
圖 4-26 在 F=16kgf T=100°C S=4rpm 下顯影後微結構 OM 圖 .....	87
圖 4-27 在 F=16kgf T=100°C S=6rpm 下顯影後微結構 OM 圖 .....	87
圖 4-28 在 F=32kgf T=120°C S=6rpm 下顯影後微結構 OM 圖 .....	88
圖 4-29 乾膜光阻剝除之分子反應機制 .....	88
圖 4-30 在 F=16kgf T=120°C S=6rpm 下顯影與蝕刻後 .....	89
圖 4-31 在 F=16kgf T=120°C S=4rpm 下顯影與蝕刻後 .....	89
圖 4-32 在 F=32kgf T=120°C S=4rpm 下顯影與蝕刻後 .....	90
圖 4-33 在 F=32kgf T=100°C S=4rpm 下顯影與蝕刻後 .....	91
圖 4-34 在 F=24kgf T=110°C S=5rpm 下顯影與蝕刻後 .....	91
圖 4-35 滾輪蝕刻後光阻結構(形狀量測儀) .....	92
圖 4-36 曲面曝光使用之光罩 (光學顯微鏡 100 倍) .....	92
圖 4-37 先曝光後貼合實驗完整之流程圖 .....	93
圖 4-38 在 F=32kgf T=100°C S=6rpm 下顯影後微結構 OM 圖 .....	93
圖 4-39 在 F=16kgf T=100°C S=4rpm 下顯影後微結構 OM 圖 .....	94
圖 4-40 在 F=16kgf T=100°C S=6rpm 下顯影後微結構 OM 圖 .....	95
圖 4-41 在 F=32kgf T=120°C S=6rpm 下顯影後微結構 OM 圖 .....	95
圖 4-42 在 F=16kgf T=120°C S=6rpm 下顯影與蝕刻後微結構 .....	97
圖 4-43 在 F=16kgf T=120°C S=4rpm 下顯影與蝕刻後微結構 .....	98
圖 4-44 在 F=32kgf T=120°C S=4rpm 下顯影與蝕刻後微結構 .....	99
圖 4-45 在 F=32kgf T=100°C S=4rpm 下顯影與蝕刻後微結構 .....	101
圖 4-46 在 F=24kgf T=110°C S=5rpm 下顯影與蝕刻後微結構 .....	102
圖 4-47 光罩八 在 F=16kgf T=120°C S=6rpm 下蝕刻後微結構 .....	103
圖 4-48 在 F=32kgf T=120°C S=4rpm 蝕刻後微結構 .....	103
圖 4-49 直徑與蝕刻因子關係圖 .....	104
圖 4-50 無電鍍浴設置圖 .....	104
圖 4-51 無電鍍鍍後於鋁滾輪之微結構 OM 圖(200X) .....	105

圖 4-52 無電鍍鎳(形狀量測儀).....	105
圖 5-1 衣架形模頭與溫度控制器.....	117
圖 5-2 擠出滾輪微壓印示意圖.....	117
圖 5-3 擠出滾輪微壓印設備.....	117
圖 5-4 擠出壓印設備改良實體圖.....	118
圖 5-5 增設收料輪示意圖.....	118
圖 5-6 加設遠紅外線陶瓷加熱，以氣壓缸總推力 300kg 壓印結果.....	119
圖 5-7 以氣壓缸總推力 300kgf 測試有無加熱裝置成型高度比較圖.....	120
圖 5-8 以氣壓缸總推力 300kgf 與 500kgf 壓印後之結果比較圖.....	121
圖 5-9 以氣壓缸總推力 500kgf 壓印模具四圓形孔穴之 PC 成品(OM 85X).....	122
圖 5-10 以氣壓缸總推力 100kgf 壓印模具四圓形孔穴 PC 結果.....	122
圖 5-11 以氣壓缸總推力 500kgf 壓印模具四圓形孔穴 PC 結果.....	122
圖 5-12 塑料未將模穴完全充填，在模穴中因表面張力形成弧形示意圖.....	123
圖 5-13 模具四壓印後，結構高度與壓印壓力關係圖.....	123
圖 5-14 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具六之 PC 成品(OM 285X).....	123
圖 5-15 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具六凹陷直線條.....	123
圖 5-16 模具六之凹陷直線條，壓印後結構高度與力量關係圖.....	124
圖 5-17 驅動滾輪為剛性滾輪之微壓印機台.....	124
圖 5-18 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具四圓形孔穴結果.....	125
圖 5-19 以矽膠滾輪、剛性滾輪壓印模具四圓形孔穴模具.....	125
圖 5-20 UV 壓印機台.....	126
圖 5-21 氣體輔助壓印平台.....	126
圖 5-22 平台移動機構.....	126
圖 5-23 微結構滾輪施壓方式.....	127
圖 5-24 接觸角量測儀.....	127
圖 5-25 接觸角量測儀.....	128
圖 5-26 光學顯微鏡.....	128
圖 5-27 白光干涉儀 (200X).....	129
圖 5-28 SEM.....	129
圖 5-29 微透鏡陣列光學檢測 CCD 觀察圖(光學顯微鏡 115 倍).....	130
圖 5-30 MATLAB 軟體檢測光強度結果.....	130
圖 5-31 表面粗糙度量測(AFM).....	130

# 第一章 導論

## 1.1 微結構元件量產開發的迫切性

光電技術隨著科技的進步蓬勃發展，各式電子、通訊、生醫、工業與娛樂等產品不僅紛紛朝向輕薄短小與微小化發展，產品中更必須具備可撓性、耐摔與耐衝擊等特性，而產品中具有微結構之元件，如微透鏡陣列(Microlens Array)、繞射光學元件(Diffractive Optical Element)與鏡面微結構等均被大量使用，其中又以光學元件之一的微透鏡陣列應用最為廣泛，廣泛應用在光學感測、無線通訊、光纖通訊與顯示科技元件等，如【圖 1-1】所示，加上傳統製造技術已逐漸不符合現今精密微結構之大量生產，因此，必須開發可快速大量生產之精密複製成型技術。

## 1.2 各種精密複製成型技術

目前常用之精密複製成型技術包括微鑄造成型(Casting)、微射出成型(Micro-Injection Molding)、微熱壓成型(Hot embossing)等製程，其中微鑄造技術較不具自動化，製造精度也較無法達到微奈米等級，因此只適用於實驗性原型(Prototype)產品的開發；而兼具自動化、高精度與高效率的微射出成型與微熱壓成型技術，勢必會成為製造微系統結構與元件的主流。

雖然隨著光電資訊產品輕薄短小與成品精度要求日高的趨勢，更精密的微射出成型技術與設備被發展出來。但是，微射出成型不適合製作大面積的薄膜微結構元件，且成型設備與模具開發成本昂貴，因此，在顯示器相關元件量產上有其限制。

微熱壓成型原是一項歷史悠久的塑膠加工技術，其加工原理是將熱塑性高分子薄膜或板材與非透明的微結構金屬模具同時置於一可加熱加壓機構中，待材料加溫至玻璃轉移溫度(Glass Transition Temperature,  $T_g$ )以上後，利用壓力軟化高分子材料並壓入金屬模具表面的模穴內，將模具上之微結構轉印到高分子薄膜或薄板上，最後經過材料的冷卻固化與脫模後，即可得到成品。目前的微熱壓印技術多是藉由平板壓印機構來加熱加壓，如【圖 1-2】所示。張 [2003]提出利用流體等向、等壓的物理特性，以流體壓印來取代傳統壓板式壓印，研究結果證實可在塑膠薄膜的壓印上達到完整均勻壓力分佈、大面積、不壓破矽晶圓之功能如【圖 1-3】所示。而由於微熱壓亦有機台價格

昂貴且需反覆升降溫等問題，因此 Gale [1997] 針對光學元件製作技術的介紹中，首先提出「滾輪壓印」之概念，利用電鍍鎳模技術翻製出極薄的鎳模，以鎳模包覆滾輪搭配 Roll-to-Roll 生產概念，將包覆鎳模的滾輪做為「熱滾壓」之模具，兩端利用收放滾輪做 Roll-to-Roll 連續遞料，達成大量複製生產，如【圖 2-2(b)】。

### 1.3 塑膠微滾壓成型

滾壓成型是一種相當適合大量生產塑膠薄片的製程，利用塑膠薄膜穿過一對相對旋轉的平行滾輪時，薄膜受到高溫滾輪的瞬間加熱使得塑膠薄膜表面軟化，同時藉由滾輪所施加的壓力而使附於高溫滾輪表面的微結構轉印賦形於塑膠薄膜上。而由於剛通過滾輪間隙的塑膠薄板的表面仍具有較高的溫度，為避免其上新形成的微結構受到表面張力的影響而破壞，通常會以低溫的空氣流來對滾輪間隙出口附近的塑膠薄板施予冷卻，如【圖 1-4】所示。

在微滾輪製程設備中滾輪扮演著極重要之角色，滾輪除了須具備足夠的剛性以抑制由滾壓負荷所可能造成的撓曲變形外，表面設有微結構的滾輪其軸向溫度分布均勻性的控制亦非常重要。

滾輪式壓印技術的應用有快速、連續式等優點，有效縮短製程時間，配合連續式特點，以 Roll-to-Roll 的概念，更可達到全製程量產及大面積的製作，因此，滾輪式製程系統已廣泛應用在各行業，如：印刷業的大量印刷、電子業的封裝製程等。

### 1.4 微結構滾輪製作與複製上之困難

滾輪微壓印兼具製程快速、節省時間、大量連續生產等優點，重要性與日俱增。現今雖有許多製作微結構滾輪之方法，但大都製程瑣碎複雜且需耗費昂貴之成本與設備，而有時滾輪上微結構之尺寸亦受限於加工機台的限制，因此，如何製作壓印滾輪上之微結構且完整仍迫在眉梢。

謝 [2005] 利用熱滾輪壓印 PMMA 的板材，發現 PMMA 在壓印時會有嚴重的翹曲情形，並且當熱滾輪溫度提高，翹曲情形亦隨嚴重，翹曲原因有加熱的板材內應力釋放和熱滾輪的表面溫度分佈不均，造成冷卻固化時形成收縮率不均的現象。

H.Ito [2006] 提出 Melt-transcription Process 來複製微結構，利用可塑化塑膠的設備（如擠出機）產生熔融塑料，再將熔融的塑料均勻塗佈在表面具有微結構之金屬模具上，在塑料仍具有極高流動性時，施加壓力在金屬模具上將結構轉印到塑膠板上，由

於此方法直接將塑料充填到金屬模具上，容易充填且可避免重新加熱、應力釋放等問題，最後，將塑膠板與模具脫膜，即可得到具微結構之塑膠產品。

本論文運用上述概念，提出結合「微滾輪壓印」與「薄膜擠出成型」製程來大量複製微結構，並搭配 Roll-to-Roll 生產概念，期望達到快速大量生產之目的。

## 1.5 乾膜光阻之應用

乾膜光阻是一種具有三層結構的感光樹脂薄膜 (Photo-sensitive Resist)，通常應用於光微影製程來產生微小圖形。其結構一般具有以下三層：保護薄膜層 (Cover Film)、感光固化樹脂光阻層 (Photo-sensitive Resist)、基底薄膜層 (Base Film)，如【圖 2-5】所示。

乾膜光阻由於可應用於大面積貼合塗佈、成本低廉、成捲包裝易於連續生產、曝光所需之能量小、厚度均勻度佳與製程快速等特性，常被使用於 PCB 印刷電路板等製程。乾膜光阻塗佈方式與濕式光阻不同，利用貼合的方式將光阻貼合於基材上，現今之貼合機，可自動化完成貼合之程序且貼合後表面平坦，如【圖 2-6】所示。

近年由於乾膜光阻具有厚膜光阻之優良特性 (顯影後側壁垂直、可重複貼合增加厚度)，常被應用於各種學術研究，如微元件電鑄翻模、微流道製作等應用，加上近年乾膜光阻材料研發之突破，其曝光極限線寬縮小到  $5\mu\text{m}$ ，使得其應用價值更加提升。

## 1.6 研究動機與主要目標

本研究致力於結合「微結構滾輪壓印」與「塑膠薄膜擠出成型」新製程之開發。一般壓印滾輪是以微結構薄金屬板包覆在滾輪上，緊密附著不易，因此，在滾壓時常有模具位移、翹曲等問題；若以軟性模具進行壓印，則有強度不足、不耐高溫等問題。

另外，因為目前常使用含有結構之光學薄膜是使用 UV 轉印的方式在 PC 或 PET 等光學薄膜上再進行結構成型，這樣的步驟最少需要兩道製程以上才能得到所需的光學薄膜，造成製程繁瑣、耗時間且不連續等缺點。

本研究在製作滾輪的方法上，嘗試用化學蝕刻法直接在滾輪上製作剛性微結構，利用擠出成型設備，如【圖 1-5】，將擠出之塑膠薄膜仍在高溫時，直接進入滾輪微壓印設備，把滾輪上的微結構轉寫到塑膠薄膜的表面上來製作光學薄膜，且本研究自行開發組立一套整合擠出與滾輪微壓印的設備系統，並且設計擠出模具配合擠出機，與製作微結構滾輪試驗本系統的性能，實驗之塑膠膜材料為光學用聚碳酸酯

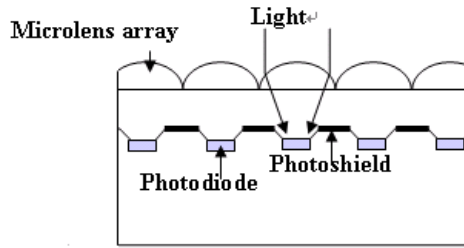


(Polycarbonate)。

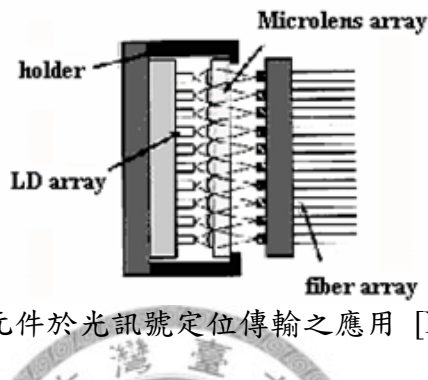
## 1.7 論文架構

本論文共分為七個章節。第一章為導論，主要論述微結構元件製造之關鍵技術、製程與應用，並介紹塑膠擠出成型、塑膠微滾壓成型、滾輪壓印製程開發量產技術、乾膜光阻，以及本研究論文動機與目標；第二章文獻回顧，介紹乾膜光阻之應用，再針對「微結構滾輪壓印」與「塑膠薄膜擠出成型」製程做完整的彙整與結論；第三章為微結構滾輪製作之實驗設計，介紹本實驗設計之溫控雙滾輪機台與製作、如何製作薄膜擠出成型模具、滾輪微壓印機台的設計和作動原理流程，以及乾膜光阻應用於製作滾輪微結構之製程，最後，介紹本實驗所需使用之量測設備；第四章則是實驗製程細節探討與分析，以及介紹本實驗所使用之滾輪基材和微結構滾輪製作與量測；第五章為滾輪微壓印與量測，利用兩套壓印系統測試本論文所製作之滾輪模具應用之可行性，兩套系統分別為擠出滾輪微壓印系統與氣體輔助 UV 壓印系統；最後，第六章則是本研究論文之研究成果總結與未來研究方向。

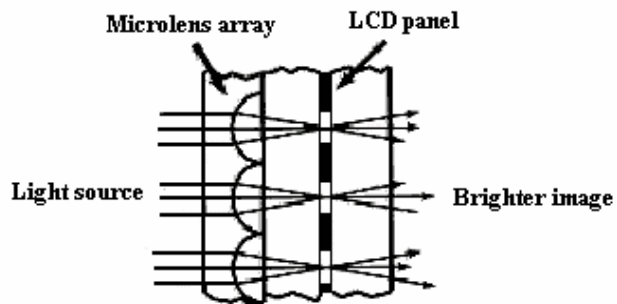




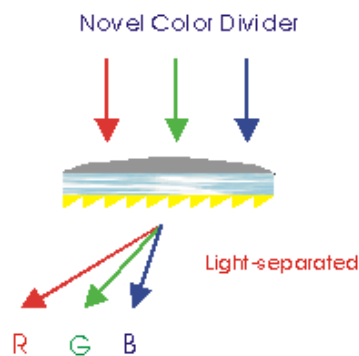
(a) 微透鏡陣列元件於 CCD Image Sensor 之應用 [Daemen (1994)]



(b) 微透鏡陣列元件於光訊號定位傳輸之應用 [Nakagawa (1993)]



(c) 微透鏡陣列元件於影像增亮之應用 [Ko (2000)]



(d) 創新型微光學增光分色片 [Yang (2002)]

圖 1-1 微透鏡陣列之應用

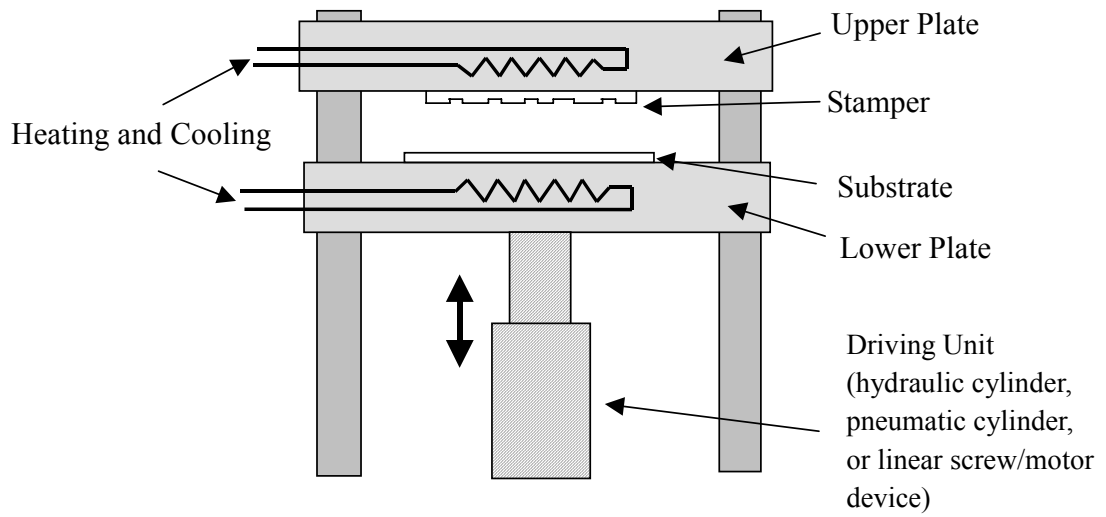
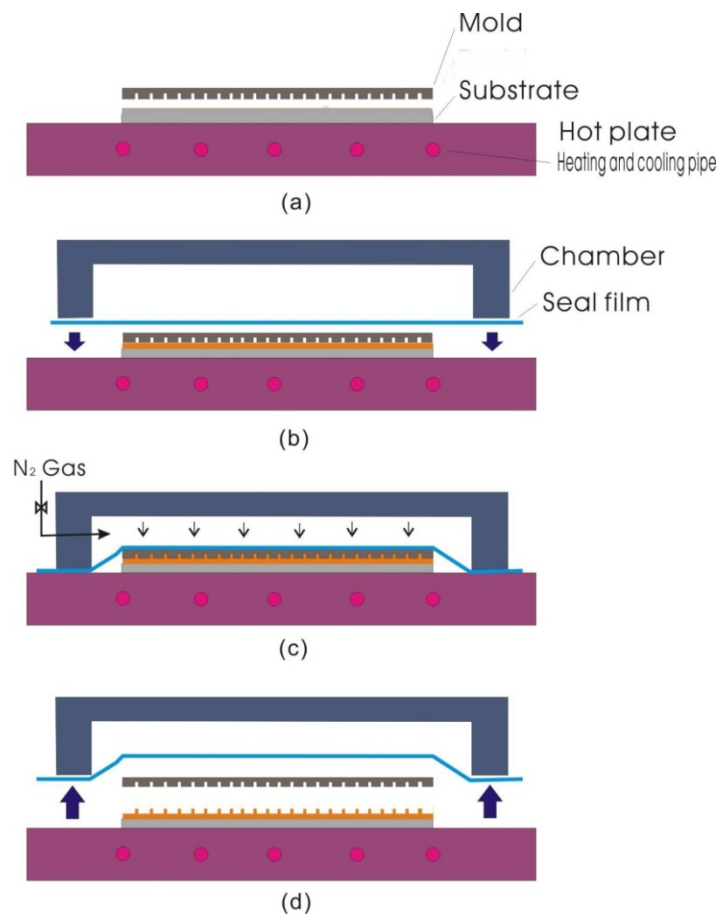


圖 1-2 傳統微熱壓機器示意圖



(a) 備料；(b) 氣密；(c) 加熱、加壓成型；(d) 脫模取出成品

圖 1-3 氣體熱壓成型步驟示意圖 [張(2003)]

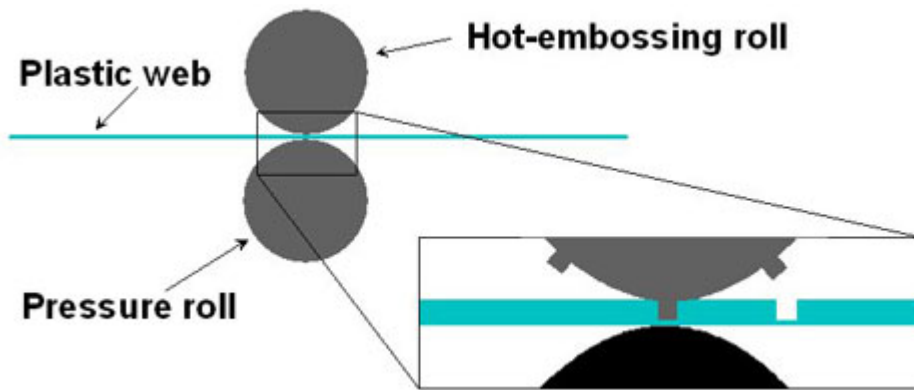
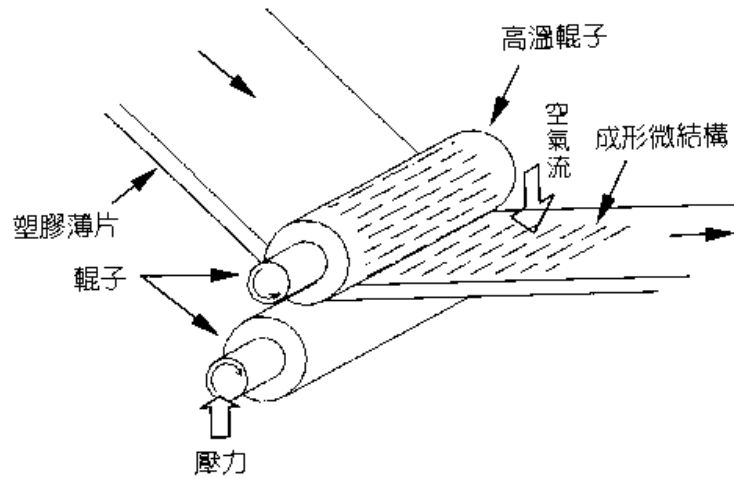


圖 1-4 滾輪壓印製程示意圖[Gale (1997)]

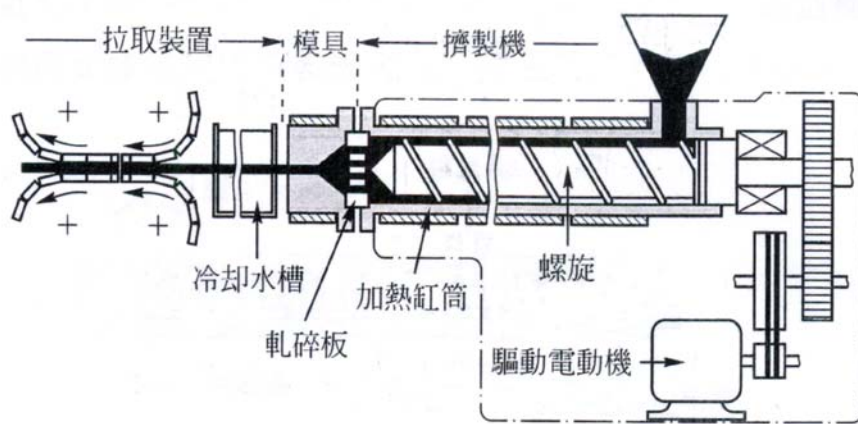


圖 1-5 擠出成型設備

## 第二章 文獻回顧

本章首先回顧微結構滾輪壓印複製成型技術，包括滾輪應用於滾輪熱壓微成型、軟微影、UV 固化微成型以及固化成型技術運用於 Roll-to-Roll 連續生產製程；第二節回顧乾膜光阻之性質介紹與其傳統應用；第三節回顧乾膜光阻應用於創新製程之文獻；第四節回顧微結構滾輪製作之相關文獻；最後，第五節做一整體性比較及本研究之創新構想。

### 2.1 微結構滾輪壓印複製成型技術

#### 2.1.1 滾輪應用於熱壓微成型

微機電系統是一種結合光學、機械、電子、材料、控制、物理、化學、生醫等多重技術領域的整合型微小化系統製造技術，也由於微機電系統 (Micro-Electro-Mechanical Systems, 簡稱 MEMS) 技術的需求，促使了微米與次微米加工技術的發展，且由德國核能研究所開發出的 LIGA 製程，可製作高深寬比的結構，如【圖 2-1】所示，因此，微壓印成型成為製作微結構不可或缺的一項技術。

美國普林斯頓大學周郁教授的研究團隊成員 Tana 等人[1998]，提出滾輪式壓印技術應用在「熱壓式」奈米壓印微影研究，利用表面已製作微結構的滾輪，滾動將結構壓在一塗佈熱塑形高分子材料(如 PMMA)之基板上，並將溫度提高至玻璃轉換溫度以上，使得此熱塑形高分子材料隨滾輪表面結構而成型，之後再將溫度冷卻，並以乾蝕刻清除殘餘光阻，進而將滾輪上之結構圖案壓印至基板上，如【圖 2-2(a)】所示。

Gale [1997] 針對光學元件製作技術的介紹中提出，利用電鑄鍍模技術翻製出極薄的鍍模，以鍍模包覆滾輪的方式，並搭配 Roll-to-Roll 的生產概念，將包覆鍍模的滾輪做為「熱滾壓」之模具，選用可撓式基材，兩端利用滾輪做 Roll-to-Roll 連續遞料，達成結構大量複製生產，此法已可成功的製作出塑膠繞射光學元件，如【圖 2-2(b)】所示。

#### 2.1.2 滾輪應用於軟微影文獻回顧

Xia 等人[1998] 針對微觸印技術的內容提出兩種方式。第一種方法先在軟模模具上沾上自我組裝型之高分子 (Self-Assembly Monomer, SAM)，並包覆在滾輪上，以轉動的方式將軟模模具上沾染的 SAM 材料與基板表面形成強鍵結，達成滾輪微結構轉印的目的，如【圖 2-3(a)】所示；第二種方法則是將平面的材料轉印至鍍金後的滾輪上，

達成非平面製作微結構的目的，如【圖2-3(b)】所示。

### 2.1.3 滾輪應用於 UV 固化微成型文獻回顧

利用紫外光固化壓印成型具有低成本，製程簡單等優勢，且通常在低溫、低壓下即可複製成型，由於其製程溫度低，不像熱壓印成型必須在高溫、高壓下進行壓印，因此，具有快速成型的特色，加上能製作具有奈米級線寬之能力，勢必為開創下一代壓印技術之關鍵技術。

美國德州大學 C. G. Willson 及 S. V. Sreenivasan 教授研究團隊 1999 年提出一種步進快閃式壓印微影技術，利用光感成型的方式來達到奈米壓印之目的。首先，它是利用一透光材料(如石英)來當作壓印製程的模仁，並且利用光感性高分子取代了熱塑性高分子材料。轉印製程中，模仁只需施加些許壓力至光阻，並以紫外光對光感性高分子光阻照光，使模仁壓印之奈米結構固化成型，如【圖 2-4(a)】，並結合步進式壓印，利用一有效轉印面積約為  $35 \times 35 \text{mm}^2$  的模仁來作重覆步進式壓印，壓印後之均勻性可較直接壓印大面積基板提升許多，且小面積模仁也較大面積模仁可有效地大幅降低製作成本與良率。此製程不需加熱升降溫，因此，可避免因熱變形而影響精度。然而，此種製程之關鍵則在於光感性光阻之塗佈過程，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，對結構造成微缺陷。

Neo 等人[2003]提出利用滾輪紫外光固化壓印技術，可以成功轉印深寬比高達 5 的微結構陣列，並且可以控制恰當的紫外光曝光時間，而使複製成型的微結構不會產生收縮，如【圖 2-4(b)】所示，亦提出影響紫外光固化壓印成型脫膜的幾個因素：(1)模具表面粗糙度；(2)模具微結構的脫膜角；(3)紫外燈射後阻劑張力與收縮的關係。

Liang 等人[2003]指出，利用滾壓製程技術配合光固化材料，藉由 Roll-to-Roll 製造系統，如【圖 2-4(c)】所示，成功將用來儲存電泳液的微杯型結構製作在軟板上。

上述回顧之紫外光固化式壓印成型技術使用紫外光固化高分子材料作為壓印之基材，材料只需曝光即可達到固化，不需經過加熱與冷卻步驟，可降低製程之時間與壓力，因此，具有製程快速且大量生產之潛力。

## 2.2 乾膜光阻之性質介紹與其傳統應用

乾膜光阻是一種具有三層結構的感光樹脂薄膜，通常應用於光微影製程來產生微小圖形。其結構一般具有以下三層：保護薄膜層 (Cover Film)、感光固化樹脂光阻層 (Photo-sensitive Resist)、基底薄膜層 (Base Film)，如圖【圖 2-5】所示，保護薄膜層

通常為 PET (Polyethylene) 薄膜，而基底薄膜層通常為 Mylar®DuPont 薄膜，其為一種 PET (Polyester) 薄膜材料，具有抗熱、絕緣抗靜電、高強度等性質。乾膜光阻之感光樹脂層大部分皆為負型光阻。乾膜光阻於貼合時優於濕式光阻的原因是，只要以貼合機貼合在基版上面（此基版可為金屬或塑膠）即可應用，而濕式光阻需要以各種不同塗佈方法塗佈於基材，因此，乾膜光阻在製程上簡便許多，且易於達成大面積之快速均勻塗佈。惟目前市面乾膜光阻之曝光解析度極限約在 5 至 10 $\mu\text{m}$  左右，欲製作次微米、奈米尺度結構，仍需使用濕式光阻。關於乾膜光阻與濕式光阻的比較，可見【表 2-1】。

由於乾膜光阻之大面積貼合塗佈、成本低廉、成捲包裝易整合於連續生產之特性，長年主要應用於 PCB 印刷電路板內外層蝕刻與電鍍製程，且乾膜光阻隨著 PCB 產業市場規模之發展亦可應用於其他創新方面，將在下一節作詳細的介紹。

乾膜光阻在傳統上一般的使用程序為，使用前先將保護薄膜層撕除，再將感光固化樹脂光阻層以貼合機加熱加壓與銅箔基版貼合(Lamination)後使用，現今之貼合機，如圖【圖 2-6】所示，可自動化完成貼合之程序。貼合後使用光罩進行曝光，光罩可以防止部份區域的光阻劑不被曝光，未受光固化的區域將在顯影後會變成佈線（假設用的是負型光阻劑），而在曝光後靜置一段時間即可撕除基底薄膜層，然後再進行光阻之顯影。顯影之後，可進行電鍍或蝕刻製程。如欲進行「蝕刻」製程，將基材浸到蝕刻溶劑中即可。一般用作蝕刻溶劑的有，氯化鐵 (Ferric Chloride)、鹼性氨 (Alkaline Ammonia)、硫酸加過氧化氫 (Sulfuric Acid + Hydrogen Peroxide) 和氯化銅 (Cupric Chloride) 等。而若欲進行「電鍍」製程，裸露之銅上將被鍍上金屬。蝕刻或電鍍結束後將剩下的光阻劑去剝掉，稱作剝膜 (Stripping)，即完成製作程序，整體流程如【圖 2-7】所示。

### 2.3 乾膜光阻應用於創新製程之相關文獻

乾膜光阻有別於濕膜光阻，具有許多濕膜光阻所欠缺的優點，近年來除了持續應用在傳統電路版製程之外，亦被廣泛提出可應用在先進製程之研究。其優良特性有以下幾點：

- (1)具平坦化與一致性之效果：無論基材有凹陷或突起的缺陷，只要經過良好的貼合步驟，光阻會將凹孔覆蓋或將突起掩埋，使表面能確保為平坦狀態。
- (2)優越的黏著力：在各種不同基板上均可貼合且有良好的附著性。

- (3)厚度均勻度佳：貼合在基材後，在大面積的厚度均勻度極佳，不會有邊緣厚度不均之問題。
- (4)曝光所需之能量小。
- (5)側壁垂直度佳，光阻容易去除。
- (6)價格低廉且可提高製程效率。
- (7)製程簡單：免除濕膜光阻液態塗佈流動之問題，可縮短製程所需時間。

### 2.3.1 高深寬比—可進行類 LIGA 製程

乾膜光阻表面粗糙度佳，適合用於多層貼合，且加熱加壓貼合後兩層光阻可結合在一起，可作為厚膜光阻使用，製作高深寬比結構（厚度可達 200 $\mu\text{m}$  以上，深寬比可達 10:1 以上），此結構亦可做為類 LIGA 製程之模仁或是進行電鑄產生互補之金屬微結構。

Koukharenka 等人[2003]使用 Ordyl P-50100 (Elga Europe, Italy) 負型乾膜光阻，此型號光阻具有極厚的厚度 (100 $\mu\text{m}$ )，取代 SU8 光阻製作出高深寬比結構做為微電鍍之模仁。首先將矽晶圓以 FNA (fuming nitric acid) 清洗之後，用 120 $^{\circ}\text{C}$  的熱滾輪將乾膜光阻貼合在矽晶圓上 (滾壓壓力 45 Psi；滾輪速度 52 $\text{cm min}^{-1}$ )，再以光強度 1.6~1.9  $\text{mW/cm}^2$ 、波長 350~450nm 的紫外光光源進行曝光，接著使用濃度 0.8~1.1% w/w 的碳酸鈉(sodium carbonate)溶液以 30 $^{\circ}\text{C}$  顯影。完整流程圖如【圖 2-8】所示。顯影過後的 Ordyl P-50100 以 SEM 觀測，具有優異的側壁及平整度，其結構高度高達 90 $\mu\text{m}$ ，見圖【圖 2-9】，而最終電鑄出的結構見【圖 2-10】。他也嘗試使用二次貼合，使結構深度高達 200 $\mu\text{m}$ ，並測試了乾膜光阻在不同厚度下，所需要的曝光強度，見【表 2-2】。

Shih 等人[1998] 則利用乾膜光阻可產生高深寬比的性質，製造出用於 X 光微影之光罩，製程流程如【圖 2-11】。

### 2.3.2 製程簡單致縮短製程所需時間—可製作微流道

近幾年來，使用乾膜光阻製作微流道概念被提出。微流道起初發展時，幾乎皆以 PDMS 製造，因為易於封裝、易於完成複雜結構。接著有人提出直接蝕刻玻璃基板或矽晶圓，再進行類 LIGA 製程以高分子翻模，優點為製造出的元件為一體成型，在基板上直接作出主動式元件。後來，提出以 SU-8 光阻來製作複合式微流道，先分別在上下基板都做微結構圖形，再黏合在一起。此缺點由於在上下基板皆需製作結構，而由於上下表面的平坦度難以均勻，導致黏合上不易。



因此，Vulto 等人[2004]提出以乾膜光阻取代 SU8 來做微流道的結構。使用 Ordyl SY-300 (28 $\mu$ m, Elga Europe, Italy) 以及 Ordyl SY-550 (54 $\mu$ m, Elga Europe, Italy) 負型乾膜光阻取代 SU8。不但具有一般乾膜光阻的優點，更有以下幾種特性：(1)能夠經由軟烤來硬化，不需照光也可固化(2)能在比一般乾膜光阻相對低溫低壓下貼合於基板且表面平坦(3)具有生物相容性 (Biocompatibility)，這點也是它適合用在製作生醫微流道的最重要特性。其製作出來之微流道如【圖 2-12】。蔡 [2005]以乾膜光阻製作微流道，製作程序如【圖 2-13】與結果見【圖 2-14(a)】【圖 2-14(b)】。Stephan 等人[2007] 亦利用乾膜光阻製作出 PDMS 微流道，製作程序如【圖 2-15】與結果見【圖 2-16】。

### 2.3.3 平坦化與一致性之特性—製作橋狀微結構

乾膜光阻由於先天具有平坦化之效果，表面平坦且均勻度極佳。Spiering 等人[1995]藉由此特性來實現跨越深溝槽及凹孔的懸臂樑（橋狀）結構。其將乾膜光阻貼合在已蝕刻出凹孔之矽晶圓，再經由光罩曝光顯影產生橋狀結構。其製造流程如【圖 2-17】所示，製造出來之橋狀結構如【圖 2-18】。

### 2.3.4 其他應用

Ke 等人[2001]應用乾膜光阻來進行覆晶封裝。此篇論文亦提出乾膜光阻如同濕式光阻，在曝光顯影後經過硬烤能夠消除曝光後的駐波效應，增加側壁的垂直度【圖 2-19】。

綜合上述之應用，乾膜光阻能夠本身做為微結構，亦可當作模仁進行類 LIGA 翻模製程，其應用與厚膜光阻 SU-8 極為相似。SU-8 厚膜光阻與乾膜光阻兩者之比較詳見【表 2-3】。乾膜光阻長年應用於 PCB 印刷電路板產業，設備、製程技術皆純熟，此為乾膜光阻之一大優勢，雖然近十年來，乾膜光阻在濕式光阻發展蓬勃之際逐漸式微，甚至有學者提出乾膜光阻將被淘汰，但未來基板大型化的趨勢下，對大面積製程較有利的乾膜光阻勢必將會取代部份液態光阻的市場。再者，乾膜光阻也適合發展 Roll-to-Roll 連續生產製程，對於軟性電子(Flexible Electronics)以及軟性顯示器(Flexible Display)市場即將起飛趨勢下，一定會應用到 Roll-to-Roll 製程連續生產，勢必有其應用價值，且未來高解析乾膜光阻勢必逐漸成熟，甚至出現高解析度之彩色乾膜光阻，可用於彩色濾光片之製作，如【圖 2-20】。因此，未來無論在學術界或產業界，乾膜光阻仍可望被重視。

## 2.4 微結構滾輪製作之相關文獻

Feinerman [1996]提出以 X 光微影術在圓柱狀滾輪進行立體曝光微影。其以 450 $\mu\text{m}$  的尼龍細線為圓柱本體、切割過後的矽晶圓機版作為阻擋 X 光之光罩。來進行 2D (光罩) 對 3D (滾輪上之光阻) 的曝光微影，如【圖 2-21】所示。

Gale [1997]針對光學元件製作技術的介紹中提出，利用電鑄鎳模技術翻製出極薄的鎳模，以鎳模包覆滾輪的方式，並搭配 Roll-to-Roll 的生產概念，將包覆鎳模的滾輪做為熱滾壓之模具，如【圖 2-2(a)】所示。

Xia 等人[1998]由 Whitesides 對 REM (Replica Molding) 的定義，並利用 PDMS 母模可撓材的特性，在翻第二次聚合材料時，可隨 PDMS 的彎曲而固化成為具有曲度的表面，如【圖 2-22】所示。REM 軟模重覆翻製的特點，不僅降低製程成本及時間，也使得更多做學術研究的學者可以很容易且迅速的將想法實現，而它最大的優勢則是突破了硬模無法製作具有曲面結構的困難點及製程時間的縮短，不僅使得曲面的製作容易達成且更具時間效率。

Choi 和 Park [2004]利用傳統平面半導體製程製作出微結構母模，再翻製成 PDMS 模具，並利用 PDMS 的可撓曲特性將它貼到具曲率的表面上，此表面上已先有塗佈一層聚苯乙烯 (PS)，再加熱到其玻璃轉移溫度以上使之和基板緊密貼合，製作出具微結構的滾輪和曲面模具(微結構 350 奈米)，以省去高成本的微影步驟，如【圖 2-23】所示，其成品如【圖 2-24】所示。但是在加熱過程中 PDMS 模具容易變形，且 PDMS 平面模具的厚薄均勻度控制不易，皆是本製程之缺點。

Li 等人[2000]發展出一套微影技術，可以直接在滾輪表面上製作出微結構小於 5 微米的致動器和感測器。其主要技術為軟性光罩的製作、光阻塗佈技術和精密對位技術，如【圖 2-25】所示。但是隨著微結構尺寸的降低，其圖案均勻度明顯的從特徵尺寸 30 微米的 90%下降至 5 微米的 20%，凸顯出此種製程的不穩定度。

Chang 和 Chu [2007]利用刻有溝的矽膠滾輪，在其矽膠滾輪的表面上包覆 PC 塑膠膜，此 PC 塑膠膜已用氣體輔助熱壓印在其上製作出微結構 (微透鏡結構)，然後調配剛好的 PDMS 樹脂澆注進矽膠滾輪的模穴中，等 PDMS 固化後，移除其上的 PC 塑膠膜，即可得到有微結構之滾輪，製程如【圖 2-26】所示。

中華民國專利證書號 I251266，發明人：潘 等人[2006]，提出一種微結構滾輪製作的方法，其方法為先在一滾輪表面上附著金屬層，然後把此滾輪滾過一個 PDMS 模具，

此 PDMS 模具上塗佈一層自我組裝高分子光阻 (SAM, Self-Assembly Monomer)，滾輪上的金屬層會跟自我組裝高分子光阻產生反應形成單層分子膜，可以用來當蝕刻的保護層，再利用蝕刻技術將滾輪上未附著蝕刻保護層處予以蝕刻，最後去除蝕刻保護層跟金屬層，即可得到所需的微結構滾輪，其流程如【圖 2-27】所示。

綜合以上，微結構滾輪的製作必須掌握以下幾個重點：模具結構的均勻度（大面積）、滾輪真圓度穩定度（轉印結構不失真）、模具與基板間的平行度和接觸性良好、模具本身結構穩定（耐用性、模仁與滾輪不滑移）等。

## 2.5 整體回顧總結與研究創新

滾輪式壓印技術可有效縮短製程時間，且兼具快速、連續式等優點，配合 Roll-to-Roll 的概念，更可達到全製程量產及大面積的製作。

本研究根據上述幾節之文獻結論，提出一種應用乾膜光阻材料之微結構滾輪製造方法，詳細製程步驟將於第三章作一完整介紹，結合「曲面微影技術」、「蝕刻技術」、「無電鍍技術」、「微滾輪壓印」與「薄膜擠出成型」製程來大量複製微結構，預計可為目前常使用之光學薄膜製程帶來新的突破。重點歸納如下：

- (1) 本研究在進行塑膠薄膜擠出後，將會探討 PC 塑膠薄膜成型後之光學性質。
- (2) 期望找出在進行轉印時，包括製作微結構滾輪、擠出機的模頭溫度、驅動滾輪轉速、所設計機台之氣壓缸推力等製程參數做一探討，希望建立一最佳製程參數。
- (3) 預計可於本研究中改善滾輪雕刻方式，運用光學設計配合曲面微影與蝕刻及電鍍的方式製作出滾輪上微結構更小之滾輪。
- (4) 本研究會將所製作出之滾輪以 UV 轉印及塑膠薄膜擠出成型來進行微結構壓印，亦會探討此兩種製程成型後之光學性質。
- (5) 本論文所開發之機台可衍生發展出滾輪壓印系統與具有收料輪設備之機台，機械設計容易，可達到 Roll-to-Roll 大量生產，而且快速、低成本、省能源。

本研究應用了乾膜光阻易貼附於曲面上之特性，且不需經過濕膜光阻的旋轉塗佈與軟烤、硬烤等繁瑣步驟，可望改善濕式光阻塗佈於滾輪不均勻之情形，且由於製作出之微結構與滾輪是一整體剛性結構，解決了滾輪壓印時，包覆式模具與滾輪本體滑移之問題，且能以更高效率、大面積的方式來製作微結構和光學元件，實現在塑膠膜上大量壓印微結構之目的。

表2-1 乾膜光阻與濕式光阻分析比較表

	濕式光阻	乾膜光阻
塗佈	旋轉塗佈、滾輪塗佈、 狹縫塗佈、噴霧塗佈	直接貼合，大小無限制， 與貼合機面積相關
成本	高	低
塗佈均勻性	與塗佈設備相關， 大面積塗佈仍難達到均勻	與貼合程序相關， 現今貼合機技術純熟
曝光顯影解析度	高(可達奈米尺度等級)	低(10~20 $\mu$ m)
產品種類	多	少
機械強度	弱~強	弱

表2-2 不同厚度之乾膜光阻(Ordyl P-50100)所需的曝光強度

[Koukharenka (2005)]

Parameters	One layer, 20 $\mu$ m Ordyl P-50100	One layer, 100 $\mu$ m Ordyl P-50100	Two layers, 200 $\mu$ m Ordyl P-50100
Exposure	40 s	60–80 s	300–350 s under optimization
Development time	130 s	320 s	640 s

表2-3 SU-8厚膜光阻與乾膜光阻之性質比較表 [Vulto (2004)]

SU-8 厚膜光阻			乾膜光阻
能夠當成翻模之模具	+	+	能夠當成翻模之模具
兩片黏合時需要黏著劑	-	+	輕易直接黏合，不需黏著劑
需在潔淨室進行製程	-	+	可在較簡易的環境、設備下進行
深寬比可達到 7	+	-	深寬比可達到 1-3
顯影後結構側壁接近垂直	+	+	顯影後結構側壁接近垂直
難以達成均勻、平坦塗佈	-	+	易於達成均勻、平坦塗佈
表面粗糙度約 1nm	+	+	表面粗糙度 30nm-1 $\mu$ m
邊緣突起(Edge beads) 達到 20%	-	+	無邊緣突起(Edge beads)
塗佈厚度控制範圍可從 2 $\mu$ m-1mm 但控制精準度差(由 轉速決定)	+/-	-/+	厚度由貼合的層數來決定，變化 性低，但精準度佳，為單一層的 倍數
只能塗佈在特定基材	-	+	幾乎可貼合在任何材料、甚至曲 面
生物相容性	+	+	生物相容性
步驟繁瑣，結構較脆弱	-	+	製程快速

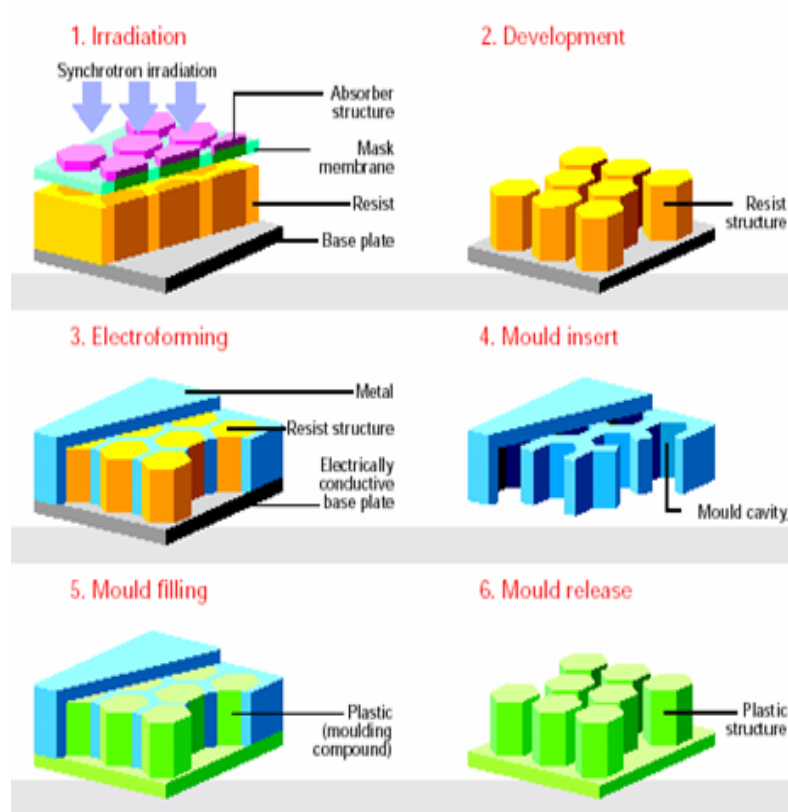
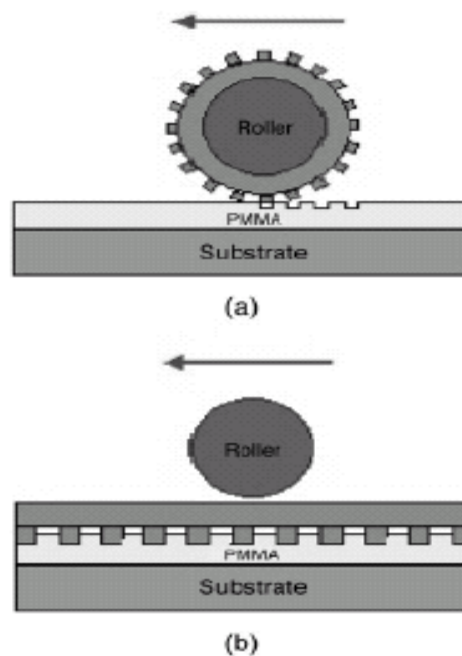
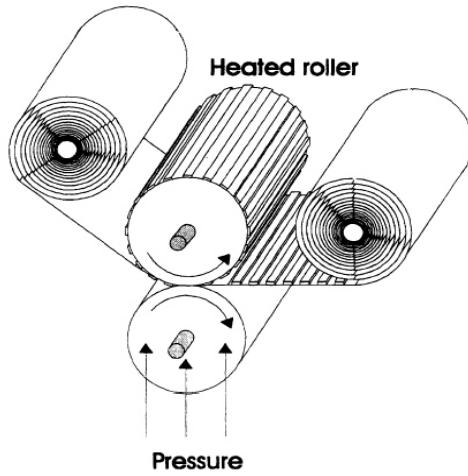


圖 2-1 LIGA 製程步驟示意圖 (圖片來源 <http://www.imm-mainz.de/>)

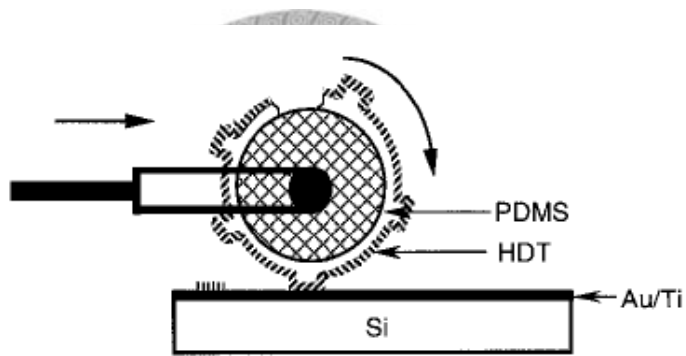


(a) 滾輪式奈米壓印微影示意圖 [Tana (1998)]

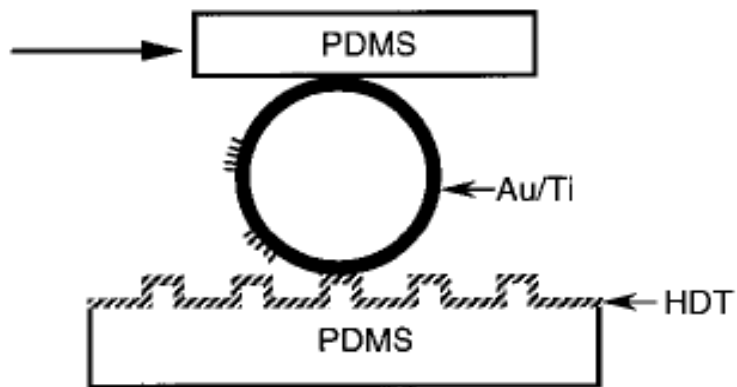


(b) 熱滾壓製程示意圖 [Gale (1997)]

圖 2-2 滾輪應用於微熱壓示意圖

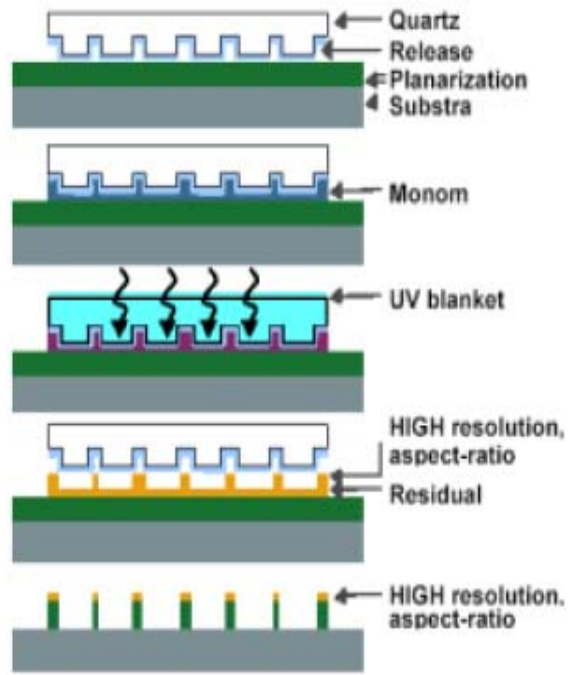


(a) 曲面應用於微觸印(μCP)示意圖 [Xia (1998)]

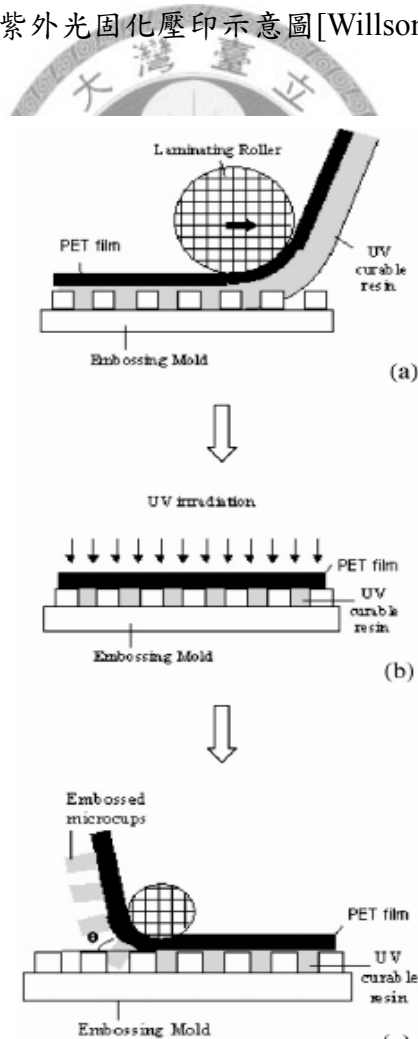


(b) 以微觸印(μCP)製作曲面微結構示意圖 [Xia (1998)]

圖 2-3 滾輪應用於軟微影示意圖

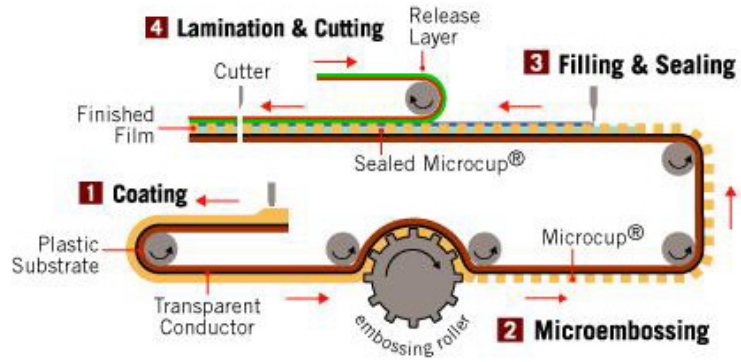


(a) 紫外光固化壓印示意圖[Willson (1999)]



(b) 以滾輪壓印在可撓性基材上複製微結構 [Neo (2003)]





(c) Roll-to-Roll 製程示意圖 [Liang (2003)]

圖 2-4 滾輪應用於 UV 固化微成型示意圖

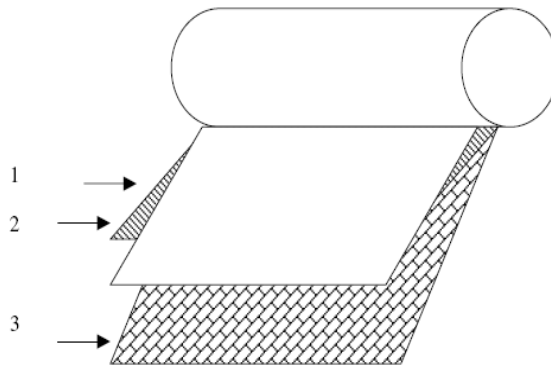


Figure 1. Three-layer structure of dry film photoresist.  
1: polyethylene separation sheet; 2: photoresist and 3: polyester support.

