

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文

以雙面部分曝光製作封閉型 SU-8 具高低差微流道

**Fabrication of sealed nonuniform SU-8 microchannels by a
novel double-side partial-exposure method**

研究生：溫鎡明

指導教授：徐文祥教授

中華民國九十九年九月

以雙面部分曝光製作封閉型 SU-8 具高低差微流道

學生：溫鉉明

指導教授：徐文祥

摘要

本論文提出一個使用 SU-8 負型光阻，製作封閉型微流道的新式製程。以往封閉式微流道的製作方法多需用到晶片接合製程或多次光阻塗佈。本新式製程特點是僅需單層光阻塗佈，結合雙面部分曝光，無需晶片接合，即可做出封閉型微流道，並且內部截面可具有高低差。

使用負型光阻時，不同正向曝光劑量配合顯影製程，可製作出不同深度的光阻結構已是熟知技術，在此是進一步結合背向曝光，在玻璃基板上鍍鉻圖案作為背向曝光的光罩，可使顯影後底部光阻高度不同，所以結合正向與背向部份曝光後，即可製作出上下皆有高低差的封閉型光阻微結構。在光阻製程部份，實驗結果顯示，先軟烤再洗邊可以大幅提升塗佈厚度的均勻度，並且在塗佈厚度為 $100\ \mu\text{m}$ 時，增加軟烤 95°C 時間至 30 分鐘，可使光阻不會沾黏在光罩上。另外，也探討了曝光微影時的晶片底部反射效應，以注入模具法代替標準旋轉塗佈法可製作出塗佈厚度大於 $200\ \mu\text{m}$ 的光阻結構，並發現正向部分曝光劑量 $78\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ 時，塗佈厚度達 $380\ \mu\text{m}$ 以上，可以大幅消滅反射效應，使顯影後的光阻，在鍍鉻區與透明區具有相同顯影深度。在結合正向與背向部份曝光製程部份，實驗結果發現，SU-8 厚度不足時，正向部分曝光及背向部分曝光在未鍍鉻透明區域會有明顯疊加作用，易造成曝光過量，在提高塗佈厚度至 $380\ \mu\text{m}$ 以上時，本研究找出可行的正向及背向曝光劑量參數組合，成功製作出內部截面具有上下高低差的微流道結構。

Fabrication of sealed nonuniform SU-8 microchannels by a novel double-side partial-exposure method

Student: Hung-Ming Wen

Advisor: Wensyang Hsu

Degree program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Here a novel process is proposed to fabricate sealed micro channels by using negative photoresist SU-8. In previous studies, fabricating sealed micro channels needs either wafer bonding or multiple photoresist coating. The proposed method needs only SU-8 single-layer coating and double-side partial exposure, without wafer bonding, to fabricate not just sealed micro channels, but also sealed micro channels with non-uniform inside cross section.

It is a common technique to fabricate negative photoresist structures having different thickness from the top by various front-side exposure dosages. Here, by further combining back-side exposure, plating Cr pattern on glass substrate to act as the mask for back-side exposure, negative photoresist structures with different thickness, either from the top or the bottom, can be fabricated. From experimental results, it is found that thickness uniformity can be greatly improved when soft bake is conducted before edge bead removal. Also, soft bake at 95°C for 30 minutes can avoid stickiness between the mask and photoresist. Furthermore, reflection effect during exposure is found to be a critical factor on developed photoresist thickness. Using injection mold instead of conventional spin coating method, thickness of SU-8 2075 can be coated above 200 μm easily. It is shown that for front-side exposure dosage of 78 mJ/cm^2 , the reflection effect can be effectively reduced while coated SU-8 thickness is above 380 μm . In combining front-side and back-side exposure, it is also found that, without coating sufficient SU-8 thickness, cross-link effect from double-side exposure will happen to result in over exposure. Finally, while coating SU-8 above 380 μm , a feasible recipe is established to successfully fabricate sealed micro channels with variable inside cross section.