圖 2-5 乾膜光阻之構造示意圖 [Kukharenska (2003)]



圖 2-6 乾膜光阻貼合機 [志聖工業]

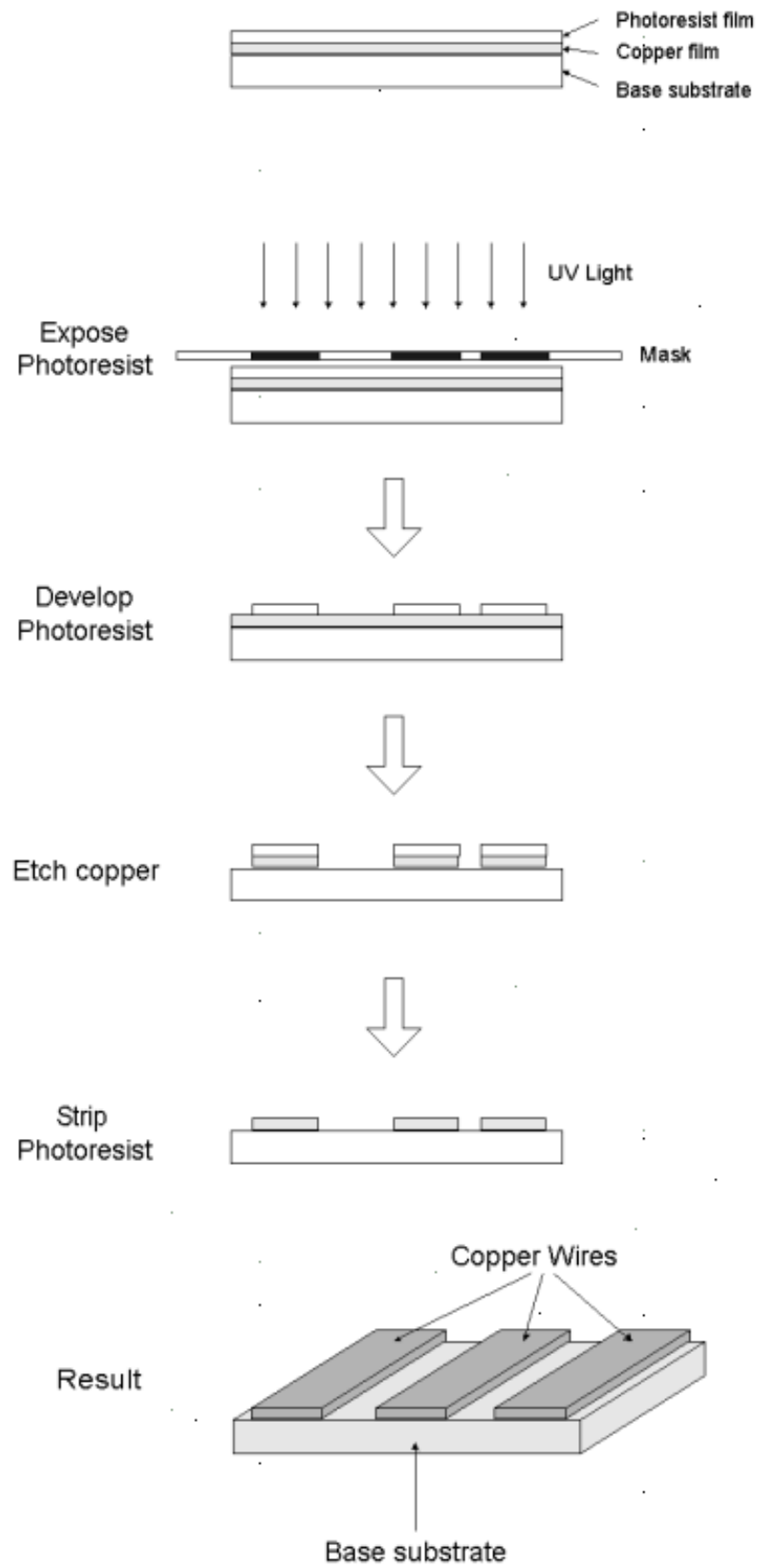


圖 2-7 乾膜光阻應用於 PCB 製程示意圖

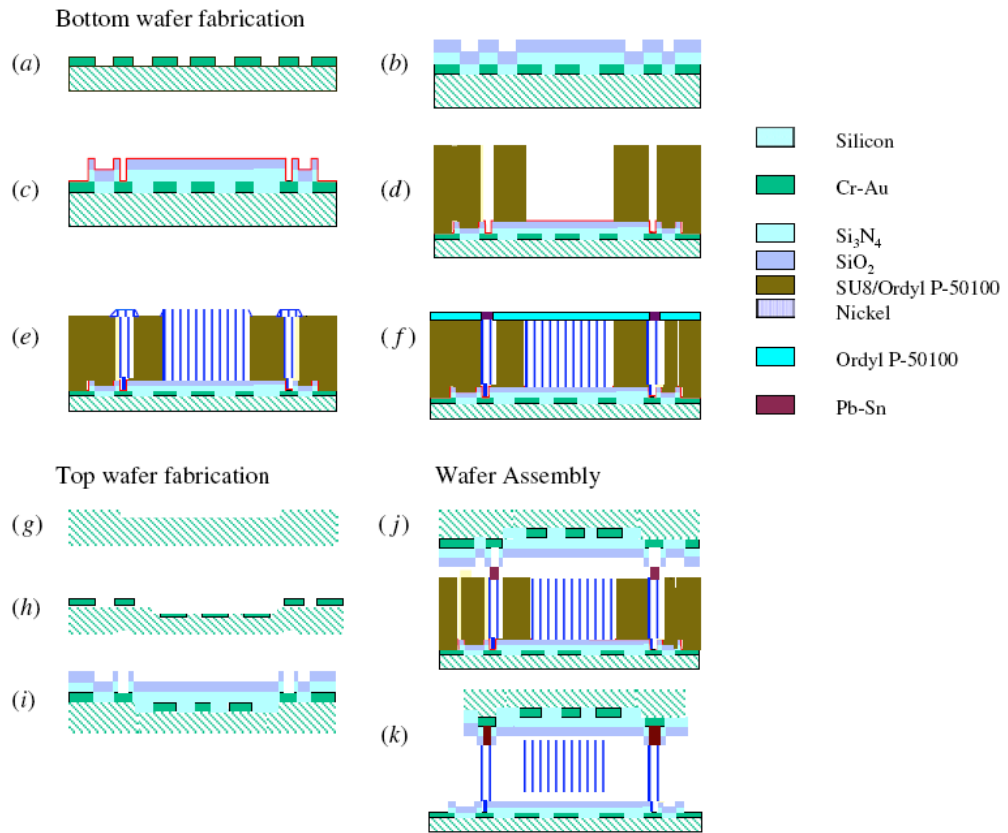


圖 2-8 製程示意圖 [Kukharenska (2003)]

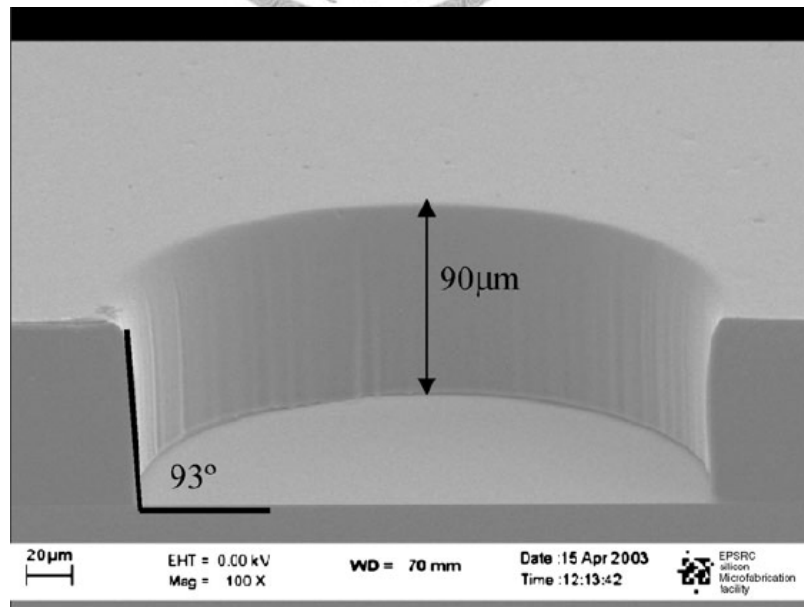


圖 2-9 顯影後 SEM 側壁觀察 [Kukharenska (2003)]

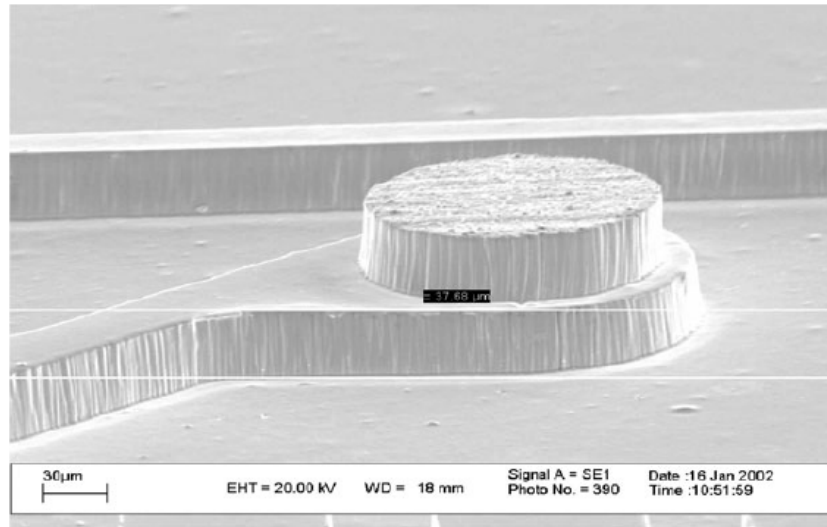


圖 2-10 電鑄鍍結構完成圖 [Kukharena (2003)]

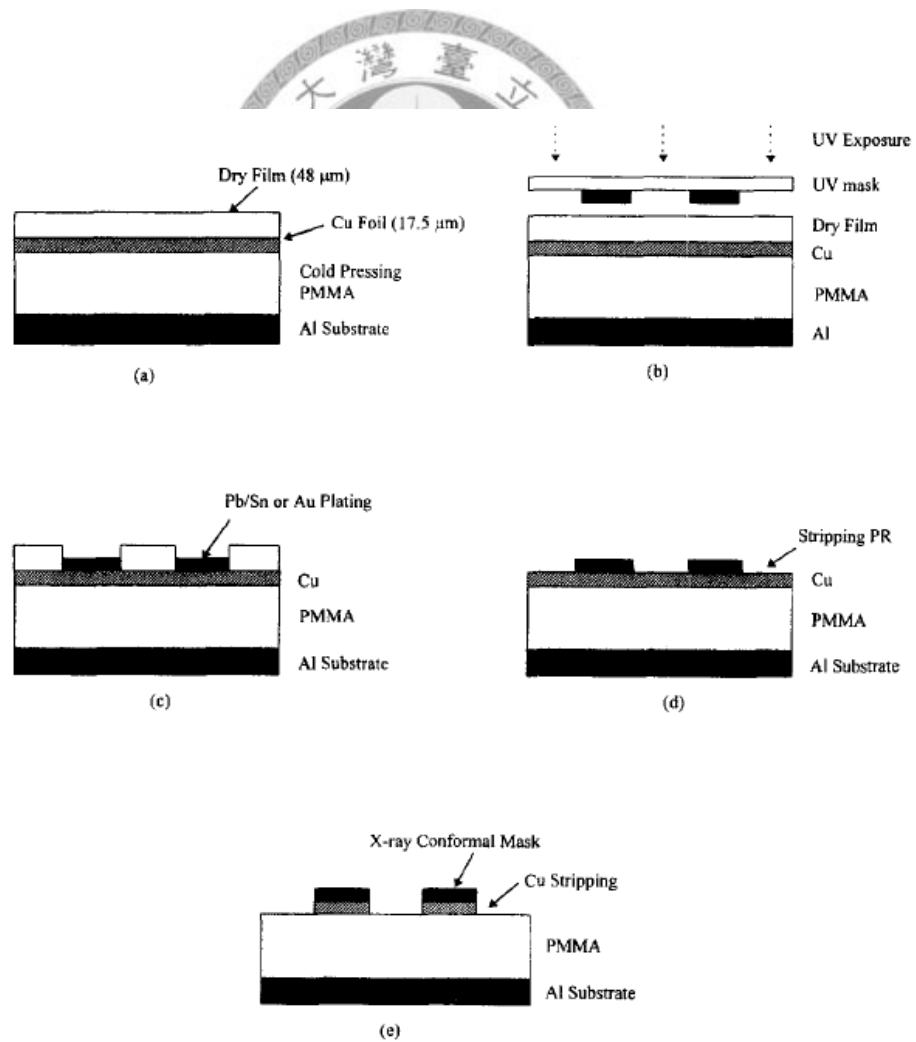


圖 2-11 應用乾膜光阻製造使用於 X 光微影之光罩 [Shih (1998)]

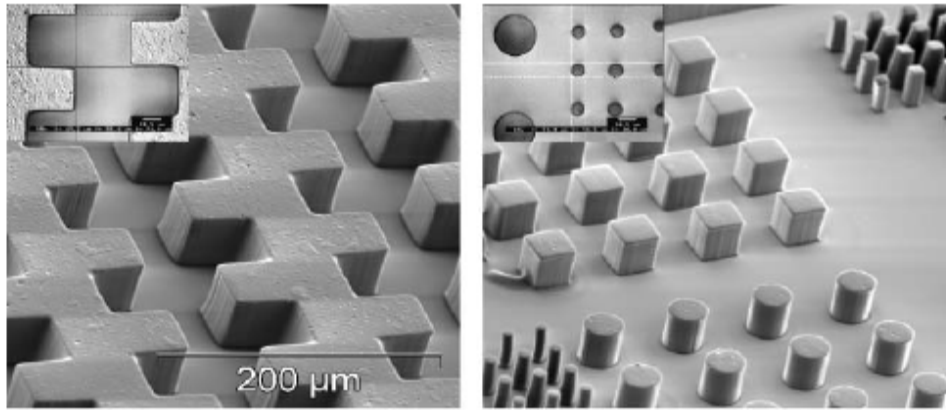


圖 2-12 乾膜光阻微流道完成圖 [Vulto (2004)]

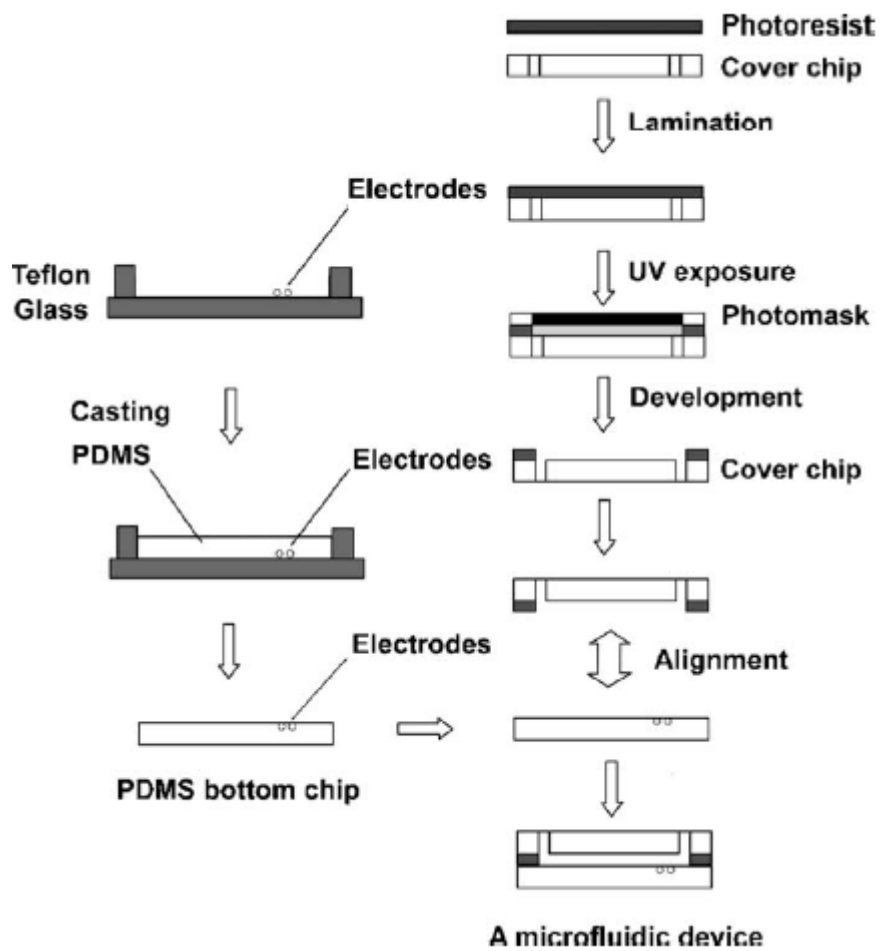
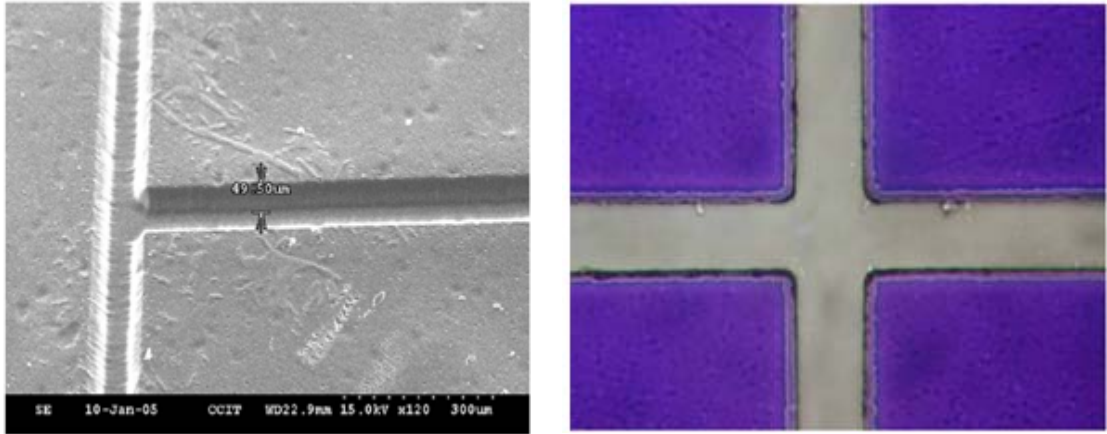


圖 2-13 乾膜光阻微流道製程步驟 [Tsai (2005)]



(a)

(b)

圖 2-14 乾膜光阻微流道完成圖 [Tsai (2005)]

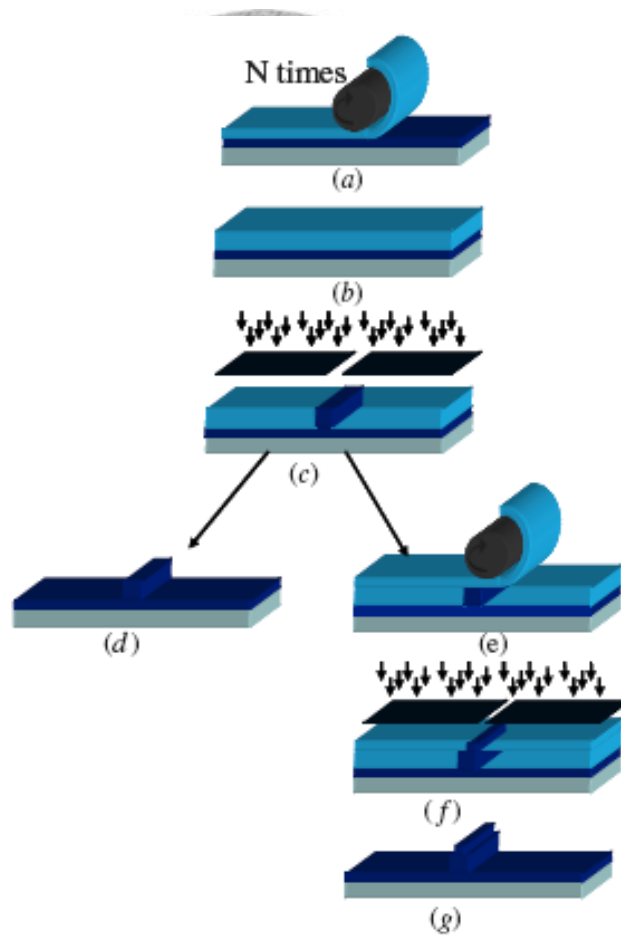


圖 2-15 乾膜光阻微流道製程步驟 [Stephan (2007)]

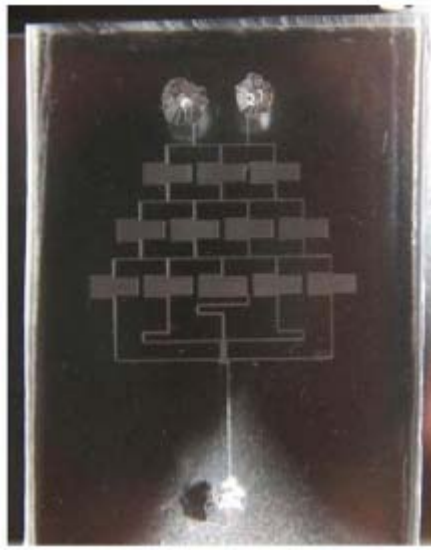


圖 2-16 PDMS 微流道完成圖 [Stephan (2007)]

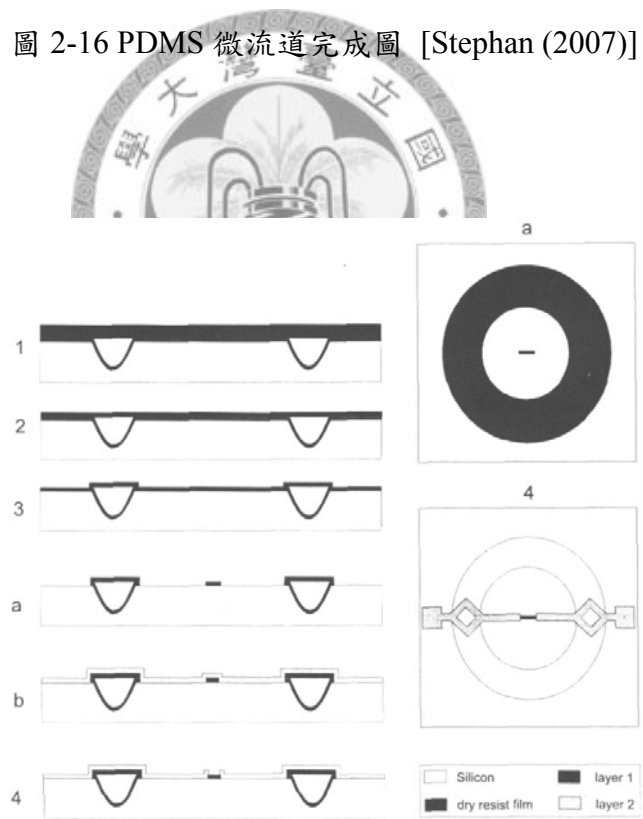


圖 2-17 應用乾膜光阻製造橋狀結構製程示意圖 [Spiering (1995)]

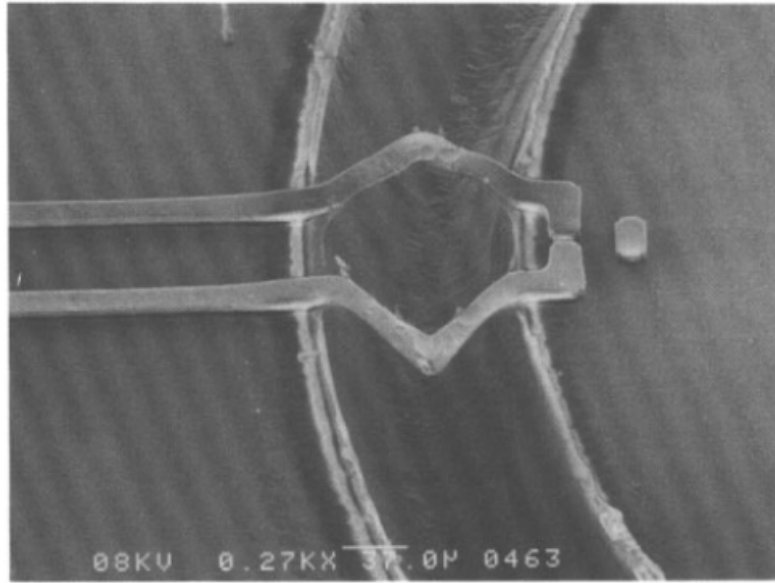


圖 2-18 應用乾膜光阻製造之橋狀結構 SEM 圖 [Spiering (1995)]

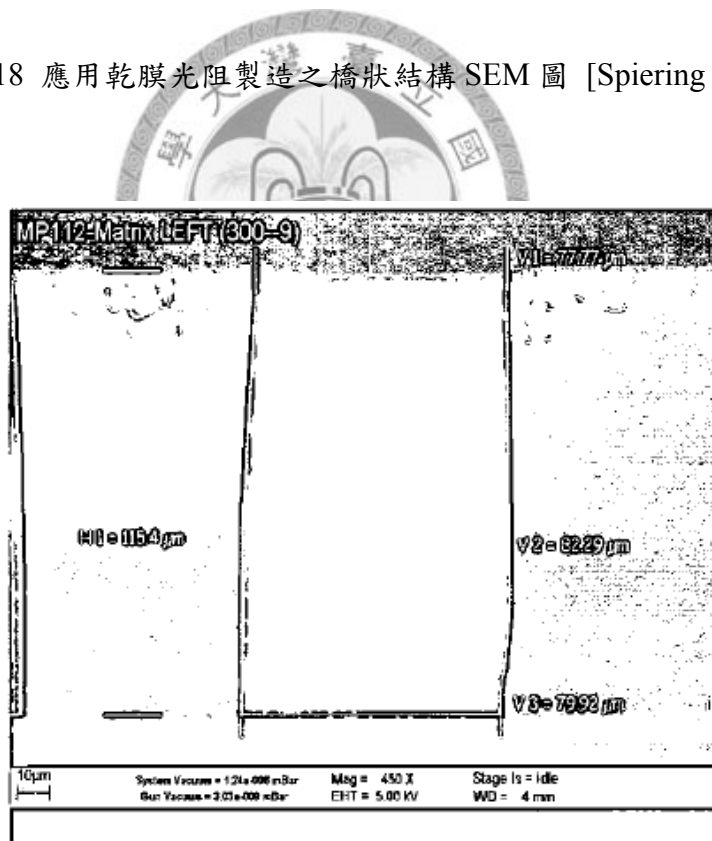


圖 2-19 以 90°C 硬烤 60 秒後的側壁量測圖 [Ke (2001)]



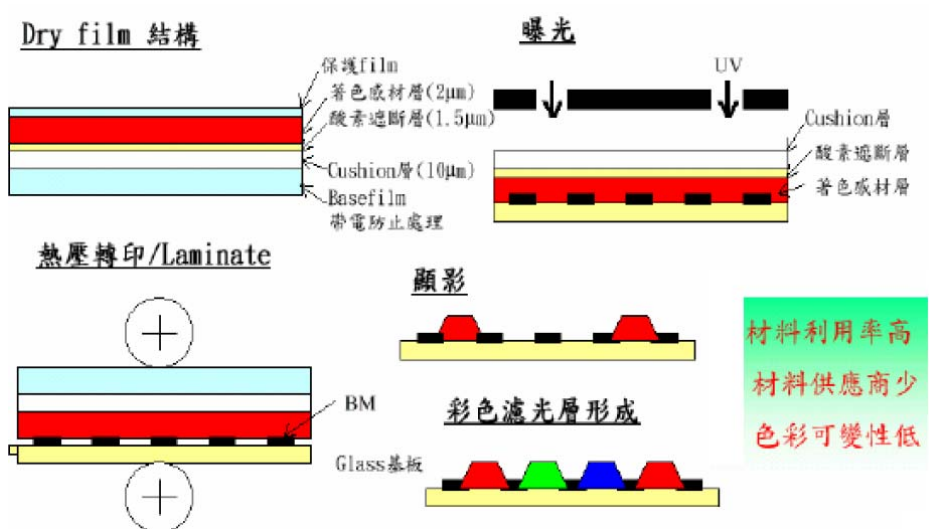


圖 2-20 乾膜光阻法製作彩色濾光片

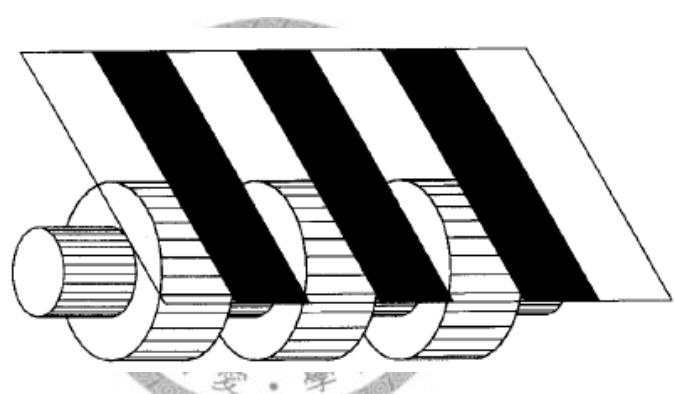


圖 2-21 微影術應用於微結構滾輪製作之示意圖 [Feinerman (1996)]

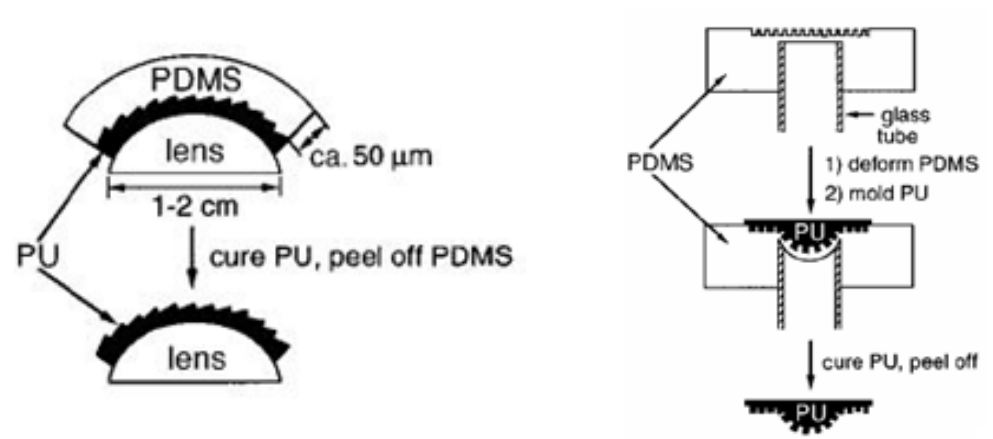


圖 2-22 REM 應用於曲面成形示意圖 [Xia (1998)]

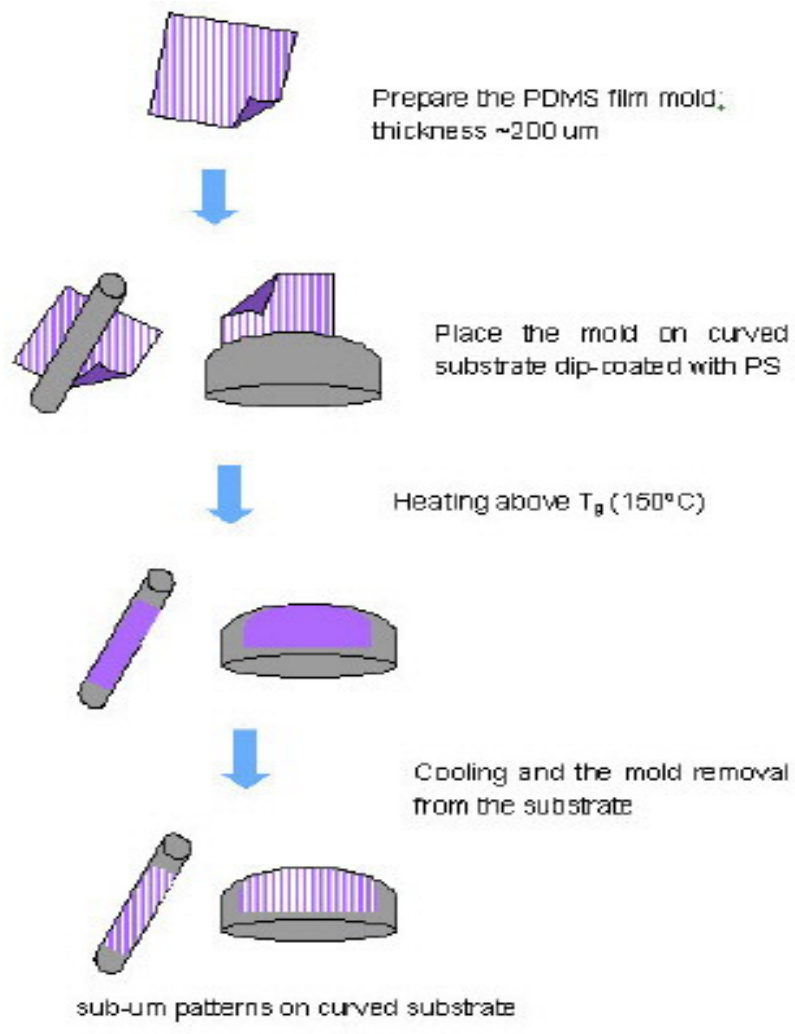
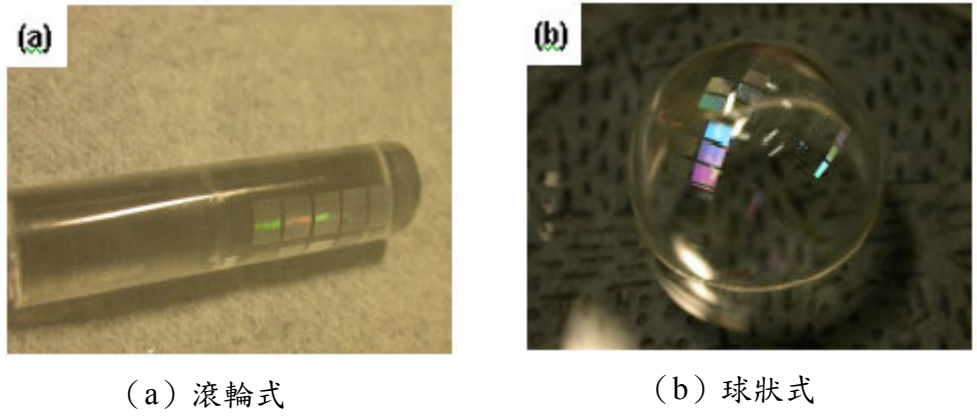


圖 2-23 PDMS 曲面模具製作流程圖 [Choi (2004)]



(a) 滾輪式

(b) 球狀式

圖 2-24 成品實體圖[Choi (2004)]

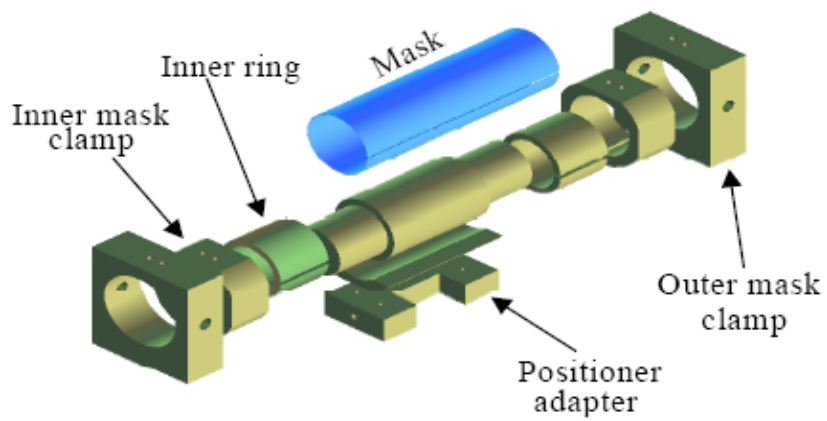
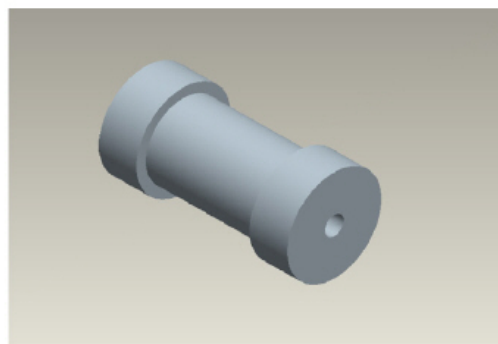
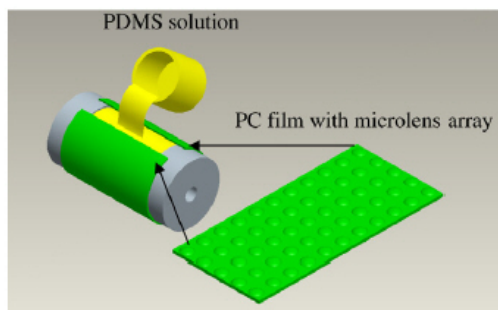


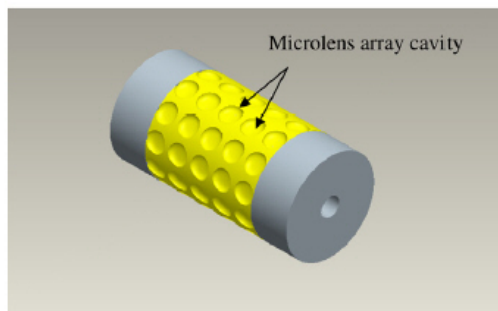
圖 2-25 微影術應用於微結構滾輪製作之示意圖 [Li (1998)]



(a) Silicone cylinder without micro-features



(b) PDMS casting



(c) Soft roller with microlens array cavity

圖 2-26 製作微透鏡模穴流程圖[Chang (2007)]

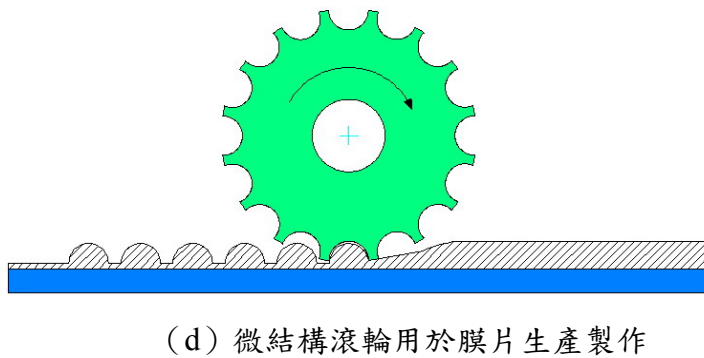
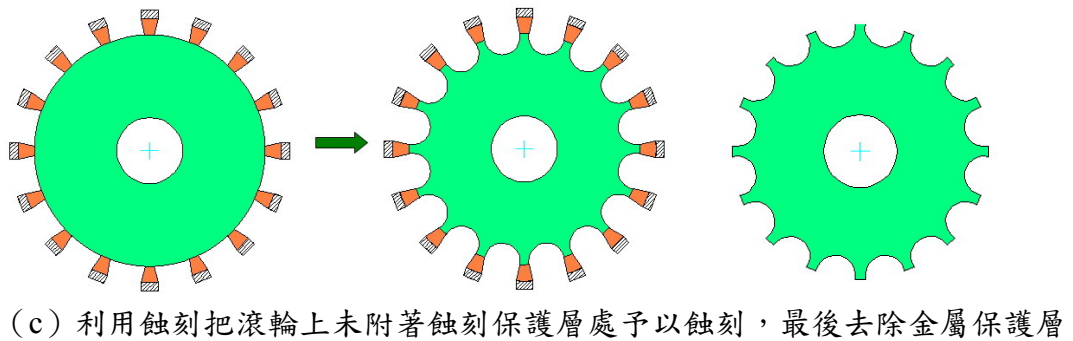
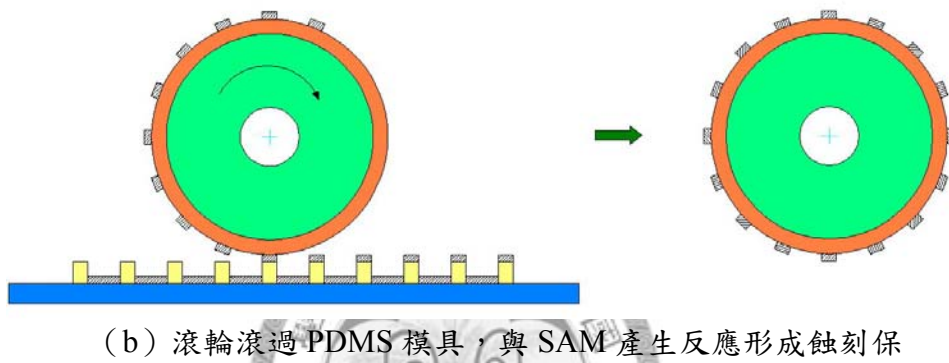
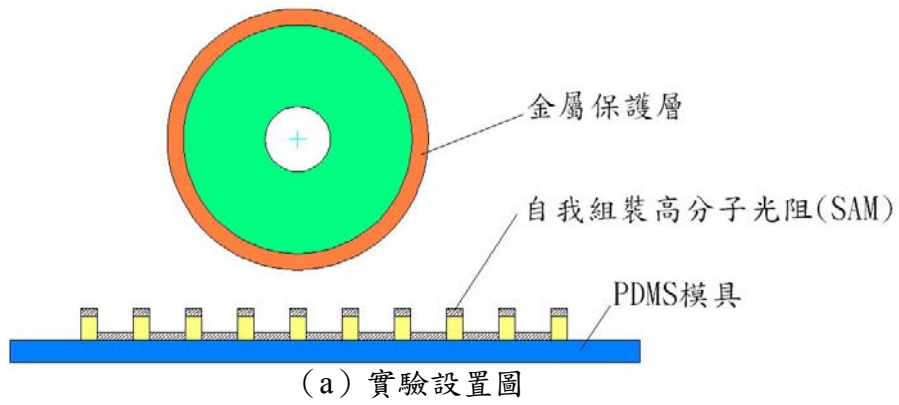


圖 2-27 蝕刻技術製作微結構滾輪[潘 等人(2006)]

## 第三章 應用乾膜光阻製作滾輪與微壓印機台之設計

本章介紹微結構滾輪製作流程與微壓印機台之設計開發。第一節首先介紹實驗目的以及整體流程規劃；第二節介紹配合本研究所開發之滾輪微壓印機台；第三節介紹以乾膜光阻並利用「蝕刻法」製作微結構滾輪之製程；第四節則介紹利用乾膜光阻以「無電鍍鎳法」製作微結構滾輪之製程；第五節致力於結合「微結構滾輪壓印成型」與「塑膠薄膜擠出成型」新製程之開發。另外，亦嘗試使用氣輔平台將滾輪之微結構轉印至 UV 膠上，並探討其成型性與複製效果；最後，第六節介紹本實驗所需使用之量測系統與設備。

### 3.1 實驗目的及整體流程規劃

本實驗之最終目標為應用乾膜光阻在金屬滾輪曲面上製作出剛性微結構滾輪，整體流程規劃如下所述：首先，對製程實驗之構思；第二，進行乾膜光阻基礎實驗測試，本研究由於是將微結構製作於滾輪上有其難度，因此，先用平面銅片基材代替滾輪進行測試再將所得最佳參數應用於滾輪製程；第三，設計滾輪微結構壓印機台之製作；第四則為微結構滾輪之製作；第五，進行微結構滾輪之量測；第六為利用薄膜擠出成型搭配開發設計之滾輪微結構壓印機台，藉著連續的製程，將滾輪上的微結構轉印到塑膠薄膜表面上；最後，對複製後之塑膠薄膜進行量測，實驗流程如【圖 3-1】。

### 3.2 滾輪微壓印機台之設計

由於本實驗所需之貼合機設備儀器昂貴，因此，為了能順利進行本研究所需之相關製程，利用 Solid work 繪圖軟體設計一可提供多用途之滾輪微壓印機台，此機台可應用於以下實驗製程：

- (1)乾膜光阻於矽膠滾輪上之貼合。
- (2)貼合後，乾膜光阻於滾輪上之曲面曝光。
- (3)微結構滾輪壓印成型。
- (4)滾輪圈數計數。

滾輪微壓印機台主要是由滾輪組（驅動輪和微結構輪）、驅動動力源、微結構滾輪滑動機構、滾輪加熱系統、滾輪圈數計數裝置五大單元組成，如【圖 3-2】、【圖 3-3】。

】所示，以下針對此五大單元做介紹。

### 3.2.1 滾輪組

滾輪組分為驅動滾輪和微結構滾輪，微結構滾輪是在活動側，其推力來源是由氣壓缸（05SGN，亞德客工業）來提供，氣壓缸與幫浦連接打入氣壓，氣壓缸可推動滑塊使整支滾輪移動，可控制通入氣壓來改變夾持滾輪於加熱輪間的接觸壓力，此壓力即為貼合乾膜光阻或滾輪壓印時之壓力來源。驅動滾輪是由矽膠製成，如【圖 3-4】，利用矽膠具有彈性之想法提高貼合之成功率，其動力來源是由直流馬達透過正傘齒輪帶動驅動滾輪旋轉，控制直流電源供應器之輸出電壓，可改變加熱滾輪之轉速。微結構滾輪即是本實驗蝕刻後所製作之滾輪。

### 3.2.2 驅動動力源

壓力源是由氣壓幫浦所產生之壓力，氣壓幫浦，如【圖 3-5】所示，以管路連接的方式傳遞到推動微結構滾輪上的氣壓缸，使微結構滾輪可以受到氣壓缸推力（氣壓缸所輸出的力量值等於所需要的壓力值乘以氣壓缸活塞受壓面積， $F=P \times A$ ， $P$  為工作壓力、 $A$  為活塞受壓面積）往驅動滾輪靠近施壓，可利用空壓調控閥控制所需之壓力，以控制微結構滾輪施壓的力量。

### 3.2.3 微結構滾輪滑動機構

此部分的機構是使用 2 組線性滑軌（上銀科技 MGN 15H-1R70-Z1CM）鎖在側板上，微結構滾輪固定在軸承座上，而軸承座又直接鎖在線性滑軌的滑塊上，透過氣壓缸出力施加力量於軸承座，當滑軌上之滑塊移動時，錐形夾具夾持之滾輪能有一維之移動自由度，使其可與加熱輪夾緊。

### 3.2.4 滾輪加熱系統

本實驗使用可撓性加熱片（10x160mm，160Z，90W，凌特國際），如【圖 3-6】所示，此加熱片由於具有彈性，置於滾輪內壁可完全緊貼附於滾輪，加熱片以電熱管溫度控制器，如【圖 3-7】所示，配合熱電偶可控制溫度，可將滾輪加熱到所設定溫度並維持恆溫。

### 3.2.5 滾輪圈數記數裝置

乾膜光阻在貼合時滾輪轉數亦是一項重要參數之一，因此，本實驗利用超小型電子計數器（TCST-1103）設計一可計算滾輪旋轉圈數之裝置，規格如【表 3-1】，此超小型電子計數器具有以下特性：

(1) 內部自帶電源，不需外接。

- (2)可輸入接點信號，或電信號，計數準確可靠。
- (3)LCD 顯示, 顯示大而清晰。
- (4)最高計數速度可達 200 CPS 且計數範圍廣 0~999999。
- (5)無機械磨損, 壽命長。
- (6)電池壽命 $\geq 10$  年。

綜合以上優點，選擇此型號電子計數器搭配可將計數器歸零裝置，以焊接之方式接至電路板上即可，只要滾輪開始旋轉，經過光遮斷器時即會接收訊號，計數器上即可計數旋轉圈數，此設置架設在機台上，如【圖 3-8】所示。

### 3.3 蝕刻法製作微結構滾輪

#### 3.3.1 材料及設備

**乾膜光阻**：ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102(旭化成)負型乾膜光阻進行實驗，如【圖 3-9】所示，此型號乾膜光阻具有以下優點：

- (1)顯影後光罩重現性佳。
- (2)高解析度（最小解析度 14 $\mu\text{m}$ ）。
- (3)曝光前後乾膜光阻顏色比對容易分辨，曝光後也易於觀察曝光結果優劣。
- (4)結構強度佳，可抵擋 Ferric chloride( $\text{FeCl}_3$ )與 Cupric chloride( $\text{CuCl}_2$ )。
- (5)製程結束後易於剝除且光阻本身不會溶解於剝膜液。

ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102 之詳細性質表可見【表 3-2(a)】。

**滾輪材料**：低碳鋼、磷青銅、紅銅，內徑 60mm，長度 120mm。

**曝光光源**：365~410nm 波長之紫外光 UV Light Lamp (Philip Co.)，如【圖 3-10】。

**電熱定溫水浴器**：如【圖 3-11】所示。

**高氮**：巧固實業，如【圖 3-12】所示。

**熱脫脂劑**：DC-F20(錠祈國際)。

**酸洗液**：濃度 10%之  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 。

**顯影液**：濃度  $1.0\pm 0.2\text{wt}\%$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Sodium Carbonate) 溶液。

**蝕刻液**： $\text{FeCl}_3$ 。

**剝膜液**：濃度 2%~ 3%之  $\text{NaOH}$  (Sodium hydroxide) 溶液。

滾輪前處理：

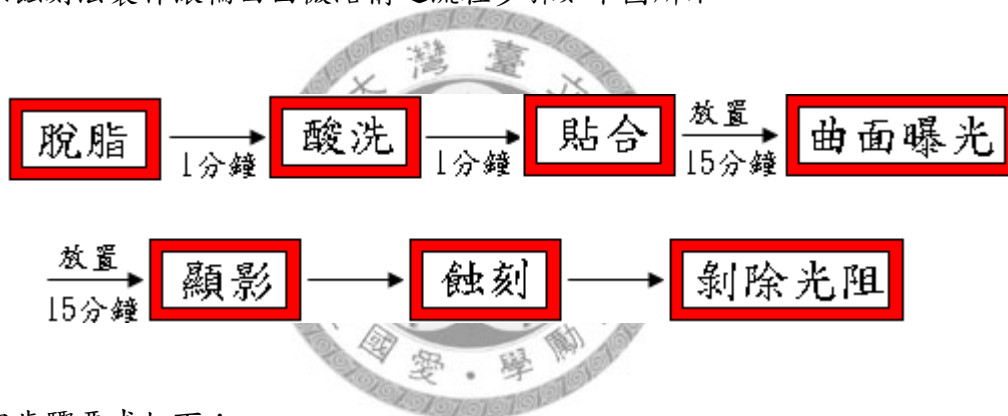
- (1) 以轉速 1800rpm 進行滾輪表面精密車削。
- (2) 以 400 號、800 號及 1200 號砂紙在車床上以轉速 1800rpm 表面研磨。