誌謝

經過 3 年的努力終於完成碩士學位，有許多要感謝，首先是得了癌症讓我放棄科學園區辛苦的工作。太太的堅持使我進入交通大學奈米中心工作。中心主任崔秉鉞教授的支持讓我可以同時工作和進修。指導老師徐文祥教授的同意讓我跨入微機電領域，發現微機電是這麼有趣，可以做好多東西。在製程上中心同仁陳明麗小姐、陳悅婷小姐和黃國華先生的協助。實驗室夥伴們教我實驗設備和應用軟體操作並且給予實驗的建議。黃元德教我 SU-8 製程，共同解決製程上種種的困難，同時也分享實驗失敗的失望和解決每一個困難的喜悅，幫我完成背向部分曝光的測試。

每星期的 group meeting 是一種享受，在氣氛輕鬆態度嚴謹中欣賞實驗室夥伴們對實驗想法和方法的創意，討論問題時腦力的激盪，多角度的思考增加對解決問題的周全。徐教授的邏輯推理和獨到的見解，總是一語道破問題的癥結點，使得實驗遇到的瓶頸得以解決。實驗室夥伴們各有專長，互相合作，有活力，讓我難忘的 3 年。

太太同時在交大念博士班，在我上課、寫作業和做實驗時必須獨自照顧女兒，愛撒嬌的女兒讓我窩心。99 年是值得紀念的，太太穿著博士服，我穿著碩士服，帶著可愛的女兒一起參加畢業典禮。

最後感謝我的父母，辛苦養育 4 個小孩，使我有今天。感謝岳父岳母對我的關心，在我住院時岳母到醫院照顧我，妹妹、弟弟和好友朱新民經常到醫院陪我吃飯，讓我可以我活著走出醫院。住院期間太太專心照顧女兒，讓我放心接受治療。出院後太太的照顧和女兒的支持，讓我活到現在。

銘明 2010 初秋 風城

目錄

摘要	I
ABSTRACT	II
誌謝	III
目錄	IV
表目錄	VII
圖目錄	VIII
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 文獻回顧	2
1.2.1 開放式微流道	2
1.2.2 封閉式微流道	6
1.3 研究目標	9
第二章 研究方法	10
2.1 細部設計	10
2.2 製程設備	11
2.3 量測設備	13
第三章 結果	15
3.1 光罩及玻璃試片透光測試	15
3.2 玻璃鍍鉻製程	16
3.3 製作厚度 100 μ m SU-8 光阻製程	17

3.3.1	前置作業	17
3.3.2	光阻塗佈轉速	17
3.3.3	洗邊	18
3.3.4	軟烤之溫度及時間	20
3.3.5	SU-8 厚度與曝光能量值	20
3.3.6	曝後烤	21
3.3.7	顯影及定影	21
3.3.8	總結厚度 100 μ m SU-8 光阻製程	22
3.4	正向單次部分曝光強度與曝光深度	23
3.4.1	初步測試	23
3.4.2	減低鍍鉻區曝光反射效應---增加塗佈厚度	26
3.4.3	總結注入模具法製程	27
3.4.4	增加塗佈厚度降低鍍鉻區的曝光反射現象	28
3.5	正向 2 次重複部分曝光厚度測試	30
3.5.1	測試程序	30
3.5.2	測試結果	30
3.6	背向部分曝光	31
3.6.1	測試程序	31
3.6.2	測試結果	32
3.7	正向 + 背向部分曝光	33
3.7.1	初步測試	33
3.7.2	增加塗佈厚度以減低透明區的正向與背向部分曝光的互相影響	34
第四章 結論		37
4.1	總結	37
4.1.1	塗佈	37

4.1.2 正向部分曝光.....	37
4.1.3 正向+背向部分曝光.....	38
4.2 未來工作.....	38
參考文獻.....	40



表目錄

表 1	透光測試結果	15
表 2	軟烤溫度及時間[15].....	20
表 3	曝光厚度與能量值[15].....	20
表 4	基板曝光劑量[15].....	21
表 5	曝後烤溫度及時間[15].....	21
表 6	顯影時間[15].....	22
表 7	注入量與塗佈厚度	27
表 8	曝光劑量	30
表 9	曝光劑量與厚度	34
表 10	曝光劑量與厚度	35
表 11	樣本與玻璃試片接觸面尺寸	39
表 12	顯影時間對附著性的影響	39



圖目錄

圖 1	(1) 2層乾式光阻做成微流道 (2) SU-8 與乾式光阻做成微流道[1].....	3
圖 2	塗佈 SU-8 光阻 2 次[2].....	3
圖 3	以 RIE 在石英基板做出流道 [3].....	4
圖 4	(1) DRIE 製程示意圖[4] (2) 以 DRIE 蝕刻成漩渦狀[5].....	4
圖 5	(1) 製作流程圖[4] (2) 成型照片[6].....	5
圖 6	乾蝕刻 (非等向+等向) 製作流程示意圖[7]	5
圖 7	SU-8 上下與玻璃接合[8].....	6
圖 8	先在矽基板蝕刻再與玻璃接合[9]	6
圖 9	2 片各塗 SU-8 後再接合[10].....	7
圖 10	以冰塊當犧牲層的流道[11].....	7
圖 11	2 次光阻塗佈做出兩層流道[12].....	8
圖 12	2 次光阻塗佈做出兩層流道[13]	8
圖 13	2 面部分曝光做出懸浮結構[14]	9
圖 14	製作流道流程圖.....	10
圖 15	初步流道尺寸設計	11
圖 16	蒸鍍機	11
圖 17	光阻塗佈機	12
圖 18	紫外光曝光機	12
圖 19	加熱板	13
圖 20	迴轉式震盪器	13
圖 21	超微細表面形狀測定器	13
圖 22	電子顯微鏡	14
圖 23	紫外光強度測試儀	14

圖 24 光源強度測試	15
圖 25 透光測試	15
圖 26 鍍鉻流程	16
圖 27 鍍鉻完成照片	17
圖 28 塗佈厚度與轉速曲線圖[15]	18
圖 29 轉速與塗佈厚度曲線	18
圖 30 旋轉塗佈後先洗邊再軟烤之厚度均勻曲線	19
圖 31 旋轉塗佈後先軟烤再洗邊之厚度均勻曲線	19
圖 32 部分曝光厚度測試流程圖	23
圖 33 塗佈厚度 110 μm 之曝光深度曲線圖	24
圖 34 正向部分曝光劑量(a) 26 mJ/cm^2 (b) 39 mJ/cm^2 (c) 52 mJ/cm^2	24
圖 35 塗佈厚度 120 ~ 150 μm 之曝光深度曲線圖	25
圖 36 正向部分曝光劑量(a) 26 mJ/cm^2 (b) 52 mJ/cm^2 (c) 78 mJ/cm^2	25
圖 37 模具照片	26
圖 38 注入模具法流程	27
圖 39 相同部分曝光劑量 78 mJ/cm^2 在不同塗佈厚度之比較	29
圖 40 單次部分曝光強度 78 mJ/cm^2 在 3 個不同塗佈厚度之照片(a)126.9 μm (b)341.55 μm (c) 383.97 μm	29
圖 41 正向 2 次重複部分曝光厚度測試程序	30
圖 42 正向 2 次重複部分曝光照片 (a) 試片 1 (b) 試片 2	31
圖 43 鍍鉻區之單次與 2 次重複部分曝光深度比較	31
圖 44 背向部分曝光測試程序	32
圖 45 背向部分曝光測試結果	32
圖 46 背向部分曝光劑量 (a) 47 mJ/cm^2 (b) 67 mJ/cm^2 (c) 87 mJ/cm^2	33
圖 47 截面區域定義	34

圖 48 正向+背向部分曝光 (a) 試片 1 (b) 試片 234

圖 49 正向+背向部分曝光 (a) 試片 1 (b) 試片 2 (c) 試片 3 (d) 試片 4.....35

圖 50 試片尺寸區域.....38

圖 51 樣本尺寸定義.....39



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

微流道是微流體系統中之基本元件，在許多的微機械結構，尤其在生物運用愈來愈重要，以半導體製程應用的微機電系統（Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS）隨著製作技術的演進，現在可以做到尺寸很小並且運用在實驗室晶片（laboratory on a chip）， μ TAS（Micro Total Analysis System），噴墨印表頭等。其功能除了在流體輸送並可用在化學分析、生物及化學反應、藥物輸送、分子的分離、連續或同步的核酸反應、環境監測等。它的潛在好處再縮小尺寸、提高效能、降低能量消耗、用完即丟、電子控制整合、價格低等。