### 3.3.2 曲面曝光需使用之光罩

光罩圖案以繪圖軟體 (AutoCAD) 製作，作正片輸出印刷至 PET 基材。由於實驗使用之乾膜光阻為負型光阻，未受曝光固化之部分將會被顯影液去除，且蝕刻產生之微結構為凹陷結構，因此，光罩上設計不透光區域在蝕刻後，將產生凹陷之微結構。本實驗繪製直線(Grating)與圓點陣列(Lens array)兩種圖案，直線線寬有  $34\mu\text{m}$  與  $37\mu\text{m}$  兩種，如【圖 3-13(a)】【圖 3-13(b)】，圓點則有直徑  $48\mu\text{m}$ 、 $57\mu\text{m}$ 、 $70\mu\text{m}$  及  $79\mu\text{m}$  四種尺寸之光罩圖案，如【圖 3-14(a)】【圖 3-14(b)】【圖 3-14(c)】【圖 3-14(d)】所示。

### 3.3.3 蝕刻法製作微結構滾輪之流程

以蝕刻法製作滾輪曲面微結構之流程步驟如下圖所示：



各製程步驟要求如下：

- (1) 脫脂：5 分鐘 ( $50^{\circ}\text{C}$ ，DC-F20 熱脫脂劑，錠祈國際)。
- (2) 酸洗：5 分鐘 ( $10\% \text{H}_2\text{SO}_4$ )。
- (3) 貼合：貼合參數將於第 4.1 節討論。
- (4) 曝光：曝光參數將於第 4.2 節討論。
- (5) 顯影：32 秒 ( $30^{\circ}\text{C}$ ，濃度  $0.85 \text{Na}_2\text{CO}_3$ )。
- (6) 蝕刻：5 分鐘 ( $45^{\circ}\text{C}$ ， $\text{FeCl}_3$ )。
- (7) 剝膜：12 秒 ( $45^{\circ}\text{C}$ ，濃度  $2\% \sim 5\%$  之  $\text{NaOH}$ )。

圖示製程示意圖見【圖 3-15】，以下詳細說明各步驟：

#### (1) 脫脂 - 5 分鐘 (DC-F20 熱脫脂劑)

脫脂液加熱至  $50^{\circ}\text{C}$  後，將金屬滾輪浸泡於溶液中 5 分鐘，後以清水沖洗 1 分鐘。



脫脂是為了去除金屬表面加工時，將機械加工所留下的多量油漬予以清除，一般常用之有機溶劑有蒸氣脫脂(Vapor Degreasing)法或乳化溶液之浸泡脫脂。DC-F20 為一中鹼度的脫脂劑，適用於各式金屬，如鋁、銅、鐵、鋅。不含任何形式的消泡劑，其獨特的介面活性劑，當溫度上升至 40°C 以上時，泡沫會被有效的抑制，適用於各種清洗方式。

### (2) 酸洗 - 5 分鐘 (10% $H_2SO_4$ )

將滾輪浸泡於濃度 10% 稀釋硫酸 5 分鐘作酸洗，此步驟是為了對銅表面進行微蝕 (Micro Etching) 以增加表面粗糙度，增進乾膜光阻貼附於滾輪上之附著力。酸洗完畢後以清水沖洗 1 分鐘，並以高壓氣體(高氮)噴槍去除表面水氣，以利下一步驟之貼合。

### (3) 貼合

將銅滾輪夾緊於自製滾輪微壓印機台上之錐形夾具後，當氣壓缸通入氣壓推動滑軌，銅滾輪與驅動輪會互相緊靠，接著把乾膜光阻的保護層撕除，將裸露出之光阻層朝銅滾輪送入兩滾輪之間，隨著滾輪的轉動，乾膜光阻將逐漸被捲進兩滾輪間夾縫，同時乾膜光阻逐漸貼附於銅滾輪上。貼合的溫度值由滾輪內之加熱片與電熱管溫度控制器控制，而壓力由氣壓缸所通入的氣壓控制。貼合示意圖如【圖 3-15】，實際進行貼合如【圖 3-16】，貼合完成之滾輪如【圖 3-17】。貼合時有多種因子會影響貼合之品質以及貼合後之厚度，將於第 4.1 節作深入探討。

### (4) 曲面曝光

貼合後將滾輪靜置 15 分鐘，將可撓式塑膠光罩包覆於滾輪上，接著將滾輪架設於滾輪微壓印機台上以 365nm 波長紫外光燈 (Philip Co.) 進行曲面曝光，示意圖如【圖 3-18】。而機台實際設置圖如【圖 3-19】。本實驗中，設定以滾輪轉動一圈為一次之曝光時間，因此，只需調整滾輪轉速即可改變曝光時間。曝光參數將於第 4.2.9 節作深入探討。

### (5) 顯影 (0.85% $Na_2CO_3$ )

曝光後將滾輪靜置 15 分鐘，接著進行乾膜光阻之顯影。首先配置 0.85%  $Na_2CO_3$  (Sodium Carbonate) 溶液，下一步將乾膜光阻之基底薄膜層撕除後，將整支滾輪浸泡於此顯影液並輕輕搖晃即完成顯影，後以清水將滾輪徹底洗淨，最後再以高壓氣體(高氮)噴槍去除表面水氣。如無徹底洗淨，殘留的顯影液會逐漸侵蝕乾膜光阻。顯影後之滾輪如【圖 3-20】。

### (6) 蝕刻 ( $FeCl_3$ )

以  $FeCl_3$  溶液進行銅滾輪蝕刻，首先，將氯化鐵溶液裝於燒杯並加熱至  $45^\circ C$ （溫度越高蝕刻速率越快，但蝕刻品質會較差，因此控制在  $45^\circ C$ ）。將整支滾輪直立浸泡於此蝕刻液（因橫向擺置時，朝上之銅表面與氯化鐵反應產生之生成物難以排出，易堆積在孔洞內，造成滾輪上下蝕刻品質不一），並以攪拌棒攪拌溶液，若無攪拌，反應生成物亦將堆積在表面，影響蝕刻品質。進行蝕刻之設置如【圖 3-21】所示。控制蝕刻時間來獲得所需之蝕刻深度。

### (7) 剝除光阻 (3% $NaOH$ )

以氫氧化鈉溶液 (3%  $NaOH$ ) 將乾膜光阻全數剝除。並以清水沖洗乾淨，即完成蝕刻法製作微結構滾輪之流程。

## 3.4 無電鍍法製作微結構滾輪

### 3.4.1 材料及設備

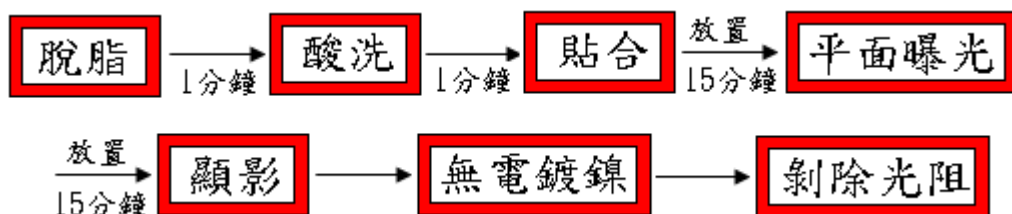
此實驗所需準備之設備皆與利用蝕刻法製作流程相同，光罩則為線寬  $45\mu m$  之線條圖案，滾輪材料為鋁，外徑  $88mm$ ，長度  $110mm$ 。

#### 滾輪前處理：

- (1) 以轉速  $1800rpm$  進行表面精密車削。
- (2) 以 800 號、1200 號及 2000 號砂紙在車床上以轉速  $1800rpm$  進行表面研磨，最後再以研磨筆，利用鑽石膏進行表面拋光。

### 3.4.2 無電鍍法製作微結構滾輪之流程

以無電鍍法製作滾輪曲面微結構之流程步驟如下圖所示：



各製程步驟要求如下：

- (1) 脫脂：5 分鐘 ( $50^\circ C$ ，DC-F20 熱脫脂劑，錠祈國際)。
- (2) 酸洗：5 分鐘 (10%  $H_2SO_4$ )。

- (3)貼合：貼合參數將於第 4.1 節討論。
- (4)曝光：曝光參數將於第 4.2 節討論。
- (5)顯影：32 秒(30°C，濃度 0.85  $Na_2CO_3$ )。
- (6)無電鍍鎳：此部分詳細流程於 4.4 節做詳細介紹。
- (7)剝膜：12 秒(45°C，濃度 2%~5%之  $NaOH$ )。

### 3.5 滾輪微壓印實驗

#### 3.5.1 擠出壓印成型

微結構滾輪亦應用於致力結合「微結構滾輪壓印成型」與「塑膠薄膜擠出成型」新製程之開發，探討其成型性與複製效果，此製程於第五章作詳細探討。

#### 3.5.2 氣體輔助平台轉印

另一方面，微結構滾輪製作完成後，嘗試以 UV 膠塗佈在 PET 後，嘗試將滾輪上之微結構轉至 UV 膠上，測試其複製效果，此製程亦將於第五章作詳細探討。

### 3.6 量測儀器與設備

#### 3.6.1 數位式外徑測微器

利用精度至  $1\mu\text{m}$  之膜厚度量測器(DAIL THICKNESS GAUGE, PEACOCK)進行乾膜光阻厚度量測，量測範圍 0~25mm，解析度  $1\mu\text{m}$ ，量測誤差約 $\pm 0.5\mu\text{m}$ ，如【圖 3-22】所示。

#### 3.6.2 紫外光源強度量測

利用 Newport，1815-C 之 Power meter 量測 UV 光之強度，如【圖 3-23】。

#### 3.6.3 表面輪廓儀與形狀量測儀

本研究用國科會北區微機電中心的表面輪廓儀(surface profile)/Alpha-Step500，(TENCOR，USA，V.Range:300 $\mu\text{m}$ ，Resolution:25A)與形狀量測儀(PGI 1240，2002 Taylor Hobson Ltd)，分別如【圖 3-24】【圖 3-25】所示，進行模具以及轉印成品的初步高度量測。

#### 3.6.4 光學顯微鏡

因表面輪廓儀量測方式是屬於接觸式探針量測，其探針尖端直徑約為  $5\mu\text{m}$ ，因此，量測微結構橫向寬度有可能造成誤差，所以，橫向寬度改以光學顯微鏡 (ZOOMKOP) 進行量測，如【圖 3-26】。

### 3.6.5 掃瞄式電子顯微鏡

掃瞄式電子顯微鏡 (Scanning Electronic Microscopy, SEM)，如【圖 3-27】，可以準確的呈現出微結構 3D 的真實影像，並擷取微結構照片。

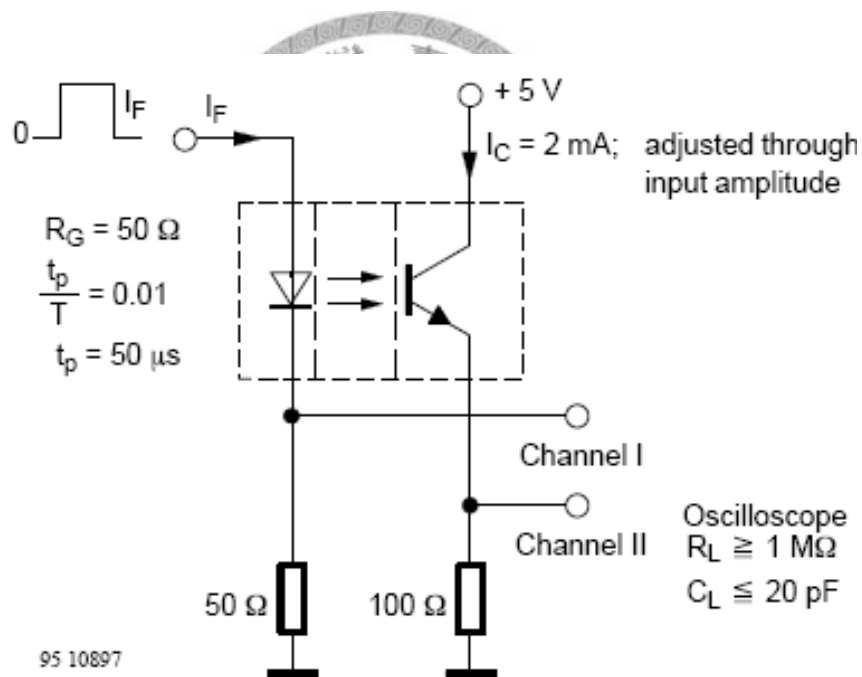
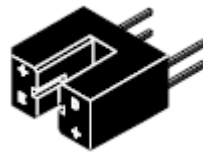
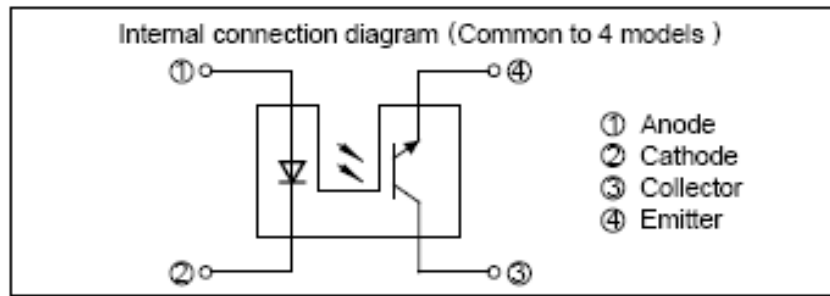
### 3.6.6 微透鏡陣列元件的光學性質檢測

本研究最終利用製作出之微結構滾輪進行微壓印成型技術製作微透鏡陣列元件，並架設光學檢測系統量測元件之光學特性，如【圖 3-28】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。



表3-1 超小型電子計數器(TCST-1103) 規格表



### Switching Characteristics

Parameter	Test Conditions	Symbol	Typ.	Unit
Turn-on time	$V_S = 5 \text{ V}$ , $I_C = 2 \text{ mA}$ , $R_L = 100 \Omega$ (see figure 1)	$t_{on}$	10.0	$\mu s$
Turn-off time		$t_{off}$	8.0	$\mu s$

表3-2 ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102建議製程參數表

Item	Condition	Remarks
1. Board preparation 1-1 Pre cleaning Washing 1-2 Scrubbing Washing 1-3 Drying by air-blower	Conventional cleaners or dilute sulfuric acid (5--10%)  Air blowing: 4.0 – 9.0 m <sup>3</sup> /min Temp. of surface: 40 to 50degC	The copper surface should be completely free from moisture, oil, heavy oxidation and contamination's.  The roughness after preparation should be kept 0.3 to 1.0 μm.
2. Lamination 2-1 Preheating the copper surface  2-2 Roll temp. 2-3 Roll pressure 2-4 Speed 2-5 Holding time after lamination	Temp. of copper surface should be 50 ± 10 degC just before lamination.  110 ± 10degC 0.4 ± 0.1 MPa (As air cylinder gauge) 1 to 3m/min.  More than 15 min. Less than 3 days	Preheating is better process to increase the adhesion and the conformity of DFR to the board.     Cool to room temp.
3. Exposure 3-1 Exposure energy 3-2 Temp. of panel 3-3 Holding time after exposure	100mJ/cm2  23 ± 2 degC  More than 15 min. Less than one day	Step tablet 5-7 st/Stouffer21st

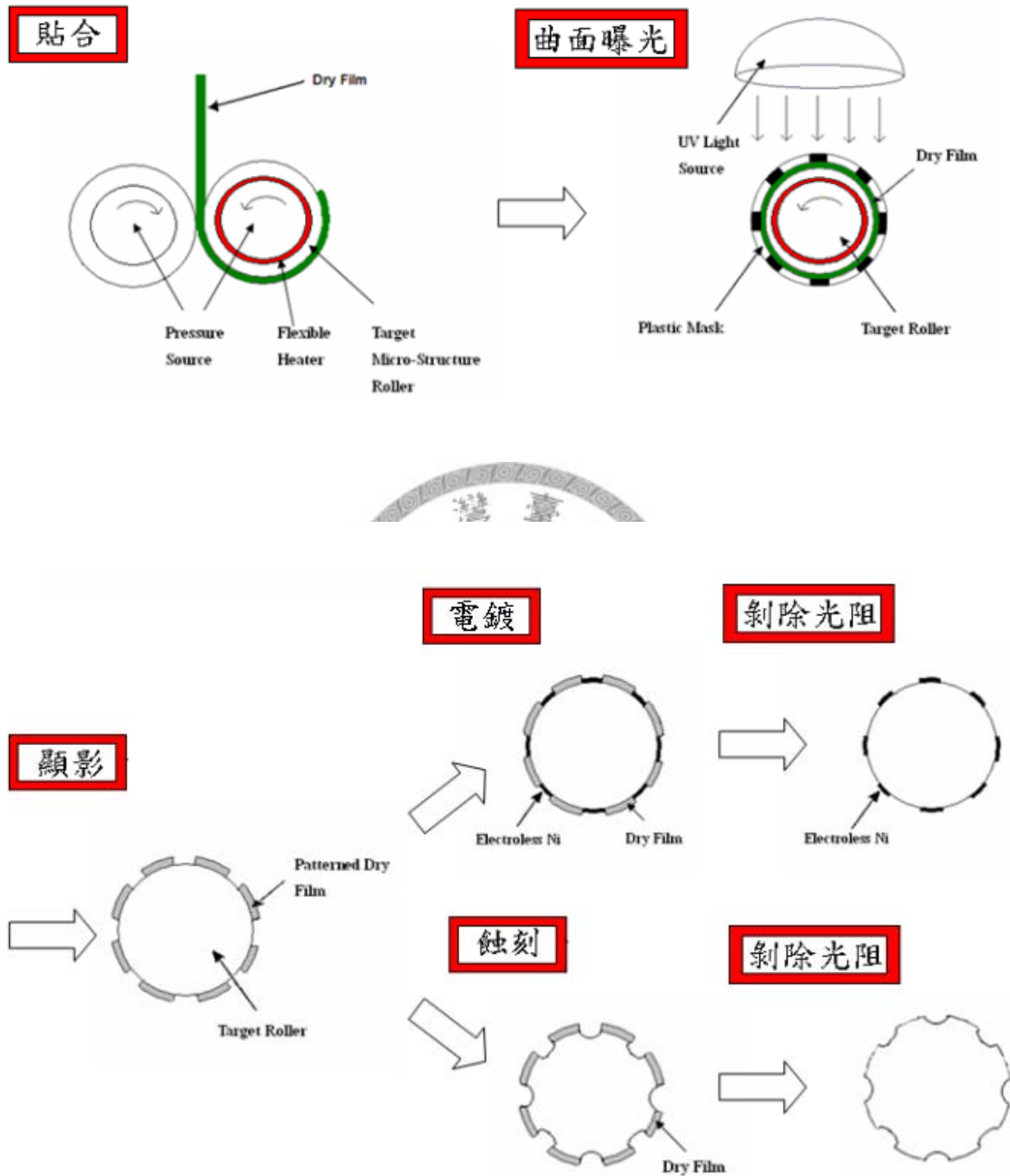


圖 3-1 實驗流程

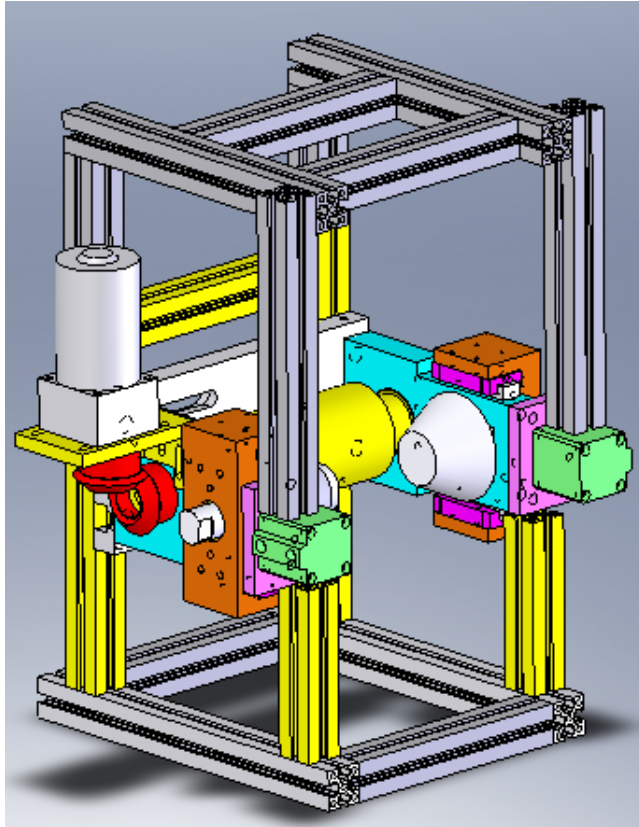


圖 3-2 滾輪機台設計圖 (組合圖)

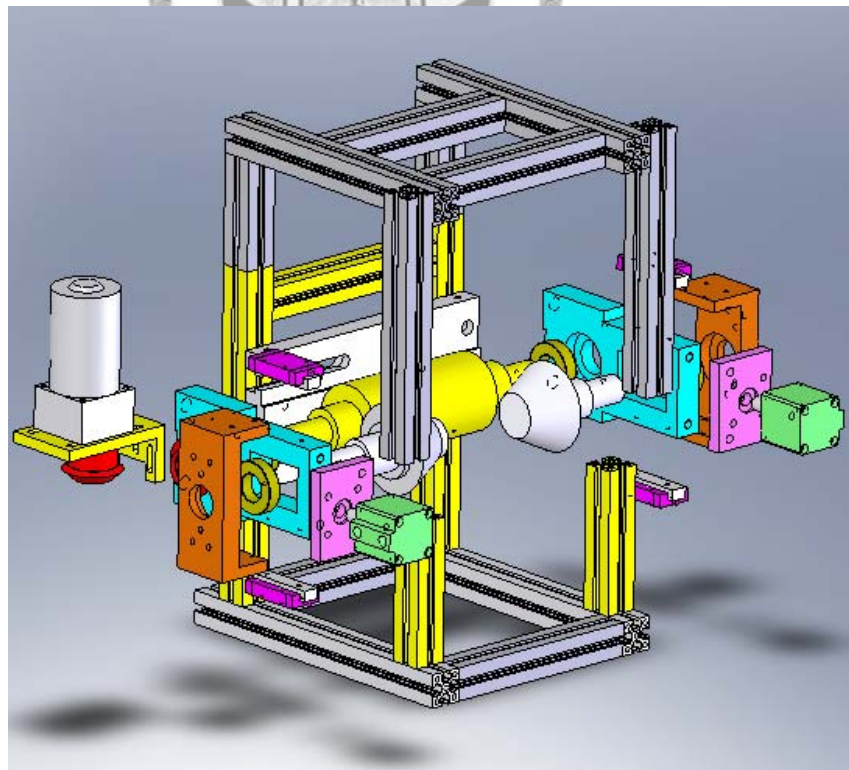


圖 3-3 滾輪機台設計圖 (爆炸圖)





圖 3-4 矽膠滾輪



圖 3-5 氣壓幫浦

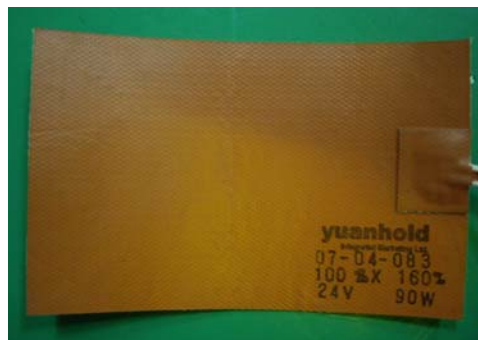


圖 3-6 加熱片



圖 3-7 電熱管溫度控制器

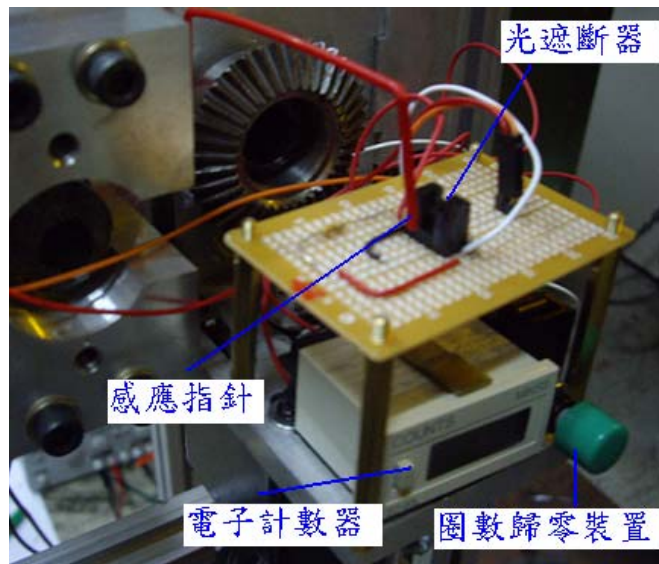


圖 3-8 計數器架設於機台上

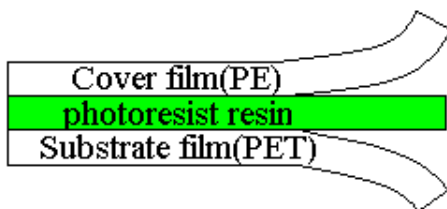


圖 3-9 ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102 負型乾膜光阻



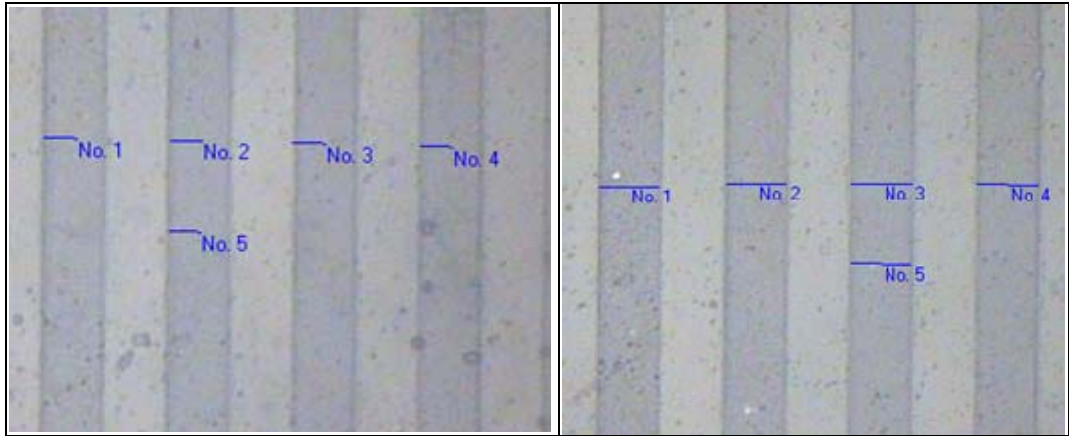
圖 3-10 UV 紫外光光源 [Philips Co.]



圖 3-11 電熱定溫水浴器



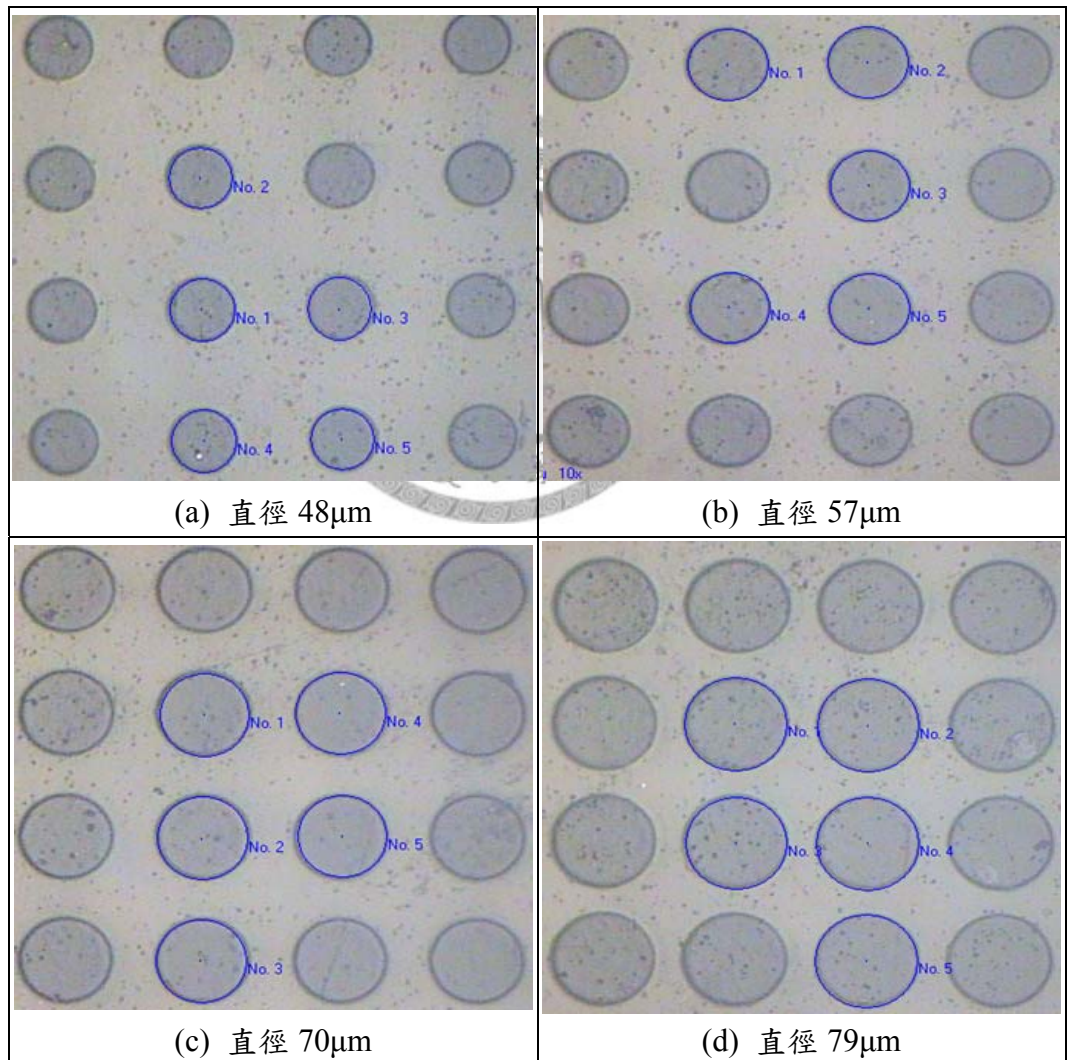
圖 3-12 高氮(巧固實業)



(a) 線寬 34 $\mu$ m

(b) 線寬 37 $\mu$ m

圖 3-13 曲面曝光使用之光罩 (光學顯微鏡 100 倍)



(a) 直徑 48 $\mu$ m

(b) 直徑 57 $\mu$ m

(c) 直徑 70 $\mu$ m

(d) 直徑 79 $\mu$ m

圖 3-14 曲面曝光使用之光罩 (光學顯微鏡 100 倍)

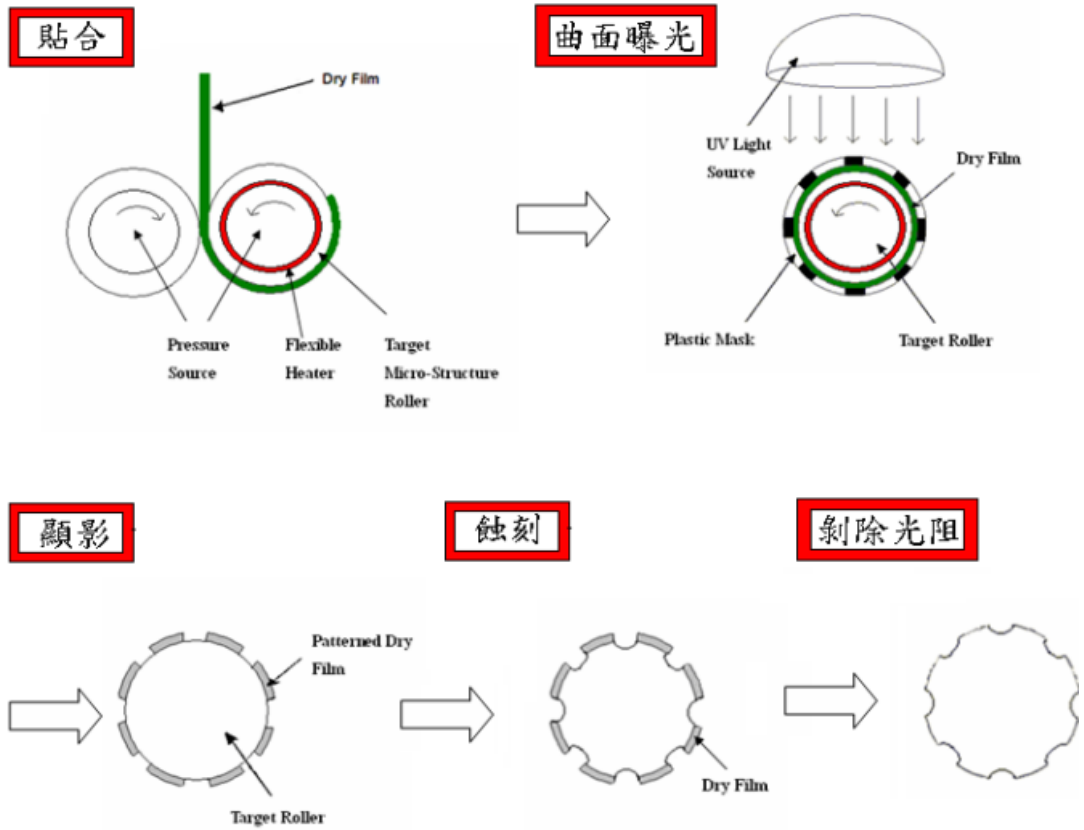


圖 3-15 蝕刻法製作微結構滾輪之圖示製程示意圖

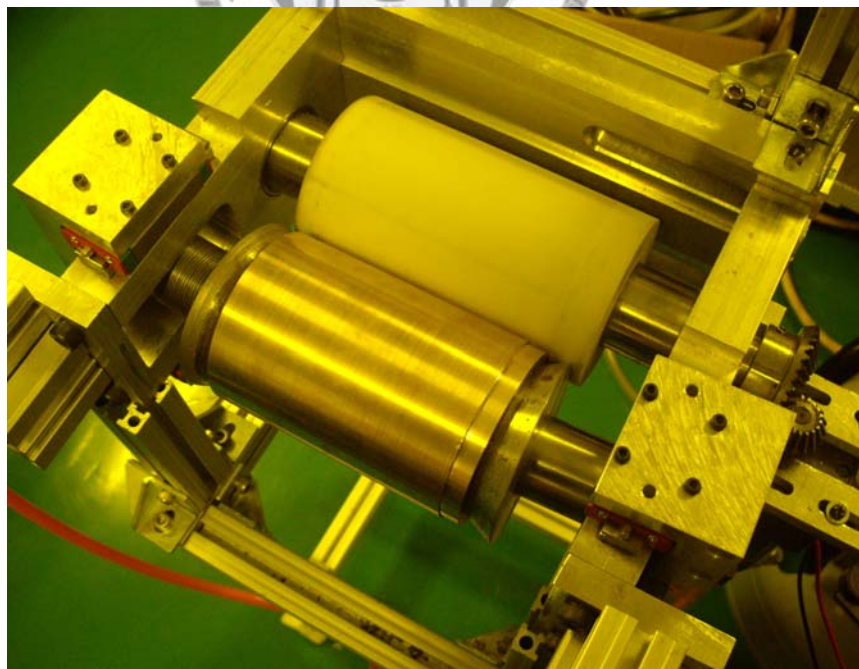


圖 3-16 滾輪置於錐形夾具貼合



圖 3-17 貼合完成之銅滾輪

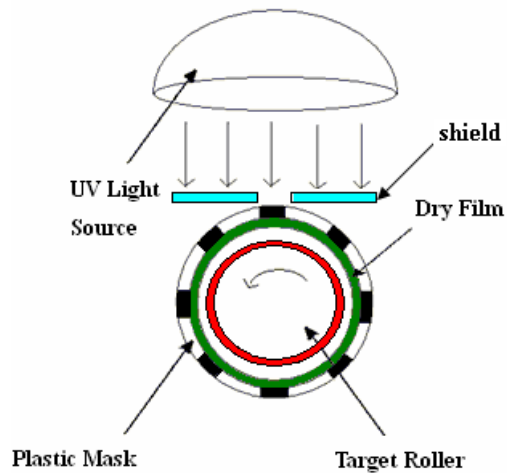


圖 3-18 曲面曝光機台設置示意圖

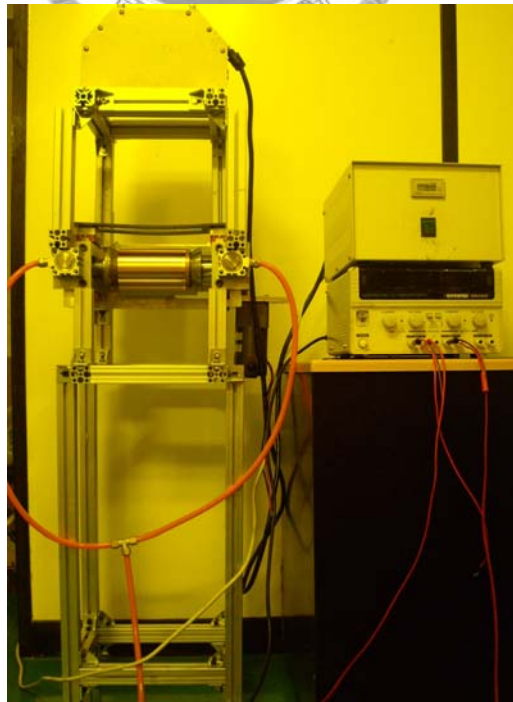


圖 3-19 曲面曝光機台實體設置圖



圖 3-20 乾膜光阻顯影後之滾輪



圖 3-21 氯化鐵蝕刻液



圖 3-22 數位式外徑測微器



圖 3-23 Power meter (1815-C , Newport)



圖 3-24 二維輪廓及表面輪廓儀 (Alpha-Step 500, TENCOR, USA)  
(圖片來源：台大奈米機電系統研究中心)



圖 3-25 形狀量測儀(PGI 1240 , 2002 Taylor Hobson Ltd)



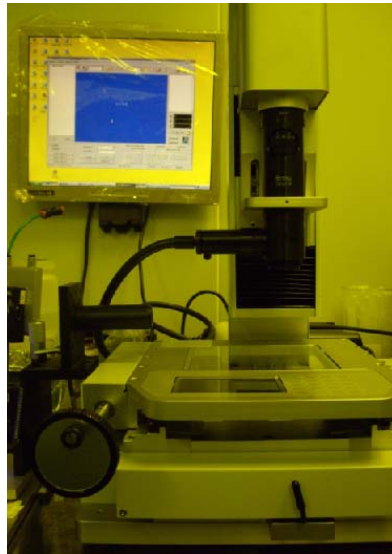


圖 3-26 光學顯微鏡 (ZOOMKOP)



圖 3-27 掃瞄式電子顯微鏡(S-3000H, Hitachi, Japan)  
(圖片來源：台大光電所)

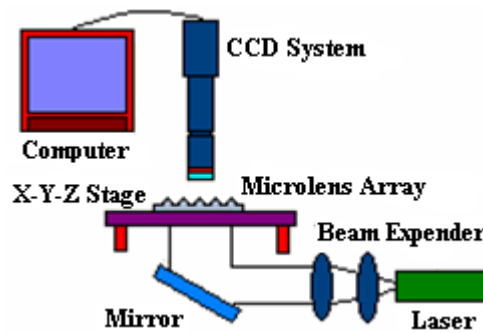


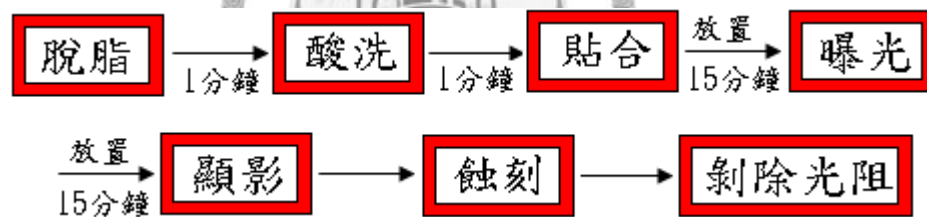
圖 3-28 微透鏡陣列之光學檢測架構示意圖

## 第四章 滾輪製程參數探討與量測

本章主要分為四大部分，第一部份為乾膜光阻貼附於銅片取代銅滾輪，利用平面做初步實驗參數探討；第二部份以 Design-Expert 軟體進行實驗設計，並利用平面所得之參數應用於銅滾輪製作，且深入探討各參數對製程之影響，此部分使用「蝕刻法」製作微結構滾輪；第三部份則是以先將乾膜光阻曝光後再貼附於滾輪上，即「先曝光後貼合」之構想來進行滾輪製作；最後，第四部份微結構滾輪之製作方法則是採「無電鍍鍍」的方式。

### 4.1 應用銅片做初步之實驗參數探討

由於本研究是將微結構製作於滾輪表面上，所以有其難度，因此，先以平面之銅基材代替銅滾輪進行測試，再將所得之最佳參數應用於滾輪製程，乾膜光阻應用於本論文之大致流程如下圖所示：



此部份所要測試的包括貼合與曝光參數之探討。

#### 4.1.1 貼合參數探討

將乾膜光阻貼合於基材時，有三個主要控制變因必須考慮，分別為貼合溫度、氣壓缸總推力與滾輪轉速。此三個參數若有其中之一不符合製程條件，即會影響滾輪製作過程中滾輪之品質優劣與否，如乾膜光阻之附著性、平坦度與厚度等，因此，本研究規劃一貼合實驗，並以實驗設計軟體設計本論文之實驗參數。

##### 4.1.1.1 銅片貼合參數探討

乾膜光阻之貼合步驟影響後續製程頗深，若無法確實將乾膜光阻貼合則容易於後段顯影或蝕刻等製程剝落，其貼合之重要性與濕式光阻之塗佈程序相當。一般市售乾膜光阻貼合機均用於平面（乾膜光阻）對平面（基板）之貼合，如【圖 2-6】，且由於

市面貼合機單價昂貴，因此，此部分使用護貝機(TATUNG)代替銅片測試所需之貼合機使用，如【圖 4-1】。

#### 4.1.2 貼合溫度

乾膜光阻由許多成分構成，包括光起始劑(Photoinitiator)、單體(Monomers)、安定劑(Stabilizers)、塑化劑(Plasticizer)、連結劑(Binder)、鍵結產生劑(Adhesion Modifiers)、染料(Dyes)等。其中連結劑(Binder)提供乾膜光阻之固態性質，其成分不得少於 25%，此高分子成分具有玻璃轉換溫度(Tg)之特性，這也是乾膜光阻在貼合時需加溫之原因，藉由加溫將連結劑升溫至玻璃轉換溫度以上使之塑化，因此，乾膜光阻貼合溫度越高亦有越好之流動性質。

##### 4.1.2.1 氣壓缸總推力、貼合轉速

由於進行銅片平面測試時是使用 TATUNG 護貝機，因此，此部份之氣壓缸總推力為此型號護貝機進行護貝之力量，而貼合溫度與貼合轉速意為一固定參數。

#### 4.1.3 材料與設備

- (1)基材：厚度 200 $\mu\text{m}$  銅片。
- (2)乾膜光阻：ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102。
- (3)熱脫脂：DC-F20(錠祈國際)。
- (4)顯影液：濃度  $1.0\pm 0.2\text{wt}\%$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Sodium Carbonate) 溶液。
- (5)蝕刻液：氯化鐵溶液 ( $\text{FeCl}_3$ )。
- (6)剝膜劑：濃度 2%~3%之(Sodium hydroxide)溶液。
- (7)貼合機：Laminating Machine，TaTung，如【圖 4-1】所示。
- (8)曝光光源：365~410nm 波長之紫外光 UV 燈(Philip Co.)。
- (9)PET 塑膠光罩：線寬 22 $\mu\text{m}$ 、25 $\mu\text{m}$ 、34 $\mu\text{m}$  及 37 $\mu\text{m}$  之線條圖形。

#### 4.1.4 平面曝光參數探討

將乾膜光阻貼合在銅片上後，以線寬 22 $\mu\text{m}$ 、25 $\mu\text{m}$ 、34 $\mu\text{m}$  及 37 $\mu\text{m}$  可撓式塑膠(PET)光罩進行曝光，光罩圖案如【圖 4-2(a)】【圖 4-2(b)】【圖 4-2(c)】【圖 4-2(d)】所示。以不同之曝光能量進行平面曝光及顯影後，量測所得之光阻結構線寬，找尋能重現原始光罩尺寸之曝光參數。

##### 4.1.4.1 平面曝光設置

將塑膠光罩放置於貼合完成之銅片上，並以 365nm 波長紫外光燈(Philip Co.)進行

平面曝光，曝光示意圖如【圖 4-3】，實際機台設置如【圖 4-4】所示。

#### 4.1.4.2 平面曝光總能量計算

總曝光量計算公式為：

$$\text{總曝光能量}(\text{mJ}/\text{cm}^2) = \text{光源強度}(\text{mW}/\text{cm}^2) \times \text{曝光時間}(\text{s}) \quad (4.1 \text{ 式})$$

以光功率器 (Powermeter 1815-C, Newport) 量測光強度，在  $h=23\text{cm}$  時測得之光強度為  $10.3(\text{mW}/\text{cm}^2)$ 。

#### 4.1.4.3 平面曝光參數結果探討

平面測試部分以  $365\text{nm}$  波長紫外光燈進行曝光 10 秒鐘，得知總曝光量為  $103 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ ，此數據與本論文所使用之負型乾膜光阻(ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102)之建議曝光量  $100\text{mJ}/\text{cm}^2$  接近 (見【表 3-1(a)】)。另外，因曝光能量過大或過小之詳細情況將於曲面曝光 4.2.9.3 節探討。

#### 4.1.5 蝕刻法製作微結構於銅片之結果與討論

根據第 3.3 節中敘述之製作方式，將平面銅片以蝕刻法製作後進行結果討論。

#### 4.1.6 量測

以光學顯微鏡 (ZOOMKOP) 觀察光罩圖形、顯影後於銅片上之光阻結構、及蝕刻並剝除光阻後之微結構並量測其線寬，接著以探針接觸式表面輪廓儀 (Alpha-Step 500) 觀察蝕刻後之微結構表面輪廓。

##### 4.1.6.1 光學顯微鏡量測

平面曝光所使用之光罩如【圖 4-2(a)】【圖 4-2(b)】【圖 4-2(c)】【圖 4-2(d)】所示，線寬分別為  $22\mu\text{m}$ 、 $25\mu\text{m}$ 、 $34\mu\text{m}$  及  $37\mu\text{m}$  之直線條紋，這些光罩分別簡稱為光罩一、光罩二、光罩三、光罩四。進行曝光 10 秒並顯影 32 秒後，以光學顯微鏡觀察光阻結構，如【圖 4-6(a)】【圖 4-6(b)】【圖 4-6(c)】【圖 4-6(d)】所示。在銅片上取四點量測光阻線寬，所得平均光阻線寬分別為  $20.4\mu\text{m}$ 、 $23.5\mu\text{m}$ 、 $34.3\mu\text{m}$  及  $38.1\mu\text{m}$ ，誤差分別僅為  $-7.27\%$ 、 $-6.00\%$ 、 $-0.58\%$  及  $-2.14\%$ 。之後，進行蝕刻 5 分鐘並剝除光阻後，結構如【圖 4-7(a)】【圖 4-7(b)】【圖 4-7(c)】【圖 4-7(d)】所示，蝕刻後線寬分別為  $28.7\mu\text{m}$ 、 $26.7\mu\text{m}$ 、 $34.9\mu\text{m}$  及  $38.7\mu\text{m}$ 。最後，將所得之四種不同光罩數據整理並彙整成【表 4-1】，從【表 4-1】可看出使用光罩一、光罩二在顯影與蝕刻後之品質較劣，且各步驟間所造成之誤差亦比光罩三、光罩四大。

#### 4.1.6.2 表面輪廓儀量測

蝕刻並剝除光阻後之銅片以探針式二維表面輪廓儀進行結構之輪廓量測如【圖 4-8(a)】【圖 4-8(b)】【圖 4-8(c)】【圖 4-8(d)】所示，由圖中可看出蝕刻深度分別為 8.765 $\mu\text{m}$ 、9.597 $\mu\text{m}$ 、11.30 $\mu\text{m}$  及 13.27 $\mu\text{m}$ ，蝕刻使用氯化鐵溶液在 45°C 下蝕刻 5 分鐘。根據美國 IPC (Institute of Interconnecting and Packaging Electronic Circuits) 之定義，蝕刻因子 (Etch Factor) 為正面蝕刻深度與側面蝕刻深度之比值，以數學式表示為：

$$\text{Etch Factor} = \frac{t}{(B-T)/2} \quad (4.2 \text{ 式})$$

t 為正面蝕刻深度，B 為蝕刻後線寬，T 為蝕刻前線寬。此平面所使用四種不同尺寸光罩測試中，光罩一 t=8.765 $\mu\text{m}$ ，B=28.7 $\mu\text{m}$ ，T=20.4 $\mu\text{m}$ ，帶入(4.2 式)可得蝕刻因子為 2.11；光罩二 t=9.597 $\mu\text{m}$ ，B=26.7 $\mu\text{m}$ ，T=23.5 $\mu\text{m}$ ，帶入(4.2 式)可得蝕刻因子為 5.99；光罩三 t=11.30 $\mu\text{m}$ ，B=34.9 $\mu\text{m}$ ，T=34.3 $\mu\text{m}$ ，帶入(4.2 式)可得蝕刻因子為 37.67；光罩四 t=13.27 $\mu\text{m}$ ，B=38.7 $\mu\text{m}$ ，T=38.1 $\mu\text{m}$ ，帶入(4.2 式)可得蝕刻因子為 44.23。

由以上計算所得之蝕刻因子可知，當光罩尺寸越大蝕刻因子越大，將線寬與蝕刻因子整理成【圖 4-9】，由圖中觀察為一成正比趨勢，表示本實驗使用之光罩越大蝕刻效果越佳，造成此原因為，由於本實驗使用之乾膜光阻型號所能製作最小線寬約 20~25 $\mu\text{m}$ ，所以線寬越小之圖形相對也就越不易製作，而蝕刻因子越高表示側蝕效應越低，蝕刻因子大於 2 即屬優良銅蝕刻製程，結果顯示本平面之初步測試皆符合優良之銅蝕刻。

由以上初步測試結果，得知以乾膜光阻可在平面銅片基材上製作微結構，因此，下一小節開始進入在滾輪曲面上製作微結構。

## 4.2 在滾輪上貼合乾膜光阻之實驗參數探討

根據實驗設計方法論，實驗者可以將製程或者系統的因子分為潛在設計因子 (potential design factor) 與擾亂因子 (nuisance factor)，黎[2003]。

潛在設計因子為實驗者於實驗時可以改變水準的因子，如：

(1) 設計因子 (design factor)：即實驗時選來研究的因子，本實驗選擇貼合時之氣壓缸總推力(A)、貼合溫度(B)、滾輪轉速(C)為設計因子。

(2) 固定因子 (held-constant factor)：即對反應變數可能有影響，但不是實驗有興趣要研究

的因子，因此，實驗時將它固定於特定水準。由於乾膜光阻於任何基材皆能貼合，所以貼合之基材在此實驗中並不深入探討，本實驗只針對紅銅、低碳鋼、磷青銅與鋁基材作探討。

擾亂因子則是可能必須加以說明之明顯效應，但以目前之實驗，亦不是實驗有興趣研究之因子，擾亂因子通常可分為：

- (1)可控制因子：如貼合所用的乾膜光阻、銅薄片之大小(裁剪為固定尺寸)，以及滾輪上之溫度分佈（固定從滾輪中間作貼合）。
- (2)不可控制因子：如溫度控制器熱電偶誤差等。

#### 4.2.1 乾膜光阻貼合厚度 $2 \times 2^k$ 因子實驗

因為從事系統研究者了解大多數的系統都是非線性的，任何系統只要固定在某一個小範圍觀測，都可以用一個線性模式來趨近此小範圍觀測值。數學上兩點決定一條線，因此，對於一個線性模式，每個因子採取二個水準的策略是既經濟又合理。再者，所假設反應變數的模式因為是線性的，在尋求其係數過程所產生的數值誤差小，從事實驗分析時困難度也較低，反應變數的模式在系統識別、系統控制、或是系統最佳化都較易達成。所以，本實驗採用  $2^k$  因子實驗快速的檢視影響乾膜光阻貼合厚度之因子效應，且為減低實驗誤差對分析結果之影響，每組實驗重複兩次也就是  $2 \times 2^k$  因子實驗。

#### 4.2.2 實驗設計與執行

本實驗使用 Design-Expert 6.0.5 軟體進行實驗設計，設計因子有貼合壓力、貼合溫度與滾輪轉速，因此，即為  $2 \times 2^3$  也就是 16 組實驗，本實驗在實驗因子之高低水準間加入 1 點 Center Points 來檢視高低水準的選取是否恰當，即反應變數在此是否屬於線性變化，設定三個因子之高低水準如【表 4-2】所示而【表 4-3】為軟體產生之實驗順序表。實驗順序 Run number 必須隨機，以平均掉不可控制之因子效應，因此，照著此隨機順序進行實驗。

#### 4.2.3 乾膜光阻厚度量測

由於貼合於滾輪上之乾膜光阻，量測厚度較為不易，因此，以貼合於銅片代替滾輪，根據【表 4-3】實驗設計參數逐一進行，最後，利用數位式外徑測微器(DAIL THICKNESS GAUGE, PEACOCK)量測乾膜光阻貼合後之厚度，此外徑測微器誤差約± 0.5μm。

#### 4.2.4 滾輪貼合溫度

為使貼合厚度均勻，貼合時之溫度不可過低，溫度過低可能造成乾膜光阻於後段製程中脫落，而溫度太高反而造成光阻流動性過佳，容易導致乾膜光阻厚度過薄或局部厚度不均勻，因此，根據本實驗之建議製程參數，設定貼合溫度之高低水準分別為 100°C 與 120°C。

#### 4.2.5 氣壓缸總推力

本實驗所設計之機台，其貼合壓力取決於氣壓缸所輸出之氣壓，通入之氣壓驅動氣壓缸並推動與線性滑軌之固定滑塊，使滾輪錐形夾具移動，並使兩滾輪緊密夾緊，而由於滾輪錐形夾具兩邊皆設計裝置氣壓缸，因此，貼合壓力之計算公式如下所示：

$$\text{氣壓缸總推力}(F) = \text{氣壓缸推動面積}(\text{cm}^2) \times \text{通入氣壓}(\text{kg}/\text{cm}^2) \times 2 \quad (4.3 \text{ 式})$$

本機台使用之氣壓缸缸徑為 32mm (AirTac, SDA320025)，通入氣壓分別為 1kg/cm<sup>2</sup>、2kg/cm<sup>2</sup>，因此，計算出來之氣壓缸總推力高低水準分別為 16kgf、32kgf。以富士感壓軟片(FUJIFILM, LLL 270mmx4m)測試本實驗機台貼合時於滾輪各點之均壓性，【圖 4-10(a)】【圖 4-10(b)】分別以 16kgf、32kgf 滾壓之結果，從圖中可發現以此兩不同施加於滾輪之貼合力量，在貼合時均壓性皆非常均勻，證實本機台應用於貼合時可行性。

#### 4.2.6 滾輪貼合滾輪轉速

滾輪轉速由直流電源供應器輸出電壓控制，並計算在該電壓下之滾輪轉速值，本實驗設定滾輪轉速之高低水準分別為 4rpm 與 6rpm。

#### 4.2.7 曲面貼合操作窗

在貼合過程中得知，當貼合溫度過低或氣壓缸總推力太小，乾膜光阻容易在後續製程中剝落(如：顯影、蝕刻)；當貼合溫度過高或氣壓缸總推力太大，則容易造成乾膜光阻厚度過薄與厚度不均等情況；當溫度過高與氣壓缸總推力皆太大時，造成乾膜光阻流動性過佳，導致在邊緣會有溢料情形發生。根據以上所述，可得乾膜光阻之貼合操作窗，如【圖 4-11】。

#### 4.2.8 材料與設備

使用本實驗所設計之機台，如【圖 4-5】，進行貼合與曝光，所需之材料與設備如下列所示：

(1)滾輪材料：低碳鋼、磷青銅、紅銅，直徑 88mm，長度 110mm。

- (2)乾膜光阻：ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102。
- (3)熱脫脂：DC-F20(錠祈國際)。
- (4)顯影液：濃度  $1.0 \pm 0.2 \text{wt}\% \text{Na}_2\text{CO}_3$  (Sodium Carbonate) 溶液。
- (5)蝕刻：氯化鐵溶液 ( $\text{FeCl}_3$ )。
- (6)剝膜劑：濃度 2%~3%之  $\text{NaOH}$  (Sodium hydroxide) 溶液。
- (7)曝光光源：365-410nm 波長之紫外光 UV 燈 (Philip Co.)。
- (8)PET 塑膠光罩：線寬 22 $\mu\text{m}$ 、25 $\mu\text{m}$ 、34 $\mu\text{m}$  及 37 $\mu\text{m}$  之線條圖形。

此實驗將使用低碳鋼、磷青銅與紅銅進行測試，探討哪一種材料對蝕刻效果較佳。

#### 4.2.9 滾輪曲面曝光參數探討

將乾膜光阻貼合在滾輪上後，以線寬 22 $\mu\text{m}$ 、25 $\mu\text{m}$ 、34 $\mu\text{m}$  及 37 $\mu\text{m}$  之可撓式塑膠 (PET) 光罩進行曲面曝光，以不同之曝光能量進行曝光並顯影後量測乾膜光阻之結構線寬，找尋能重現原始光罩尺寸之曝光參數，【圖 4-12】為乾膜光阻曝光分子反應機制示意圖，受曝之區域造成鍵結，沒有照光到之區域將於顯影後被洗掉。

在本實驗中，由於所設計之驅動滾輪是由馬達和齒輪組帶動，因此，滾輪轉速是由電源供應器所控制。當滾輪轉動一圈經過遮罩寬度的時間為所曝光之時間，調整不同滾輪轉速即可改變曝光時間來控制總曝光能量。

##### 4.2.9.1 滾輪曲面曝光設置

將可撓式光罩包覆於滾輪上，並以錐形夾具夾持於滾輪機台上，上方用 365nm 波長紫外光燈(Philip Co.)進行曲面曝光，示意圖如【圖 3-18】。實際機台設置如【圖 3-19】。

##### 4.2.9.2 滾輪曲面曝光總能量計算

總曝光量如(4.1 式)所示，4.1 節以平面測試得知當曝光時間為 10 秒鐘，總曝光量為 103 mJ。在此曲面曝光時 UV 燈源距離滾輪最高點約為 19.5cm，曝光時由於滾輪轉動之緣故，所以只有面向光源的區域才是真正受照光區域。

曝光光源強度與受光目標物及光源之距離有關，入射光強度與光源之距離平方成反比：

$$I_e \propto \frac{1}{h^2} \quad (4.4 \text{ 式})$$

由於在本實驗中，曝光源與滾輪之間放有一遮罩，當滾輪轉動一圈經過遮罩寬度的時間，即為所曝光之時間，如此一來，當貼附於滾輪上之乾膜光阻經過遮罩時，由於曝光時每一點皆位於滾輪之最高點，所以每一區域之曝光能量為一定值，如【圖 4-13】



】，以光功率器 (Powermeter 1815-C, Newport) 做光強度量測，在  $h=19.5\text{cm}$  時測得之光強度為  $16.07(\text{mW}/\text{cm}^2)$ 。

#### 4.2.9.3 滾輪曲面曝光參數結果探討

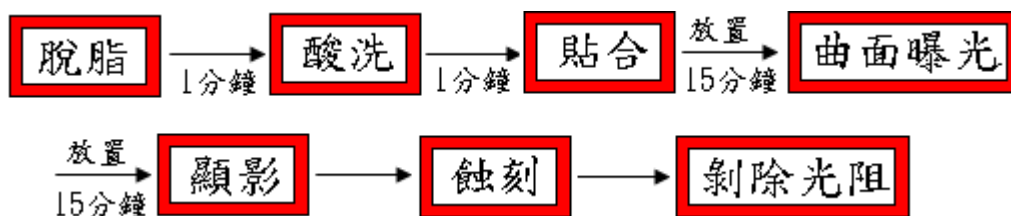
為了解當曝光能量過低或過曝所造成之影響，此部分測試電壓從 2.3V 到 3.5V 各電壓下之轉速、曝光時間及總曝光能量，並在顯影後以光學顯微鏡(ZOOMKOP)量測所得結構線寬，本實驗以光罩線寬為  $34\mu\text{m}$  與  $37\mu\text{m}$  之線寬進行測試，將所得之數據彙整成【表 4-4】。

由表中得知，當電源供應器輸出電壓為 2.7V，滾輪轉速 1.50rpm 時，顯影後所得之線寬與原始光罩最為接近，如【圖 4-14】，誤差量僅-2.43%，此參數下之曝光能量計算後為  $99.63 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ ，與實驗所使用之負型乾膜光阻(ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102)之建議曝光量  $100 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  極為相近。

當曝光能量過低時，由於總曝光量不足，因此容易導致乾膜光阻於後段顯影製程中脫落或使乾膜光阻容易被顯影液所洗掉，如【圖 4-15】；反之，當曝光能量過高時，由於過度曝光，線寬會逐漸減小，在電源供應器輸出電壓為 2.5V 時，顯影後線寬為  $33.2\mu\text{m}$ ，當電源供應器輸出電壓為 2.3V 時，線寬更已縮小到  $22.2\mu\text{m}$ ，下降趨勢極為明顯，如【圖 4-16】，將【表 4-4】彙整成曲線圖如【圖 4-17】，由圖中可觀察到，曝光能量與顯影後線寬成反比。

#### 4.2.10 蝕刻法製作微結構滾輪結果與討論

根據第 3.3 節中敘述之製作方式，以蝕刻方式在銅滾輪上製作微結構，本研究使用三種材料，分別為低碳鋼、磷青銅與紅銅進行實驗測試。在此僅簡述實驗流程與步驟，如下圖所示：



##### 4.2.10.1 低碳鋼

以電源供應器輸出電壓為 2.7V，滾輪轉速 1.50rpm 時，曝光顯影後如【圖 4-18(a)】，以氯化鐵溶液蝕刻 5 分鐘(溫度  $50^\circ\text{C}$ )並剝除光阻後如【圖 4-18(b)】，以光學顯微鏡觀察使用低碳鋼材料之滾輪進行蝕刻效果並不好，不僅蝕刻不易且蝕刻側壁亦不平

整，因此，接著以磷青銅做為實驗用之基材。

#### 4.2.10.2 磷青銅

以直線條紋圖案之光罩，電源供應器輸出電壓為 2.7V，滾輪轉速 1.50rpm 時，曝光顯影後如【圖 4-19(a)】，蝕刻 5 分鐘(溫度 50°C)並剝除光阻後如【圖 4-19(b)】，觀察結果可知顯影後效果仍不錯，量測其蝕刻深度亦比低碳鋼佳，但線條側壁與底部皆呈現不平整之現象，因此，考慮以紅銅之基材進行測試。

#### 4.2.10.3 紅銅

在此製程中，經過顯影後之滾輪，如【圖 4-20(a)】所示，【圖 4-21】為顯影之分子反應機制，顯影後以 45°C 氯化鐵溶液進行蝕刻，蝕刻時間為 5 分鐘，接著以清水沖洗 1 分鐘，最後以濃度 2%~5%之 NaOH 將乾膜光阻剝除即完成實驗流程，剝除光阻後之銅滾輪如【圖 4-20(b)】所示。

由於以紅銅測試效果不錯，所以另外使用直徑為 48 $\mu$ m 之圓形圖案光罩進行測試，光罩 OM 圖如【圖 4-22(a)】，以電源供應器輸出電壓為 2.7V，滾輪轉速 1.50rpm 時，曝光 10 秒顯影後如【圖 4-22(b)】，蝕刻五分鐘(溫度 50°C)並剝除光阻後如【圖 4-22(c)】【圖 4-22(d)】，結果呈現出光罩為圓形圖案，但曝光顯影後卻是線條之結構，推測其原因有兩點：(1)因滾輪轉動時，由於光罩具有厚度，所以當光源曝光到滾輪側邊時，光罩上之圖案會向下曝光到滾輪尚未轉至最高點欲曝光之區域，詳細示意圖如【圖 4-23】所示；(2)曲面曝光容易因滾輪表面粗糙度不佳造成曝光源照射到滾輪後產生光源散射之情況。綜合以上兩點，導致原為圓形圖案之光罩，蝕刻後卻是線條結構，因此，在先貼合後曝光製程中，無法以圓形圖案之光照進行實驗，所以，此部分最後選擇以線條圖案做為實驗用之光罩，以【表 4-3】逐一進行 17 組實驗，將結果於下一小節量測並深入探討。

### 4.2.11 量測

以光學顯微鏡 (ZOOMKOP) 觀察光罩之圖形、顯影後及蝕刻後於銅滾輪上之光阻微結構，觀察線寬之重現性，最後使用形狀量測儀量測蝕刻後之深度與表面輪廓。

#### 4.2.11.1 光學顯微鏡量測

由於經過以銅片測試平面實驗後，得知使用【圖 4-2(c)】【圖 4-2(d)】，即光罩三、光罩四呈現的結果較好，因此，在此曲面曝光部份使用此兩種不同尺寸之光罩進行實驗，根據【表 4-3】不同貼合溫度、貼合壓力與滾輪轉速進行測試，並在顯影與蝕刻後分別量測銅滾輪上八個區域，以了解各區域整支滾輪之微結構成型情況，各量測點

如【圖 4-24】所示。

當貼合溫度不夠情況下，造成乾膜光阻無法緊實貼附於銅滾輪上，導致在顯影後產生剝落現象，如【圖 4-25(a)】【圖 4-25(b)】( $F=32\text{kgf}$ ， $T=100^\circ\text{C}$ ， $S=6\text{rpm}$ )；當氣壓缸總推力與貼合溫度都不足情況下，乾膜光阻在顯影後脫落的情形更加明顯，如【圖 4-26(a)】【圖 4-26(b)】( $F=16\text{kgf}$ ， $T=100^\circ\text{C}$ ， $S=4\text{rpm}$ )、【圖 4-27(a)】【圖 4-27(b)】( $F=16\text{kgf}$ ， $T=100^\circ\text{C}$ ， $S=6\text{rpm}$ )所示；當溫度提高時，雖然顯影後結果比前三者情況好，但仍然有因轉速太快導致乾膜光阻在顯影後脫落之情況，如【圖 4-28(a)】【圖 4-28(b)】( $F=32\text{kgf}$ ， $T=120^\circ\text{C}$ ， $S=6\text{rpm}$ )。

採用下列參數所得之實驗結果皆為成功之參數，乾膜光阻剝除分子機制如【圖 4-29】，以下分別使用光學顯微鏡拍攝各參數顯影及蝕刻後剝除光阻之微結構，如【圖 4-30】【圖 4-31】【圖 4-32】【圖 4-33】【圖 4-34】，將以上各實驗數據之結果整理成【表 4-5】。

#### 4.2.11.2 形狀量測

本部份僅量測當氣壓缸總推力為  $32\text{kgf}$ 、貼合溫度為  $120^\circ\text{C}$  及滾輪轉速為  $4\text{rpm}$  參數下之表面輪廓圖，由【圖 4-35(a)】【圖 4-35(b)】可看出光罩三、光罩四蝕刻後線寬則分別為  $40.0\mu\text{m}$  與  $42.5\mu\text{m}$ ；蝕刻深度則分別為  $6.82\mu\text{m}$  與  $7.25\mu\text{m}$  (氯化鐵溶液溫度  $45^\circ\text{C}$ 、時間 5 分鐘)。將數據帶入(4.3 式)可得光罩三、光罩四之蝕刻因子各為  $2.48\mu\text{m}$  與  $2.68\mu\text{m}$ ，顯示符合優良之蝕刻製程。

### 4.3 乾膜光阻先曝光後貼合實驗參數探討

由於乾膜光阻之光阻層已塗佈在保護薄膜層(Cover Film)與基底薄膜層(Base Film)之間且製成成捲之構造，因此，可視為已塗佈在塑膠基底層之光阻，不需塗佈即可進行曝光步驟，藉由此特性進行「先曝光後貼合」，再將其貼合至滾輪上，取代原本「先貼合後曝光」之製程，以此方式可簡化製程，屏除了曲面曝光控制不易等缺點。

#### 4.3.1 材料與設備

此部分使用之材料皆與「先貼合後曝光」實驗時相同，唯使用之光罩為圓形陣列之圖案進行實驗，以期製作出微透鏡陣列之微結構滾輪模具。

(1)PET 塑膠光罩：光罩上有直徑  $48\mu\text{m}$ 、 $57\mu\text{m}$ 、 $70\mu\text{m}$  及  $79\mu\text{m}$  四種圓形，由於本實驗所使用之乾膜光阻為負型光阻，因此，以蝕刻法進行微結構製作時，圓形區域必須是無光阻阻擋，所以光罩上之圓形區域需為擋光區域，如【圖 4-36(a)】【圖 4-36(b)】

】【圖 4-36(c)】【圖 4-36(d)】所示，以上分別簡稱光罩五、光罩六、光罩七及光罩八。

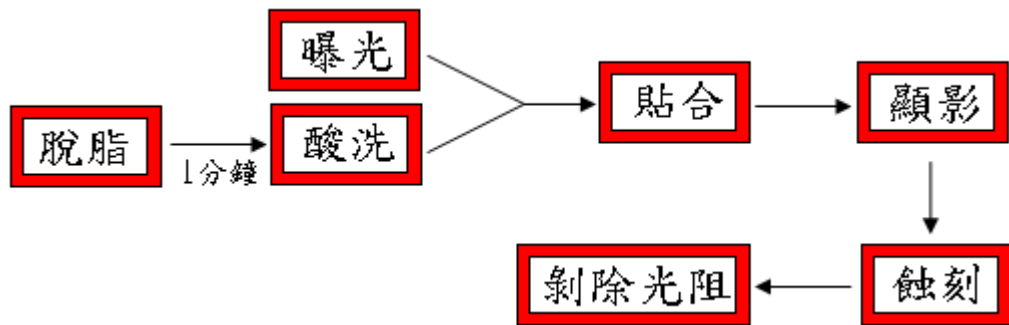
(2)滾輪材料：紅銅，直徑 88mm，長度 110mm。

#### 4.3.2 先貼合後曝光實驗流程

先貼合後曝光詳細實驗步驟請參閱 3.3.2 節，詳細流程如【圖 3-15】所示。

#### 4.3.3 先曝光後貼合實驗流程

將貼合與曝光兩實驗步驟順序相反，先把乾膜光阻在平面曝光，如【圖 4-3】，放置 15 分鐘後再貼合到銅滾輪基材上，其他後段製程則一樣，流程如下所示：



- (1)平面曝光：曝光參數與先貼後曝光一樣。
- (2)脫脂：5 分鐘 (50°C，DC-F20 熱脫脂劑，錠祈國際)。
- (3)酸洗：5 分鐘(10%  $H_2SO_4$ )。
- (4)貼合：貼合參數將於第 4.1 節討論。
- (5)顯影：32 秒(30°C，濃度 0.85  $Na_2CO_3$ )。
- (6)蝕刻：5 分鐘(45°C， $FeCl_3$ )。
- (7)剝膜：12 秒(45°C，濃度 2%~5%之  $NaOH$ )。

先曝光後貼合實驗完整之流程圖如【圖 4-37】所示。

#### 4.3.4 乾膜光阻先曝光後貼合蝕刻法製作滾輪結果與討論

此部分使用四種不同尺寸之光罩進行實驗，直徑分別為 48 $\mu m$ 、57 $\mu m$ 、70 $\mu m$  及 79 $\mu m$  之圓形圖案，而滾輪材料亦使用紅銅進行測試，根據【表 4-3】不同貼合溫度、貼合壓力與滾輪轉速逐一進行實驗，接著在顯影與蝕刻後一樣分別量測銅滾輪上八個區域。

#### 4.3.5 量測

以光學顯微鏡觀察顯影後銅滾輪上之微結構，及蝕刻並剝除光阻後銅滾輪上之微結構，接著使用探針接觸式表面輪廓儀 (Alpha-Step 500) 與形狀量測儀觀察蝕刻後之深度與表面輪廓。

#### 4.3.5.1 光學顯微鏡量測

當貼合溫度不夠情況下，造成乾膜光阻無法緊實貼附於銅滾輪上，導致在顯影後產生剝落現象，如【圖 4-38】(F=32kgf, T=100°C, S=6rpm)；當氣壓缸總推力與貼合溫度都不足情況下，乾膜光阻在顯影後脫落的情形更加明顯，且顯影後重現光罩圖案之完整性也大幅降低，如【圖 4-39】(F=16kgf, T=100°C, S=4rpm)【圖 4-40】(F=16kgf, T=100°C, S=6rpm)所示；當滾輪轉速貼合速度太快，雖然顯影後結果比前兩者情況好，但仍然稍微有乾膜光阻於顯影後脫落現象發生，如【圖 4-41】(F=32kgf, T=120°C, S=6rpm)，以上所呈現之結果皆與先貼合後曝光製程一樣，再度證實氣壓缸總推力、貼合溫度與滾輪轉速為影響本製程頗為重要之因素。

採用下列參數所得之實驗結果皆為成功之參數，以下分別使用光學顯微鏡拍攝各參數顯影及蝕刻後剝除光阻之微結構，如【圖 4-43】，【圖 4-43(e)】【圖 4-43(f)】【圖 4-43(g)】【圖 4-43(h)】為 F=16kgf, T=120°C, S=6rpm 參數下蝕刻剝除光阻後之圖；【圖 4-44】，【圖 4-44(e)】【圖 4-44(f)】【圖 4-44(g)】【圖 4-44(h)】為 F=16kgf, T=120°C, S=4rpm 參數下蝕刻剝除光阻後之圖；【圖 4-45】，【圖 4-45(e)】【圖 4-45(f)】【圖 4-45(g)】【圖 4-45(h)】為 F=32kgf, T=120°C, S=4rpm 參數下蝕刻剝除光阻後之圖；【圖 4-46】，【圖 4-46(e)】【圖 4-46(f)】【圖 4-46(g)】【圖 4-46(h)】為 F=32kgf, T=100°C, S=4rpm 參數下蝕刻剝除光阻後之圖；【圖 4-47】，【圖 4-47(e)】【圖 4-47(f)】【圖 4-47(g)】【圖 4-47(h)】為 F=24kgf, T=110°C, S=5rpm 參數下蝕刻剝除光阻後之圖，將以上整理成【表 4-6】。

#### 4.3.5.2 表面輪廓儀量測

以實驗參數：氣壓缸總推力 16kgf、貼合溫度 120°C 及滾輪轉速 6rpm 之貼合參數，顯影蝕刻後以表面輪廓儀量測量測，如【圖 4-47(a)】【圖 4-47(b)】【圖 4-47(c)】【圖 4-47(d)】所示，由圖中可看出蝕刻深度分別為 10.01 $\mu\text{m}$ 、7.15 $\mu\text{m}$ 、6.76 $\mu\text{m}$  及 8.94 $\mu\text{m}$ ，蝕刻參數為氯化鐵溶液蝕刻溫度 45°C、時間 5 分鐘。將數據帶入(4.3 式)可得光罩五、光罩六、光罩七及光罩八之蝕刻因子各為 2.44 $\mu\text{m}$ 、3.73 $\mu\text{m}$ 、19.05 $\mu\text{m}$  及 27.51 $\mu\text{m}$ ，得知線寬與蝕刻因子成一正比趨勢且為一優良之蝕刻製程。

#### 4.3.5.3 形狀量測

以實驗參數：氣壓缸總推力 32kgf、貼合溫度 120°C 及滾輪轉速 4rpm 之貼合參數，顯影蝕刻後以形狀量測儀量測所得之圖如【圖 4-48(a)】【圖 4-48(b)】【圖 4-48(c)】【圖 4-48(d)】所示，蝕刻參數為氯化鐵溶液蝕刻溫度 45°C、時間 5 分鐘。由圖中可

看出光罩五、光罩六、光罩七、光罩八蝕刻後直徑分別為 48.9 $\mu\text{m}$ 、57.9 $\mu\text{m}$ 、70.8 $\mu\text{m}$  及 79.8 $\mu\text{m}$ ，深度各為 8.51 $\mu\text{m}$ 、8.85 $\mu\text{m}$ 、8.13 $\mu\text{m}$  及 9.42 $\mu\text{m}$ ，數據帶入(4.3 式)可得蝕刻因子各為 12.16 $\mu\text{m}$ 、12.55 $\mu\text{m}$ 、13.55 $\mu\text{m}$  及 15.70 $\mu\text{m}$ ，將以上整理成【圖 4-49】，圖中可看出線寬與蝕刻因子兩者關係致亦成正比趨勢，而蝕刻因子皆大於 2，因此，微結構滾輪之製作亦符合優良之銅蝕刻，且由圖中可觀察出蝕刻底面為一圓弧形。

## 4.4 無電鍍鎳製作微結構滾輪

### 4.4.1 材料與設備

- (1)滾輪材料：鋁，直徑 88mm，長度 110mm。
- (2)滾輪前處理：以轉速 1800rpm 進行滾輪表面精密車削，並以 800 號、1200 號及 2000 號砂紙在車床上以轉速 1800rpm 進行表面研磨，最後再以研磨筆，利用鑽石膏進行表面拋光。
- (3)無電鍍鎳鍍浴：設置如【圖 4-50】，成分與物理特性於 4.4.2 介紹。
- (4)剝膜劑：濃度 2%~ 3%之  $\text{NaOH}$  (Sodium hydroxide)溶液。
- (5)PET 塑膠光罩：線寬 45 $\mu\text{m}$  之直線條紋。

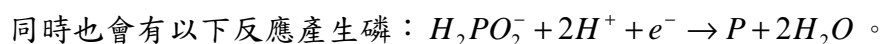
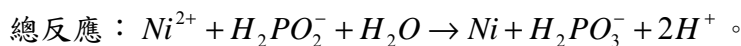
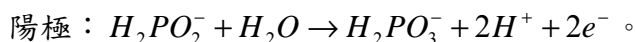
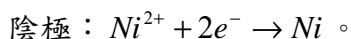
### 4.4.2 無電鍍介紹

無電鍍法亦可稱為自身催化鍍法(Autocatalytic Plating)、化學鍍、無電解鍍，先在工作物表面形成具有催化力的金屬面，或是利用工作物表面本身的催化作用，以化學還原方法，使金屬離子成金屬狀態析出。無電鍍與電鍍最大差別在於外加電路，無電鍍並不需外加電位即可進行電化學還原的反應。其與一般電鍍比較有下列優點：

- (1)鍍層非常均勻，均一性非常好，鍍件內外皆均勻，銳邊及角等節狀鍍層(nodular deposits)情形可完全消除。
- (2)鍍層具有獨特的物理、化學、機械性質及磁性。
- (3)可鍍在非導體上(需做適當前處理)。
- (4)鍍層孔率較少，其耐蝕性比電鍍為佳。
- (5)複合鍍層(co-deposit)，多元合金(polyalloy)可形成。
- (6)製品與導體接觸也可完全鍍上且密著性、耐磨性良好。

無電鍍法可用來產生鎳、鈷、鈮、鉑、銅、金、銀和含這些金屬合金的鍍層。使用的還原劑為次磷酸鈉、甲醛、聯胺、硼氫化物及胺基硼烷，其中應用最早且最為廣泛者，為使用次磷酸鈉的無電鍍鎳，所得的鎳層並不是純鎳，而是含磷 3 至 15%的鎳

磷合金。鎳的還原主要來自於溶液中還原劑的還原作用，與均相化學反應的不同在於還原反應僅發生在鍍件表面活性位置。使用次磷酸鈉作為還原劑的反應如下：



在無電鍍鎳中之重要因素為觸媒作用(Catalytic Action)，鈮、鉑等週期表中第八族元素，其原子表面極易吸收氫原子，在較高溫度時，次磷酸根離子極不穩定，放出氫原子，被觸媒金屬吸收，引發無電鍍鎳反應。在較酸性情況下，鎳析鍍速率緩慢，相對磷含量較高，一般酸型無電鍍鎳液之 PH 值在 4.6~4.8 之間，超過 5.0 析鍍速率快，鍍液易傾向瞬間分解；鹼型鍍液之 PH 值則控制在 8.5 與 9.5 之間，在 10.0 以上鍍液不穩定。析鍍速率與操作溫度有關，在 65°C 以下析鍍速率緩慢，超過 95°C 以上易分解，通常操作溫度範圍 80~90°C 間較適當。

#### 4.4.3 無電鍍鎳鍍浴配置

本實驗使用之鍍浴成分如下表：

硫酸鎳 (NiSO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O)	20 g/L	提供鎳離子
琥珀酸鈉 (Sodium Succinate)	16g /L	促進劑、活化次磷酸根離子
次磷酸鈉 (NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O)	27 g/L	還原劑、提供磷
檸檬酸	2.3 g/L	有機鉗合劑

將適當水量加入燒杯盛裝無電鍍鎳液，置於加熱盤上加溫，以溫度計監控浴溫，使浴溫維持為 80°C，接著依順序加入上述四種溶質攪拌溶解，待前一種溶解完畢後再加入下一種，並以 PH 值量測棒量測 PH 值，若調出之鍍浴 PH 值不在 4.7，則以稀釋硫酸(10%)或氨水加入溶液調整之。

#### 4.4.4 鋁滾輪與無電鍍鎳製程探討

有些材料以無電鍍鎳不易上鍍，如銅。因此，此部分使用鋁來進行無電鍍鎳，電鍍時由於滾輪上貼有乾膜光阻，所以必須考量到電鍍流程是否會造成乾膜光阻結構脫落或產生化學反應影響光阻。製程中有許多步驟皆是影響無電鍍成功與否之關鍵因素，例如：鋁滾輪之前處理、鍍浴之調配與溫度控制等皆是關鍵。因此，必須找出適合之製程並微調其步驟，以測試鋁滾輪是否可成功上鍍。

鋁因為有極高的活性，當暴露在空氣或水中時，表面馬上形成一層氧化膜，此氧化膜

影響鍍鎳效果，因此，在無電鍍鎳前需去除此層氧化膜。鋅置換的溶液組成主要為氫氧化鈉、氧化鋅、羅謝耳鹽（Rochelle salt）及氯化鐵。經過鋅置換後，鋁基材表面會形成一層薄薄的鋅層，氧化鋁膜在置換過程中被除去。鋅置換可為兩道或三道，視需求而定。兩道鋅置換之間加入一硝酸剝離程序。本研究在使用鋁材滾輪進行鋅置換時，遭遇之問題將在以下詳細說明：

#### 4.4.3.1 情況一

熱脫脂(5min) → 水洗(1min) → 10%硫酸酸洗(5min) → 水洗(1min) → 貼合  
→ 顯影 → 水洗(1min) → 50%硝酸酸洗(1min)。

————→ 乾膜光阻在硝酸中脫落

此製程下，乾膜光阻無法抵擋硝酸，在硝酸中會脫落，因此，加入軟烤增加顯影後之光阻硬化程度，並在第一次硫酸酸洗後增加一次硝酸酸洗。

#### 4.4.3.2 情況二

熱脫脂(5min) → 水洗(1min) → 10%硫酸酸洗(5min) → 50%硝酸酸洗  
(1min) → 水洗(1min) → 貼合 → 顯影 → 水洗(1min) → 軟烤(1min) → 50%  
硝酸酸洗(1min) → 水洗(1min) → 軟烤(1min) → 鋅置換(1min)。

————→ 乾膜光阻在鋅置換中脫落

此製程下，乾膜光阻無法抵擋鋅置換，在鋅置換中脫落，推測是因為乾膜光阻對鋁表面之貼合附著力不佳，因此，調整鋅置換之順序，在乾膜光阻貼合前先做一次鋅置換與無電鍍鎳，流程如 4.4.3.3。

#### 4.4.3.3 情況三

熱脫脂(5mins) → 水洗(1min) → 10%硫酸酸洗(5min) → 50%硝酸酸洗  
(1min) → 水洗(1min) → 鋅置換(1min) → 水洗(1min) → 無電鍍鎳(30min) →  
貼合 → 顯影 → 水洗(1min) → 50%硝酸酸洗(30sec.) → 水洗(1min) → 無電鍍  
鎳(10min)。

————→ 成功鍍上微結構



本實驗步驟在乾膜光阻貼合之前先做一次無電鍍鎳，如此一來變成第二次無電鍍是在鎳表面進行無電鍍，以期比在鋁表面上增加電鍍成功機率，上述步驟無電鍍並剝除光阻後於鋁滾輪上之微結構，如【圖 4-51】所示，圖中縱向直條黑色部分為車刀痕，橫向才是無電鍍鎳後之線條結構。

#### 4.4.5 形狀量測

以形狀量測儀進行量測，【圖 4-52】為線寬  $45\mu\text{m}$  凸出直線條表面輪廓量測圖，得知其高度為  $1.02\mu\text{m}$ 、線寬為  $45.1\mu\text{m}$ 。在環境  $80^\circ\text{C}$ 、 $\text{PH}=4.7$  之無電鍍鎳鍍析之速率理論值為  $28\mu\text{m/hr}$ ，本實驗進行鍍析 10 分鐘之理論鎳層厚度應在  $4\sim 5\mu\text{m}$  之間，可見無電鍍鎳之鍍析條件仍有改善空間，或是在鍍前之表面處理仍未妥當。

### 4.5 本章結論

本章首先以銅片測試實驗用之乾膜光阻曝光與顯影時間，找出以  $365\text{nm}$  波長紫外光燈進行曝光 10 秒鐘(總曝光量為  $103\text{mJ/cm}^2$ )、顯影 32 秒，顯影蝕刻後可在銅片上製作出與原光罩線寬相近之微結構。接著以本論文重點製作微結構滾輪，將平面曝光測試出之曝光與顯影最佳參數應用於此微結構滾輪製程，且以實驗設計軟體 Design-Expert 進行設計，分析影響乾膜光阻貼合厚度之因子，最終找出乾膜光阻厚度之線性回歸曲線，並設計出一可貼合之參數範圍，如【圖 4-11】，依序進行各參數之貼合測試，可得到厚度  $7\pm 3\mu\text{m}$  之光阻，爾後進行滾輪曲面曝光參數探討，了解總曝光能量對線寬所造成之影響；發現當曝光過低時，容易導致乾膜光阻於後段顯影或蝕刻製程中脫落；反之，當曝光能量過高時，由於過度曝光，線寬會逐漸縮小，且下降趨勢逐漸明顯。得知結論為，曝光能量與顯影後線寬成反比關係，最後找出當電源供應器輸出電壓為  $2.7\text{V}$ 、滾輪轉速  $1.50\text{rpm}$ 、總曝光能量  $99.63(\text{mJ/cm}^2)$ ，可重現原光罩圖案尺寸之優良曝光參數。

第二節使用設計出之參數逐一進行 17 組實驗，找出哪幾組參數為顯影與蝕刻後之優良參數，此章節以「先貼合後曲面曝光」方式進行蝕刻滾輪製程，實驗首先以三種基材，分別為低碳鋼、磷青銅與紅銅測試何種基材蝕刻效果與品質較佳，結果顯示以紅銅蝕刻效果最好，蝕刻後之表面粗糙度與深度亦較佳，最後，以滾輪轉速  $4\text{rpm}$ 、貼合溫度  $120^\circ\text{C}$  及氣壓缸總推力為  $32\text{kgf}$  時，所製作出之微結構為最佳之滾輪，此方式成功製作出線寬各為  $40.0\mu\text{m}$ 、 $42.5\mu\text{m}$ ，深度各為  $6.82\mu\text{m}$ 、 $7.25\mu\text{m}$  凹陷直線條之銅材微結構滾輪。原始光罩與最終模具成品之橫向誤差各為  $17.65\%$ 、 $14.86\%$ ，乃由於氯化

鐵蝕刻銅之側蝕效應，計算光罩三、光罩四之蝕刻因子各為  $2.48\mu\text{m}$ 、 $2.68\mu\text{m}$ ，第五章並以此組參數製作出之滾輪進行壓印。

第三節則是以「先平面曝光後貼合」方式進行蝕刻滾輪製程，本製程使用光罩為圓點陣列圖形進行實驗，依照設計出之參數逐一進行實驗，滾輪基材為紅銅，最後，與「先貼合後曲面曝光」方式一樣，以滾輪轉速 4rpm、貼合溫度  $120^{\circ}\text{C}$  及氣壓缸總推力為 32kg 之參數，所製作出微結構最佳，以光罩直徑各為  $48\mu\text{m}$ 、 $57\mu\text{m}$ 、 $70\mu\text{m}$  及  $79\mu\text{m}$  之圓形圖案，成功製作出直徑各為  $48.9\mu\text{m}$ 、 $57.9\mu\text{m}$ 、 $70.8\mu\text{m}$  及  $79.8\mu\text{m}$ ，深度各為  $8.51\mu\text{m}$ 、 $8.85\mu\text{m}$ 、 $8.13\mu\text{m}$  及  $9.42\mu\text{m}$  之凹陷圓孔陣列微結構，原始光罩與最終模具成品之橫向誤差介於 0.5%~2.0%之間，表示以此方式製作之微結構滾輪重現光罩原尺寸優於「先平面曝光後貼合」製程，第五章亦會使用此組參數所製作之滾輪進行擠出壓印。

第四節以「無電鍍鎳」方式製作微結構滾輪，使用  $45\mu\text{m}$  之直線條紋光罩進行實驗，滾輪基材為鋁，在進行第一次無電鍍後，亦以滾輪轉速 4rpm、貼合溫度  $120^{\circ}\text{C}$  及氣壓缸總推力為 32kg 之參數，將乾膜光阻貼附在鍍鎳後之鋁滾輪上，顯影後再次進行第二次之無電鍍鎳，最後，成功在鋁滾輪上電鍍出線寬為  $45.1\mu\text{m}$ 、深度為  $1.02\mu\text{m}$  的直線條，且以無電鍍之方式製作出之微結構線寬與原始光罩線寬一致，顯示以無電鍍鎳確實可精確重現光罩尺寸，在本實驗中橫向誤差僅 0.02%。以上述三種方式製作微結構滾輪分別有其優缺點，將其優劣整理成【表 4-7】。

本實驗證明以 ASAHI KASEI DFR SUNFORT® SPG-102 此型號乾膜光阻確實可應用於微結構滾輪之製作，且實驗用之光罩只需以 AutoCAD 繪製，匯出至 PET 可撓塑膠基材即可，經過貼合、曝光、顯影、蝕刻或電鍍等方式，皆可將光罩上之圖形轉移到銅滾輪基材上，並在滾輪上產生微結構做為後段壓印製程用之滾輪模具，且滾輪可以車床進行表面前處理並可反覆利用。實驗中所用之熱脫脂、顯影液、氯化鐵等化學溶液，市面上容易取得、成本低且方便調製，而無電鍍鎳鍍浴每次使用前，只需調整其 PH 值即可重複使用，降低汙染。以上所提大幅降低設備之製作成本與微結構滾輪門檻，實為一符合經濟效益之製程。

本實驗亦證實使用乾膜光阻以蝕刻法或無電鍍(或電鍍)皆能在滾輪上製作微結構，而以先曝光後貼合比先貼合後曝光之方式蝕刻後誤差較小，蝕刻後於滾輪上為具圓弧型之凹陷結構。另外，以無電鍍鎳方式電鍍之微結構滾輪，實驗必須於精密且完善控制之鍍浴環境進行，而無電鍍鎳前，鋁滾輪之前處理實為一重要步驟，鋁滾輪表

面若車痕過粗或無經過表面研磨與拋光，在後續製程中亦無法在滾輪上電鍍出微結構，或者會造成鍍層不均與乾膜光阻剝落，但以無電鍍方式製作亦有其優點，無電鍍鍍法可精準控制成品與光罩間之橫向誤差，而蝕刻法則相對誤差較大，不過以蝕刻法之方式可藉由蝕刻時間長短，補正因顯影後所造成之誤差。



表4-1 銅蝕刻法製作微結構於銅片上製程中各步驟造成之橫向尺寸誤差

原始光罩平均寬度 ( $\mu\text{m}$ )	顯影後光阻圖形		蝕刻後並剝除光阻圖形	
	平均寬度 ( $\mu\text{m}$ )	與原始光罩 誤差	平均寬度 ( $\mu\text{m}$ )	與原始光罩 誤差
22	20.4	-7.27%	28.7	30.45%
25	23.5	-6.00%	26.7	6.80%
34	34.3	0.09%	34.9	2.65%
37	38.1	2.97%	38.7	4.59%



表4-2 實驗因子高低水準設定表

	Name	Units	Low	High
Factor 1 (A)	Pneumatic Force	kgf	16	32
Factor 2 (B)	Temperature	$^{\circ}\text{C}$	100	120
Factor 3 (C)	Rolling Speed	rpm	4	6
Response 1	Resist Thickness	$\mu\text{m}$	5	10

表4-3 實驗進行資料表

Std	Run	Block	Factor 1 A: Pneumatic Force (kgf)	Factor 2 B: Temperature (°C)	Factor 3 C: Rolling Speed(rpm)	Respond 1 Resist Thickness ( $\mu\text{m}$ )
16	1	Block 1	32.00	120.00	6.00	9
14	2	Block 1	16.00	120.00	6.00	6
6	3	Block 1	16.00	120.00	4.00	10
9	4	Block 1	16.00	100.00	6.00	9
8	5	Block 1	32.00	120.00	4.00	8
3	6	Block 1	32.00	100.00	4.00	5
10	7	Block 1	16.00	100.00	6.00	9
12	8	Block 1	32.00	100.00	6.00	4
11	9	Block 1	32.00	100.00	6.00	4
15	10	Block 1	32.00	120.00	6.00	9
17	11	Block 1	24.00	110.00	5.00	7
7	12	Block 1	32.00	120.00	4.00	7
2	13	Block 1	16.00	100.00	4.00	4
5	14	Block 1	16.00	120.00	4.00	10
4	15	Block 1	32.00	100.00	4.00	5
1	16	Block 1	16.00	100.00	4.00	5
13	17	Block 1	16.00	120.00	6.00	6

表4-4 曲面曝光曝光能量測試

電源供應 器電壓 (V)	轉一圈 時間(s)	滾輪轉 速(rpm)	曝光 時間(s)	紫外光強度 ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	總曝光能量 ( $\text{mJ}/\text{cm}^2$ )	原始 線寬 ( $\mu\text{m}$ )	所得線寬 ( $\mu\text{m}$ )
2.3V	50	1.20	7.84	16.07	125.99	37	22.2
2.5V	44	1.36	6.8	16.07	109.28	37	33.2
2.7V	40	1.50	6.2	16.07	99.63	37	36.1
3V	33	1.81	5.7	16.07	91.60	37	39.1
3.2V	31	1.94	4.84	16.07	77.78	37	40.9
3.5V	27	2.22	4.56	16.07	73.28	37	42.1

表4-5 使用光罩三、光罩四在各參數下顯影與蝕刻後之誤差

Run	A: Pneumatic Force (kgf)	B: Temperature (°C)	C: Rolling Speed (rpm)	光罩三					光罩四				
				原始線寬 (μm)	顯影後		蝕刻後		原始線寬 (μm)	顯影後		蝕刻後	
					平均線寬 (μm)	誤差 (%)	平均線寬 (μm)	誤差 (%)		平均線寬 (μm)	誤差 (%)	平均線寬 (μm)	誤差 (%)
1	32.00	120.00	6.00	34	33.5	-4.29			37	36.4	-1.62		
2	16.00	120.00	6.00		35.1	0.03	44.9	28.28		37.1	0.03	45.9	24.05
3	16.00	120.00	4.00		33.2	-5.14	44.5	27.14		36.1	-2.43	49.3	33.24
4	16.00	100.00	6.00		31.6	-9.71				33.6	-9.19		
5	32.00	120.00	4.00		35.5	1.43	40.0	17.65		37.1	0.03	42.5	14.86
6	32.00	100.00	4.00		33.5	-4.29	41.2	17.71		37.3	0.08	47.9	29.46
7	16.00	100.00	6.00		30.1	-14.00				34.7	-6.22		
8	32.00	100.00	6.00		31.6	-9.71				32.5	-12.16		
9	32.00	100.00	6.00		30.3	-13.43				32.0	-13.51		
10	32.00	120.00	6.00		32.9	-6.00				36.3	-1.89		
11	24.00	110.00	5.00		33.2	-5.14	42.0	20.00		37.1	0.03	47.8	29.19
12	32.00	120.00	4.00		35.3	0.09	39.5	16.18		37.1	0.03	42.5	14.86
13	16.00	100.00	4.00		29.7	-15.14				32.5	-12.16		
14	16.00	120.00	4.00		33.2	-5.14	44.7	27.71		37.1	0.03	47.4	28.11
15	32.00	100.00	4.00		33.5	-4.29	42.1	20.29		35.4	-4.32	47.5	28.38
16	16.00	100.00	4.00		29.0	-17.14				30.9	-16.49		
17	16.00	120.00	6.00		34.1	-2.57	42.9	22.57		36.1	-2.43	49.8	34.59

(先貼合後曝光方式)

表4-6 使用光罩五、光罩六在各參數下顯影與蝕刻後之誤差

Run	A: Pneu- matic Force (kgf)	B: Tempe- rature (°C)	C: Rolling Speed (rpm)	光罩五				光罩六					
				原 始 直 徑 (μ m)	顯影後		蝕刻後		原 始 直 徑 (μ m)	顯影後		蝕刻後	
					平均 直徑 (μm)	誤差 (%)	平均 直徑 (μm)	誤差 (%)		平均 直徑 (μm)	誤差 (%)	平均 直徑 (μm)	誤 差 (%)
1	32.00	120.00	6.00	48	39.7	-17.29			57	44.8	-21.40		
2	16.00	120.00	6.00		45.1	-6.04	50.1	4.38		54.5	-4.39	58.7	2.98
3	16.00	120.00	4.00		47.6	-0.08	52.6	9.58		55.4	-2.81	58.4	2.46
4	16.00	100.00	6.00		43.7	-8.96				50.7	-11.05		
5	32.00	120.00	4.00		47.6	-0.08	48.5	1.04		55.0	-3.51	57.9	1.58
6	32.00	100.00	4.00		48.3	0.06	58.0	20.83		57.4	0.70	62.6	9.82
7	16.00	100.00	6.00		42.8	-10.83				50.0	-12.28		
8	32.00	100.00	6.00		49.9	3.96				55.8	-2.11		
9	32.00	100.00	6.00		47.0	-2.08				56.5	-0.88		
10	32.00	120.00	6.00		39.9	-16.88				44.4	-22.11		
11	24.00	110.00	5.00		45.5	-5.21	53.6	11.67		55.4	-2.81	60.7	6.49
12	32.00	120.00	4.00		47.5	-1.04	48.9	1.88		56.5	-0.88	57.5	0.88
13	16.00	100.00	4.00		37.1	-22.71				43.3	-24.04		
14	16.00	120.00	4.00		46.4	-3.33	51.4	7.08		58.4	2.46	59.7	4.74
15	32.00	100.00	4.00		48.6	1.25	57.8	20.42		56.9	0.18	59.1	3.68
16	16.00	100.00	4.00		36.8	-23.33				42.8	-24.91		
17	16.00	120.00	6.00		46.4	-3.33	51.2	6.67		55.2	-3.16	60.1	5.44

(先曝光後貼合方式)

表4-7 使用光罩七、光罩八在各參數下顯影與蝕刻後之誤差

Run	A: Pneu- matic Force (kgf)	B: Tempe- rature (°C)	C: Rolling Speed (rpm)	光罩七				光罩八					
				原 始 直 徑 ( $\mu$ m)	顯影後		蝕刻後		原 始 直 徑 ( $\mu$ m)	顯影後		蝕刻後	
					平均 直徑 ( $\mu$ m)	誤差 (%)	平均 直徑 ( $\mu$ m)	誤差 (%)		平均 直徑 ( $\mu$ m)	誤差 (%)	平均 直徑 ( $\mu$ m)	誤差 (%)
1	32.00	120.00	6.00	70	68.9	-1.57			79	77.5	-1.90		
2	16.00	120.00	6.00		71.7	2.43	77.0	10.00		78.3	0.09	81.2	2.78
3	16.00	120.00	4.00		69.1	-1.29	72.8	4.00		80.4	1.77	81.3	2.91
4	16.00	100.00	6.00		57.8	-17.43				53.9	-31.77		
5	32.00	120.00	4.00		69.6	-0.57	70.8	1.14		78.3	-0.09	78.6	0.05
6	32.00	100.00	4.00		71.3	1.86	78.0	11.42		80.6	2.03	84.6	7.09
7	16.00	100.00	6.00		58.3	-16.71				52.9	-33.04		
8	32.00	100.00	6.00		56.9	-18.71				63.5	-19.62		
9	32.00	100.00	6.00		56.5	-19.29				60.3	-23.67		
10	32.00	120.00	6.00		68.1	-2.71				76.5	-3.16		
11	24.00	110.00	5.00		69.8	-0.29	75.4	7.71		78.5	-0.06	84.0	6.33
12	32.00	120.00	4.00		69.4	-0.86	70.8	1.14		78.6	-0.05	79.8	1.01
13	16.00	100.00	4.00		50.0	-28.57				54.3	-31.27		
14	16.00	120.00	4.00		68.9	-1.57	73.5	5.00		80.2	1.52	82.1	3.92
15	32.00	100.00	4.00		70.6	0.86	76.0	8.57		81.2	2.78	86.4	9.37
16	16.00	100.00	4.00		50.9	-27.29				58.6	-25.82		
17	16.00	120.00	6.00		72.4	3.43	78.2	11.71		78.8	-0.03	79.4	0.05

(先曝光後貼合方式)



表4-8 微結構滾輪製程比較

	先貼合後曝光 蝕刻法	先曝光後貼合 蝕刻法	無電鍍鎳
光罩圖形	線條(grating)	圓點(lens array)	圓點(lens array)
曝光難易	曲面曝光 (▲)	平面曝光 (●)	平面曝光 (●)
微結構製作 方式	等向性蝕刻，微結構 輪廓底部為圓弧 形，深度隨蝕刻時間 而改變 (●)	等向性蝕刻，微結構 輪廓底部為圓弧 形，深度隨蝕刻時間 而改變 (●)	將鎳鍍在鋁上，深 度隨電鍍時間而 改變 (●)
微結構強度	優 (●)	優 (●)	中等 (▲)
微結構製作 環境簡易性	氯化鐵溶液即可 (●)	氯化鐵溶液即可 (●)	需精準控制鍍浴 PH 值與環境 (▲)
結構與光罩 重現性	等向性蝕刻具側蝕 效應，成品之橫向尺 寸大於原光罩，本實 驗中橫向誤差為 14.0%~18.0% (✗)	貼合時產生擠壓，使 受曝區域圖形大小 改變，但會與側蝕效 應相抵銷，在本實驗 中橫向誤差為 0.5%~2.0% (●)	可精準重現光罩 圖形，在本實驗中 橫向誤差僅 0.02% (●)
最佳 貼合參數	F=32kgf T=120°C S=4rpm	F=32kgf T=120°C S=4rpm	F=32kgf T=120°C S=4rpm
結構與光 罩誤差百 分比	14.0%~18.0% (✗)	0.5%~2.0% (●)	0.02% (●)

(●)優 (▲)尚可 (✗)劣



圖 4-1 貼合機 (Laminating Machine, TATUNG)

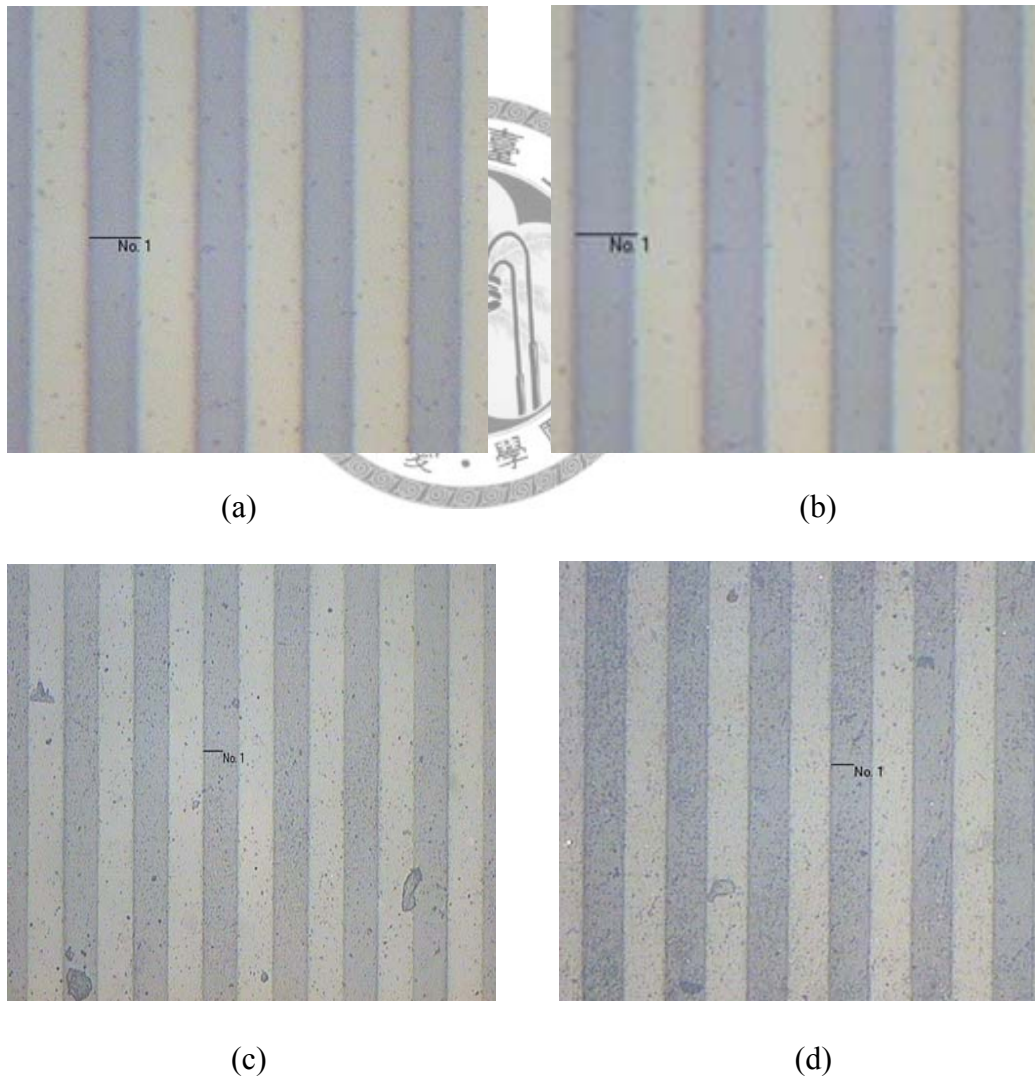


圖 4-2 銅片光罩原始圖形  
(a)線寬 22 $\mu\text{m}$  (b)線寬 25 $\mu\text{m}$  (光學顯微鏡 200 倍)  
(c)線寬 34 $\mu\text{m}$  (d)線寬 37 $\mu\text{m}$  (光學顯微鏡 100 倍)