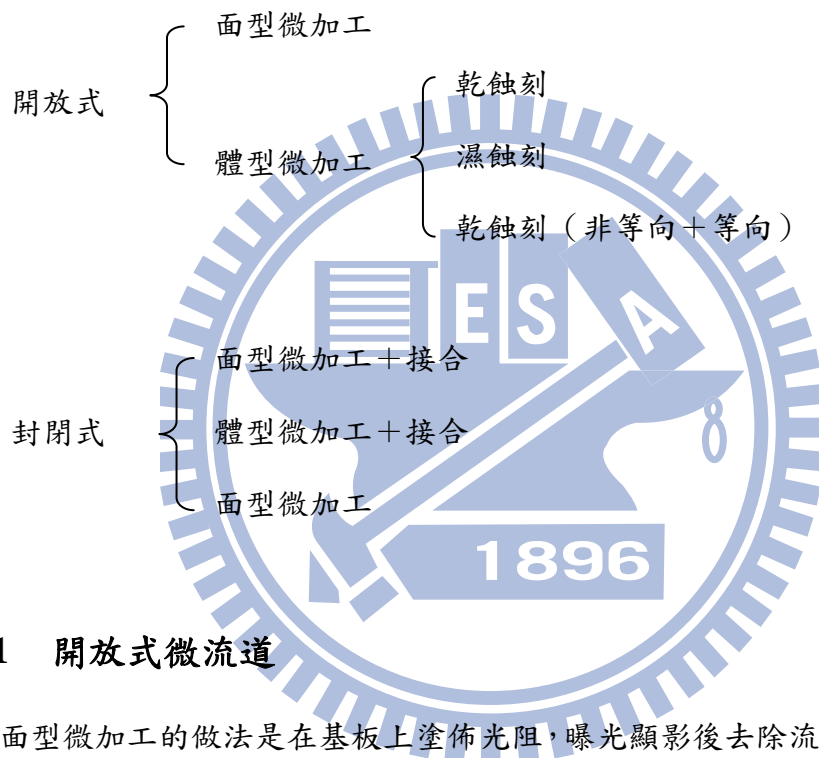
製作開放式的微流道有面型微加工及體型微加工。封閉式微流道的做法有三明治結構，將一片開放式微流道上接合一片基板，兩片開放式接合在一起。但是接合需要高溫及對準，增加製作上的困難。矽晶片的體型微加工方式在製作微流道需要較複雜的製程（多次的微影、蝕刻、沉積及離子植入等），而且需要昂貴的設備，所以成本高，矽晶片是不透明的材料，接合後無法看到流體流動的情形，這些限制了在封閉式微流道的應用。

以高分子材料（PDMS、PMMA）在基板上製造微流道簡化了製作程序並且大大地降低製作費用，避免了昂貴的乾蝕刻設備及濕蝕刻所使用具危險性高的化學品，也使得微流道的應用愈來愈廣。

MICRO·CHEM 發展 SU-8 負型光阻可以做成厚膜，經紫外光照射後成交鏈結構，未曝光部分經由顯影劑洗掉後可以提供流體流動的空間，具高深寬比，僅需要紫外光曝光機，對酸、鹼、有機等具有高度的穩定性，機械結構強，重複塗佈可以製作多層流道，利用部分曝光可以製作流道上蓋，僅需微影製程，高分子材料和 SU-8 均為透明狀，可以看見流體在內部流動的情形，故適合製作封閉式微流道。

1.2 文獻回顧

微流道型式上可分為開放式微流道及封閉式微流道，其製作方式可分為面型微加工及體型微加工。面型微加工是在基板上推疊材料而製作出微流道，體型微加工是以乾蝕刻或濕蝕刻的方法在基板上蝕刻出凹槽，基板可使用矽晶片、玻璃及石英片等。將 1 片開放式和 1 片平面基板接合或是將 2 片開放式接合成封閉式微流道，整理目前的製作方式如下：