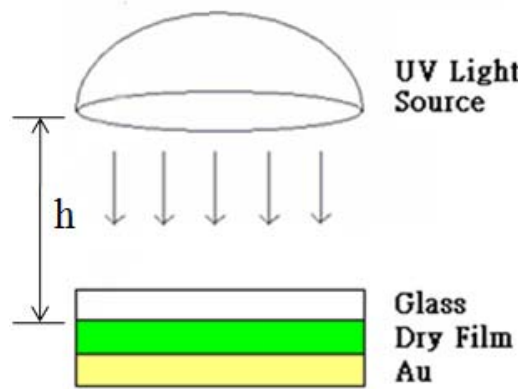


圖 4-3 平面曝光示意圖



圖 4-4 實際平面曝光設置圖

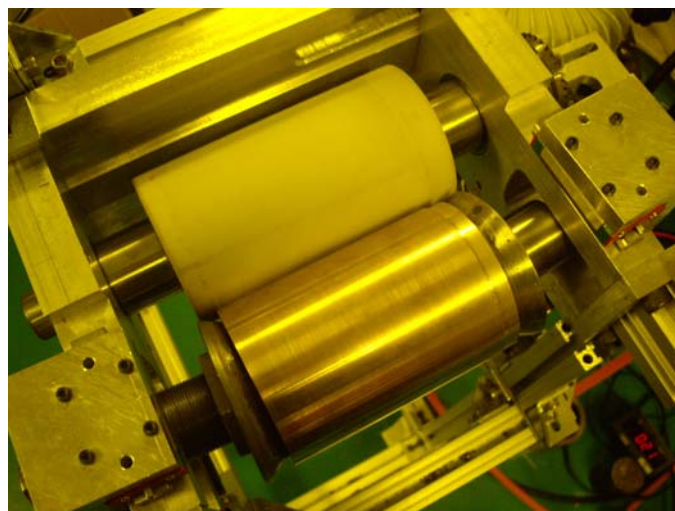
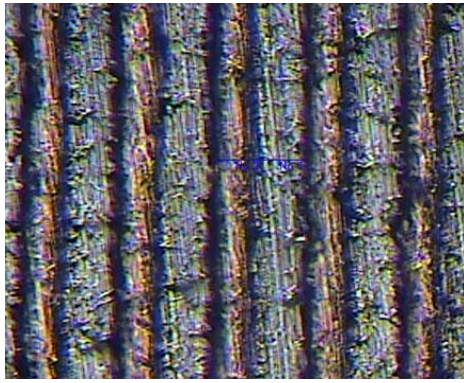
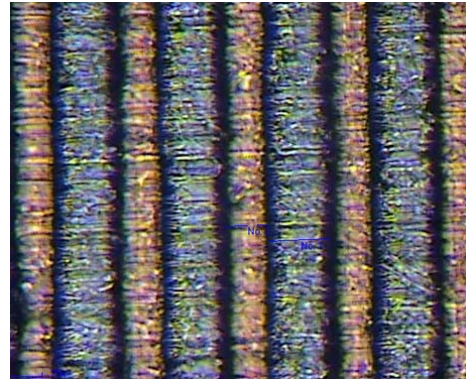


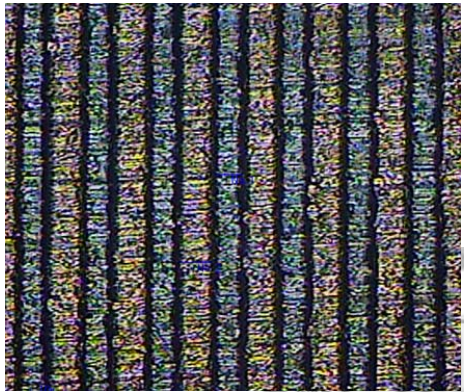
圖 4-5 滾輪機台實體圖



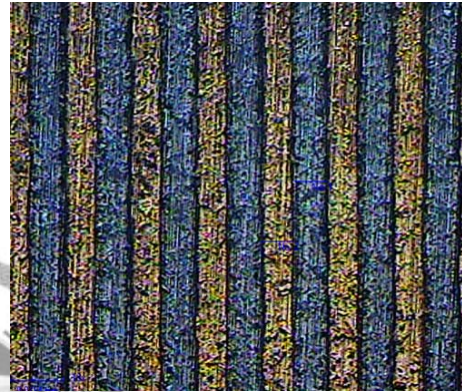
(a)



(b)

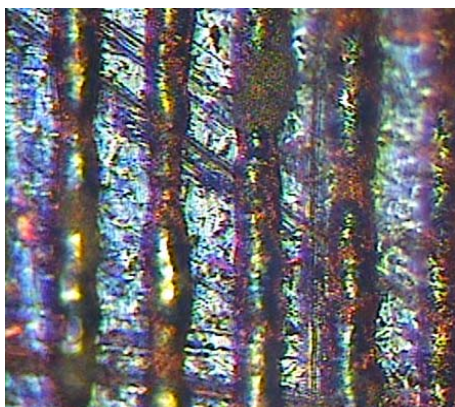


(c)

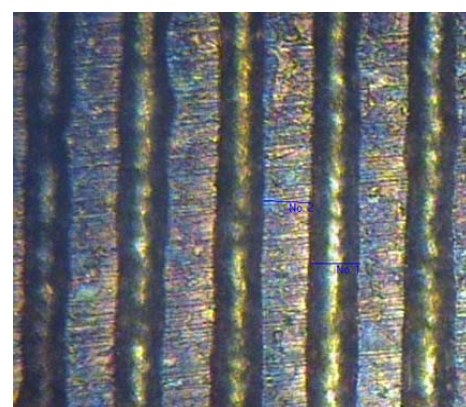


(d)

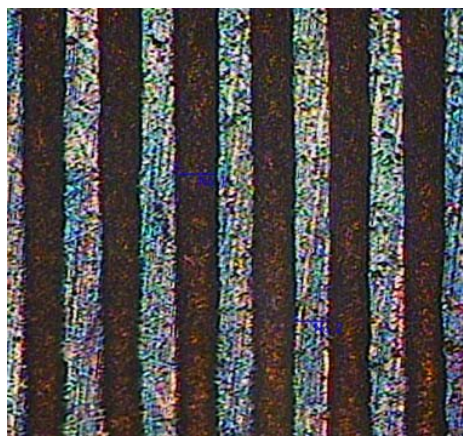
圖 4-6 銅片顯影後光阻結構  
(a)線寬 22 $\mu\text{m}$  (b)線寬 25 $\mu\text{m}$  (光學顯微鏡 200 倍)  
(c)線寬 34 $\mu\text{m}$  (d)線寬 37 $\mu\text{m}$  (光學顯微鏡 100 倍)



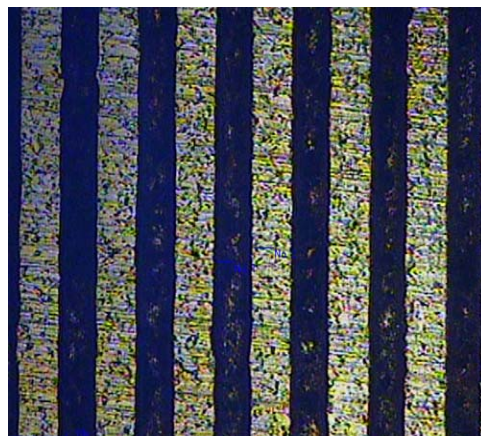
(a)



(b)

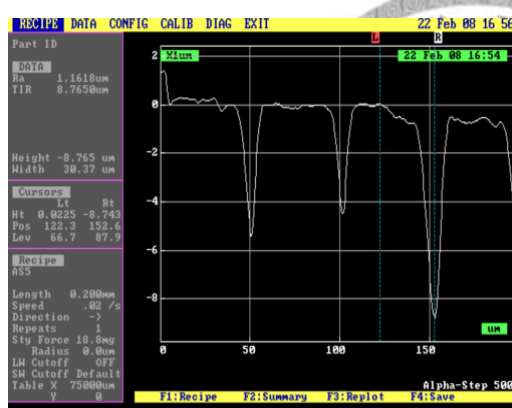


(c)

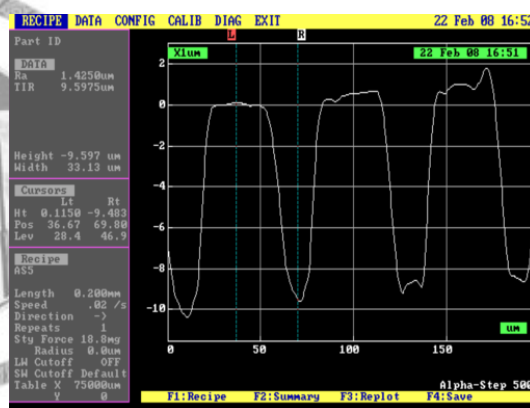


(d)

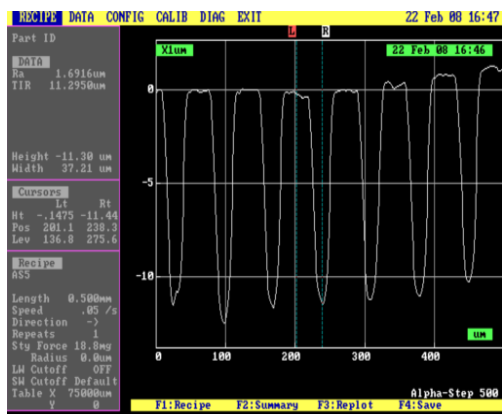
圖 4-7 銅片蝕刻並剝除光阻後  
 (a)線寬 22 $\mu\text{m}$  (b)線寬 25 $\mu\text{m}$  (光學顯微鏡 200 倍)  
 (c)線寬 34 $\mu\text{m}$  (d)線寬 37 $\mu\text{m}$  (光學顯微鏡 100 倍)



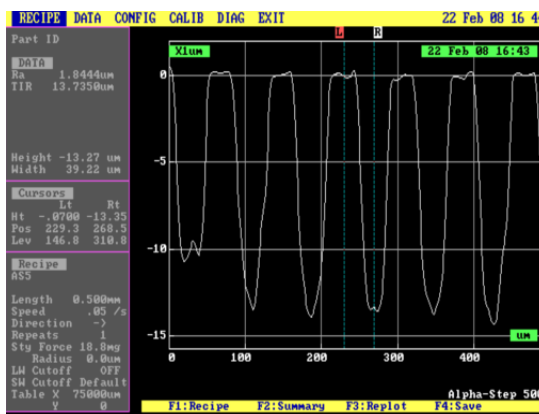
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 4-8 銅片蝕刻後光阻結構  
 (a)線寬 22 $\mu\text{m}$  (b)線寬 25 $\mu\text{m}$  (c)線寬 34 $\mu\text{m}$  (d)線寬 37 $\mu\text{m}$  (Alpha-Step 500)

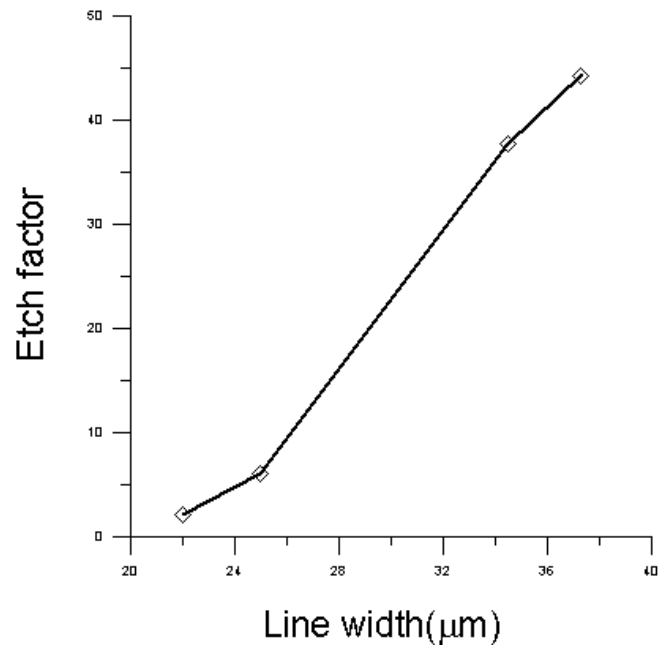
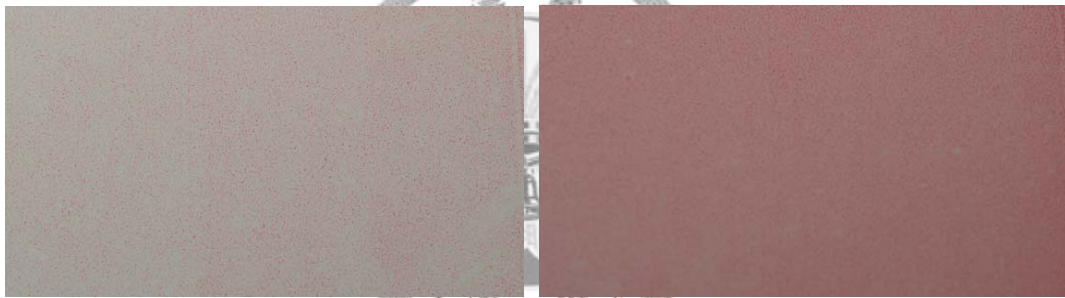


圖 4-9 線寬與蝕刻因子關係圖



(a) 16kgf

(b) 32kgf

圖 4-10 富士感壓軟片測試於滾輪各點的均壓性

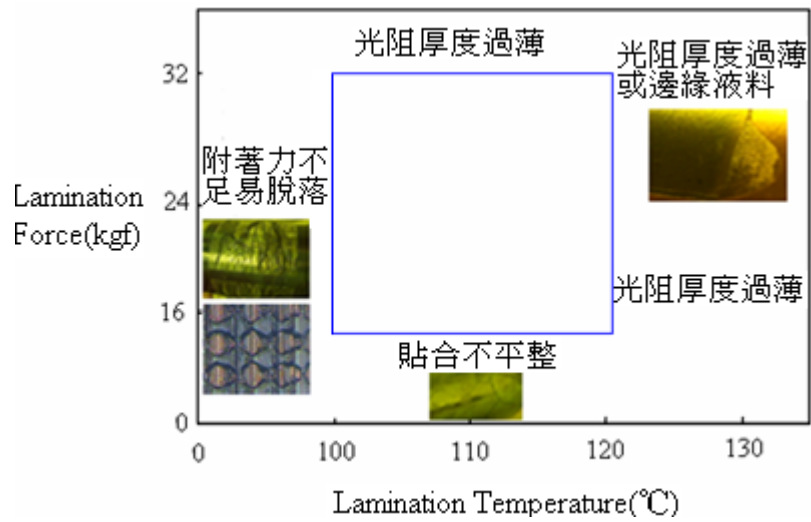


圖 4-11 乾膜光阻之貼合操作窗

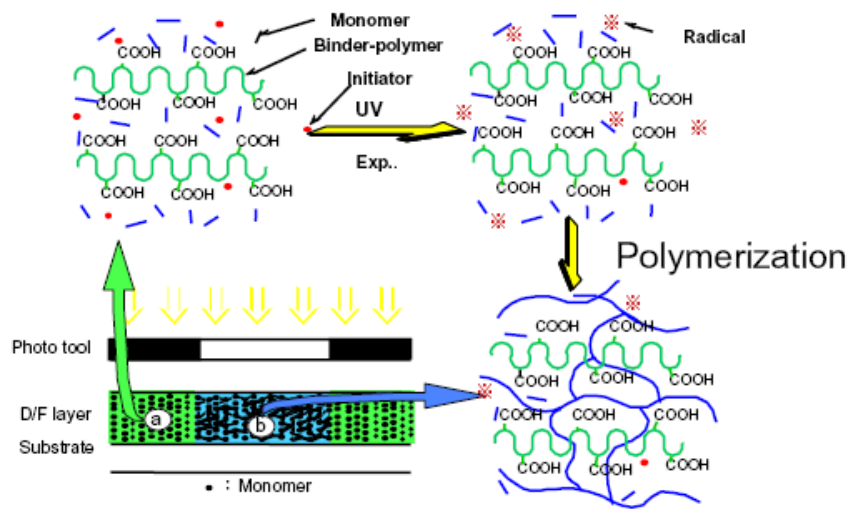


圖 4-12 乾膜光阻曝光分子反應機制示意圖  
(<http://www.asahi-kasei.co.jp/akemd/dfr/jp/psresine.htm>)

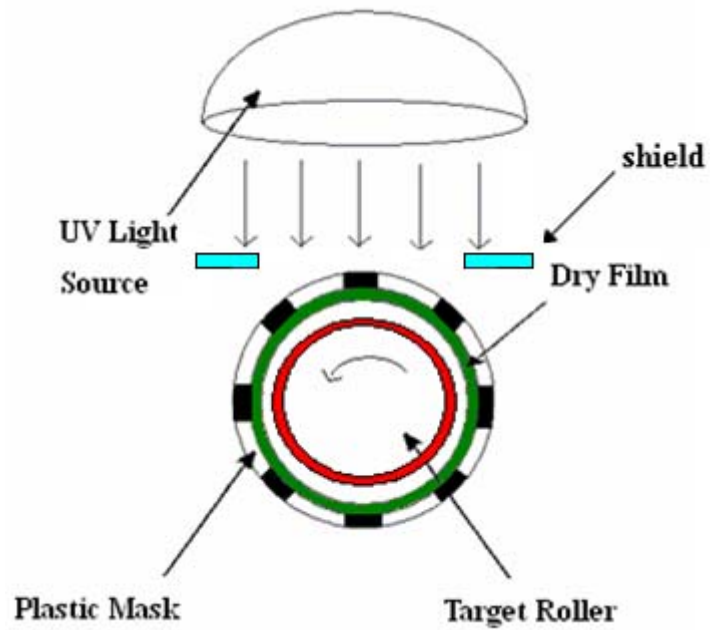


圖 4-13 曲面曝光示意圖

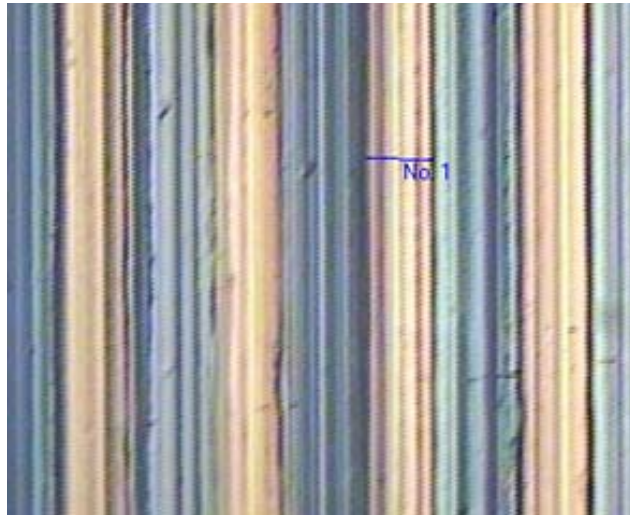


圖 4-14 曲面曝光顯影後於滾輪上之乾膜光阻結構（光學顯微鏡 100 倍）

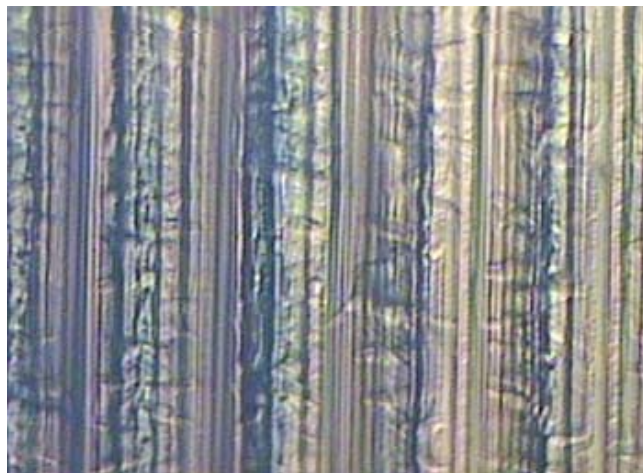


圖 4-15 曝光能量不足於顯影製程中脫落（光學顯微鏡 100 倍）

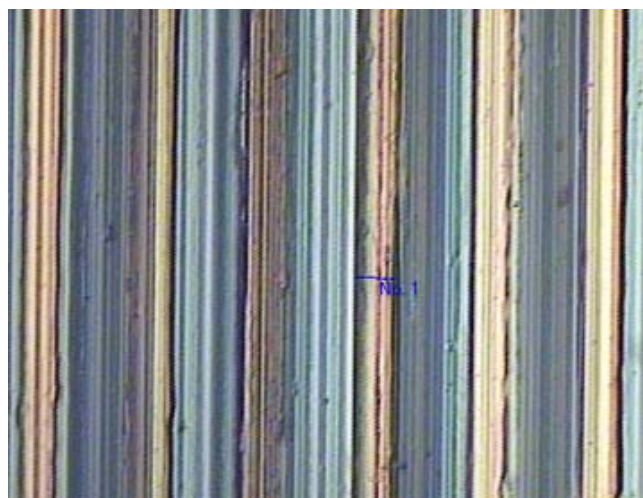


圖 4-16 過度曝光於滾輪上之乾膜光阻結構（光學顯微鏡 100 倍）



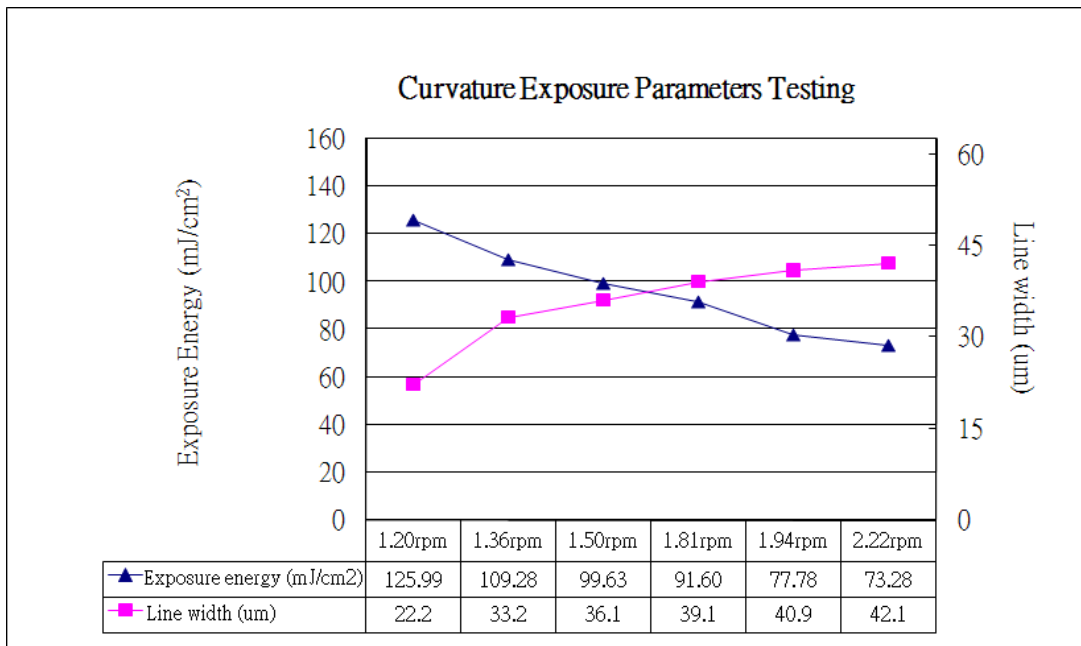
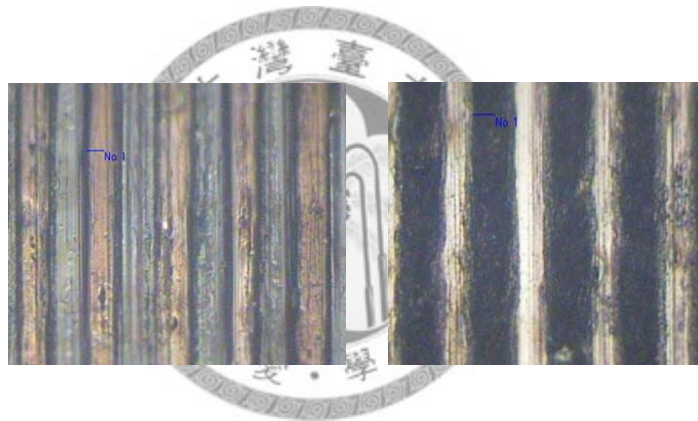


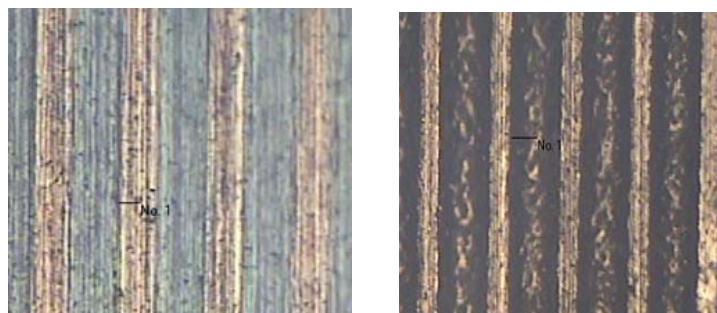
圖 4-17 曲面曝光曝光量與線寬重現性曲線圖



(a)顯影後

(b)蝕刻後

圖 4-18 低碳鋼顯影與蝕刻後（光學顯微鏡 100 倍）



(a)顯影後

(b)蝕刻後

圖 4-19 磷青銅顯影與蝕刻後（光學顯微鏡 100 倍）



(a) 顯影後之銅滾輪



(b) 蝕刻並剝膜後之銅滾輪

圖 4-20 製程中之銅滾輪

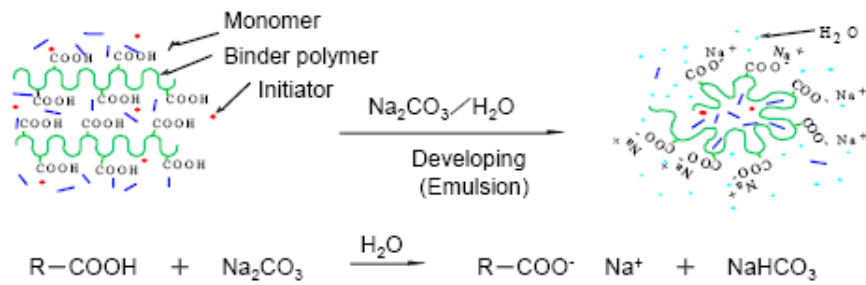
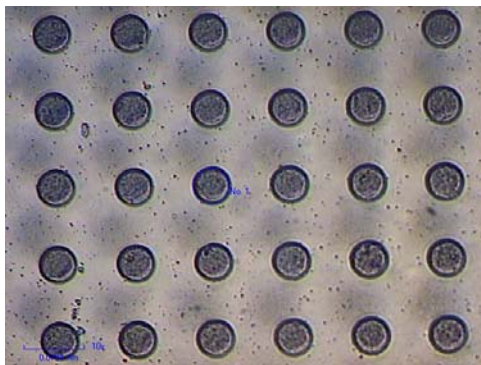
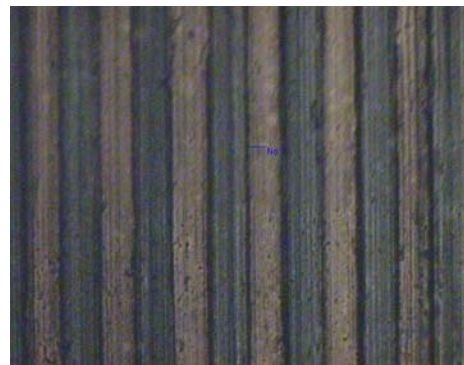


圖 4-21 乾膜光阻顯影之分子反應機制

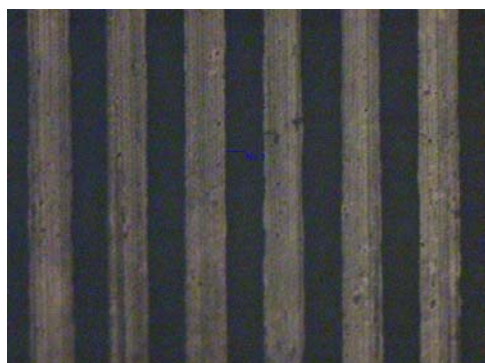
(<http://www.asahi-kasei.co.jp/akemd/dfr/jp/psresine.htm>)



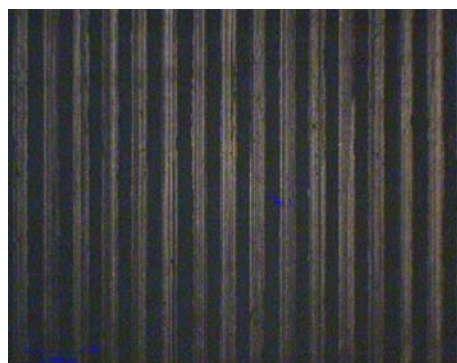
(a) 直徑 48 $\mu\text{m}$  圓形光罩 OM 圖(100 X)



(b) 顯影後 OM 圖(100 X)



(c)蝕刻後 OM 圖(100 X)



(d)蝕刻後 OM 圖(40 X)

圖 4-22 圓形光罩曲面曝光顯影後之 OM 圖

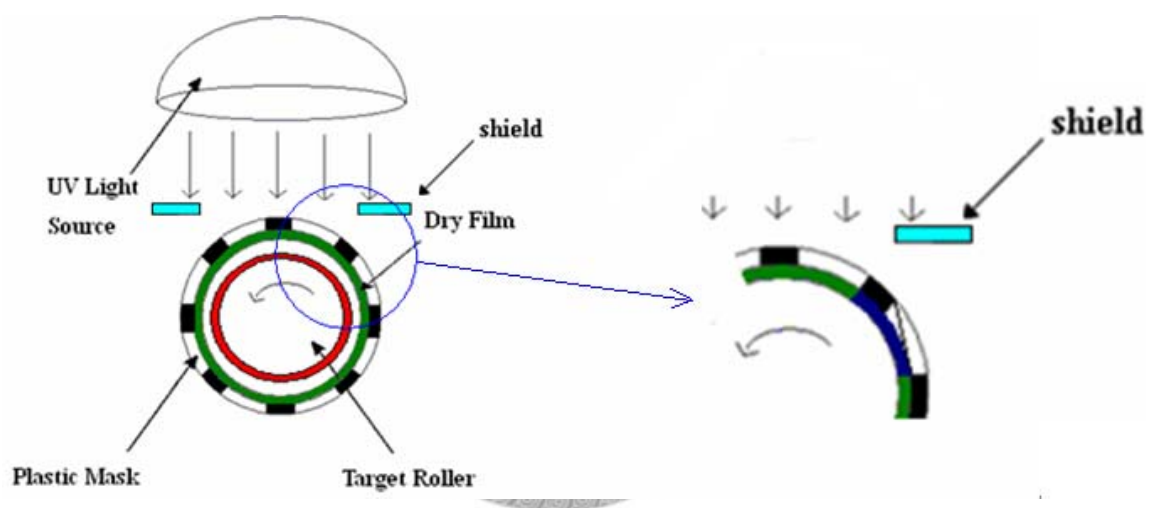


圖 4-23 圓形光罩曲面曝光滾輪側邊受曝示意圖

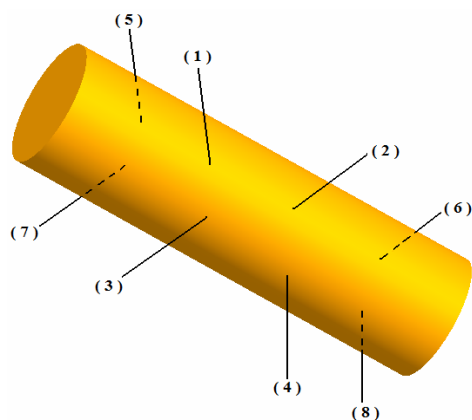
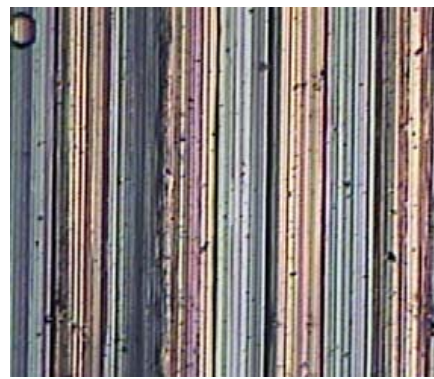


圖 4-24 銅滾輪上取八點量測示意圖



(a) 光罩三

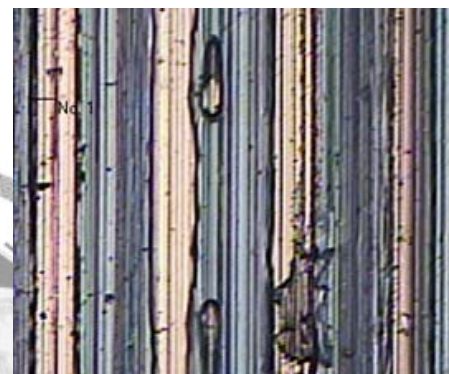


(b) 光罩四

圖 4-25 在  $F=32\text{kgf}$   $T=100^\circ\text{C}$   $S=6\text{rpm}$  下顯影後微結構 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)



(a) 光罩三

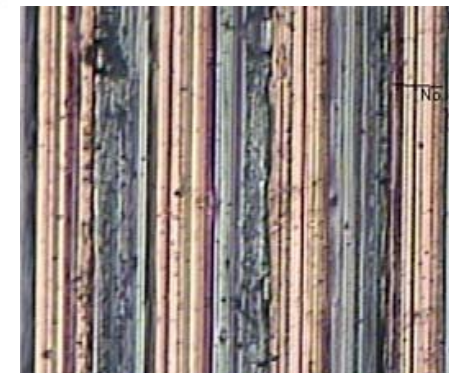


(b) 光罩四

圖 4-26 在  $F=16\text{kgf}$   $T=100^\circ\text{C}$   $S=4\text{rpm}$  下顯影後微結構 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)

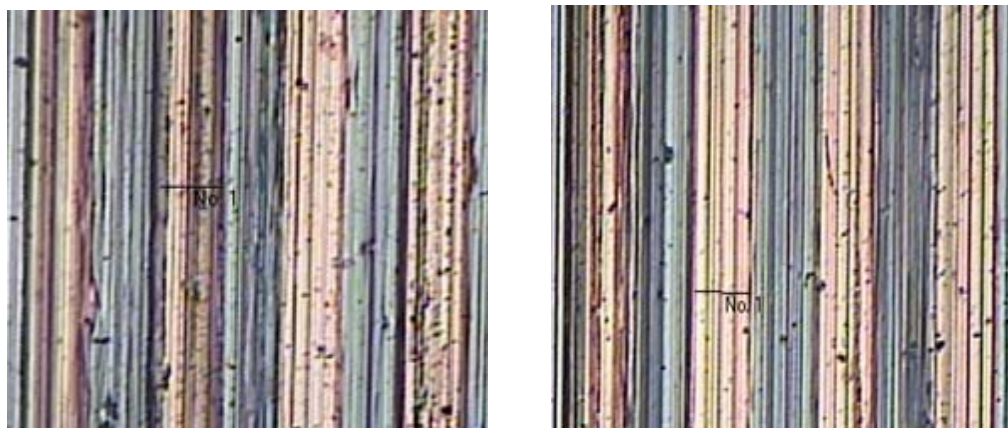


(a) 光罩三



(b) 光罩四

圖 4-27 在  $F=16\text{kgf}$   $T=100^\circ\text{C}$   $S=6\text{rpm}$  下顯影後微結構 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)



(a) 光罩三

(b) 光罩四

圖 4-28 在  $F=32\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=6\text{rpm}$  下顯影後微結構 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)

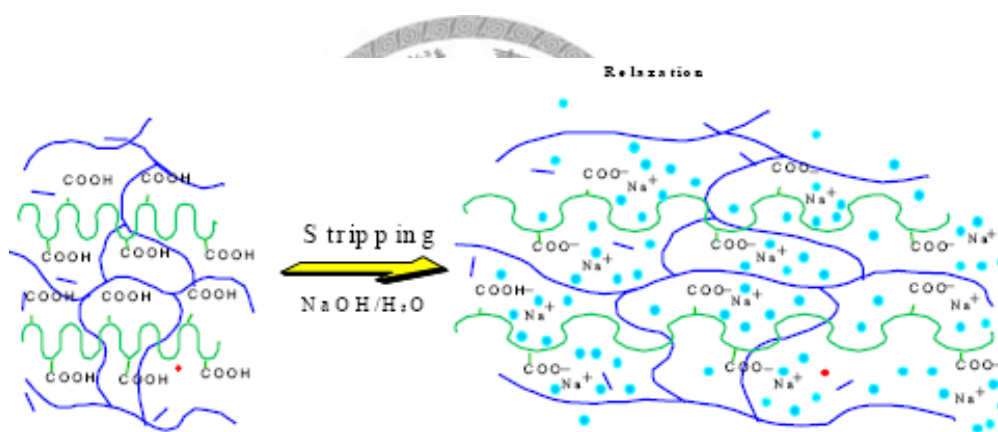
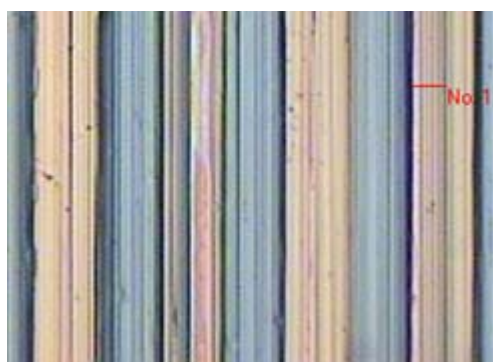


圖 4-29 乾膜光阻剝除之分子反應機制

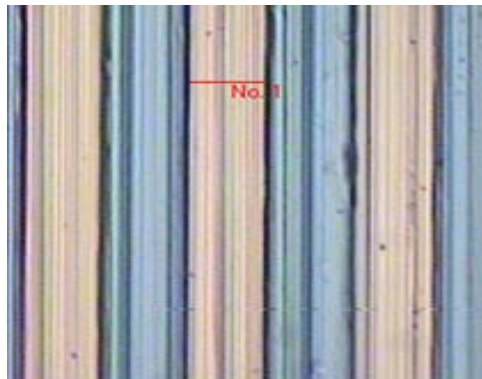
(<http://www.asahi-kasei.co.jp/akemd/dfr/jp/psresine.htm>)



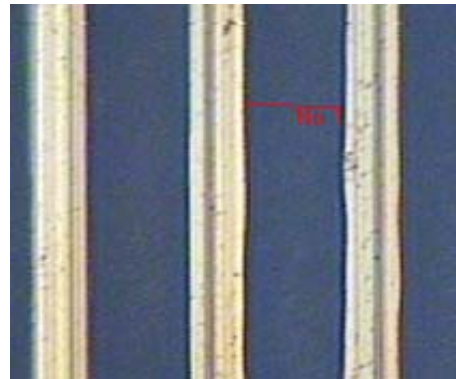
光罩三 (a) 顯影後



光罩三 (b) 蝕刻後



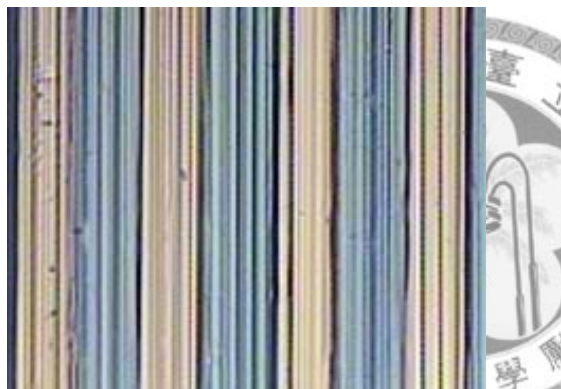
光罩四 (c) 顯影後



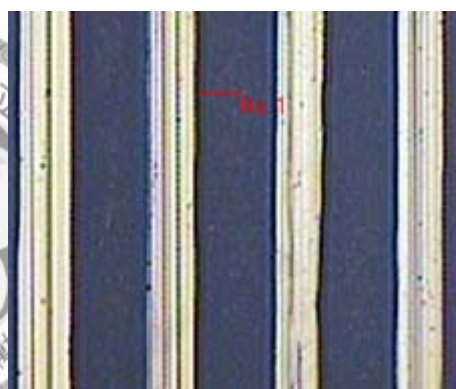
光罩四 (d) 蝕刻後

圖 4-30 在  $F=16\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=6\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後

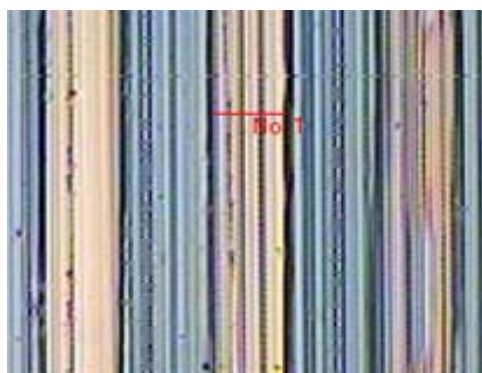
(a)光罩三顯影後(b)光罩三蝕刻後(c)光罩四顯影後(d)光罩四蝕刻後(光學顯微鏡 100 倍)



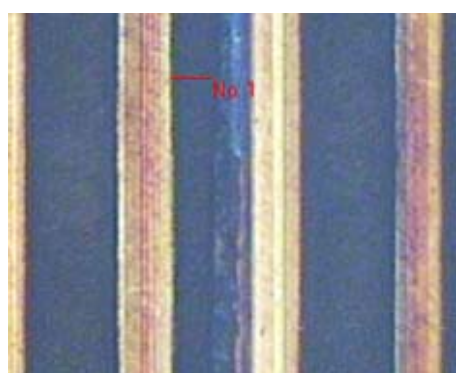
光罩三 (a) 顯影後



光罩三 (b) 蝕刻後



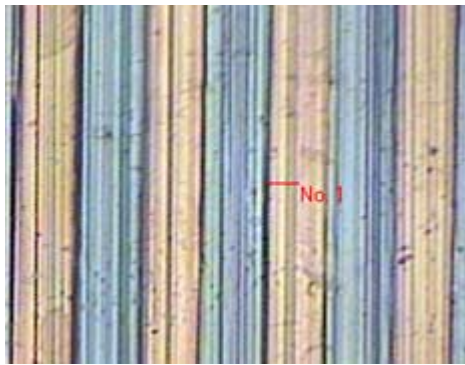
光罩四 (c) 顯影後



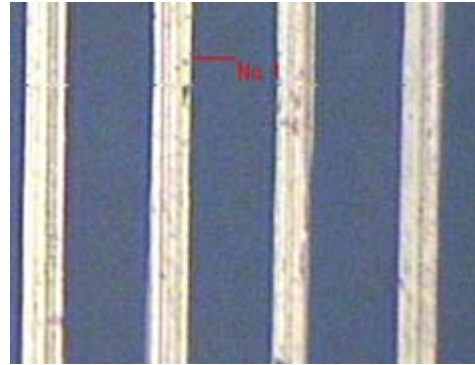
光罩四 (d) 蝕刻後

圖 4-31 在  $F=16\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=4\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後

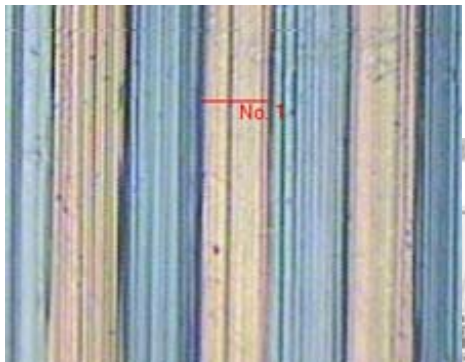
(a)光罩三顯影後(b)光罩三蝕刻後(c)光罩四顯影後(d)光罩四蝕刻後(光學顯微鏡 100 倍)



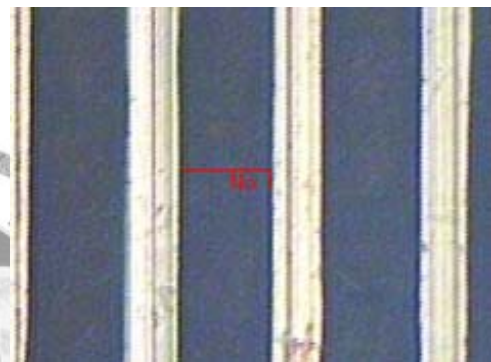
光罩三 (a) 顯影後



光罩三 (b) 蝕刻後

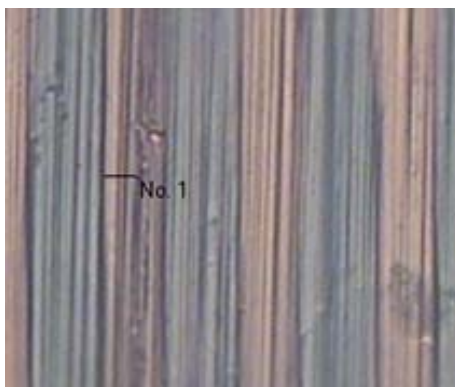


光罩四 (c) 顯影後

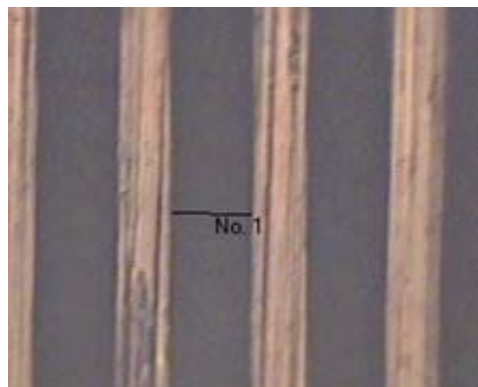


光罩四 (d) 蝕刻後

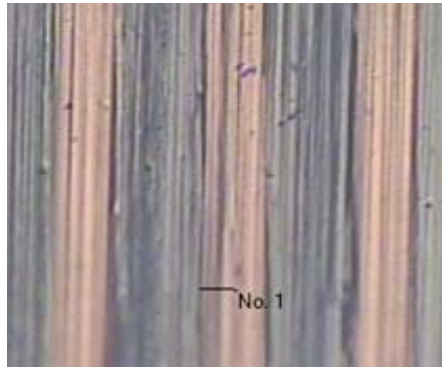
圖 4-32 在  $F=32\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=4\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後  
 (a)光罩三顯影後(b)光罩三蝕刻後(c)光罩四顯影後(d)光罩四蝕刻後(光學顯微鏡 100 倍)



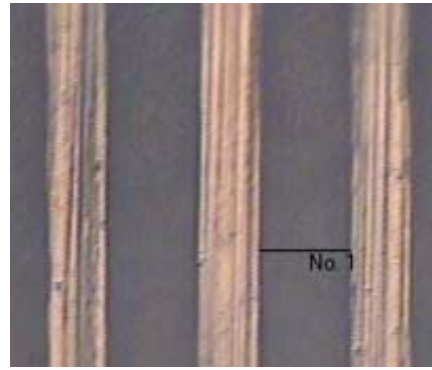
光罩三 (a) 顯影後



光罩三 (b) 蝕刻後

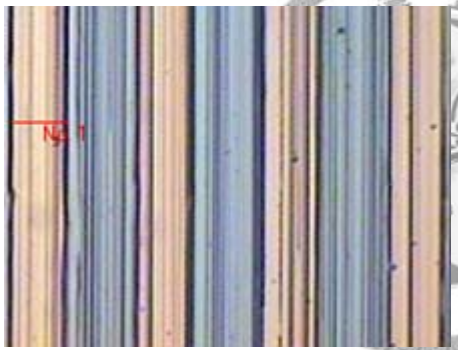


光罩四 (c) 顯影後

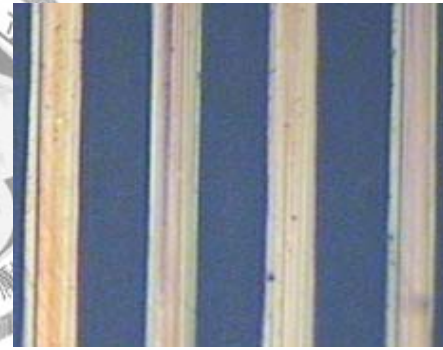


光罩四 (d) 蝕刻後

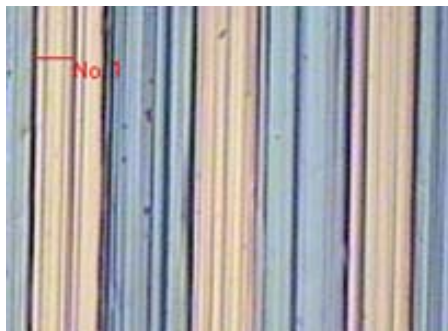
圖 4-33 在  $F=32\text{kgf}$   $T=100^\circ\text{C}$   $S=4\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後  
 (a)光罩三顯影後(b)光罩三蝕刻後(c)光罩四顯影後(d)光罩四蝕刻後(光學顯微鏡 100 倍)



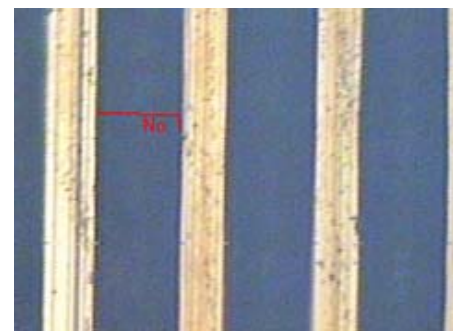
光罩三 (a) 顯影後



光罩三 (b) 蝕刻後



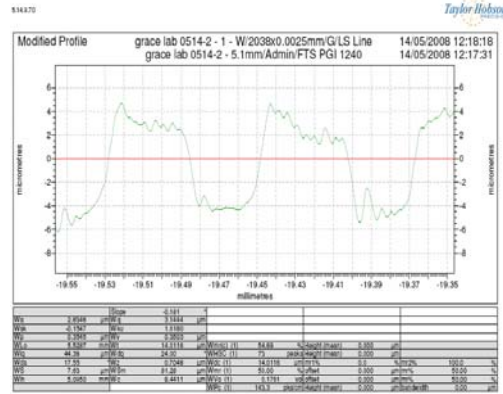
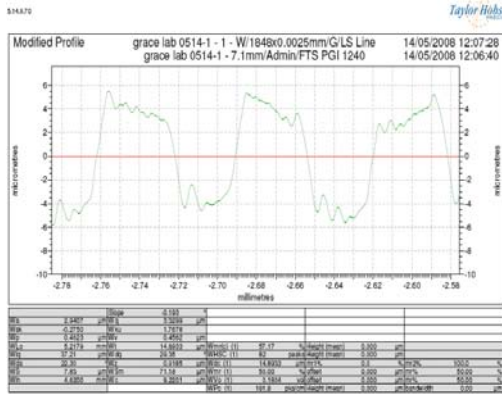
光罩四 (c) 顯影後



光罩四 (d) 蝕刻後

圖 4-34 在  $F=24\text{kgf}$   $T=110^\circ\text{C}$   $S=5\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後  
 (a)光罩三顯影後(b)光罩三蝕刻後(c)光罩四顯影後(d)光罩四蝕刻後(光學顯微鏡 100 倍)

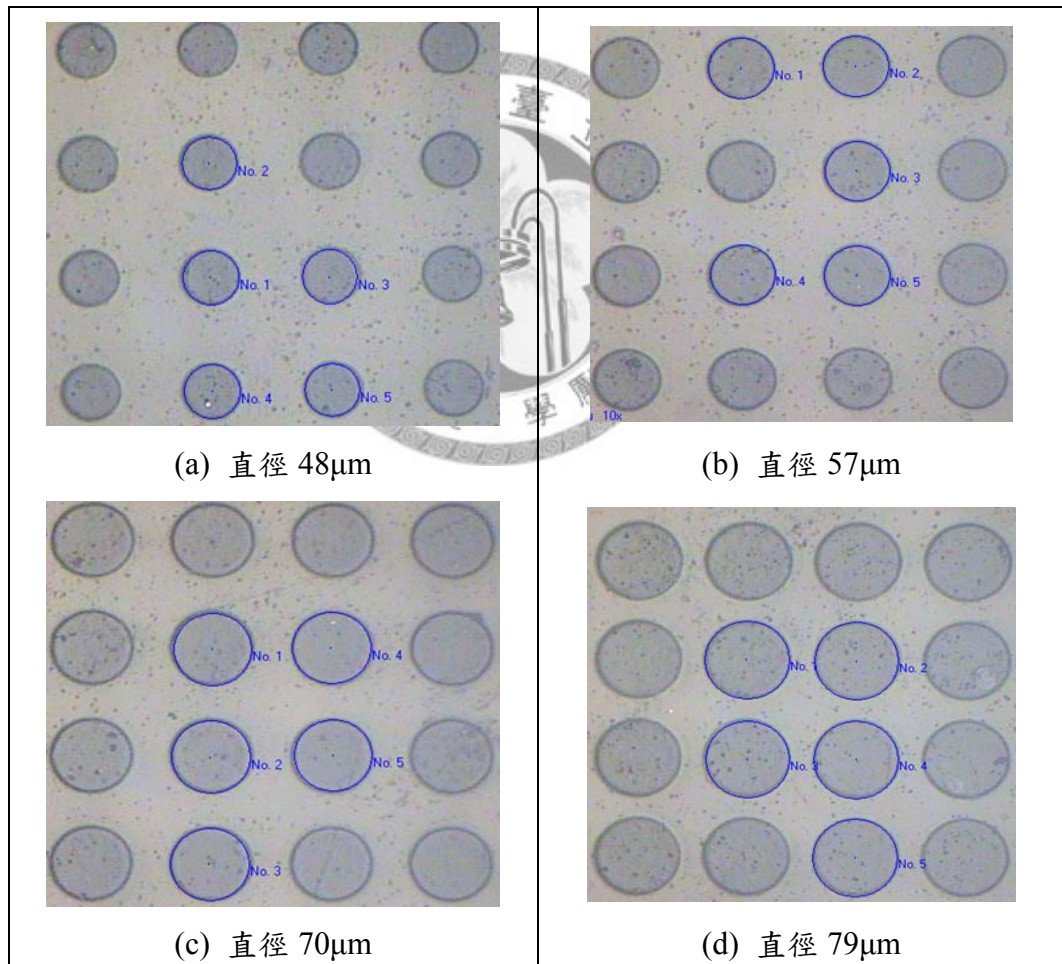




(a) 線寬 34 $\mu$ m

(b) 線寬 37 $\mu$ m

圖 4-35 滾輪蝕刻後光阻結構(形狀量測儀)



(a) 直徑 48 $\mu$ m

(b) 直徑 57 $\mu$ m

(c) 直徑 70 $\mu$ m

(d) 直徑 79 $\mu$ m

圖 4-36 曲面曝光使用之光罩 (光學顯微鏡 100 倍)

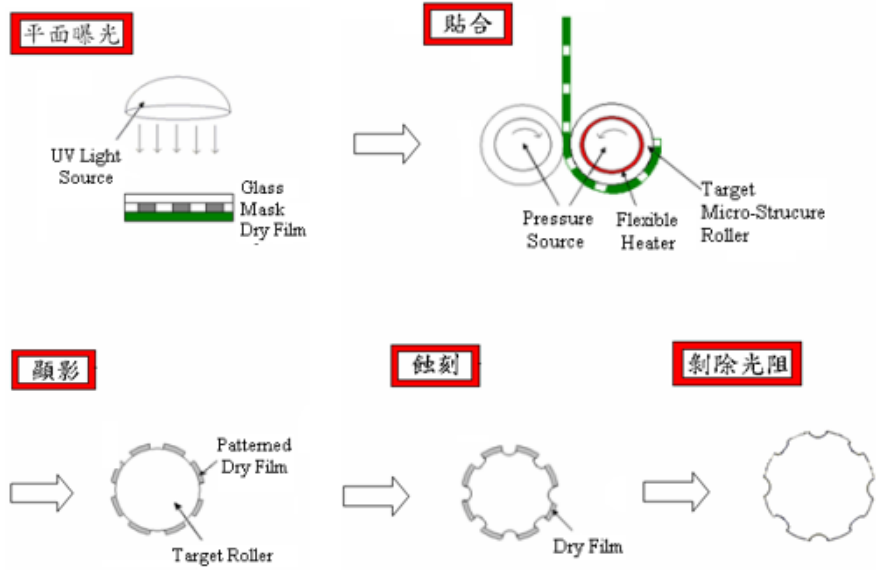
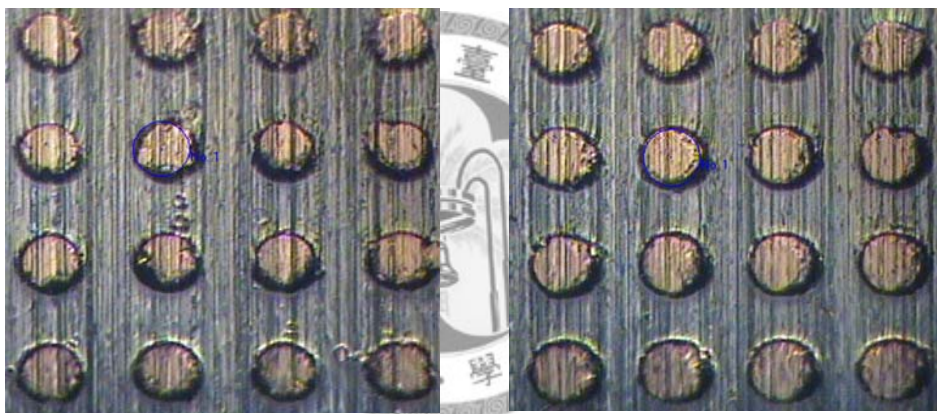
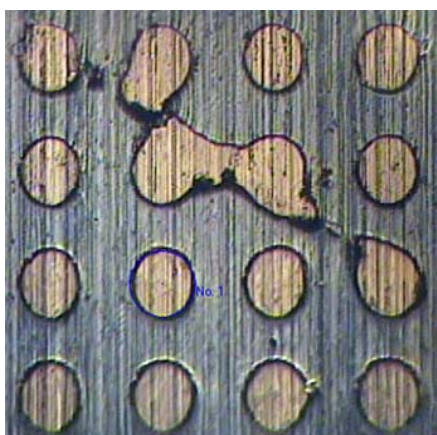


圖 4-37 先曝光後貼合實驗完整之流程圖

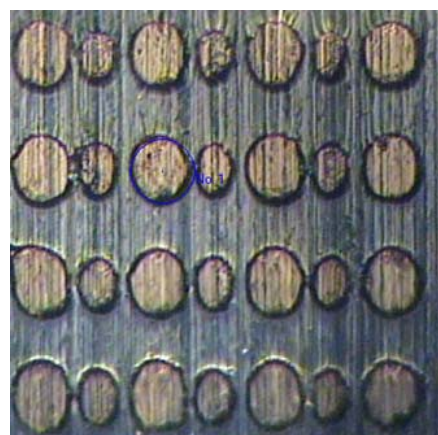


光罩五 (a) 顯影後

光罩六 (b) 顯影後

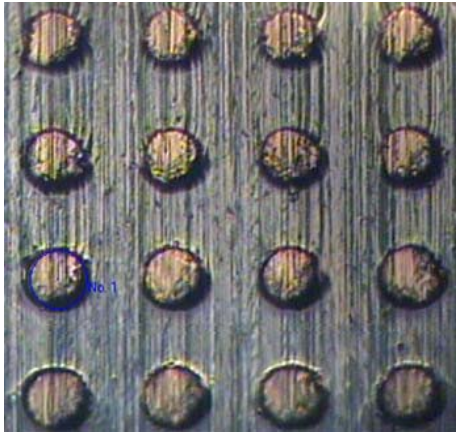


光罩七 (c) 顯影後

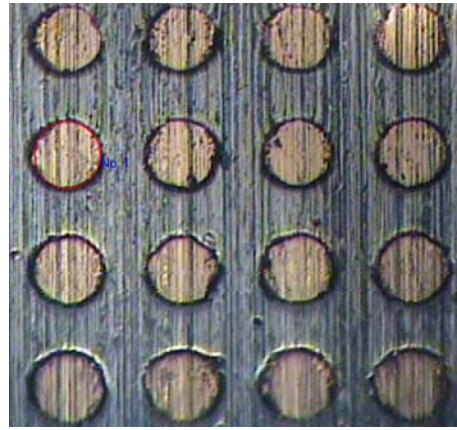


光罩八 (d) 顯影後

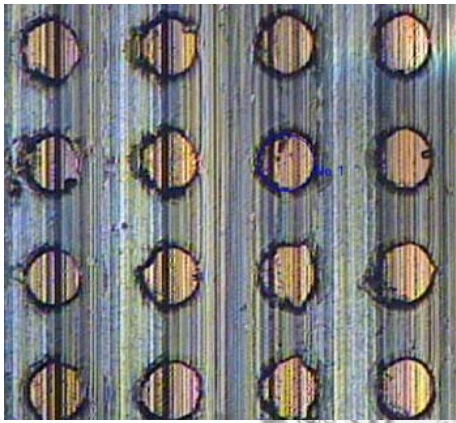
圖 4-38 在  $F=32\text{kgf}$   $T=100^\circ\text{C}$   $S=6\text{rpm}$  下顯影後微結構 OM 圖  
(a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八 (光學顯微鏡 100 倍)



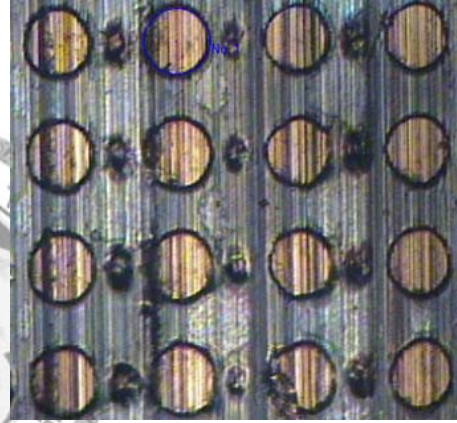
光罩五 (a) 顯影後



光罩六 (b) 顯影後

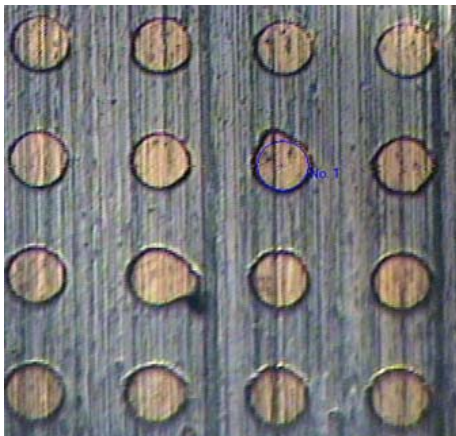


光罩七 (c) 顯影後

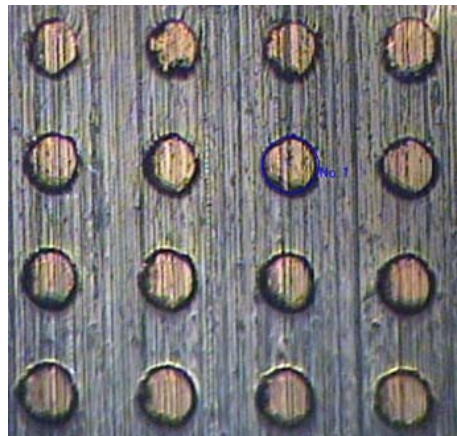


光罩八 (d) 顯影後

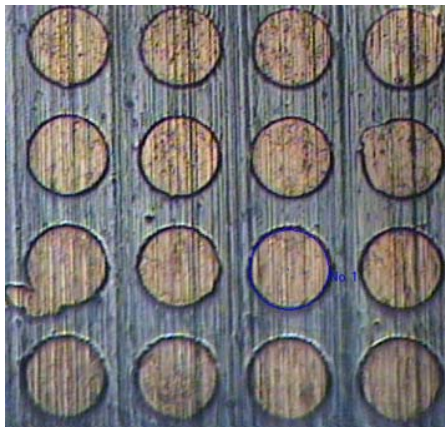
圖 4-39 在  $F=16\text{kgf}$   $T=100^\circ\text{C}$   $S=4\text{rpm}$  下顯影後微結構 OM 圖  
 (a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八 (光學顯微鏡 100 倍)



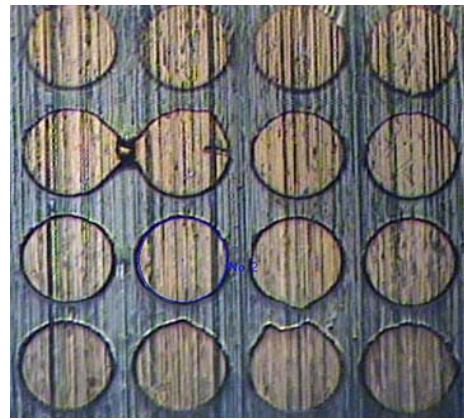
光罩五 (a) 顯影後



光罩六 (b) 顯影後

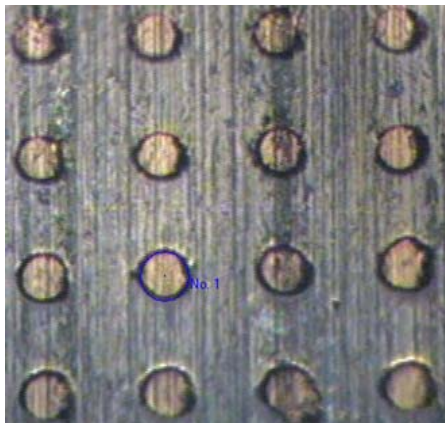


光罩七 (c) 顯影後

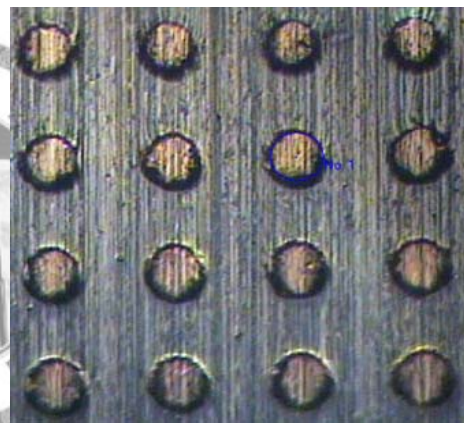


光罩八 (d) 顯影後

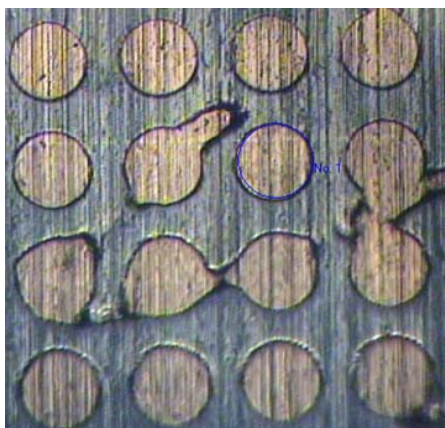
圖 4-40 在  $F=16\text{kgf}$   $T=100^\circ\text{C}$   $S=6\text{rpm}$  下顯影後微結構 OM 圖  
(a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八 (光學顯微鏡 100 倍)



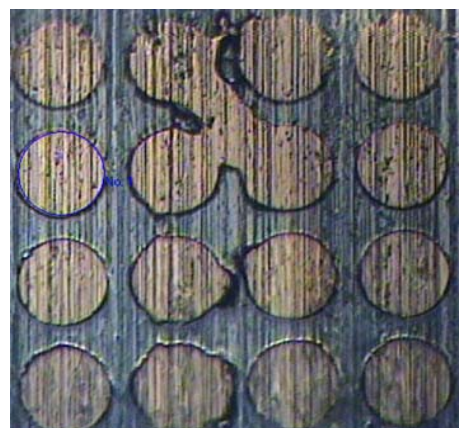
光罩五 (a) 顯影後



光罩六 (b) 顯影後

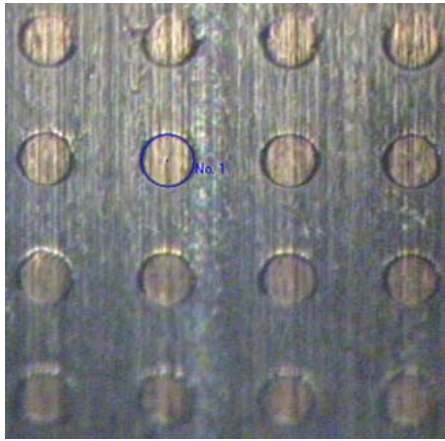


光罩七 (c) 顯影後

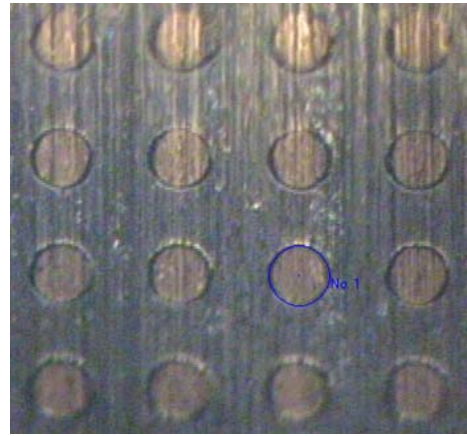


光罩八 (d) 顯影後

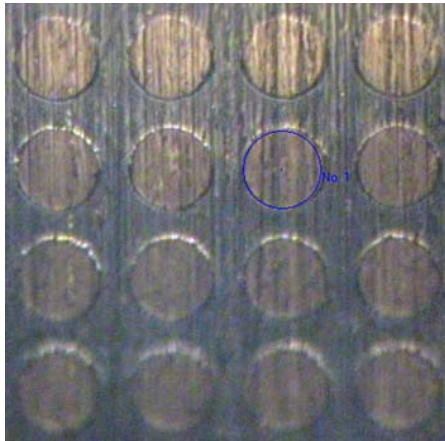
圖 4-41 在  $F=32\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=6\text{rpm}$  下顯影後微結構 OM 圖  
(a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八 (光學顯微鏡 100 倍)



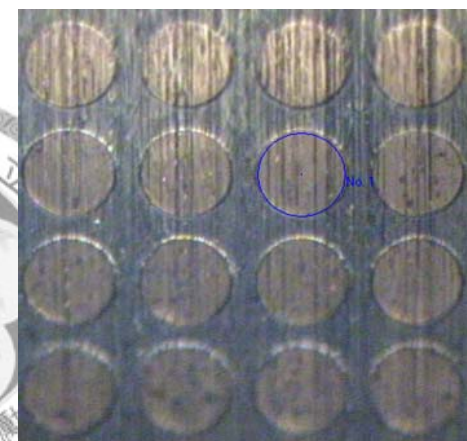
光罩五 (a) 顯影後



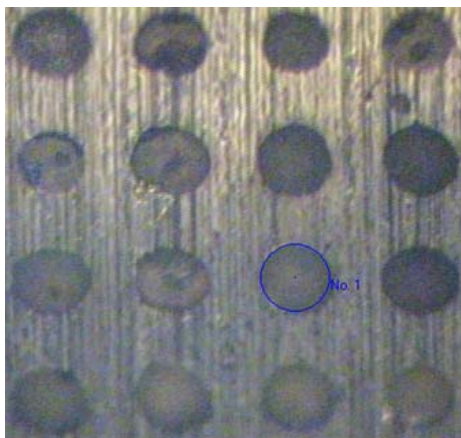
光罩六 (b) 顯影後



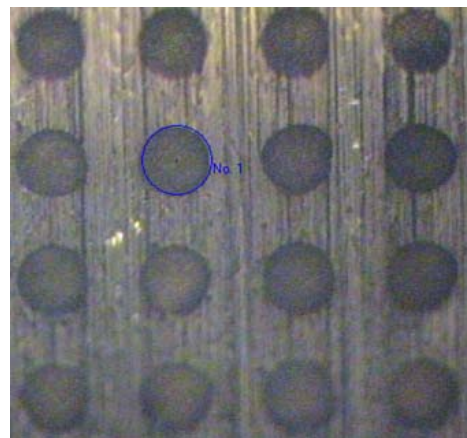
光罩七 (c) 顯影後



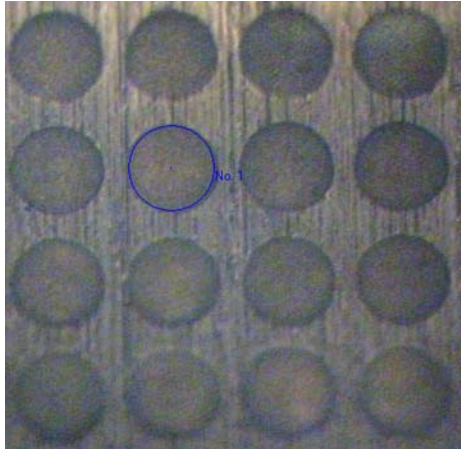
光罩八 (d) 顯影後



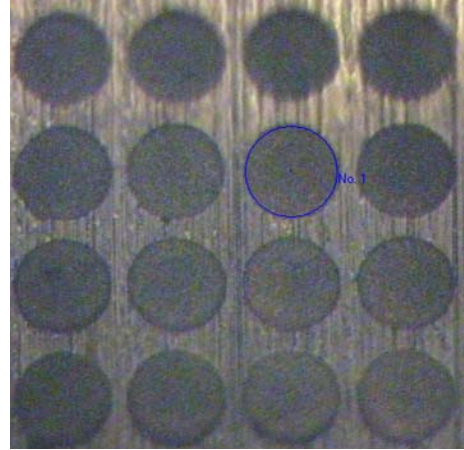
光罩五 (e) 蝕刻後



光罩六 (f) 蝕刻後

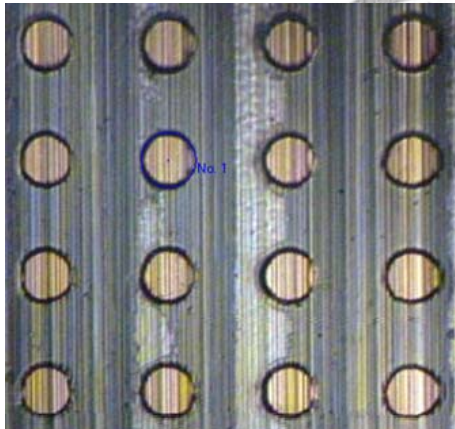


光罩七 (g) 蝕刻後

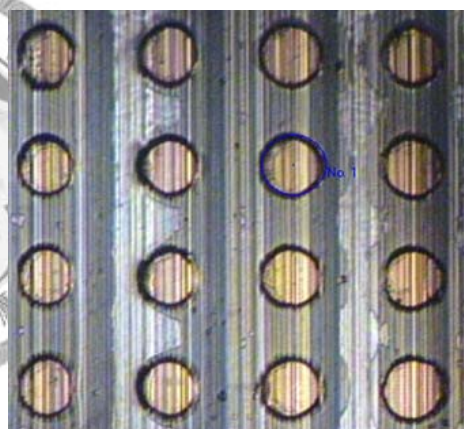


光罩八 (h) 蝕刻後

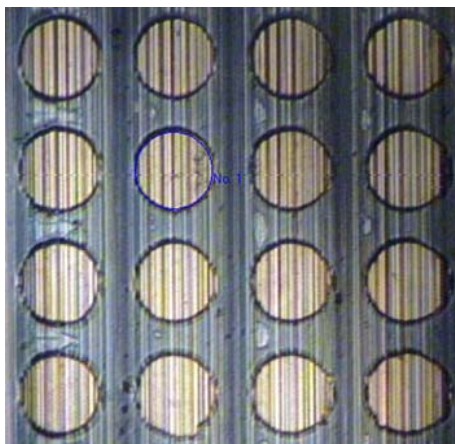
圖 4-42 在  $F=16\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=6\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後微結構  
 (a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八顯影後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)  
 (e)光罩五(f)光罩六(g)光罩七(h)光罩八蝕刻後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)



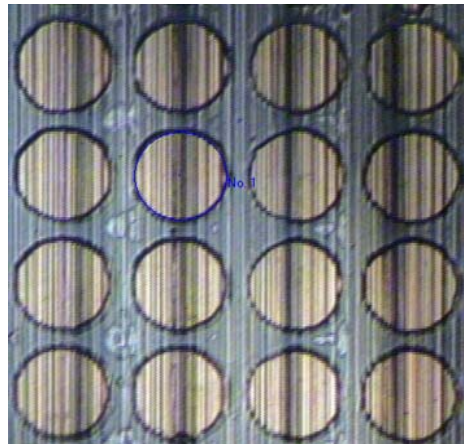
光罩五 (a) 顯影後



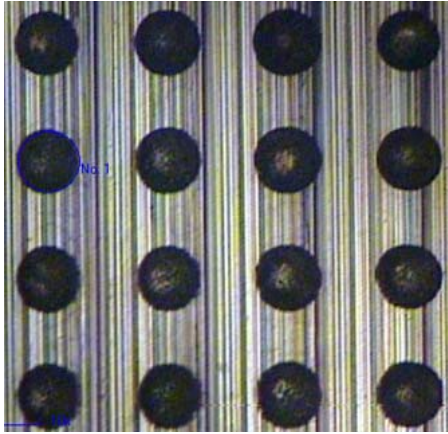
光罩六 (b) 顯影後



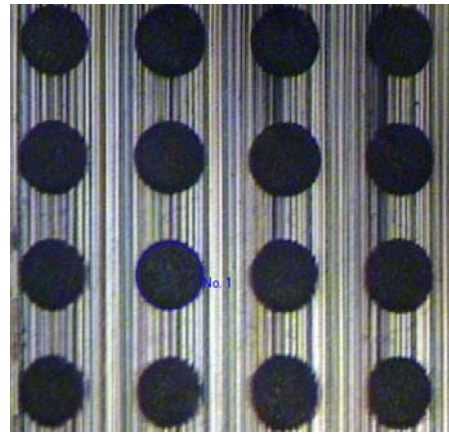
光罩七 (c) 顯影後



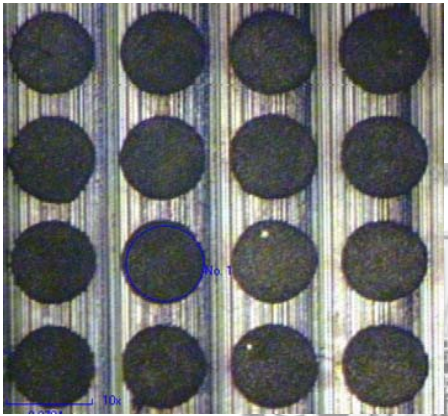
光罩八 (d) 顯影後



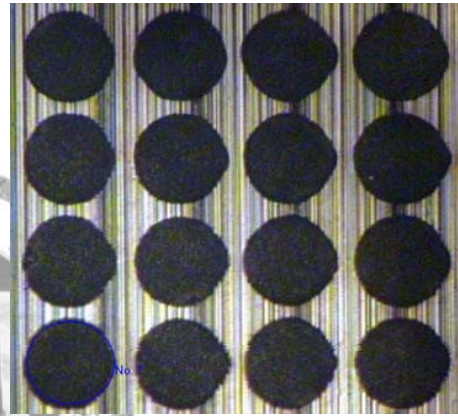
光罩五 (e) 蝕刻後



光罩六 (f) 蝕刻後

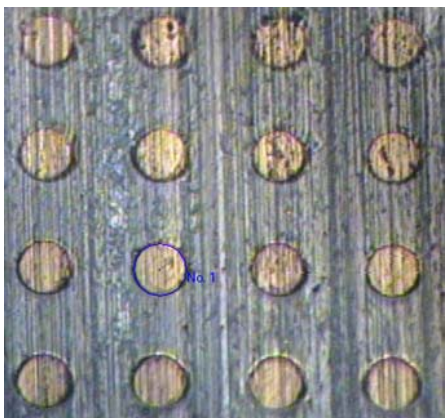


光罩七 (g) 蝕刻後

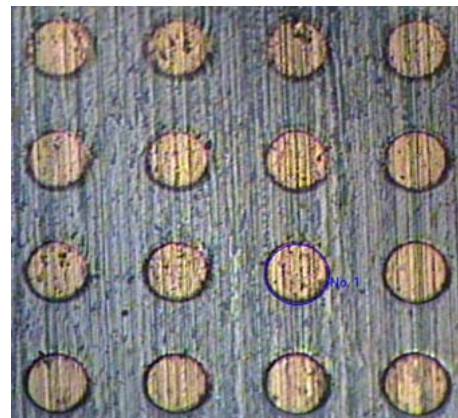


光罩八 (h) 蝕刻後

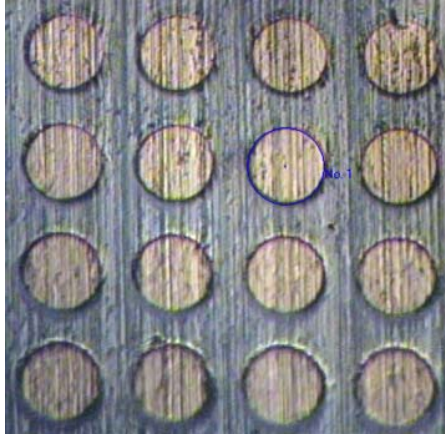
圖 4-43 在  $F=16\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=4\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後微結構  
 (a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八顯影後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)  
 (e)光罩五(f)光罩六(g)光罩七(h)光罩八蝕刻後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)



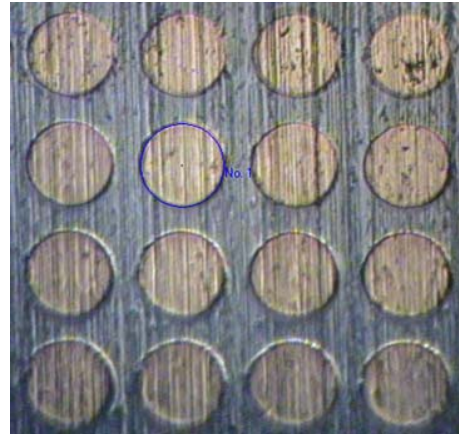
光罩五 (a) 顯影後



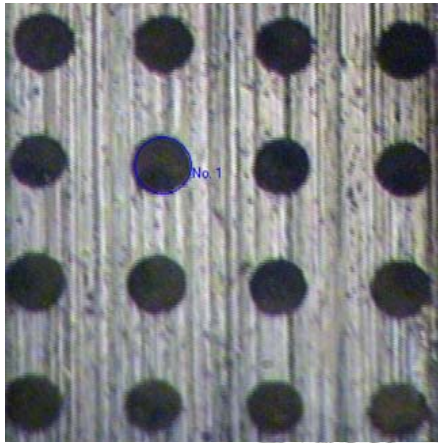
光罩六 (b) 顯影後



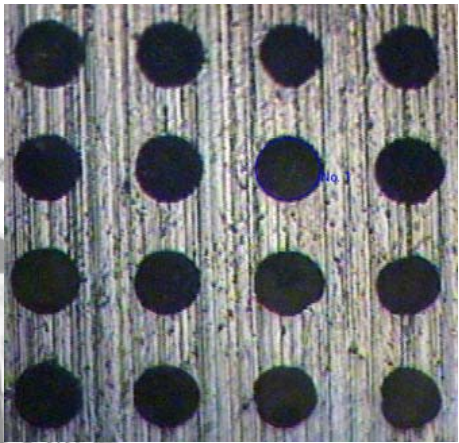
光罩七 (c) 顯影後



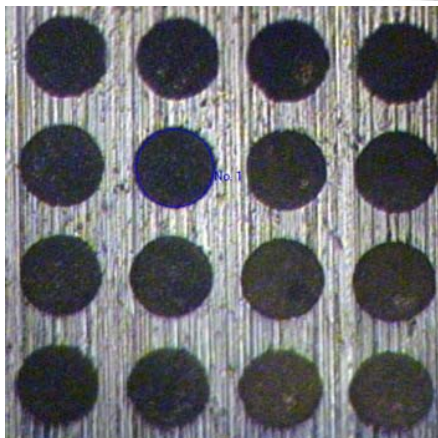
光罩八 (d) 顯影後



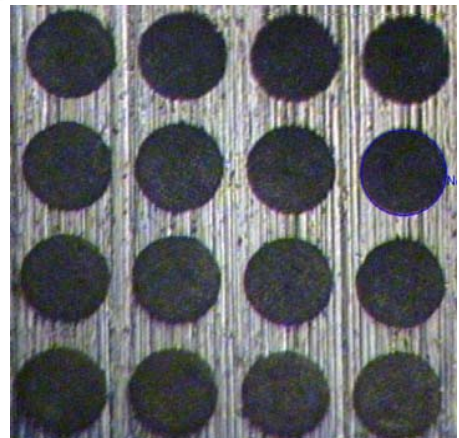
光罩五 (e) 蝕刻後



光罩六 (f) 蝕刻後



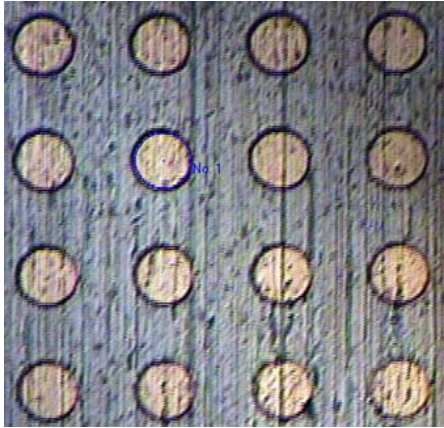
光罩七 (g) 蝕刻後



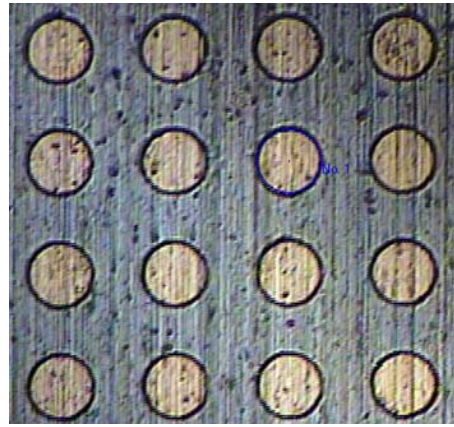
光罩八 (h) 蝕刻後

圖 4-44 在  $F=32\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=4\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後微結構  
 (a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八顯影後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)  
 (e)光罩五(f)光罩六(g)光罩七(h)光罩八蝕刻後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)

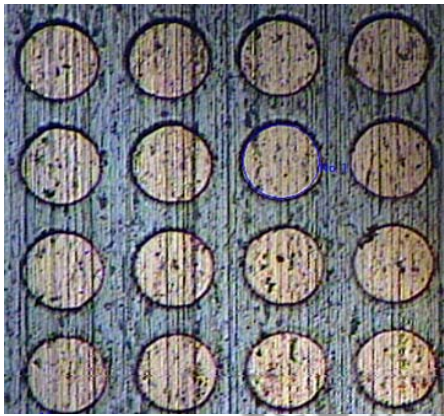




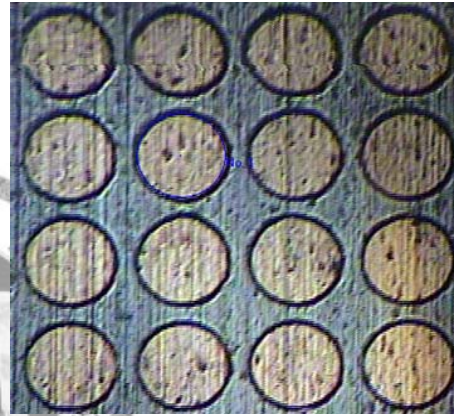
光罩五 (a) 顯影後



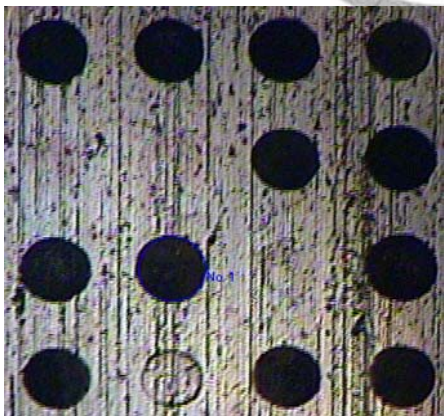
光罩六 (b) 顯影後



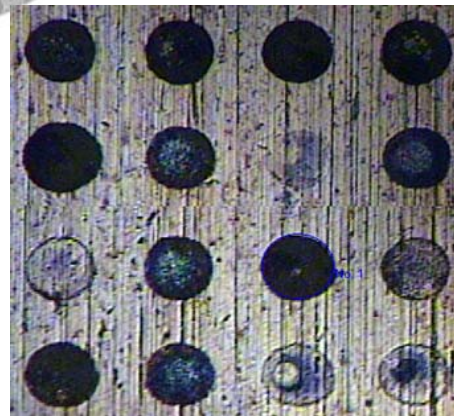
光罩七 (c) 顯影後



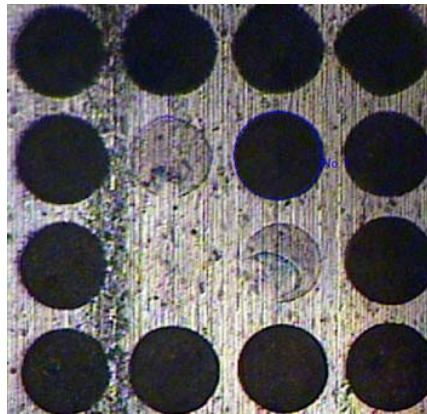
光罩八 (d) 顯影後



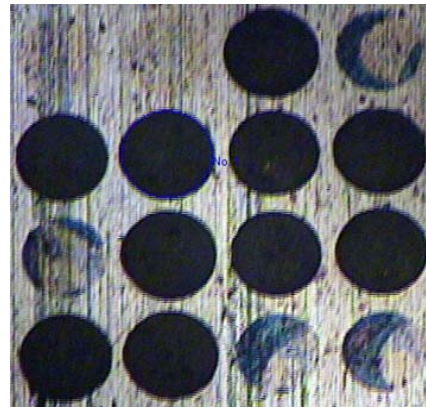
光罩五 (e) 蝕刻後



光罩六 (f) 蝕刻後

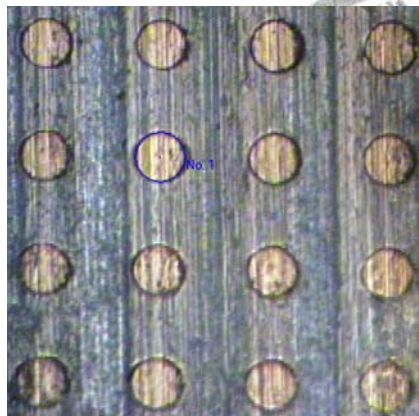


光罩七 (g) 蝕刻後

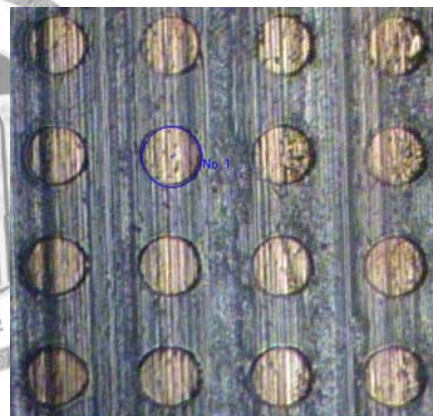


光罩八 (h) 蝕刻後

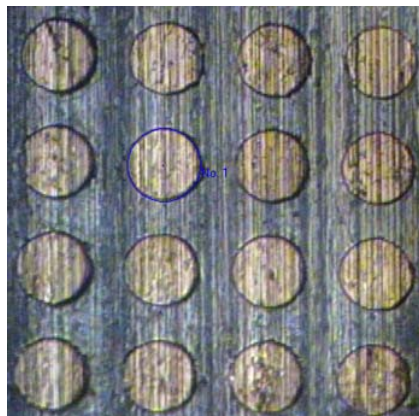
圖 4-45 在  $F=32\text{kgf}$   $T=100^\circ\text{C}$   $S=4\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後微結構  
 (a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八顯影後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)  
 (e)光罩五(f)光罩六(g)光罩七(h)光罩八蝕刻後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)



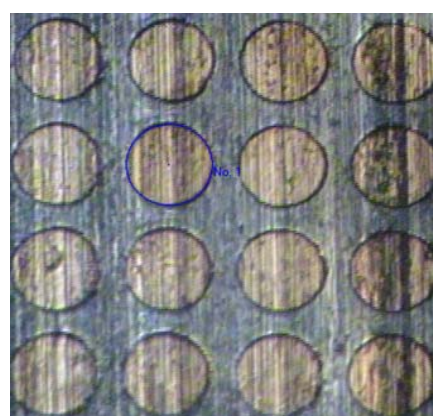
光罩五 (a) 顯影後



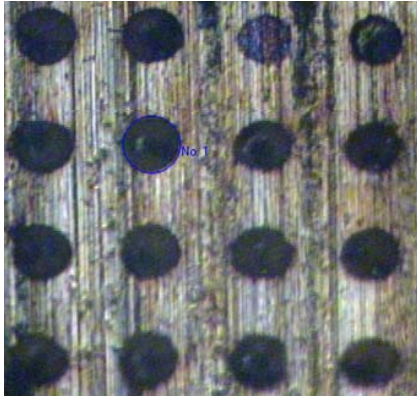
光罩六 (b) 顯影後



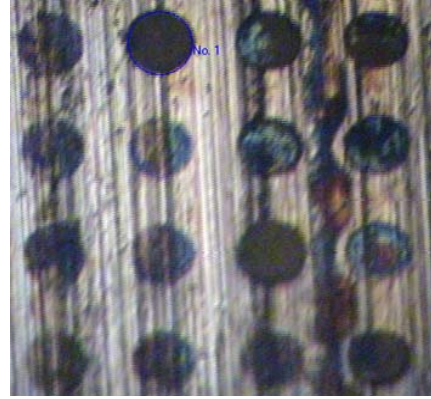
光罩七 (c) 顯影後



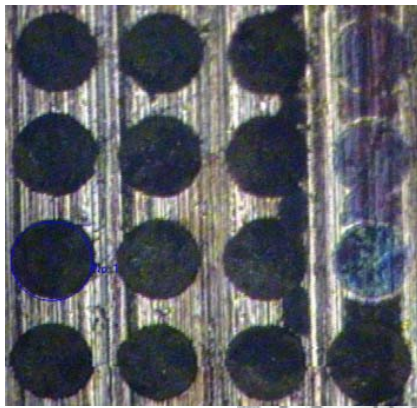
光罩八 (d) 顯影後



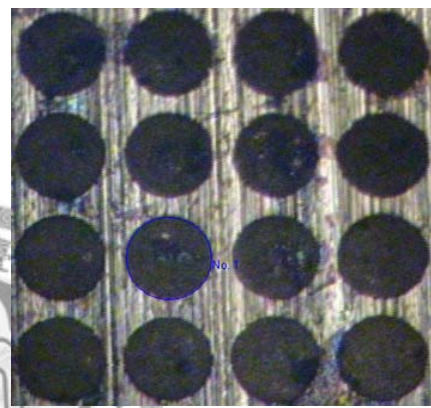
光罩五 (e) 蝕刻後



光罩六 (f) 蝕刻後

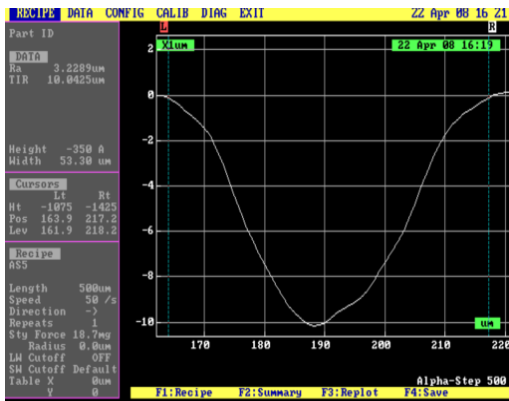


光罩七 (g) 蝕刻後

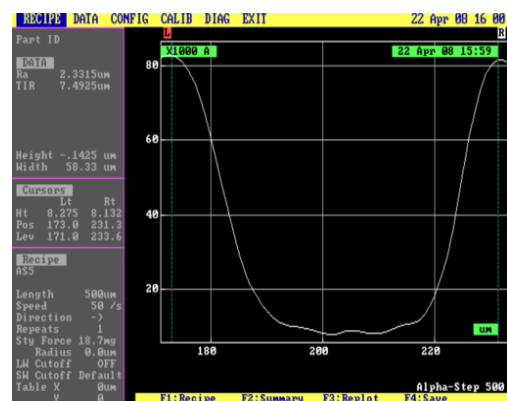


光罩八 (h) 蝕刻後

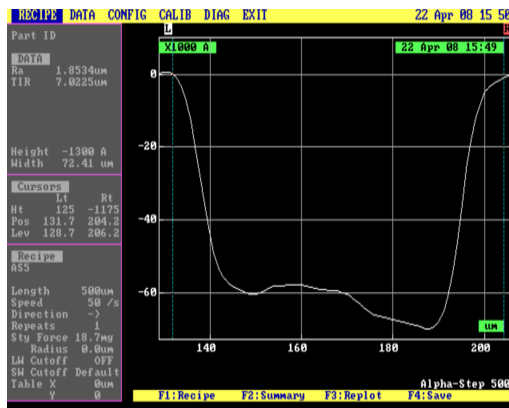
圖 4-46 在  $F=24\text{kgf}$   $T=110^\circ\text{C}$   $S=5\text{rpm}$  下顯影與蝕刻後微結構  
 (a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八顯影後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)  
 (e)光罩五(f)光罩六(g)光罩七(h)光罩八蝕刻後 OM 圖 (光學顯微鏡 100 倍)



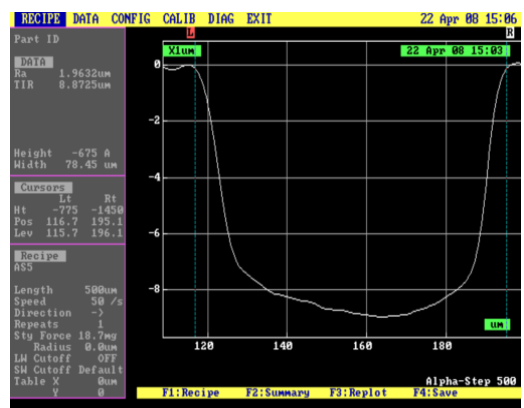
(a)光罩五



(b)光罩六

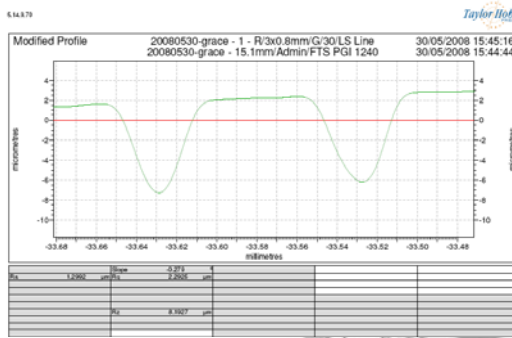


(c)光罩七

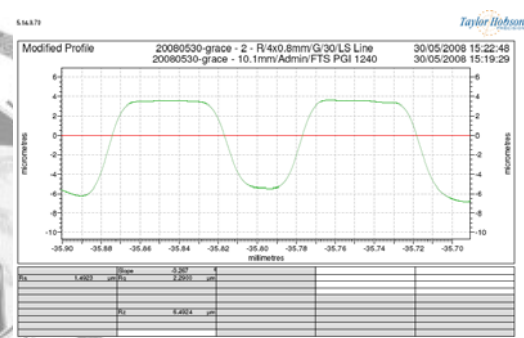


(d)光罩八

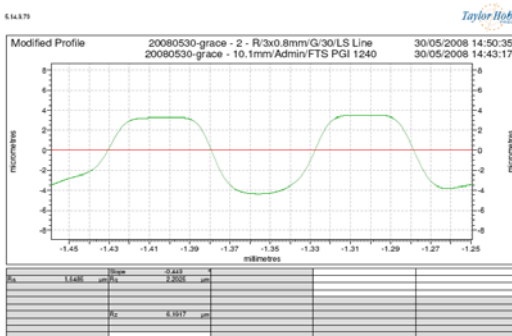
圖 4-47 光罩八 在  $F=16\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=6\text{rpm}$  下蝕刻後微結構  
(a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八(Alpha-Step 500)



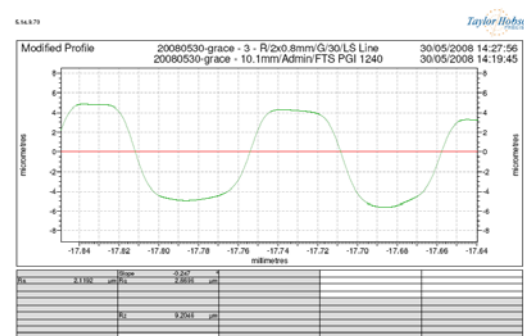
(a)光罩五



(b)光罩六



(c)光罩七



(d)光罩八

圖 4-48 在  $F=32\text{kgf}$   $T=120^\circ\text{C}$   $S=4\text{rpm}$  蝕刻後微結構 (形狀量測儀)  
(a)光罩五(b)光罩六(c)光罩七(d)光罩八

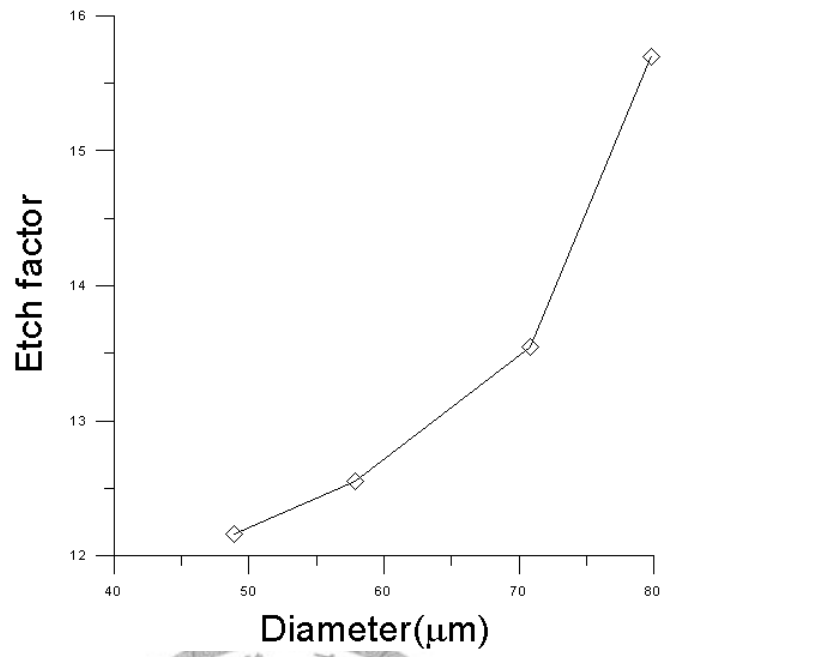


圖 4-49 直徑與蝕刻因子關係圖



圖 4-50 無電鍍浴設置圖

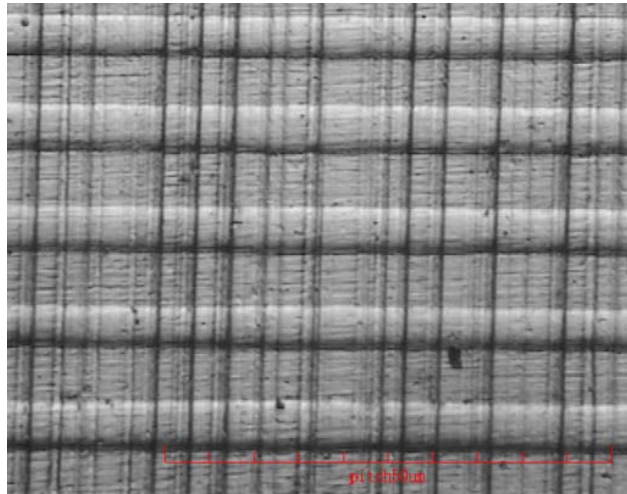


圖 4-51 無電鍍鎳後於鋁滾輪之微結構 OM 圖(200X)

5.14.9.70

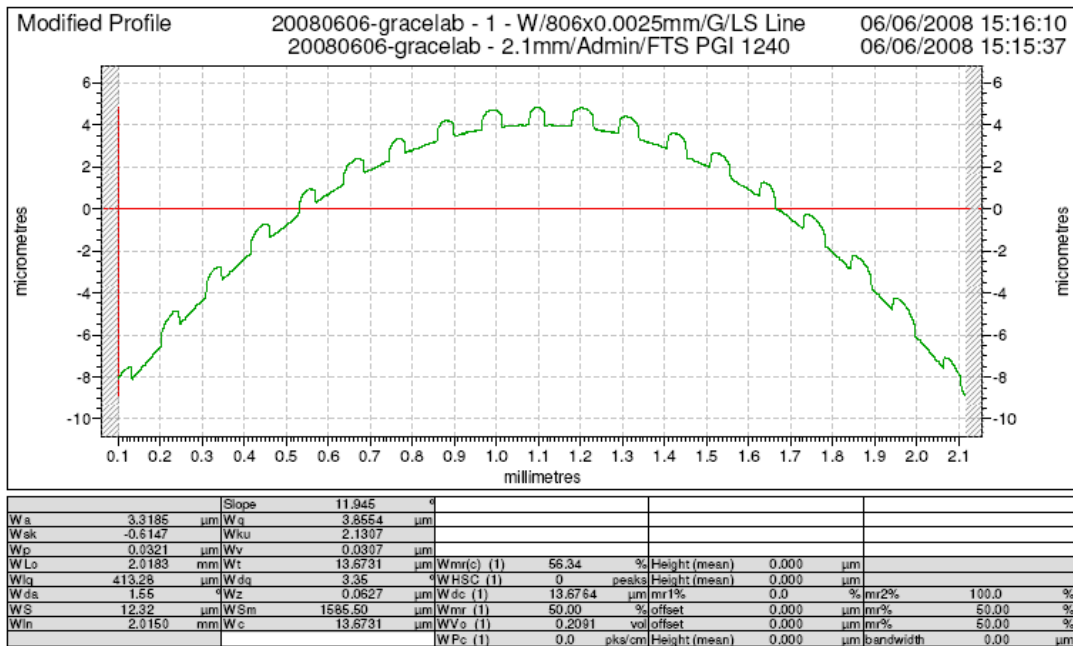


圖 4-52 無電鍍鎳(形狀量測儀)

## 第五章 滾輪壓印與量測

本章預期使用兩套滾壓系統進行壓印，分別為擠出滾輪微壓印設備與氣體輔助平台轉印設備，並利用第四章所製作之滾輪作為模具，測試這些模具是否可成功應用於此兩套設備系統，達到將滾輪上之微結構轉印至塑膠薄膜(PC)與光固化高分子材料上(UV1321)之可行性。

### 5.1 滾輪模具介紹

本壓印實驗所使用之模具，為利用第四章製程所製作出之微結構滾輪模具來進行壓印，以下說明滾輪模具之微結構尺寸，並對模具加以編號，以利後續之探討。

滾輪 A：先平面曝光，後貼合，以蝕刻銅產生微結構，共製作四支滾輪；其微結構模具如下所列：

- (1) 模具一：直徑 48.9 $\mu\text{m}$ 、深度為 8.51 $\mu\text{m}$  之圓形孔穴；
- (2) 模具二：直徑 57.9 $\mu\text{m}$ 、深度為 8.85 $\mu\text{m}$  之圓形孔穴；
- (3) 模具三：直徑 70.8 $\mu\text{m}$ 、深度為 8.13 $\mu\text{m}$  之圓形孔穴；
- (4) 模具四：直徑 79.8 $\mu\text{m}$ 、深度為 9.42 $\mu\text{m}$  之圓形孔穴。

滾輪 B：先貼合，後曲面曝光，以蝕刻銅產生微結構，製作兩支滾輪模具，模具詳細資訊如下所列：

- (1) 模具五：線寬 40.0 $\mu\text{m}$ 、深度為 6.82 $\mu\text{m}$  之凹陷直線條；
- (2) 模具六：線寬 42.5 $\mu\text{m}$ 、深度為 7.25 $\mu\text{m}$  之凹陷直線條；