1.2.1 開放式微流道

面型微加工的做法是在基板上塗佈光阻，曝光顯影後去除流道上的光阻使流體沿著流道流動。Heuschkel (1998) 的製程分為兩部分，一組為 2 層的乾式光阻，另一組為基板上先塗佈 SU-8 後再滾壓乾式光阻形成部分開放部分封閉式流道，製程如下：(a) 在玻璃基板上滾壓乾式光阻，厚度 $25\mu\text{m}$ ，(b) 曝光顯影後做出第 1 層微流道，(c) 再滾壓第 2 層乾式光阻，厚度 $25\mu\text{m}$ ，(d) 曝光顯影後形成深 $50\mu\text{m}$ 的微流道，(e) 在玻璃基板上塗佈 SU-8 光阻，厚度 $25\mu\text{m}$ ，(f) 曝光顯影後做出第 1 層微流道，(g) 再滾壓第 2 層乾式光阻，厚度 $25\mu\text{m}$ ，(h) 曝光顯影後形成深 $50\mu\text{m}$ 的微流道。其結果乾式光阻之間的接合性不好，乾式光阻與 SU-8 的接合性很好[1]，如圖 1。

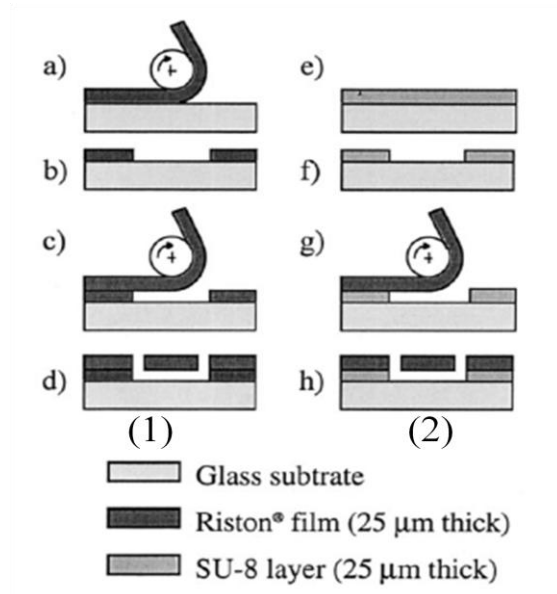


圖 1 (1) 2 層乾式光阻做成微流道 (2) SU-8 與乾式光阻做成微流道[1]

Jackman (2001) 的製程為 2 次塗佈 SU-8 光阻，製程如下：(a) 在矽基板上塗佈第 1 層 SU-8 光阻，厚度 $25\mu\text{m}$ ，(b) 曝光後立即曝後烤，避免第 2 次曝光，(c) 再塗上第 2 層 SU-8 光阻，厚度 $25\mu\text{m}$ ，(d) 曝光後立即曝後烤，(e) 顯影去除光阻後形成下窄上寬的完全開放式微流道[2]，如圖 2。

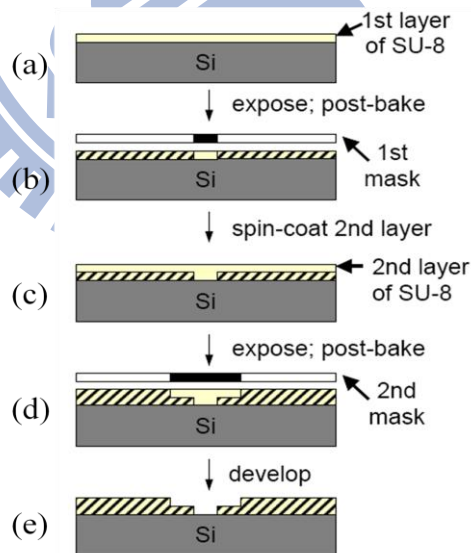


圖 2 塗佈 SU-8 光阻 2 次[2]