滾輪 C：先平面曝光，後貼合，最終以無電鍍鍍出線寬為 45.1 $\mu\text{m}$ ，深度 1.02 $\mu\text{m}$  之凸出直線條微結構，簡稱模具七。

將以上三支微結構滾輪之詳細整理成【表 5-1】。

### 5.2 擠出滾輪微壓印

本單元結合「微滾輪壓印」與「薄膜擠出成型」製程，實驗設置係由第三章所設計之微壓印機台，如【圖 3-2】，搭配擠出機與模頭溫度控制器進行實驗，如【圖 5-1】，成型過程如下所敘述：

將塑膠料倒入擠出機後以 80 $^{\circ}\text{C}$  進行烘料，經由加熱系統將塑膠料塑化後，由擠出

螺桿推擠向前，通過擠出機之衣架型模頭形成一連續之塑膠薄膜，當塑膠薄膜離開擠出模頭且仍在 Tg 點以上時，直接進入兩滾輪之間，將滾輪上之微結構轉印至塑膠薄膜上製作微結構光學薄膜，期望以快速、大量生產之製造方式來進行複製微結構，並能降低成本、節省能源，且適合應用於 Roll-to-Roll 連續生產製程，製程示意圖如【圖 5-2】，機台組合圖如【圖 5-3(a)】，實際架構如【圖 5-3(b)】所示，實驗用之塑膠料為聚碳酸酯 (Polycarbonate)，型號為 CALIBRE™ 301-15 日本住友株式會社。

此部份以當有紅外線加熱裝置加熱微結構滾輪與無加熱狀況下測試壓印時與成型高度之關係，且會測試擠出壓印時(1)氣壓缸施加不同力量於滾輪上與微透鏡陣列成型高度兩者之關係；(2)驅動滾輪為矽膠滾輪與剛性滾輪，壓印後微透鏡陣列於 PC 薄膜上之成型高度關係；最後，將以上作詳細總結與彙整。

### 5.2.1. 實驗參數設定

本壓印實驗之控制因子有擠出機出料速度、滾輪轉速及氣壓缸總推力。設定擠出機三組電熱加熱器設定的溫度皆為 260°C，模唇為 0.5mm 的模塊，也就是塑膠薄膜擠出之厚度，模頭溫度設定為 290°C。而擠出機之出料速度與螺桿馬達轉速相關，設定擠出機螺桿馬達轉速固定為 400rpm，在此轉速下 PC 塑料的擠出量為 1.97 (kg/hr)。滾輪轉速由直流電源供應器輸出電壓控制，氣壓缸總推力則取決於所通入之氣壓。

### 5.2.2 壓印結果與量測

利用蝕刻法「先貼合後曲面曝光」、蝕刻法「先平面曝光後貼合」及無電鍍鍍法「先平面曝光後貼合」三種方式所製作之微結構滾輪進行壓印測試，驗證此滾輪模具應用之可行性。由於本論文所製作出之結構為微米尺寸，發現以第三章設計之機台氣壓缸與馬達馬力不足，所以，改用缸徑為 80mm 氣壓缸與型號為 07SGN 之馬達。

#### 5.2.2.1 微結構滾輪溫度對 PC 成型高度之影響

以氣壓缸總推力 300kgf 測試有加熱微結構滾輪與無加熱時之成型效果，了解在進行擠出微壓印時，微結構滾輪之溫度對擠出成型高度是否會造成影響。

##### 5.2.2.1.1 擠出壓印設置一(無紅外線加熱，驅動輪：矽膠滾輪)

首先，在機台無加裝紅外線陶瓷加熱片時進行測試，機台如【圖 5-3(b)】所示，實驗參數：擠出機出料速度 1.97kg/hr、滾輪轉速 3.8rpm，接著以模具一、模具二、模具三及模具四上有陣列孔穴微結構滾輪當模具進行壓印，以氣壓缸總推力 300kgf 壓印後，其深度分別為 0.55 $\mu$ m、0.74 $\mu$ m、0.84 $\mu$ m 及 1.10 $\mu$ m，所以，在沒有加熱裝置下之壓印結構深度有待提升，從數據可觀察出圓形孔穴直徑越大，壓印深度越深，代表直徑



越大 PC 塑料越容易充填，呈現正比之趨勢。

#### 5.2.2.1.2 擠出壓印設置二(有紅外線陶瓷加熱，驅動輪：矽膠滾輪)

為使微透鏡成型之高度提高，因此，在微結構滾輪上方加置遠紅外線陶瓷加熱板裝置(MHW500，MH 120mm L x 60mm W)，如【圖 5-4(a)】，加熱片以溫度控制器控制，溫度設定維持在 420°C，此時微結構滾輪溫度為 142°C，並在後段設計一收料輪裝置，如【圖 5-4(b)】，此收料輪高度必須高於微結構滾輪，藉以增加塑膠模通過微結構滾輪後，增加薄膜與滾輪接觸之時間使成型性更佳，如【圖 5-5】，實驗參數一樣設定為：擠出機出料速度 1.97kg/hr、滾輪轉速 3.8rpm，以模具一、模具二、模具三及模具四具有圓形陣列孔穴微結構滾輪當模具，以氣壓缸總推力 300kgf 進行壓印測試，藉此比較有無加設紅外線陶瓷加熱片之差異，壓印後其深度分別為 0.97 $\mu$ m、1.15 $\mu$ m、1.62 $\mu$ m 及 1.71 $\mu$ m，利用白光干涉儀量測其壓印直徑與高度，如【圖 5-6】，將結果整理成【表 5-2】，並將此兩情況繪製成【圖 5-7】加以比較，得知加設陶瓷加熱片後之成效高度較佳，且由結果可以發現，結構越大之孔穴，壓印出之微透鏡陣列之高度越高，代表越容易充填。

#### 5.2.2.2 施加於滾輪之推力對 PC 成型高度之影響

以不同施加於滾輪上之力量進行壓印，藉此進一步了解在擠出滾壓時，力量對微透鏡成型之高度是否會造成影響。

##### 5.2.2.2.1 微結構滾輪模具 A(先平面曝光，後貼合)

以擠出機出料速度 1.97kg/hr、滾輪轉速 3.8rpm 進行壓印，【圖 5-8】為分別以氣壓缸總推力 300kgf 與 500kgf 壓印模具一、模具二、模具三及模具四圓形孔穴後之微透鏡陣列 OM 圖，以光學顯微鏡觀察是否順利成型並與滾輪模具進行比對，得知可成功轉印出結構為圓型之輪廓，【圖 5-9】為以氣壓缸總推力 500kgf 壓印模具直徑為 79.8 $\mu$ m 圓形孔穴放大 85 倍之 OM 圖，可看出利用本部分進行壓印後，可得大面積且均勻之微透鏡陣列結構。接著再以模具四之圓形陣列模具，測試當氣壓缸總推力各為 100kgf、200kgf、300kgf、400kgf 及 500kgf 時之成型效果，並以白光干涉儀進行量測，觀察壓印深度與表面輪廓。當氣壓缸總推力為 100kgf 時，取四點量測平均高度為 0.92 $\mu$ m，如【圖 5-10】所示，而隨著氣壓缸總推力逐漸增加，PC 薄膜成型之結構高度亦相對提高：氣壓缸總推力為 200kgf、300kgf 與 400kgf 時平均高度分別為 1.11 $\mu$ m、1.71 $\mu$ m 與 2.05 $\mu$ m，而當氣壓缸總推力為 500kgf 時，高度則達到 2.58 $\mu$ m，如【圖 5-11】。由以上量測發現壓印出之圓形微結構頂端皆為弧形，代表當塑料未將模穴完全充填時，此時塑料在

模穴中會因表面張力形成弧形，示意圖如【圖 5-12】。將以上結果彙整成【表 5-3】與【圖 5-13】，由圖中可明顯觀察出，當壓印時塑膠料若無法在過程中將模穴完整充填，所得之壓印結構高度與壓印力量成正比趨勢。

#### 5.2.2.2.2 微結構滾輪模具 B(先貼合，後曲面曝光)

以相同參數：擠出機出料速度 1.97kg/hr、滾輪轉速 3.8rpm，分別以氣壓缸總推力 100kgf、200kgf、300kgf、400kgf 及 500kgf 力量測試，了解氣壓缸總推力對擠出壓印時對成型高度造成之影響，以氣壓缸總推力 100kgf 與 200kgf 壓印出之 PC 薄膜上並無成功複製出微結構，因此，改以 300kgf、350kgf、400kgf、450kgf 及 500kgf 之氣壓缸總推力進行測試。

壓印出之 PC 薄膜首先以光學顯微鏡觀察是否順利成型，並與模具滾輪結構進行比對，如【圖 5-14】所示為以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具六後(線寬為 42.5 $\mu$ m)之 OM 圖，可看出成功轉印出輪廓為線條之結構。隨後以白光干涉儀進行量測，觀察壓印深度與表面輪廓形狀。當氣壓缸總推力為 250kgf、300kgf、350kgf、400kgf、450kgf 及 500kgf 時之結構高度取四點量測平均高度分別為 0.61 $\mu$ m、2.80 $\mu$ m、3.20 $\mu$ m、4.04 $\mu$ m、4.31 $\mu$ m 及 5.10 $\mu$ m，如【圖 5-15】為使用氣壓缸總推力 300kgf 力量下壓印後於 PC 上之白光干涉儀表面輪廓與 3D 量測圖。結構尖端呈現圓弧形狀，代表塑料仍未完全充填模穴，因此，塑料會因表面張力形成圓弧形。將以上結果彙整成【表 5-4】與【圖 5-16】，由圖中可觀察出，壓印時，若塑料在過程中沒有將模穴充填滿，所得之壓印結構與上一小節一致，壓印高度將與力量成一正比趨勢。

#### 5.2.2.3 驅動滾輪材質不同對 PC 成型高度之影響

為進一步了解在擠出壓印過程中不同軟硬材質滾輪對 PC 塑膠薄膜之成型高度有無差異，分別以矽膠滾輪及剛性滾輪進行測試，詳細探討如下。

##### 5.2.2.3.1 驅動滾輪材質為矽膠滾輪

此部分參考 5.4.1.2 節。

##### 5.2.2.3.2 驅動滾輪材質為剛性滾輪

此部分將驅動輪換成剛性滾輪，實驗設置如【圖 5-17】，藉此了解與矽膠滾輪對 PC 成型高度之關係，滾輪材料為中碳鋼，以相同參數：擠出機出料速度 1.97kg/hr、滾輪轉速 3.8rpm、加熱片溫度控制在 420 $^{\circ}$ C(微結構滾輪溫度 142 $^{\circ}$ C)，以模具四(直徑 79.8 $\mu$ m 之圓孔陣列模具)，測試當氣壓缸總推力各為 100kgf、200kgf、300kgf、400kgf 及 500kgf 時之微透鏡成型高度，並以白光干涉儀進行深度與表面輪廓之量測，壓印出

之成品各取四點量測，當氣壓缸總推力為 100kgf 時，量測之平均高度為 1.24 $\mu\text{m}$ ，隨著氣壓缸總推力逐漸提高至 200kgf、300kgf 及 400kgf 時，微透鏡陣列平均高度各為 1.87 $\mu\text{m}$ 、2.16 $\mu\text{m}$  及 3.83 $\mu\text{m}$ ，【圖 5-18(a)】為氣壓缸總推力 300kgf 力量下以白光量測之 2D 輪廓圖，【圖 5-18(b)】為使用矽膠滾輪氣壓缸總推力 300kgf 壓印後之成型高度，比較得知以剛性滾輪所壓印之高度較高。由以上實驗結果觀察出，以剛性滾輪氣壓缸總推力 400kgf 進行壓印時之成型高度已高於用矽膠滾輪氣壓缸總推力 500kgf 之成型高度，再次應證使用剛性滾輪壓印之成型高度較佳，當氣壓缸總推力來到 500kgf 時，PC 薄膜高度已達 5.16 $\mu\text{m}$ ，將以上數據整理成【表 5-5】，各不同壓印力量與矽膠滾輪微透鏡成型之高度比較如【圖 5-19】。

### 5.3 氣體輔助平台轉印

此部份所用之氣體輔助轉印設備為實驗室去年所開發之機台，如【圖 5-20(a)】所示，壓印前先將 UV 膠塗佈至 PET 基材上，藉由機台之移動與曝光，期望將滾輪上之微結構轉印至 UV 1321 之紫外光固化高分子材料上，轉印過程之示意圖如【圖 5-20(b)】所示，使用模具為利用無電鍍鍍法所製作出之微結構滾輪進行壓印。

#### 5.3.1 機台介紹

##### 5.3.1.1 氣體輔助平台

氣輔平台為效利用氣體等向等壓之特性，將氣體密封在一個可移動的空間內，來達到滾動式氣體輔助轉印之目的。製作時，需要先建立一個裝填充氣的腔體，該腔體需要能透光以便進行樹脂轉印，而且該腔體與微結構滾輪接觸時需具有可撓性，才能將氣體以較均壓之情況施壓於微結構滾輪。

以大小約 395 mm $\times$ 290 mm $\times$ 15 mm 之壓克力板(PMMA)作為平台本體，並在此壓克力板上製作出能裝填氣體用之凹槽，其凹槽尺寸約為 255 mm $\times$ 120 mm $\times$ 5 mm，再將軟墊覆蓋於壓克力平台上方，覆蓋好軟墊後，用外框大小 395 mm $\times$ 290 mm $\times$ 10 mm 且鏤空 255 mm $\times$ 120 mm $\times$ 10 mm 的中空鋁框壓在軟墊上，並將鋁框固定在壓克力平台，如【圖 5-21】所示。當氣體充到此腔體後，鋁框與壓克力板之間之夾持力可將軟墊夾住，可將氣體包覆在凹槽內，完成氣輔平台的製作。

##### 5.3.1.2 平台移動傳輸機構

平台移動方式是以直流馬達搭配轉速控制器控制轉速，而馬達另一端連結滾珠螺桿，當馬達受到電流驅動而轉動時即可帶動滾珠螺桿，因此，可使平台進行移動，如

【圖 5-22】所示。

### 5.3.1.3 滾輪施壓機構

將欲壓印之微結構滾輪模具架設在線性滑軌上的滑塊(上銀科技，型號 MGN15)，如圖【圖 5-23】所示。在滑塊的上方有氣壓缸(SDA25x32，缸徑 32 mm)，當氣壓幫浦充氣到氣壓缸時，氣壓缸將會施加壓力於滾輪之兩端，使滾輪有一向下壓之力量施加於充氣之氣輔平台。當平台移動時，就可藉由滾輪與轉印基材間的摩擦力來帶動來進行壓印。

### 5.3.2 UV 轉印流程

轉印之流程敘述如下所列：

- (1)準備基材：將 UV 膠均勻塗佈至 PET 基材上。
- (2)放置基材：將塗佈好之 PET 基材放置於軟墊上。
- (3)塗佈：調整氣壓缸壓力將具有微結構之滾輪向下壓、平台充氣(軟墊向上鼓)，利用平台進給的摩擦力帶動滾輪轉動，同時由下方的 UV 燈源使轉印中的樹脂固化成型。
- (4)動作停止：待滾輪上之微結構轉印至塗有 PET 之基材後，平台停止進給，並洩除氣壓缸壓力與平台壓力。

### 5.3.3 實驗參數設定

為了解在轉印過程中，表面鍍鎳後之鋁滾輪與 PET 是否會有沾黏現象產生，壓印前以表面接觸角量測儀，如【圖 5-24】所示，測量鍍鎳後之鋁滾輪與 PET 之接觸角，測得鍍鎳後之鋁滾輪接觸角為  $76^\circ$ 、PET 為  $99^\circ$ ，如【圖 5-25】所示，接觸角越大代表疏水性越好，而兩者差距極大，因此，抗沾黏問題在本實驗仍為優良，接觸角實驗測試後，設定氣輔平台之壓印參數：氣壓缸壓力  $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 、平台壓力  $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 、平台速度  $0.6\text{mm}/\text{sec}$ 、UV 光強度  $74.5\text{mW}/\text{cm}^2$  參數下，使用微結構滾輪模具七壓印後再以光學顯微鏡觀察是否成功轉印。

### 5.3.4 壓印結果與量測

使用微結構滾輪模具 C(模具七)並以上述之參數進行壓印後，先使用光學顯微鏡初步觀察是否可成功轉印，觀察結果如【圖 5-26】所示，可看出順利將微結構轉印至 UV 膠上，接著以白光干涉儀量測其表面輪廓與深度，如【圖 5-27(a)】【圖 5-27(b)】所示，取四點量測壓印後之線寬為  $44.21\mu\text{m}$ ，轉印深度為  $0.77\mu\text{m}$ ，將以上結果整理成【表 5-6】，最後，證實以此方式亦可成功轉印滾輪上之微結構。

## 5.4 微透鏡陣列光學檢測

架設光學檢測系統量測元件之光學特性，如【圖 3-28】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。

以滾輪 A 之模具四(直徑  $79.8\mu\text{m}$  之圓形孔穴)、壓印力量為  $500\text{kgf}$ ，壓印後於 PC 薄膜上之微透鏡陣列進行量測，【圖 5-28】為掃描電子顯微鏡拍攝之圖，可看出成型高度均勻，且可在大面積下壓印成型，【圖 5-29】則由 CCD 影像擷取系統所得到之圖形，測得之焦距為  $216\mu\text{m}$ ，而為了觀察其光強度分布是否均勻，以 MATLAB 軟體寫一可檢測光強度之程式，分析結果如【圖 5-30】，可觀察出其光強度分布尚均勻，並以原子力顯微鏡(AFM)量測 PC 塑膠薄膜之粗糙度，如【圖 5-31】所示，測得之表面粗糙度僅為  $25\text{nm}$ 。

## 5.5 本章結論

本章以第四章三種方式製作出之微結構滾輪進行壓印，結合「微滾輪壓印」與「薄膜擠出成型」製程在 PC 塑膠薄膜上製作微結構。

本實驗測試在壓印過程中，有紅外線加熱與無加熱微結構滾輪情況下與 PC 塑膠薄膜成型高度之關係，得知在有加熱狀態下成型高度較高；並測試氣壓缸施加於滾輪上之力量與塑膠薄膜成型高度兩者關係，發現在壓印過程中，若塑膠料未充滿整個模穴時，塑料會在模穴中因表面張力形成弧形，且當壓印力量越大時，PC 塑膠薄膜成型之高度亦越高，成一正比趨勢。

另外，在擠出壓印過程中，以不同軟硬材質之驅動輪測試對 PC 塑膠薄膜之成型高度有無差異，由結果得知使用剛性滾輪壓印在 PC 薄膜之微透鏡陣列比矽膠滾輪佳，推測其原因為，使用矽膠滾輪時，氣壓缸所施加於滾輪之力可能被矽膠滾輪所吸收。因此，導致利用剛性滾輪在滾壓成型時所壓印之微透鏡陣列較高，將此三種不同實驗設置(1)無紅外線加熱，矽膠滾輪；(2)增設紅外線加熱，矽膠滾輪；(3)增設紅外線加熱，剛性滾輪。滾壓成型後微透鏡陣列之高度整理成【表 5-7】。

以無電鍍鍍法製作之鋁滾輪當作模具，將 UV 膠塗佈於 PET 基材上進行壓印，成功壓印出線寬  $44.21\mu\text{m}$ 、深度為  $0.77\mu\text{m}$  之直線條紋結構，證實以此方式亦可成功將滾輪上微結構轉印至塗有 UV 膠之 PET 基材上。

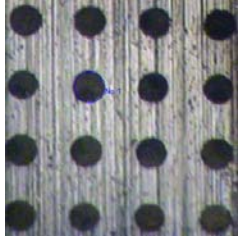
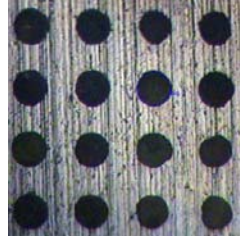
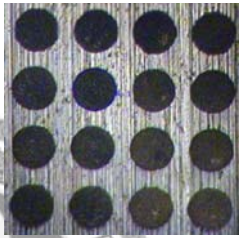
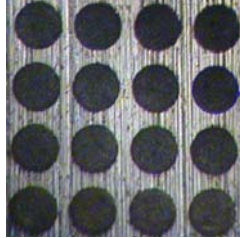
最後，以滾輪 A 之模具四(結構為直徑  $79.8\mu\text{m}$  之圓形孔穴)、驅動滾輪為矽膠滾輪、壓印力量  $500\text{kg}$  所壓印出之 PC 塑膠薄膜為例進行後段探討，以此參數壓印後之微透鏡陣列直徑為  $86.98\mu\text{m}$ ，與滾輪模具直徑  $79.8\mu\text{m}$  誤差為  $8.99\%$ ，仍在誤差接受範圍，並以光學檢測系統量測光學特性，量測出所壓印之 PC 微透鏡陣列其焦距為  $216\mu\text{m}$ ，具聚焦之效果且光強度均勻。

本章證明以本研究三種製程製作之微結構滾輪，確實可應用於擠出微壓印與 UV 壓印成型，以此兩種方式可運用於微結構光學元件之大量生產，成功結合「微滾輪壓印」與「薄膜擠出成型」製程之 Roll-to-Roll 生產概念。



表5-1 壓印使用之微結構滾輪模具

(a)微結構滾輪 A

製程	先平面曝光後貼合	模具一 (OM 200X)	模具二 (OM 200X)
製程參數	P=32kgf		
	T=120°C		
	S=4rpm		
材質	紅銅		
結構產生方式	蝕刻	直徑 48.9μm 深度 8.51μm	直徑 57.9μm 深度 8.85μm
滾輪上微結構	圓孔	模具三 (OM 200X)	模具四 (OM 200X)
壓印成型結構	微透鏡陣列		
尺寸	如右所示		

(a)微結構滾輪 B、微結構滾輪 C

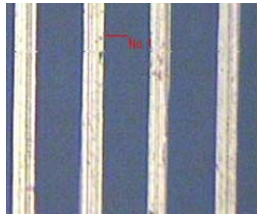
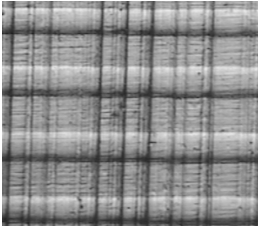
製程	先貼合後曲面曝光	模具五 (OM 200X)
製程參數	P=32kgf T=120°C S=4rpm	
材質	紅銅	
結構產生方式	蝕刻	
滾輪上微結構	直條	
尺寸	如右所示	線寬 42.5μm 深度 7.25μm
製程	先平面曝光後貼合	模具七 (OM 200X)
製程參數	P=32kgf T=120°C S=4rpm	
材質	鋁	
結構產生方式	無電鍍鍍	
滾輪上微結構	直條	
尺寸	如右所示	線寬 45.1μm 深度 1.02μm

表5-2 以氣壓缸總推力300kgf圓形陣列模具壓印前後PC直徑和高度

	模具 A 平均直徑	壓印後 平均直徑	模具 A 平均高度	壓印後 平均高度
壓印 力量 300kgf	48.9 $\mu\text{m}$	56.34 $\mu\text{m}$	8.51 $\mu\text{m}$	0.97 $\mu\text{m}$
	57.9 $\mu\text{m}$	64.87 $\mu\text{m}$	8.85 $\mu\text{m}$	1.15 $\mu\text{m}$
	70.8 $\mu\text{m}$	73.84 $\mu\text{m}$	8.13 $\mu\text{m}$	1.62 $\mu\text{m}$
	79.8 $\mu\text{m}$	84.11 $\mu\text{m}$	9.42 $\mu\text{m}$	1.71 $\mu\text{m}$

表5-3 以模具四、不同之氣壓缸總推力實驗壓印前後之結構尺寸

	模具四 平均直徑	壓印後 平均直徑	模具四 平均高度	壓印後 平均高度
100kgf	79.8 $\mu\text{m}$	85.96 $\mu\text{m}$	9.42 $\mu\text{m}$	0.92 $\mu\text{m}$
200kgf		85.70 $\mu\text{m}$		1.11 $\mu\text{m}$
300kgf		84.11 $\mu\text{m}$		1.71 $\mu\text{m}$
400kgf		84.53 $\mu\text{m}$		2.05 $\mu\text{m}$
500kgf		86.98 $\mu\text{m}$		2.58 $\mu\text{m}$

表5-4 以模具七、不同之氣壓缸總推力實驗壓印前後之結構尺寸

	模具七 平均線寬	壓印後平均線寬	模具七 平均高度	壓印後平均高度
100kgf	42.5 $\mu\text{m}$	無結構	7.53 $\mu\text{m}$	無結構
200kgf		無結構		無結構
250kgf		48.30 $\mu\text{m}$		0.61 $\mu\text{m}$
300kgf		46.17 $\mu\text{m}$		2.80 $\mu\text{m}$
350kgf		46.59 $\mu\text{m}$		3.20 $\mu\text{m}$
400kgf		46.29 $\mu\text{m}$		4.04 $\mu\text{m}$
450kgf		46.03 $\mu\text{m}$		4.31 $\mu\text{m}$
500kgf		46.15 $\mu\text{m}$		5.10 $\mu\text{m}$









表5-5以剛性滾輪、模具四、不同之氣壓缸總推力實驗壓印前後之結構尺寸

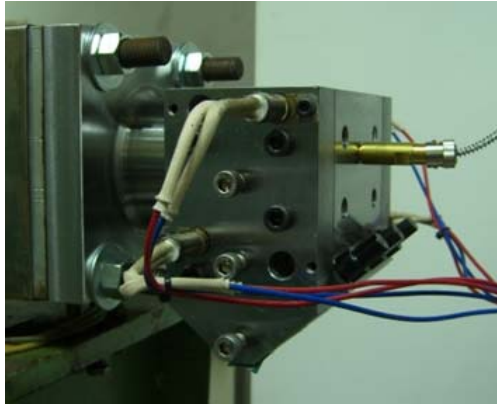
	模具四 平均直徑	壓印後平均直徑	模具四 平均高度	壓印後平均高度
100kgf	79.8 $\mu\text{m}$	84.03 $\mu\text{m}$	9.42 $\mu\text{m}$	1.24 $\mu\text{m}$
200kgf		83.14 $\mu\text{m}$		1.87 $\mu\text{m}$
300kgf		83.12 $\mu\text{m}$		2.16 $\mu\text{m}$
400kgf		84.04 $\mu\text{m}$		3.83 $\mu\text{m}$
500kgf		84.36 $\mu\text{m}$		5.16 $\mu\text{m}$

表5-6 氣體輔助平台轉印前後之微結構尺寸

	模具七 平均線寬	壓印後 平均線寬	模具七 平均高度	壓印後 平均高度
氣壓缸壓力 2kg/cm <sup>2</sup> 平台壓力 4kg/cm <sup>2</sup> 平台速度 0.6mm/sec	45.1 $\mu\text{m}$	44.2 $\mu\text{m}$	1.02 $\mu\text{m}$	0.77 $\mu\text{m}$

表5-7 機台不同之設置，當氣壓缸總推力300kg以模具四壓印後之成型高度

	無紅外線加熱 矽膠滾輪	增設紅外線加熱 矽膠滾輪	增設紅外線加熱 剛性滾輪
實驗設置	 	 	 
成型高度	1.10 $\mu\text{m}$	1.71 $\mu\text{m}$	2.16 $\mu\text{m}$
實驗參數	驅動滾輪固定轉速 3.8rpm，氣壓缸 總推力300kgf	驅動滾輪固定轉速 3.8rpm，氣壓缸 總推力300kgf	驅動滾輪固定轉速 3.8rpm，氣壓缸 總推力300kgf



(a) 衣架形模頭架在擠出機上示意圖



(b) 模頭溫度控制器

圖 5-1 衣架形模頭與溫度控制器

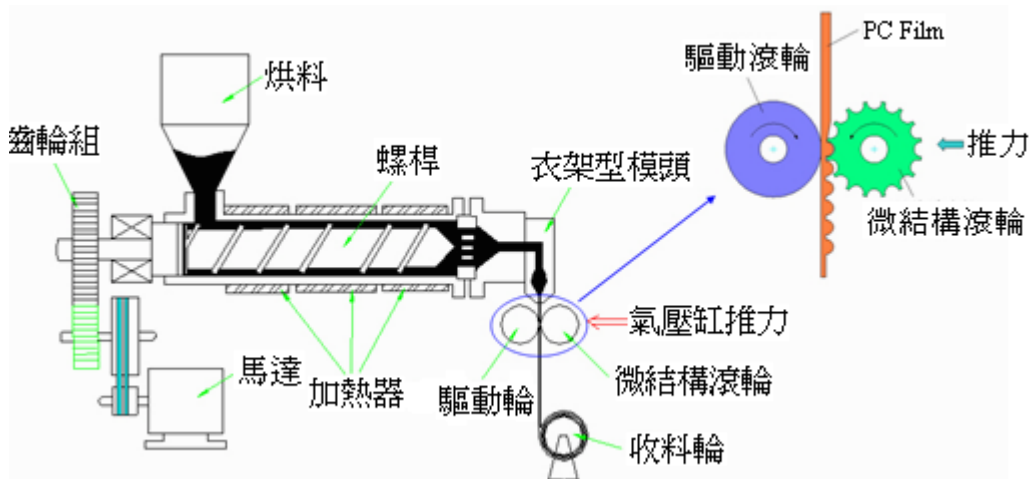
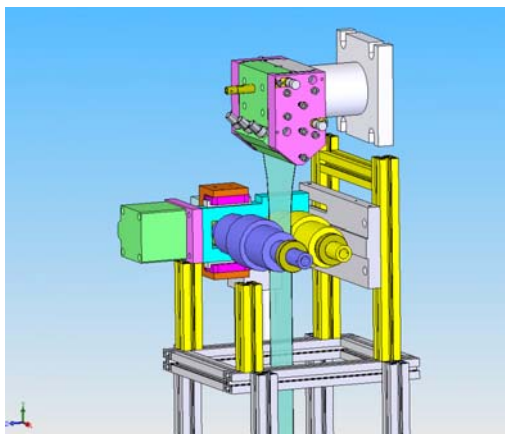
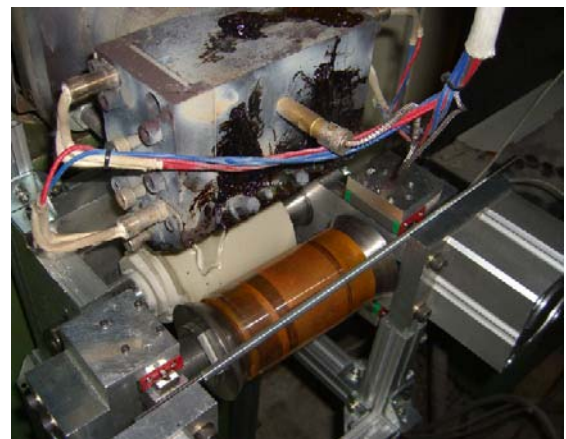


圖 5-2 擠出滾輪微壓印示意圖



(a) 示意圖

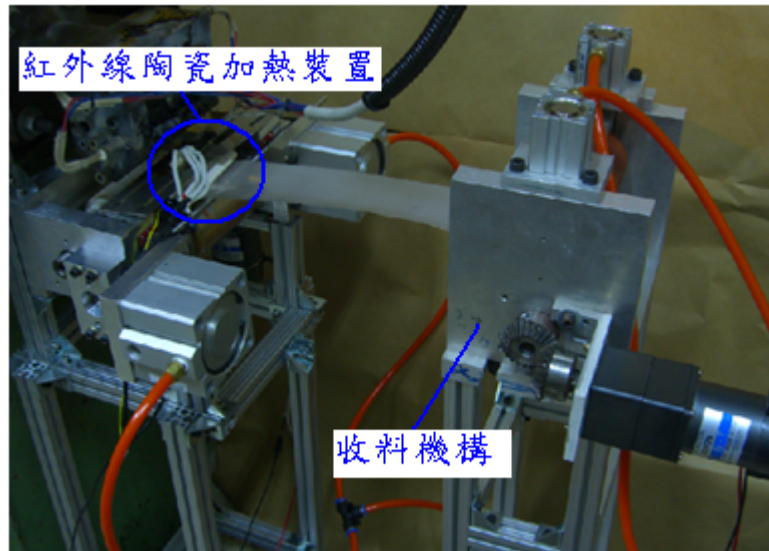


(b) 實體圖

圖 5-3 擠出滾輪微壓印設備



(a) 紅外線陶瓷加熱片



(b) 加設紅外線加熱裝置設備實體圖

圖 5-4 擠出壓印設備改良實體圖

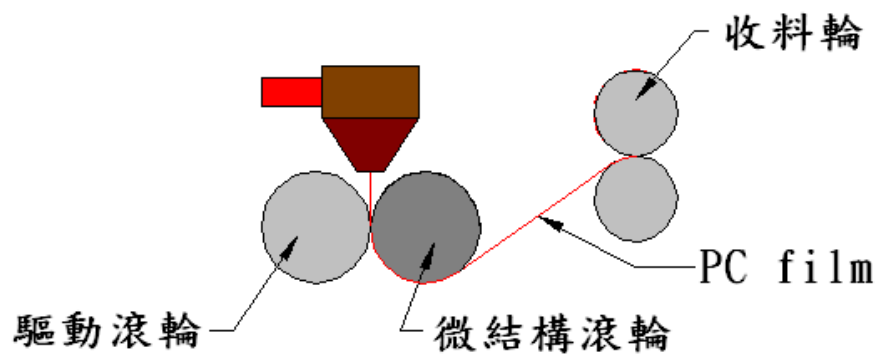
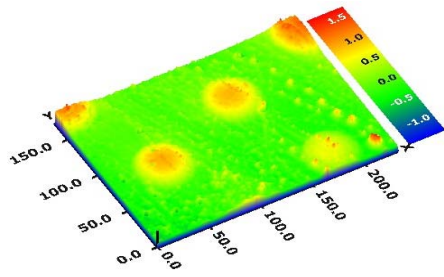
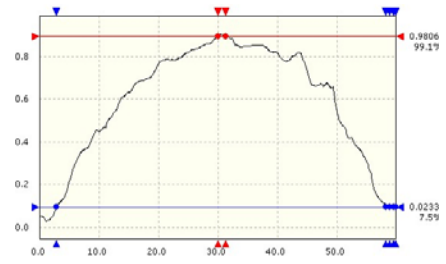


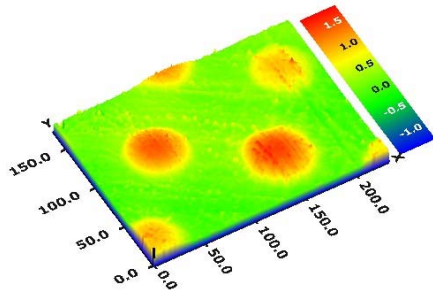
圖 5-5 增設收料輪示意圖



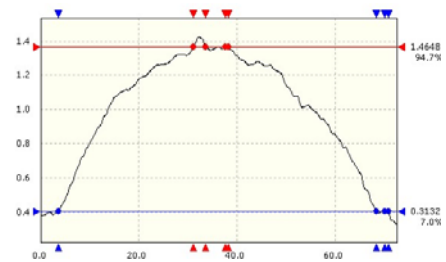
(a)直徑 56.34 $\mu\text{m}$  3D 圖



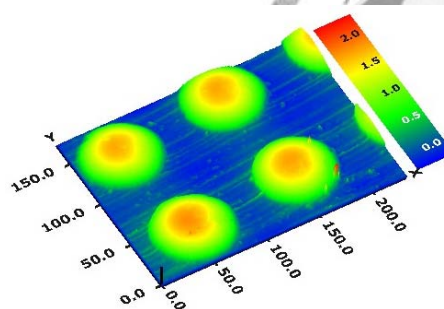
(b)中心高度 0.97 $\mu\text{m}$



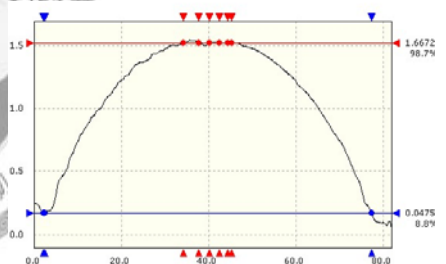
(c)直徑 64.87 $\mu\text{m}$  3D 圖



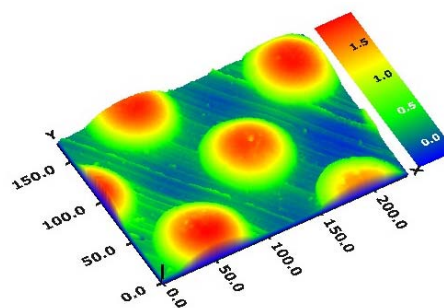
(d)中心高度 1.15 $\mu\text{m}$



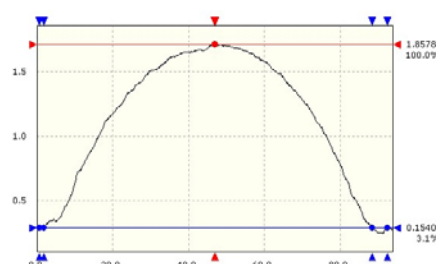
(e)直徑 73.84 $\mu\text{m}$  3D 圖



(f)中心高度 1.62 $\mu\text{m}$



(g)直徑 84.11 $\mu\text{m}$  3D 圖



(h)中心高度 1.71 $\mu\text{m}$

圖 5-6 加設遠紅外線陶瓷加熱，以氣壓缸總推力 300kgf 壓印結果  
(白光干涉儀 200X)

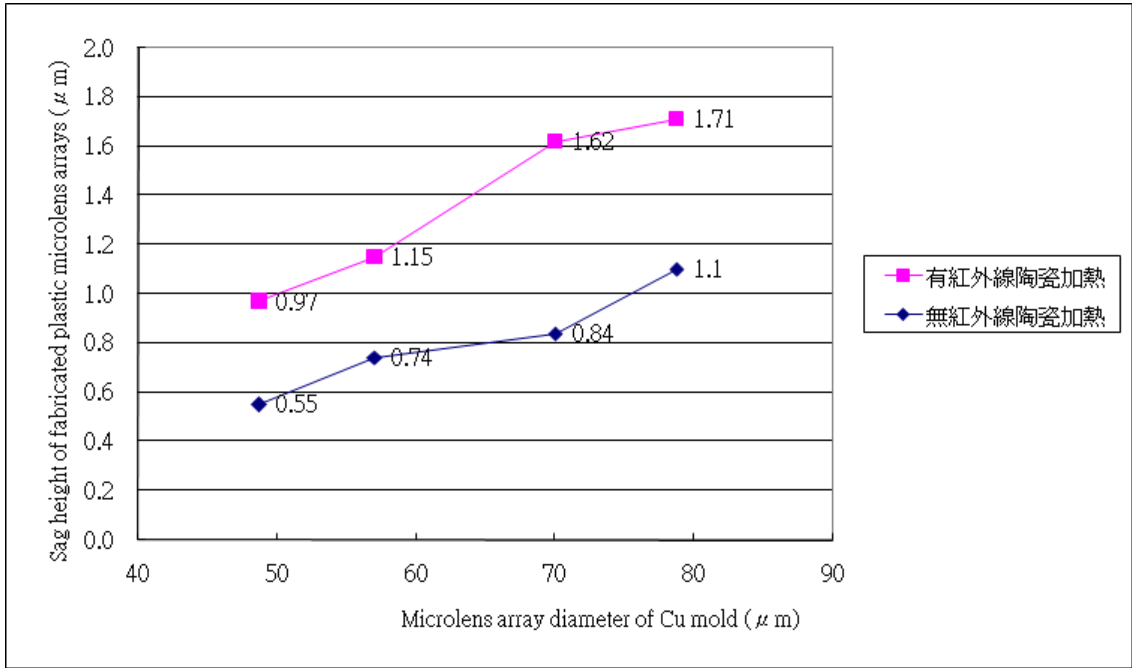
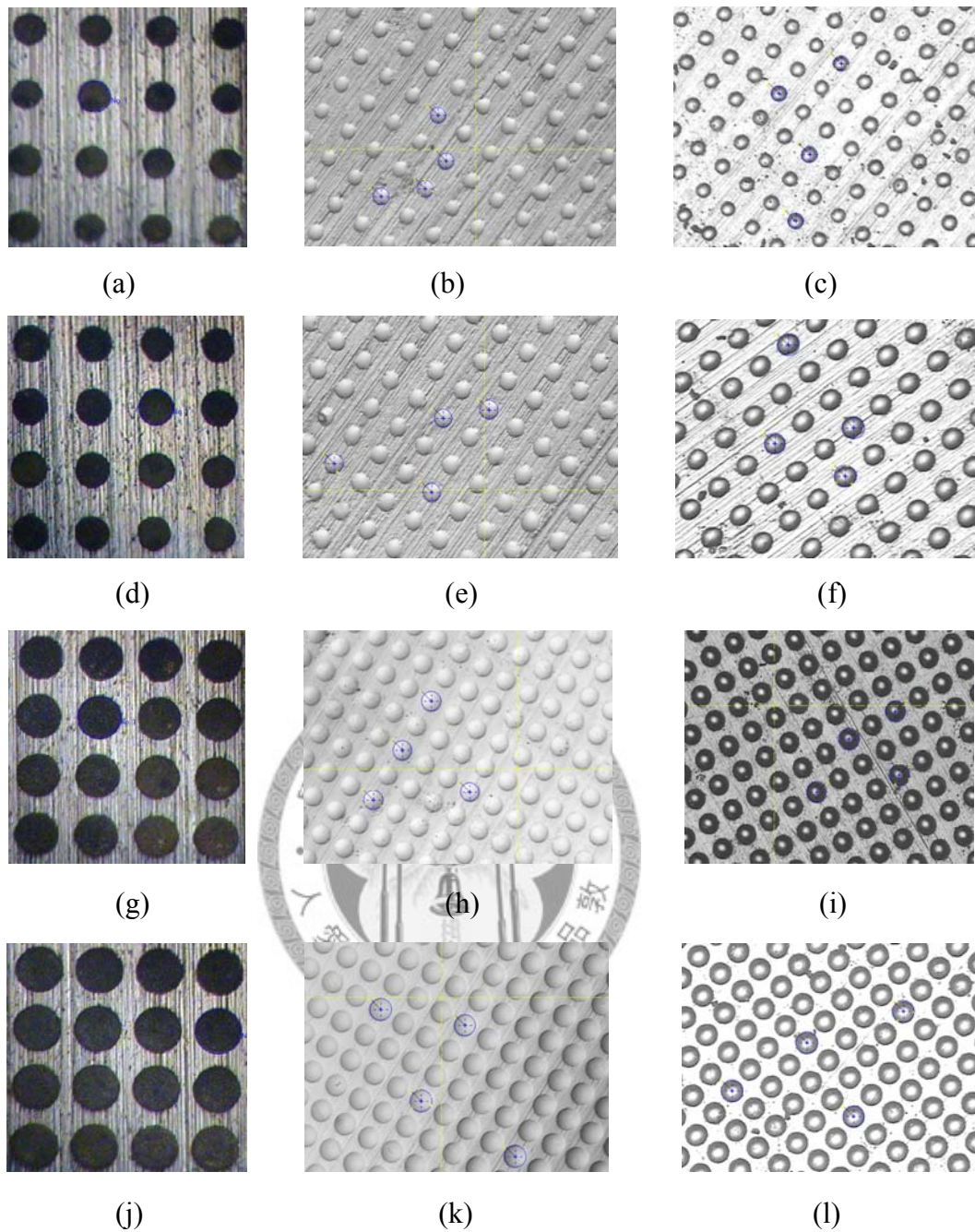


圖 5-7 以氣壓缸總推力 300kgf 測試有無加熱裝置成型高度比較圖





(a) 模具一 (b) 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具一之 PC 成品 (c) 以氣壓缸總推力 500kgf 壓印模具一之 PC 成品(OM 285X)  
 (d) 模具二 (e) 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具二之 PC 成品 (f) 以氣壓缸總推力 500kgf 壓印模具二之 PC 成品(OM 285X)  
 (g) 模具三 (h) 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具三之 PC 成品 (i) 以氣壓缸總推力 500kgf 壓印模具三之 PC 成品(OM 285X)  
 (j) 模具四 (k) 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具四之 PC 成品 (l) 以氣壓缸總推力 500kgf 壓印模具四之 PC 成品(OM 285X)

圖 5-8 以氣壓缸總推力 300kgf 與 500kgf 壓印後之結果比較圖

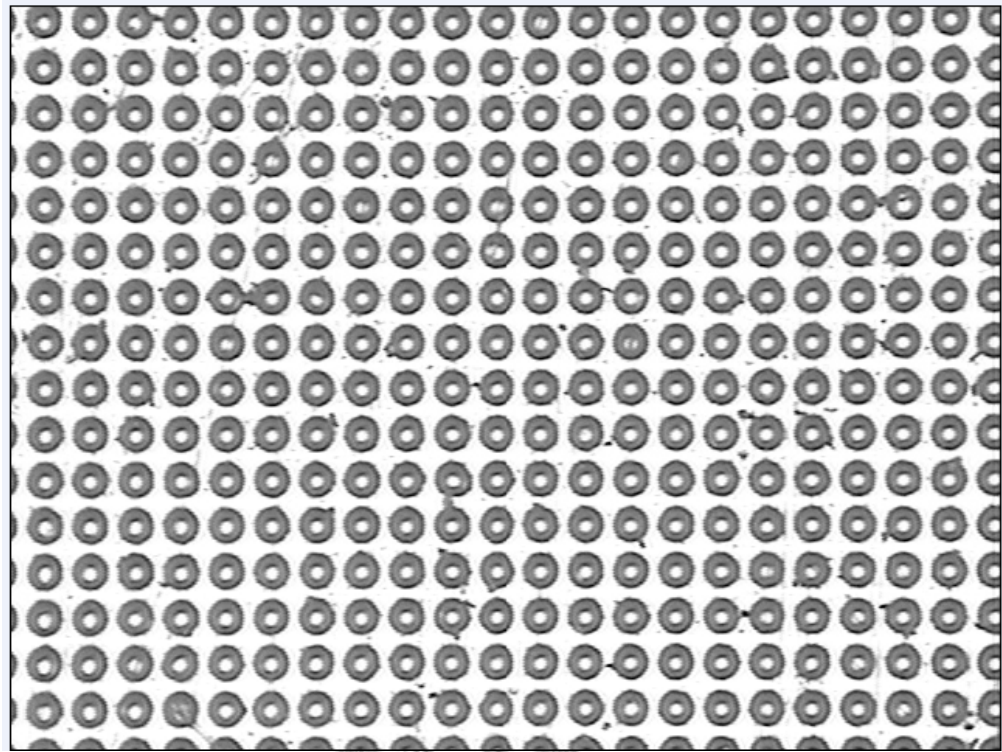
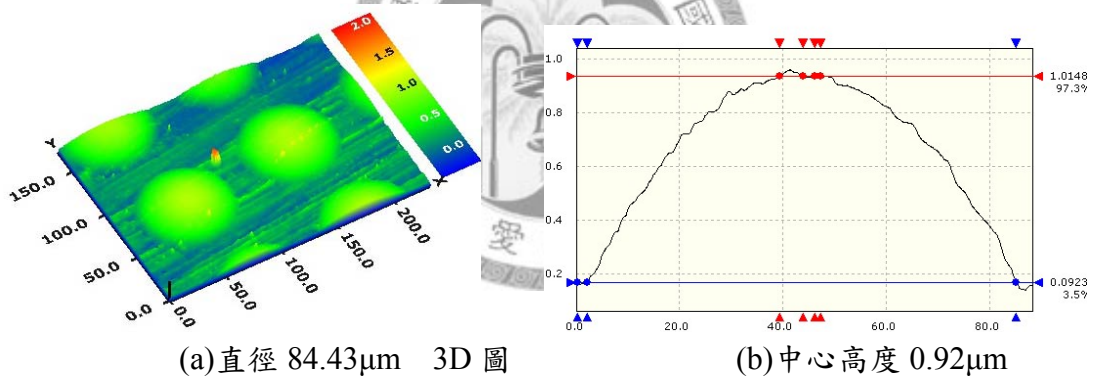


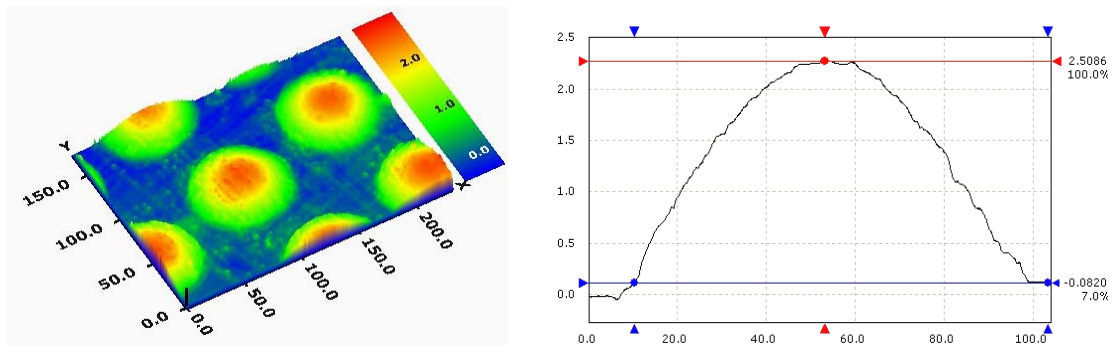
圖 5-9 以氣壓缸總推力 500kgf 壓印模具四圓形孔穴之 PC 成品(OM 85X)



(a)直徑 84.43µm 3D 圖

(b)中心高度 0.92µm

圖 5-10 以氣壓缸總推力 100kgf 壓印模具四圓形孔穴 PC 結果(白光干涉儀 200X)



(a)直徑 86.98µm 3D 圖

(b)中心高度 2.58µm

圖 5-11 以氣壓缸總推力 500kgf 壓印模具四圓形孔穴 PC 結果(白光干涉儀 200X)

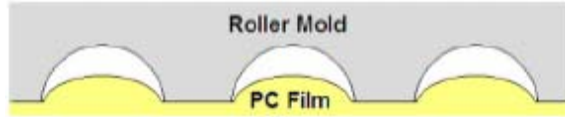


圖 5-12 塑料未將模穴完全充填，在模穴中因表面張力形成弧形示意圖

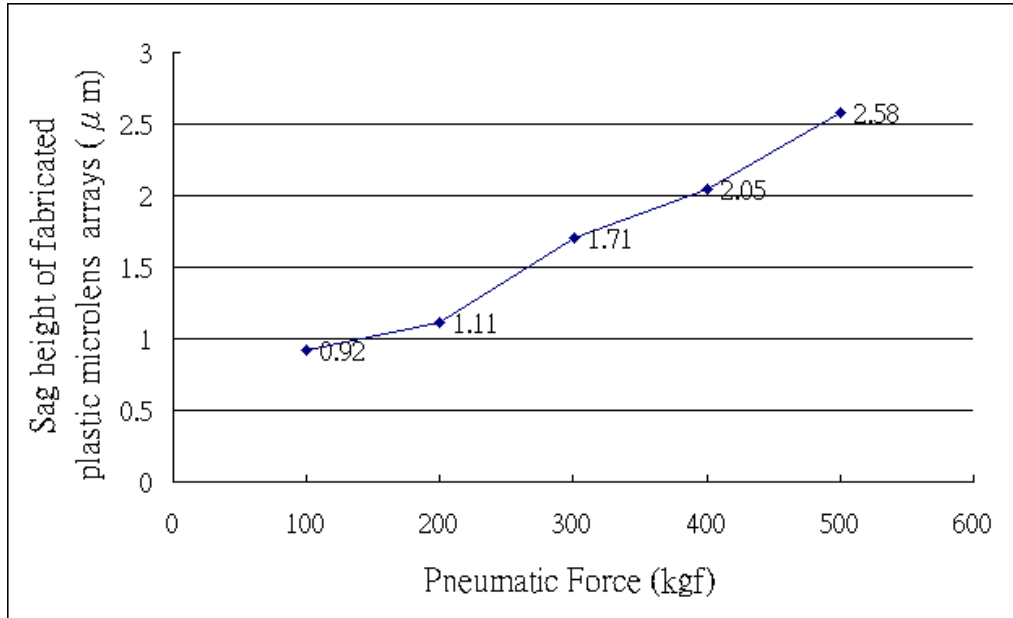


圖 5-13 模具四壓印後，結構高度與壓印壓力關係圖

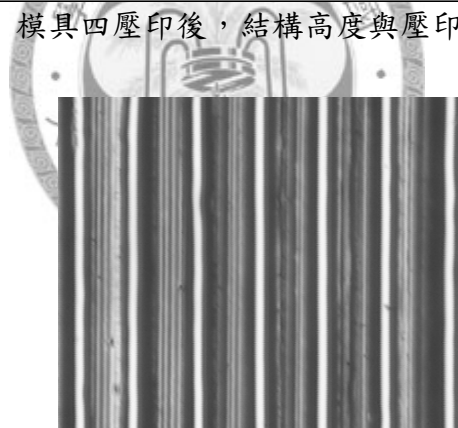
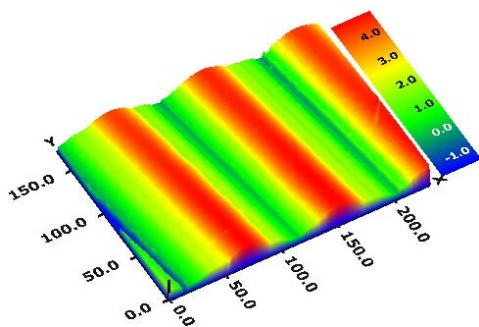
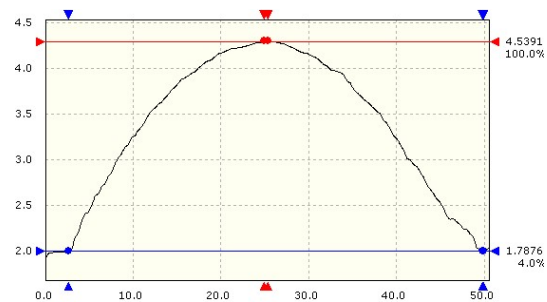