體型微加工是在基板上以乾蝕刻或濕蝕刻做出凹槽的微流道，He (1998) 在石英基板上以 RIE 蝕刻出微流道 [3]，如圖 3。

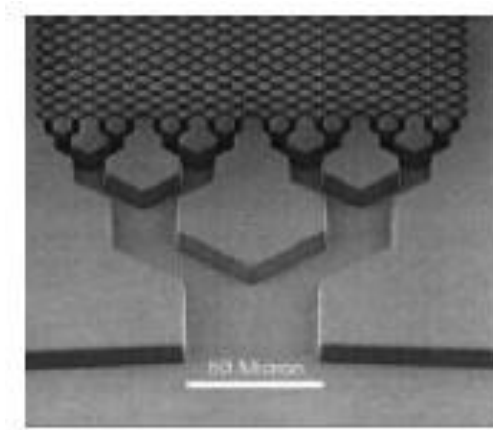


圖 3 以 RIE 在石英基板做出流道 [3]

DRIE (Deep RIE)的原理是利用具非等向性蝕刻反應之電漿源，以 SF_6 電漿蝕刻與聚合物氣體 (C_4F_8) 反應形成高分子蔽覆層(polymeric passivation layer)之另一種電漿源，使兩者反覆地交替進行之製程方法，深寬比可以達 20:1，以達到矽晶片深蝕刻之製程要求，如圖 4 (1)[4]。Anduze (2001) 在矽基板上以 DRIE 蝕刻成漩渦狀[5]，如圖 4 (2)。

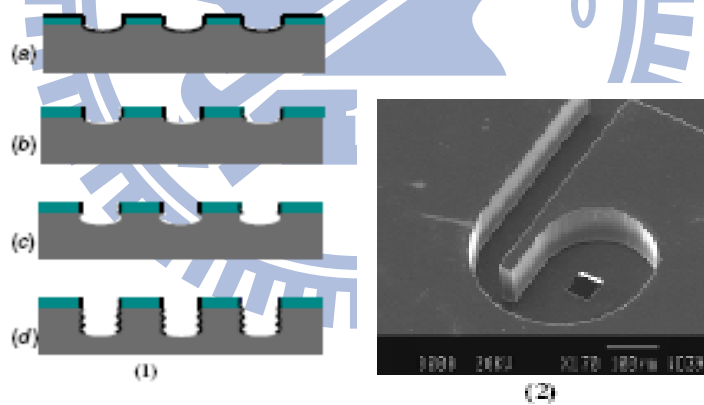


圖 4 (1) DRIE 製程示意圖[4] (2) 以 DRIE 蝕刻成漩渦狀[5]

Verpoorte (2003) 以濕蝕刻在玻璃基板上做出微流道，製程如下：(a) 在石英基板上沉積氮化矽，(b) 塗佈正光阻，(c) 曝光，(d) 顯影，(e) 以 RIE 去除流道上的氮化矽，(f) 去光阻，(g) 以濕蝕刻做成凹槽的流道，(h) 去除氮化矽[6]，如圖 5。

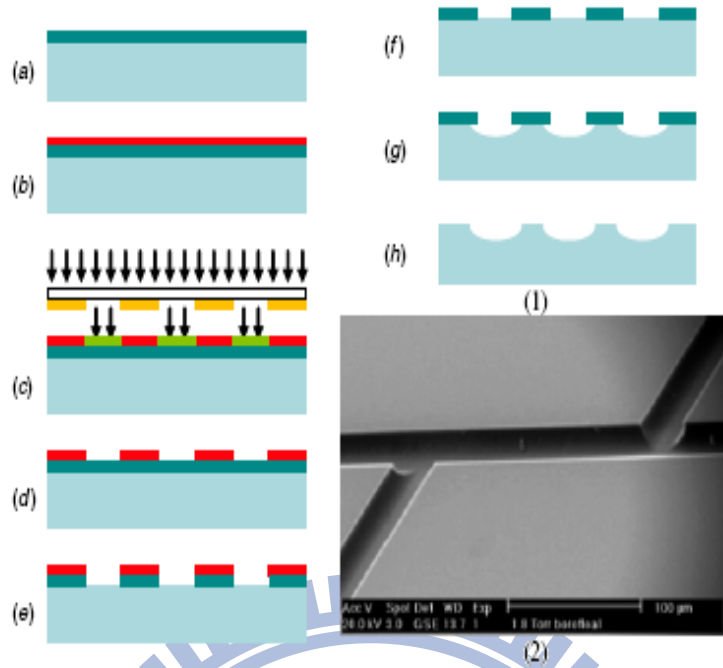


圖 5 (1) 製作流程圖[4] (2) 成型照片[6]

Zhang (1992) 以乾蝕刻 (非等向+等向) 製作流道, 製程如下: (a) 在沉積好 SiO_2 的矽基板上塗佈光阻, (b) 去除 SiO_2 , (c) 以非等向乾蝕刻出深的凹槽, (d) 沉積 SiO_2 , (e) 鍍鋁, (f) 塗佈光阻, (g) 以非等向乾蝕刻去除凹槽底部的鋁和 SiO_2 , 直到露出矽, (h) 等向乾蝕刻將凹槽底部掏空聯結成大的流道[7], 如圖 6。

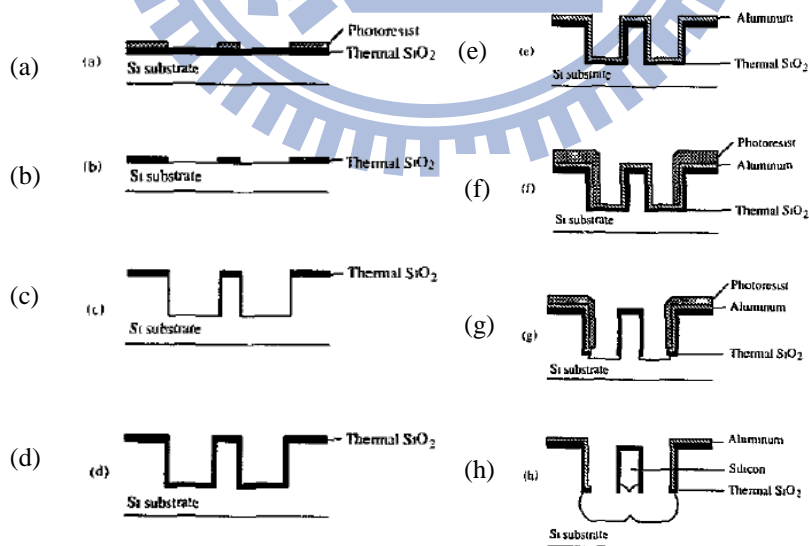


圖 6 乾蝕刻 (非等向+等向) 製作流程示意圖[7]

1.2.2 封閉式微流道

要做成封閉式微流道，先在基板上做出微流道，再與另一片基板以接合方式做成，此基板可以是單純的平面或有微流道的基板形成三度空間的結構。Lin (2002) 將 SU-8 做成厚膜 500 μ m 的塊狀，上下與玻璃用 UV glue 接合[8]，如圖 7。此為面型微加工+接合。

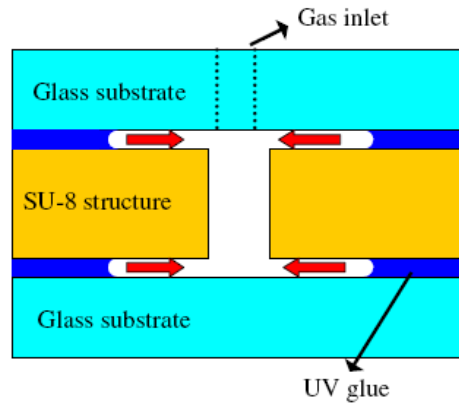


圖 7 SU-8 上下與玻璃接合[8]

Fintschenko (1998) 提供另一種做法，製程如下：(a) 在矽基板蝕刻三種形狀的凹槽，(b) 在凹槽上沉積氮化矽，(c) 與玻璃用陽極接合，(d) 將矽蝕刻掉，(e) 塗上膠質或高分子材料[9]，如圖 8。此為體型微加工+接合。