圖 5-14 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具六之 PC 成品(OM 285X)



(a)線寬 42.9μm 3D 圖



(b)中心高度 2.80μm

圖 5-15 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具六凹陷直線條 (白光干涉儀 200X)



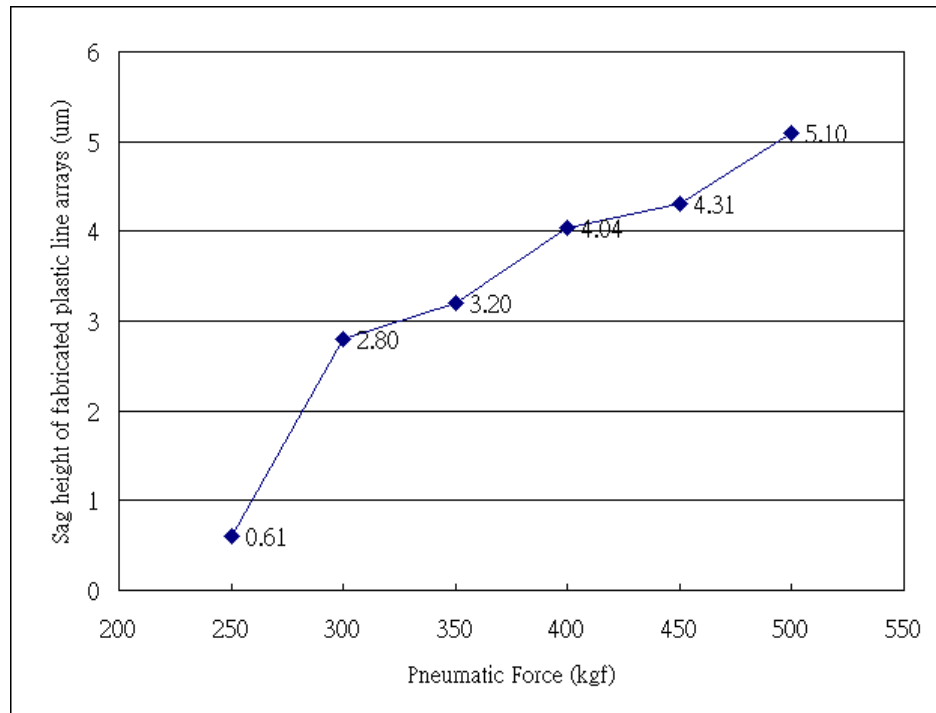


圖 5-16 模具六之凹陷直線條，壓印後結構高度與力量關係圖

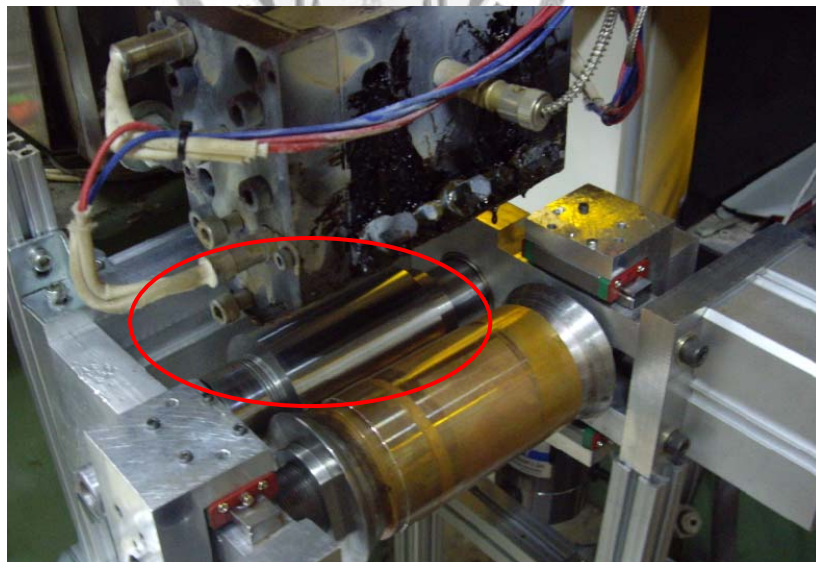


圖 5-17 驅動滾輪為剛性滾輪之微壓印機台

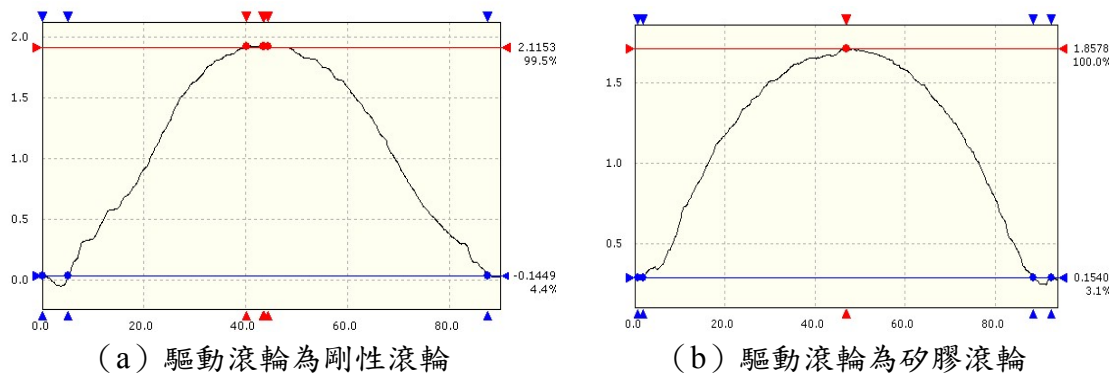


圖 5-18 以氣壓缸總推力 300kgf 壓印模具四圓形孔穴結果(白光干涉儀 200X)

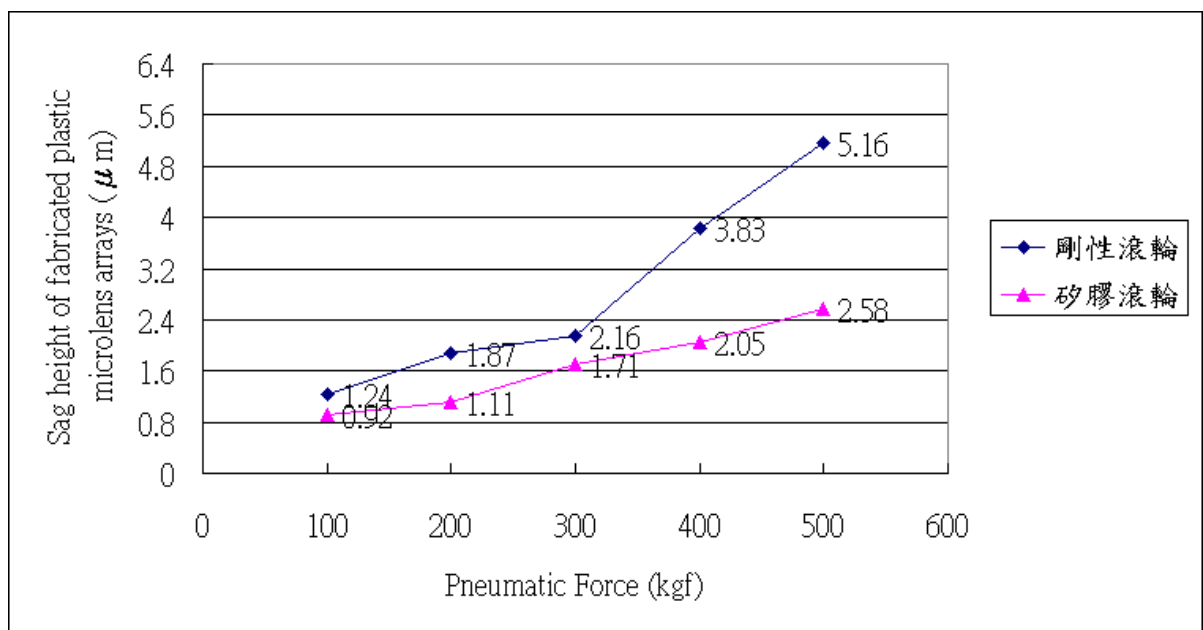
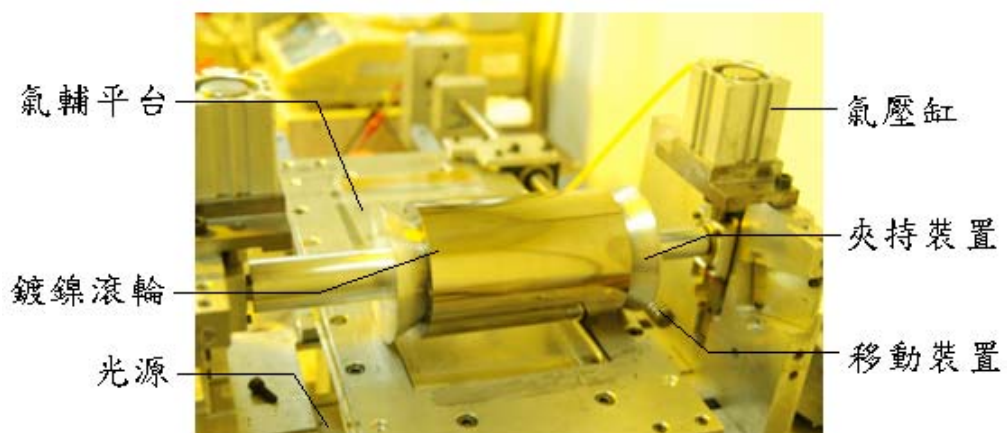
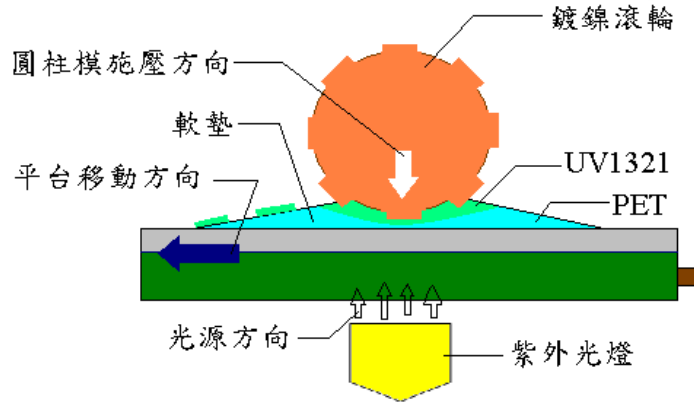


圖 5-19 以矽膠滾輪、刚性滾輪壓印模具四圓形孔穴模具



(a) 壓印機台設置圖



(b) 壓印示意圖

圖 5-20 UV 壓印機台

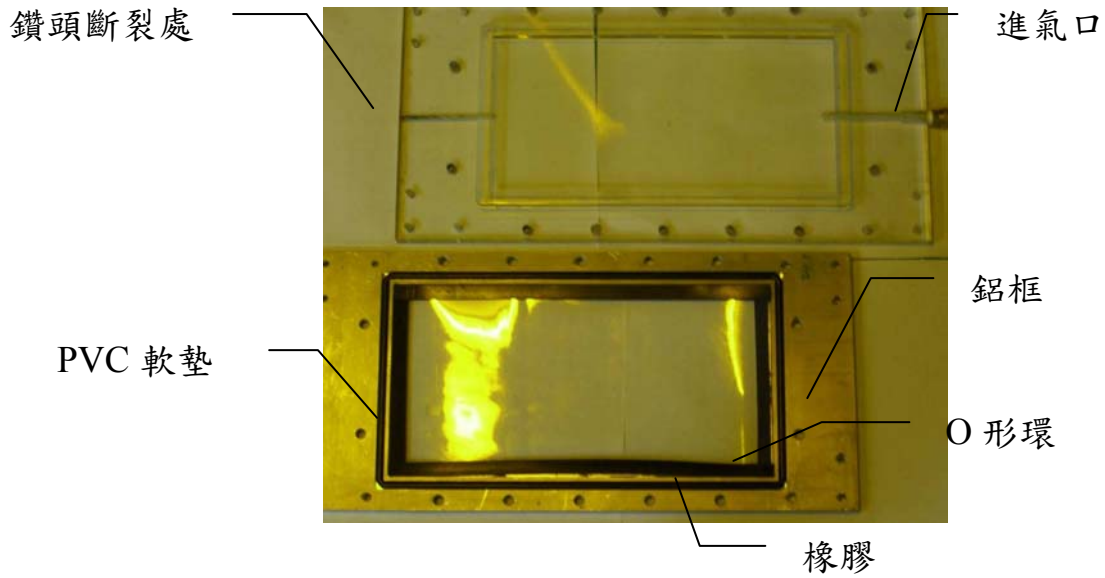


圖 5-21 氣體輔助壓印平台

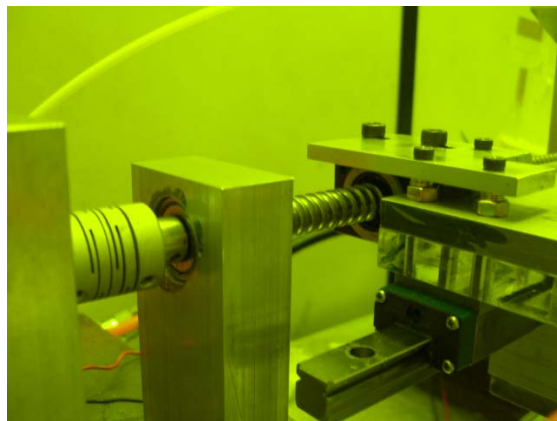


圖 5-22 平台移動機構



圖 5-23 微結構滾輪施壓方式

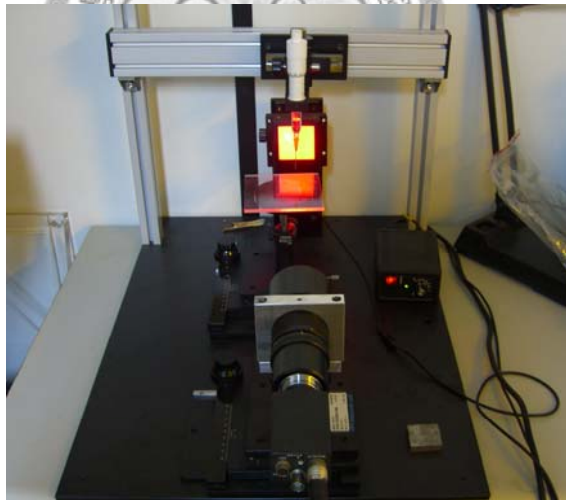
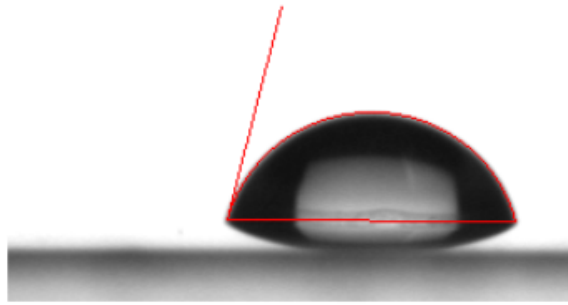
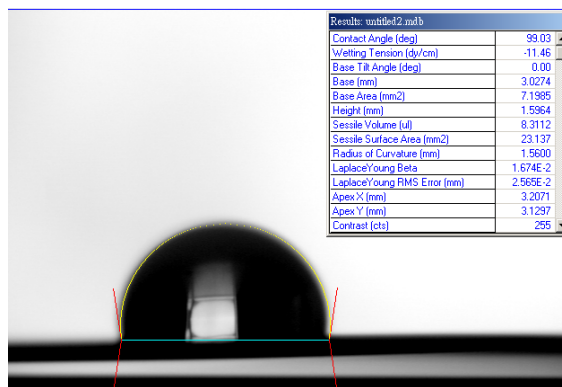


圖 5-24 接觸角量測儀

Angles: (76.00?76.80?



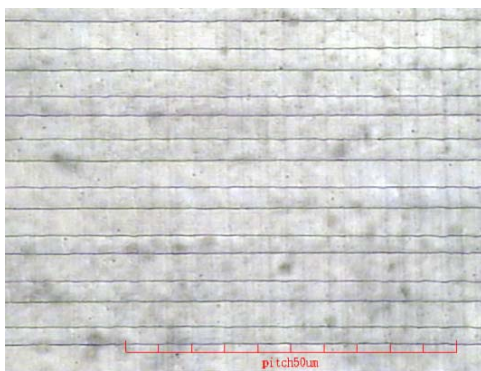
(a) PET 之接觸角



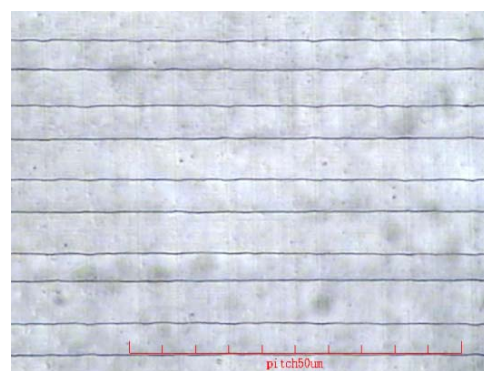
Results: wattle32.mdb	
Contact Angle (deg)	99.03
Wetting Tension (dy/cm)	-11.46
Base Tilt Angle (deg)	0.00
Base (mm)	3.0274
Base Area (mm <sup>2</sup> )	7.1985
Height (mm)	1.5964
Sessile Volume (ul)	8.3112
Sessile Surface Area (mm <sup>2</sup> )	23.137
Radius of Curvature (mm)	1.5600
Laplace/Young Beta	1.674E-2
Laplace/Young RMS Error (mm)	2.565E-2
Apex X (mm)	3.2071
Apex Y (mm)	3.1297
Contrast (cts)	255

(b) 鍍之接觸角

圖 5-25 接觸角量測儀

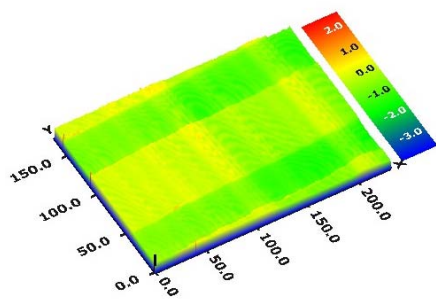


(a)OM (115X)

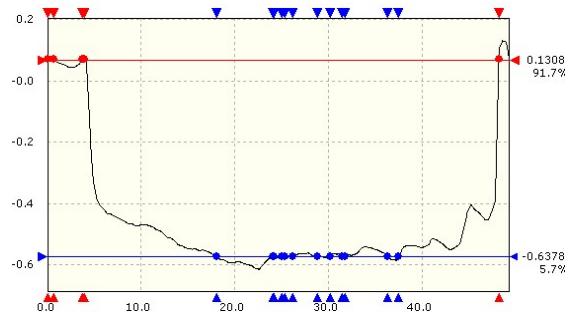


(b)OM (230X)

圖 5-26 光學顯微鏡

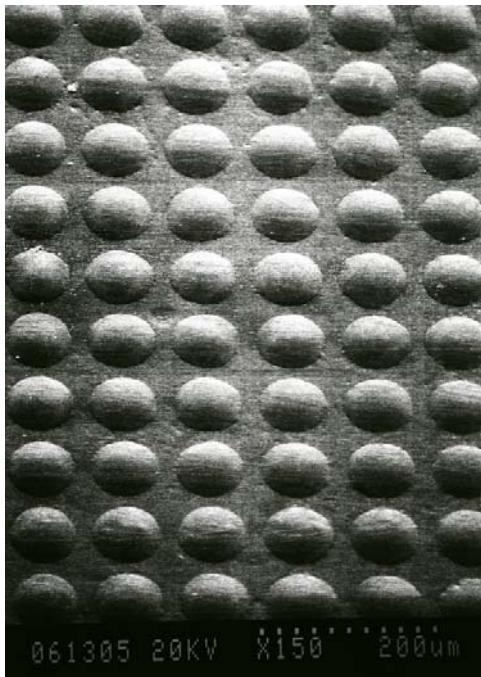


(a) 3D

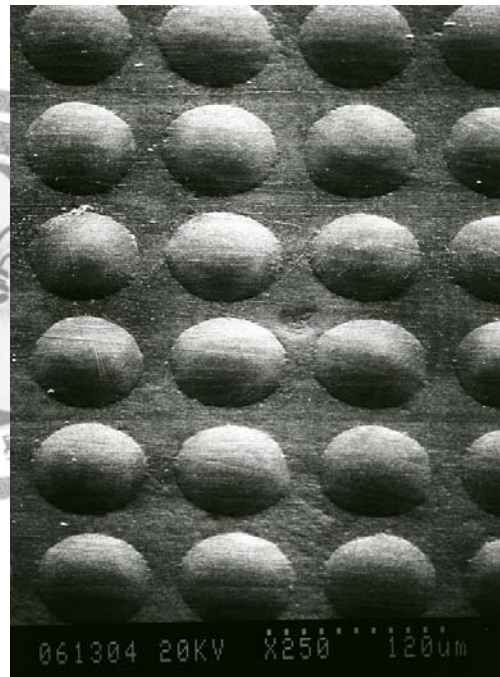


(b) 2D

圖 5-27 白光干涉儀 (200X)



(a) 150X



(b) 250X

圖 5-28 SEM

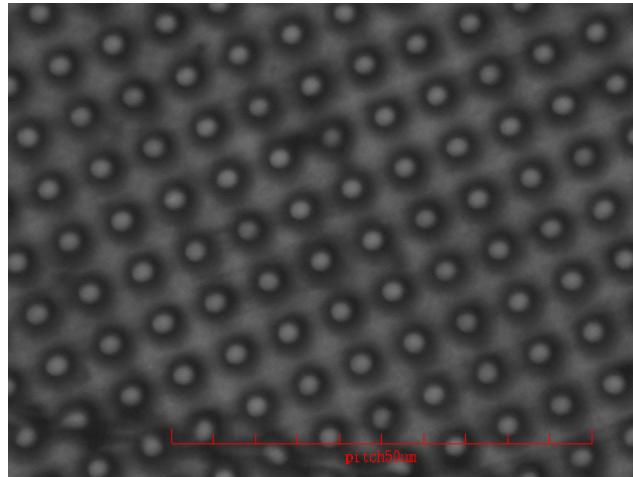


圖 5-29 微透鏡陣列光學檢測 CCD 觀察圖(光學顯微鏡 115 倍)

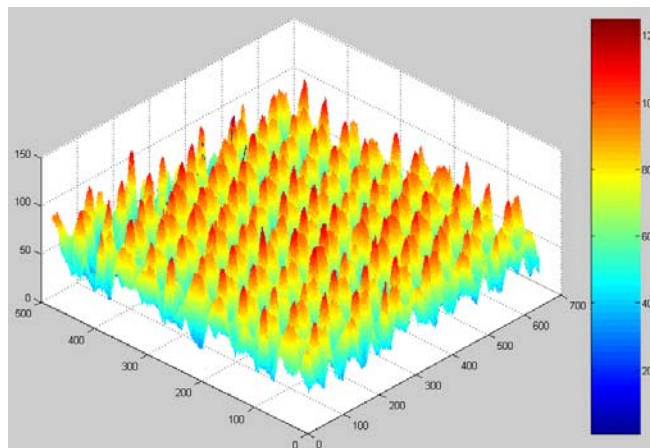
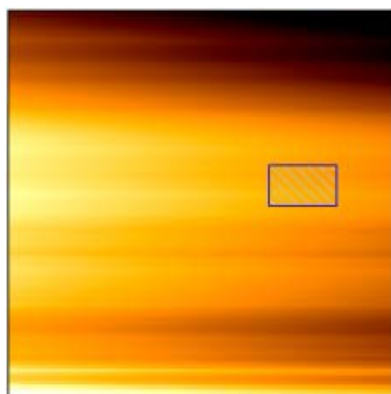
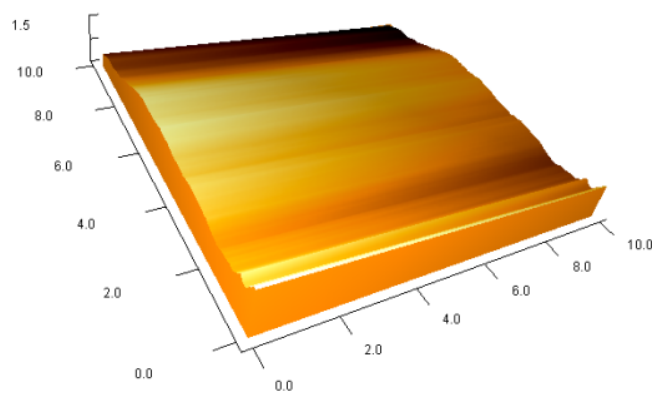


圖 5-30 MATLAB 軟體檢測光強度結果



(a) 2D



(b) 3D

圖 5-31 表面粗糙度量測(AFM)

## 第六章 結論與未來研究方向

### 6.1 結論

本論文致力於微結構滾輪之技術開發與其應用，實現乾膜光阻應用於微結構滾輪之製作，並完整探討滾輪製作之參數，後段滾輪壓印製程利用兩套微壓印系統進行壓印，包括擠出微壓印系統與氣體輔助平台轉印系統，分別成功將滾輪上之微結構轉印至塑膠薄膜(PC)與光固化高分子材料上(UV1321)，達成快速且連續生產之方式製作微結構與光學元件，實現在塑膠薄膜上大量壓印微結構之製程，具體研究成果如下：

#### 1. 成功開發滾輪微壓印機台

本論文所經過改良所設計之機台，確實可用於本研究從前段製程(貼合、曝光)至後段製程(擠出壓印)之應用，且在後段製程增設一紅外線陶瓷加熱系統，使微透鏡陣列之成型高度效果更佳。

#### 2. 乾膜光阻之貼合與曝光參數探討

(1)貼合參數探討：以實驗設計軟體 Design-Expert 建立本實驗之實驗參數，採行  $2^k$  因子實驗，檢視貼合溫度、氣壓缸總推力與滾輪轉速對貼合厚度之關係，各因子高低水準分別設定為：貼合溫度  $100^{\circ}\text{C}$  與  $120^{\circ}\text{C}$ 、氣壓缸總推力 16kg 與 32kg、滾輪轉速 4rpm 與 6rpm，測試結果可得  $3\pm 7\mu\text{m}$  之貼合厚度，並將以上數據建立出一完整之貼合操作成型窗。

(2)曝光參數探討：成功實驗出當曝光能量大小對線寬所造成之影響。實驗發現當曝光能量不足，容易導致乾膜光阻於後段製程脫落；反之，當曝光能量過高時，由於過度曝光，線寬會逐漸減小，且下降趨勢趨於明顯。最後，找出當滾輪轉速為 1.50rpm、總曝光能量為  $99.63(\text{mJ}/\text{cm}^2)$  時，為顯影後最接近光罩圖形尺寸之最佳參數。

#### 3. 微結構滾輪製程

利用乾膜光阻容易貼附於曲面之特性，並配合「曲面微影技術」、「蝕刻技術」與「無電鍍技術」，成功在滾輪上製作出結構與滾輪一體成型之剛性微結構滾輪，並將此滾輪做為壓印用之模具。



本研究共以三種方式在滾輪上製作出微結構：

- (1) **蝕刻法**：先貼合，後曲面曝光，以蝕刻銅產生微結構，製作出兩支於滾輪上結構直徑不同之凹陷直線條，其結構為線寬各為  $40.0\mu\text{m}$  與  $42.5\mu\text{m}$ ，深度各為  $6.82\mu\text{m}$  與  $7.25\mu\text{m}$  之凹陷直線條。
- (2) **「先平面曝光，後貼合」蝕刻法**：先平面曝光，後貼合，以蝕刻銅產生微結構，製作出四支於滾輪上結構直徑不同之圓形陣列孔洞，其結構直徑各為  $48.9\mu\text{m}$ 、 $57.9\mu\text{m}$ 、 $70.8\mu\text{m}$  及  $79.8\mu\text{m}$ ，深度各為  $8.51\mu\text{m}$ 、 $8.85\mu\text{m}$ 、 $8.13\mu\text{m}$  及  $9.42\mu\text{m}$  之圓形孔穴。
- (3) **無電鍍法**：先平面曝光，後貼合，以無電鍍鎳產生微結構，電鍍後其線寬為  $45.1\mu\text{m}$ ，深度為  $1.02\mu\text{m}$  之凸出直線條。

#### 4. 製程參數對微結構轉寫高度之影響

以光柵 (Grating) 與圓點陣列 (Lens Array) 之模具探討壓印力量對結構成型高度之影響，並以三種不同實驗設置情況，分別為：(1) 無紅外線加熱，矽膠滾輪；(2) 增設紅外線加熱，矽膠滾輪；(3) 增設紅外線加熱，剛性滾輪，比較壓印後於 PC 塑膠薄膜上微結構成型之高度，實驗結果得知，以有增設紅外線加熱與剛性滾輪情況，可壓印出微結構高度較深之微結構，且得知當塑料若未將模穴完全充填滿的情況下，氣壓缸施加於滾輪上的力量越大，所壓印出之微結構深度亦越深，並將此結果彙整成圖表。

#### 5. 成功以微結構滾輪製作微透鏡陣列薄膜

以微結構滾輪模具四，直徑為  $79.8\mu\text{m}$  之圓形陣列孔洞，結合「微滾輪壓印」與「薄膜擠出成型」製程，成功在 PC 塑膠薄膜上製作出微結構直徑  $86.98\mu\text{m}$ ，焦距為  $216\mu\text{m}$  之微透鏡陣列，量測觀察結果可知以此方式製作出之塑膠薄膜，可大量複製並可達到大面積且均勻之連續生產。

#### 6. 成功將滾輪上之微結構轉印至 UV 膠上

利用本實驗室所開發之氣體輔助平台進行壓印，並以無電鍍鎳法製作之鋁滾輪當作模具，成功將滾輪上之微結構轉印至塗有 UV 膠之 PET 基材，壓印出微結構線寬為  $44.21\mu\text{m}$ ，深度  $0.77\mu\text{m}$  之直線條紋結構，証實以此方式所製作之滾輪亦可進行應用於此氣體輔助微壓印機台。

## 6.2 研究貢獻

國內針對微結構滾輪之製作多為將滾輪前段製程與後段之滾輪壓印分開來單獨研究，鮮有將自行製作出之滾輪模具，實際應用於微結構壓印成型，因此，無法得知其複製效果之可行性，也缺少探討整體製程之優缺點。

本研究綜合微結構滾輪之製作與後段製程之微結構壓印與氣體輔助平台微壓印系統進行壓印之研究，且在製作滾輪部分投入許多時間實驗各參數對曝光、顯影、蝕刻與無電鍍之探討，並將其整理成一完整之製作滾輪開發研究；光罩設計以 AutoCAD 軟體繪製極為簡便，且可將光罩上之圖形轉至金屬滾輪上製作出強度高且可反覆使用之微結構滾輪，達到模具強度高與壽命長之成效，並達成低成本、大量生產及製程簡易之特色，為一更具完整之滾輪學術研究。

本研究最終利用製作出之微結構滾輪成功在塑膠薄膜上製作出微結構，具有簡單、快速與低成本等顯著優勢，未來乾膜光阻之應用範圍或許可擴展至微機電製程、製作微生醫元件或是其他塑膠光學元件之微結構壓印成型。



### 6.3 未來研究方向

綜合整理本論文對微結構滾輪之技術開發與應用，搭配本實驗之微壓印機台，確實能達到 Roll-to-Roll 連續生產製程，為一可快速且大量生產之方式來進行複製微結構，改善以往以平面式之壓印製程，對於轉印光學微結構有極大優勢，但可探討之部分及應用空間仍有其研究價值，在此僅將研究展望及未來工作整理如下：

- (1)可設計一曝光系統，使用平行度較高之光源，減少曝光時干擾，以期製作出結構更小之微結構滾輪。
- (2)設計可貼合面積更大之機台，期待製作出長度較長(面積較大)之微結構滾輪，達到大面積連續轉印微結構，不過此時必須考量到因滾輪長度較長導致在壓印過程中，氣壓缸施加於滾輪上推力兩側較大而中心推力部分較小情況所產生之問題。
- (3)在薄膜擠出成型後續製程方面，於收料輪設置後段，可設計一薄膜自動裁切與封裝設置，將壓印之塑膠薄膜進行裁切，如此不僅可將微結構大量複製生產，亦可節省時間與人力資源在裁切與封裝步驟所耗費之時間與成本，達到真正自動化系統。
- (4)可應用乾膜光阻容易貼合之優點與其貼合後具平坦化之特性，可將乾膜光阻應用於製作可撓性光波導元件(Waveguide)與特殊結構，如微噴頭。另外，隨著軟性電子正處於即將蓬勃發展之情況下，亦可運用乾膜光阻於各種微結構滾輪之製作，將文字或圖案繪製成光罩，以本實驗之設計概念大量輸出，結合薄膜擠出壓印成型，期待對未來軟性電子之發展有所貢獻。
- (5)對更多的塑膠材料做壓印研究測試，增加本製程之應用範圍，舉凡 PE、PP、PS 等材料。
- (6)以精確對位系統或旋轉分度頭裝置進行對位曝光，期望在滾輪上製作出無接縫之微結構滾輪。
- (7)設計一多滾輪壓印成型設備，以 Roll-to-Roll 連續製程完成佈線、顯影與蝕刻，將曝光、貼合及顯影等步驟在同一條生產線完成，達到真正低成本且快速製造微結構之目的。

## 參考文獻

A. D. Feinerman, R. E. Lajos, V. White and D. D. Denton, "X-ray lathe: an X-ray lithographic exposure tool for nonplanar objects", *Journal of Microelectromechanical systems*, Vol. 5, No.4 (1996).

C. Marques, Y. M. Desta, J. Rogers, M. C. Murphy, and Kevin Kelly, "Fabrication of High-aspect-ratio microstructures on planar and nonplanar surface using a modified lift-off process", *Journal of Microelectromechanical systems*, Vol. 6, No. 4 (1997).

C. R. Martin and I. A. Aksay, "Microchannel molding: A soft lithography inspired approach to micrometer scale patterning", *J. Mater. Res.*, Vol. 20, No. 8 (2005).

C. Y. Chang, S. Y. Yang, J. L. Sheh, "A roller embossing process for rapid fabrication of microlens arrays on glass substrates", *Microsyst. Technol* (2006) 12, pp. 754-759.

C. Y. Chang, S. Y. Yang, M. H. Chu, "Rapid fabrication of ultraviolet-cured polymer microlens arrays by soft roller stamping process", *Microelectronics Engineering*, v84, n2, pp. 355-361 (2007).

Chao-Heng Chien, Zhi-Peng Chen, "Fabrication of a novel integrated light guiding plate by microelectromechanical systems technique for backlight system", *Journal of Microlithography, Microfabrication and Microsystems*, v5, n4, pp. 043011 (2006).

Chan I. Chung, "Extrusion of polymers : theory and practice". (2000).

Ed. Lowenheim, "Modern electroplating", John Wiley & Sons, (1974)

E. Kukharenska, M. M. Farooqui, L. Grigore, M. Kraft and N. Hollinshead, "Electroplating moulds using dry film thick negative photoresist", *J. Micromech. Microeng.* 13. pp.67-74 (2003).

G. O. Mallory and J. B. Hajdu, “Electroless Plating, Fundamentals and Applications”, AESF (1990).

H. Lorenz, L. Paratte, R. Luthier, N. F. de Rooij and P. Renaud, “Low-cost technology for multilayer electroplated parts using laminated dry film resist”, Sensors and Actuators A 53 pp.364-368 (1996).

H. Tan, A. Gilbertson and S. Y. Chou, “Roller nanoimprint lithography”, J. Vac. Sci. Technol. B 16(6), (1998).

H.Ito, I.Satoh, T.Saito, K.Yakemoto, “A Melt-Transcription process to fabricate thermoplastic products with homogeneous surface micro structures applied to display parts and micro-fluidic devices”, Proc. of PPS-22, SP6.17 (2006).

James R. Sheats, “Roll-to-roll manufacturing of thin film electronics”, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, v 4688, n 1, pp. 240-248 (2002).

J. Zhu, A. S. Holmes, J. Arnold, R. A. Lawes and P.D. Prewett, “Laminated dry film resist for microengineering applications”, Microelectronics Engineering.30 pp.365-368(1996).

K. Fujimoto, S. Fujita, B. Ding and S. Shiratori, “Fabrication of layer-by-layer self-assembly films using roll-to roll process”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No.3, (2005), pp. 126-128.

K Stephan, P Pittet, L Renaud, P Kleimann, P Morin, NOuaini and R Ferrigno, “Fast prototyping using a dry film photoresist: microfabrication of soft-lithography masters for microfluidic structures”, J. Micromech. Microeng. 17. N69-N74(2007).

M. B. Chan-Park, W. K. Neo, “Ultraviolet embossing for patterning high aspect ratio polymeric microstructures”, Microsystem Technologies 9 pp.501–506 (2003).

M. Meiler, M. Pfestorf, M. Geiger, M. Merklein, “The use of dry film in aluminum sheet metal forming”, *Wear* 255 pp.1455–1462 (2003).

M. E. Sandison and H. Morgan, “Rapid fabrication of polymer microfluidic systems for the production of artificial lipid bilayers”, *J. Micromech. Microeng.* 15(2005) pp.139-144.

M. He, X.-C. Yuan, N. Q. Ngo, J. Bu, and V. Kudryashov, “Simple reflow technique for fabrication of a microlens array in solgel glass”, *OPTICS LETTERS* ,Vol. 28 ,No. 9 (2003).

M. T Gale, “Replication techniques for diffractive optical elements ”, *Microelectronics Engineering* 34 pp. 321-339(1997).

M Hecke, W K Schomburg, “Review on micro molding of thermoplastic polymers”, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, v 14, n 3, pp. R1-R14 (2004).

Montgomery, “Design and Analysis of Experiments” 6<sup>th</sup> Edition”.

Manaresi, M. Tartagni and R. Guerrieri, “Microfluidic channel fabrication in dry film resist for production and prototyping of hybrid chips”, *Lab on a Chip*, 5, pp.158-162 (2005).

P. Vulto, N. Glade, L. Altomare, J. Bablet, L. Del Tin, G. Medoro, I. Chartier, N.

K Stephan, P Pittet, L Renaud, P Kleimann, P Morin, NOuaini and R Ferrigno,” Fast prototyping using a dry film photoresist: microfabrication of soft-lithography masters for microfluidic structures” , *J. Micromech. Microeng.* 17 pp.69–74 (2007).

R. Parkinson, ”Properties and applications of electroless nickel”, *NiDI* (1997).

S. M. Seo, T. I. Kim, and H. H. Lee, “Simple fabrication of nanostructure by continuous rigiflex imprinting”, *Microelectronics Engineering* (2006).

S. Ahn, M. Choi, H. Bae, J. Lim, H. Myung, H. Kim, and S. Kang, "Design and fabrication of micro optical film by ultraviolet roll imprinting", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 46, No.8B, pp. 5478-5484 (2007).

T. Katoh, N. Nishi, M. Fukagawa, H. Ueno and S. Sugiyama, "Direct writing for three-dimensional microfabrication using synchrotron radiation etching", Sensor and Actuators A 89 (2001) pp.10-15.

T. Kololuoma, M. Tuomikoski, T. Makela, J. Heilmann, T. Haring, J. Kallioinen, J. Hagberg, I. Kettunen, and H. Kopola, "Towards roll-to-roll fabrication of electronics, optics and optoelectronics for smart and intelligent packaging", Proceedings of SPIE Vol. 5363.

T. Makela, S. Jussila, H. Kosonen, T. G. Backlund, H. G. O. Sandberg, and H. Stubb, "Utilizing roll-to-roll techniques for manufacturing source-drain electrodes for all-polymer transistors", Synthetic Metals 153 (2005) pp. 285-288.

V. L. Spiering, J. W. Berenschot and M. Elwenspoek, "Planarization and fabrication of bridges across deep grooves or holes in silicon using a dry film photoresist followed by an etch back", J. Micromech. Microeng. 5 pp.189-192 (1995).

W. Riedel, "Electroless Nickel Plating", Finishing Publication Ltd. (1991)

W. M. Choi and O. O. Park, "The fabrication of submicron patterns on curved substrates using a polydimethylsiloxane film mould", Nanotechnology 15 pp.1767-1770 (2004).

W. P. Shih, Y. Cheng, C.Y. Lin and G. J. Hwang, "Low-cost X-ray conformal mask using dry film resist", Microelectronic Engineering 40 pp.43-50 (1998).

Y. C. Tsai, H. P. Jen, K. W. Lin and Y. Z. Hsieh, "Fabrication of microfluidic devices using dry film photoresist for microchip capillary electrophoresis", *Journal of Chromatography A*, 1111(2006) 267-271.

Y. Xia and G. M. Whitesides, "Soft Lithography", *Angew. Chem. Int. Ed.* 37, pp.550-575 (1998).

Z. T. Ke, C. S. Lee, K. H. Shen and E.Y. Chang, "A study of the fabrication of Flip-Chip bumps using dry-film photoresist process on 300mm wafer", *IEEE* (2004).

張哲豪， "流體微熱壓製程開發研究"，臺灣大學博士論文，民國 93 年 6 月。

黎正中，陳源樹編譯， "實驗設計與分析"，高立出版，民國 92 年。

潘昆志， "微結構滾輪製造方法及結構"，中華民國專利證書號數：I251266，民國 94 年。

謝正倫， "滾輪微結構壓印製程開發研究"，臺灣大學碩士論文，民國 94 年 6 月。





## 附錄 A CALIBRE™ 301-15 性質表

# CALIBRE 301-15

### Polycarbonate Resins

CALIBRE® 301-15 resin is designed for extrusion and injection molding products. It exhibits an excellent physical property balance of heat resistance, transparency and impact strength.

#### Main Characteristics

- Medium viscosity
- Good mold release

#### Applications

- Non food contact applications
- Packaging applications
- Bottles

Properties <sup>1</sup>	Test Method	English		SI	
		Value	Units	Value	Units
<b>Physical</b>					
Melt Flow Rate (300 °C/1.2 kg)	ASTM D1238	15	g/10 min	15	g/10 min
Density	ASTM D792	1.20		1,200	Kg/m <sup>3</sup>
Mould Shrinkage	ASTM D955	0.005~0.007	in/in	0.005~0.007	mm/mm
Water Absorption @ 24 hrs, 23°C	ASTM D570	0.15	%	0.15	%
@ equilibrium, 50%RH, 23°C	ASTM D570	0.32	%	0.32	%
<b>Optical</b>					
Refractive Index, n <sub>D</sub>	ASTM D642	1.586		1.586	
Light Transmittance	ASTM D1003	89	%	89	%
Haze	ASTM D1003	0.7~1.5	%	0.7~1.5	%
<b>Thermal</b>					
Deflection Temperature Under Load (DTUL) @ 4 mm	ASTM D648				
@ 66 psi (0.45 Mpa), annealed		289	°F	143	°C
@ 264 psi (1.8 Mpa), annealed		284	°F	140	°C
@ 264 psi (1.8 Mpa), unannealed		260	°F	127	°C
Vicat Softening Point, 50°C/hr, 50N Load	ASTM D1525	298	°F	148	°C
Coefficient of Linear Thermal Expansion, @ -40 to 82°C	ASTM D696	38 x 10 <sup>-6</sup>	in/in/°F	68 x 10 <sup>-6</sup>	mm/mm/°C
<b>Mechanical</b>					
Tensile Yield Strength <sup>2</sup>	ASTM D638	8,700	psi	60	MPa
Ultimate Tensile Strength	ASTM D638	10,300	psi	71	MPa
Elongation at Yield	ASTM D638	6	%	6	%
Elongation at Break	ASTM D638	150	%	150	%
Tensile Modulus	ASTM D638	340,000	psi	2,340	MPa
Flexural Strength	ASTM D790	14,000	psi	96	MPa
Flexural Modulus	ASTM D790	350,000	psi	2,410	MPa
Notched Izod Impact <sup>3</sup> @ 23 °C	ASTM D256	16	ft-lb/in	850	J/m
Unnotched Izod Impact @ 23 °C	ASTM D256	No break		No break	
Instrumented Dart Impact <sup>4</sup> , Total Energy @ 23 °C	ASTM D3763	770	in-lb	87	J
Rockwell Hardness	ASTM D785	118	R Scale	72	M Scale
Taber Abrasion Resistance <sup>5</sup> (Δ Haze)	ASTM D1044	45	%	45	%
<b>Ignition Resistance<sup>6</sup></b>					
UL-94 @ 1.6 mm	ASTM D635	HB		HB	
UL-94 @ 3.2 mm	ASTM D635	HB		HB	
Limiting Oxygen Index	ASTM D2863	26	%	26	%
Ball Indentation Temperature	IEC 598-1	>125	°C	>125	°C
Average Extent of Burning	ASTM D635	1	in	25	mm
<b>Electrical</b>					
GWIT 2.0 mm, 5 second	IEC 695-2-1	850	°C	850	°C
Compression Tracking Index @ 2.0 mm	IEC 112	250	V	250	V
Dielectric Strength	ASTM D149	420	V/mil	17	KV/mm
Dielectric Constant @ 60 Hz	ASTM D150	3		3	
Dissipation Factor @ 60 Hz	ASTM D150	0.001		0.001	
Volume Resistivity @ 23 °C, dry	ASTM D257	2.0 x 10 <sup>17</sup>	Ω-cm	2.0 x 10 <sup>17</sup>	Ω-cm

(1) Typical properties; not to be constructed as specifications.

(2) Tensile Test @ 23 °C; 50 mm/min

(3) 0.125 in; 10 mil notch (3.2 mm; 0.25 mm notch)

(4) 0.125 in; 8000 ipm (3.2 mm; 203 m/min)

(5) 1,000 g; CS-10 F wheel; 500 cycles

(6) These numerical flame spread ratings are small-scale test values and are not intended to reflect hazards presented by these or any other materials under actual fire conditions. UL 94 file: E93278

# 附錄 B UV1321 性質表



525 W. Allen Ave, Building 12  
 San Dimas, CA 91773  
 Tel. (909)599-5559, (909)489-8113  
 Fax (909)599-5559

## TECHNICAL DATA SHEET PRODUCT ACU-TITE 1321

### PRODUCT DESCRIPTION

Chem-Mat Acu-Tite 1321 is a one component, low viscosity adhesive that may be cured by UV light. This adhesive is suitable for bonding and sealing of a wide range of materials. Typical uses include bonding and sealing of transparent plastic to metal components, electric devices, appliance parts and decorative components. When cured, this product develops toughness and flexibility making it highly resistance to vibration and impact force.

### TYPICAL APPLICATIONS

Chem-Mat Acu-Tite 1321 is primarily designed for bonding clear plastic to metal substrates, where large gap filling capabilities (0.25mm) and a flexible joint are desired. Its flexibility enhances the load bearing and shock absorbing characteristics of the bond area. It has also shown excellent adhesion to a wide variety of substrates including glass, and most metals. Suitable for use in electric motor balancing applications.

### PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Typical Value Range  
 Chemical Type Acrylated Urethane oligomer  
 Appearance Light yellow liquid  
 Specific Gravity @ 25°C 1.08  
 Viscosity @ 25°C, mPa.s (cP) 2,500  
 Brookfield LVDV II+, Spindle 27 @ 5.0 rpm: 2,200 -2,700  
 Refractive index, No 1.48  
 Flash Point (TCC), °C > 93

### TYPICAL CURING PERFORMANCE

This adhesive is cured when exposed to UV light of 365nm. To achieve a tacky free surface exposed to air, the UV intensity at 254 nm wavelength is important to minimize air inhibition and to reach full cure. The cure rate and ultimate depth of cure will depend on light intensity, the spectral distribution of the light source, the exposure time and the light transmittance of the substrates. Typical cure condition is 5 -10 seconds at 100 mW/cm<sup>2</sup>.

NOTE: UV intensities where quoted are measured at 365nm using an OAI 306 UV Powermeter.

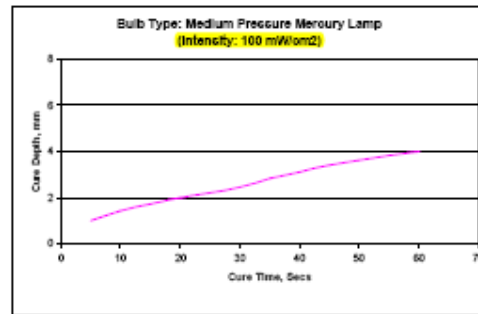
### Tack-Free Time vs. UV Intensity

Lamp Type	UV Intensity(mW/cm <sup>2</sup> )	Typical Time
Metal Halide	30	> 5 min
	50	> 5 min
Medium pressure Mercury Arc	50	< 20 sec
	100	< 10 sec
Fusion D Bulb	50	< 90 sec

--	--	--

**Depth of Cure vs. UV Irradiance**  
 The cure depth depends on the UV intensity and exposure time. Thus, the cure depth is increased with exposure time. When exposed to a medium pressure mercury bulb at 50 and 100 mW/cm<sup>2</sup> intensity for different time period, cure depth profiles are shown below.

### Bulb Type: Medium Pressure Mercury Lamp



- At 60 seconds value exceeded maximum depth of test fixture

### TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL

#### Physical Properties of the cured parts

Tensile strength at break,  
 (Grit blasted mild steel to glass) N/mm<sup>2</sup>: 8  
 psi 1,200  
 % Elongation to break ASTM D838 : 160  
 Modulus, ASTM D882, N/mm<sup>2</sup> 420  
 psi 60,000  
 Hardness (Shore D): 65-72  
 Water absorption, ASTM D570, 2hrs in boiling water, % :3.18  
 Shrinkage %: 7  
 Refractive index, : 1.5027  
 Glass transition temperature (T<sub>g</sub>), °C 44

#### Performance of Cured Material

All tested lap shear were cured for 80 seconds @ 100mW/cm<sup>2</sup> using a medium pressure mercury lamp light source.

#### Shear Strength, psi

Material	Shear Strength (psi)	Range
PVC to glass, N.mm <sup>2</sup>	2.6	1-5
psi	370	150-730
PC to glass, N/mm <sup>2</sup>	2.5	1-5
psi	360	150-730

**TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE**

Test Procedure: ASTM D3136

Substrate: Polycarbonate with 0.5mm gap

Cure Procedure: 40 secs @ 100mW/cm<sup>2</sup>, 354 nm

Solvent Type	Temp	% of initial strength retained at	
		100 hr	500 hr
Boiling Water	100°C	67	41
Petro	40°C	85	82
Water Immersion	20°C	90	85

**Heat Aging on polycarbonate substrates**

	Temp	% of initial strength retained at	
		170hr	340hr
Bonded polycarbonate	70°C	100 <sup>1</sup>	100 <sup>1</sup>
Bonded polycarbonate	95°C	100 <sup>1</sup>	100 <sup>1</sup>

**GENERAL INFORMATION**

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet (MSDS).

**Directions for use**

This product is light sensitive. Exposure to daylight, UV light and artificial lighting should be avoided during storage and handling. Product should be dispensed from applicators with black feed lines. For best performance bond surfaces should be cleaned and free from debris or grease. UV cure rate is dependent on lamp types and intensity, distance from light source, depth of cure needed or bondline gap and light transmittance of substrate through which the light must pass.

Recommended intensity for cure in bondline situation is 5 mW/cm<sup>2</sup> minimum (measured at the bondline) with an exposure time of 4-5 times the fixture time at this same intensity. For dry curing of exposed surfaces higher intensity UV is required (100 mW/cm<sup>2</sup> minimum). Cooling should be provided for temperature sensitive substrates such as thermoplastics. Crystalline and semicrystalline thermoplastics should be checked for risk of stress cracking when exposed to liquid adhesive. Excess adhesive can be wiped away with organic solvent. Bonds should be allowed to cool before subjecting to any service loads.

**Storage**

Product shall be ideally stored in a cool, dry location in unopened containers at a temperature between 8°C to 28°C (46°F to 82°F) unless otherwise labeled. Optimal storage is at the lower half of this temperature range. To prevent contamination of unused product, do not

return any material to its original container. For further specific shelf life information, contact your local Technical Service Center.

**Data Ranges**

The data contained herein may be reported as a typical value and/or range. Values are based on actual test data and are verified on a periodic basis.

**Note**

The data contained herein are provided for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing,

**INFORMATION**

THE INFORMATION CONTAIN HEREIN ARE PRESENTED IN GOOD FAITH AND BELIEVED TO BE ACCURATE. IT IS PROVIDED FOR YOUR REFERENCE ONLY. BECAUSE MANY FACTORS MAY AFFECT PERFORMANCE AND FINAL APPLICATION. WE RECOMMEND THAT YOU MAKE TESTS TO DETERMINE THE SUITABILITY OF A PRODUCT FOR YOUR PARTICULAR PURPOSE PRIOR TO USE THIS PRODUCT. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH, OR THAT THE PRODUCTS, DESIGNS, DATA OR INFORMATION MAY BE USED WITHOUT INFRINGING THE INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS OF OTHERS. IN NO CASE SHALL THE DESCRIPTIONS, INFORMATION, DATA OR DESIGNS PROVIDED BE CONSIDERED A PART OF OUR TERMS AND CONDITIONS OF SALE. FURTHER, YOU EXPRESSLY UNDERSTAND AND AGREE THAT THE DESCRIPTIONS, DESIGNS, DATA, AND INFORMATION FURNISHED BY CHEM-MAT HEREUNDER ARE GIVEN GRATIS AND CHEM-MAT ASSUMES NO OBLIGATION OR LIABILITY FOR THE DESCRIPTION, DESIGNS, DATA AND INFORMATION GIVEN.

## 附錄 C 作者簡歷

作者：李志隆

性別：男

生日：民國 72 年 11 月 01 日

E-mail:[r95522703@ntu.edu.tw](mailto:r95522703@ntu.edu.tw)

求學經歷：

國立台灣大學	機械工程學研究所	畢業(97.7)
國立高雄第一科技大學	機械與自動化工程系	畢業(95.6)
國立彰師附工	綜合高中部(機械組)	畢業(91.6)