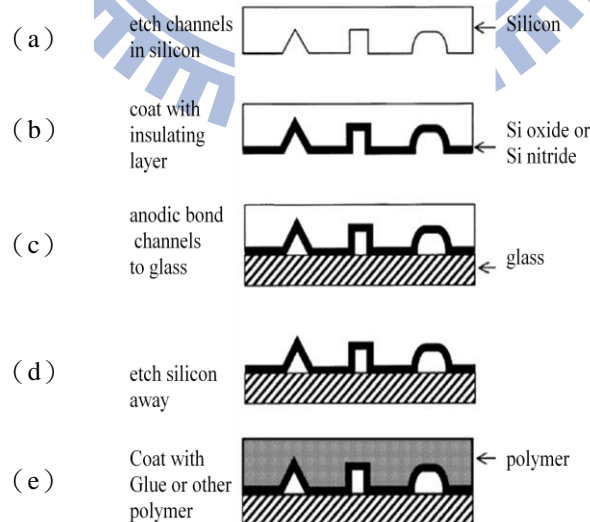


圖 8 先在矽基板蝕刻再與玻璃接合[9]

Blanco (2004) 以三明治的做法製作流道，製程如下：(1) 以矽基板為底，右邊的矽基板鑽三個孔做為流道進出口，(2) 左右 2 片各塗佈 SU-8 光阻，厚度 20 ~ 50 μm ，(3) 曝光及顯影，(4) 接合，100 ~ 120°C、300 KPa、20 min，(5) 成型[10]，如圖 9。此為面型微加工 + 體型微加工 + 接合。

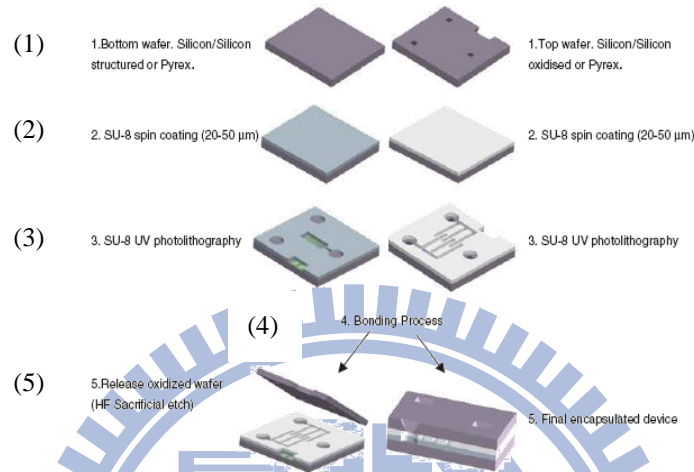


圖 9 2 片各塗 SU-8 後再接合[10]

接合的缺點有 (1) 需要高溫 (2) 結構可能被破壞 (3) 接合點對準偏差 (4) 洩漏 (5) 基板破裂 (因壓力) 等，因此增加製作的困難。

面型微加工主要在基板上往上堆疊做出希望的結構。有用犧牲層的方式做成微流道，用負型厚膜光阻，其未曝光的部分可以做流體流動的空間。Li (2003) 以冰塊當犧牲層，塗上可以用紫外光定型的光阻，冰塊溶解後形成微流道[11]，如圖 10。

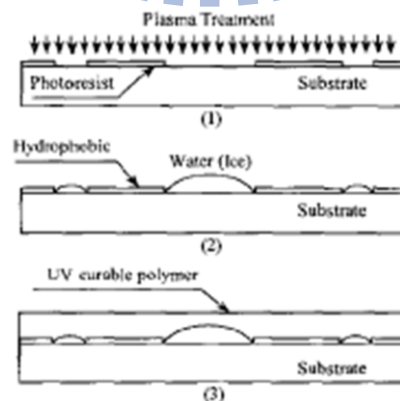


圖 10 以冰塊當犧牲層的流道[11]

Chuang (2003) 以塗佈 2 次 SU-8 光阻並各自曝光做成上下層流道，在 SU-8

下有 1 層金屬以防止曝光時的反射而使得曝光均勻度佳。製程如下：(a) 塗佈防止反射金屬層，(b) 塗佈 SU-8 後曝光，(c) 部分曝光形成流道的上蓋，(d) 在第 1 層 SU-8 上塗佈防止反射金屬層，(e) 製作第 2 層流道，(f) 去除未曝光的光阻及 2 層要相通流道的金屬[12]，如圖 11。

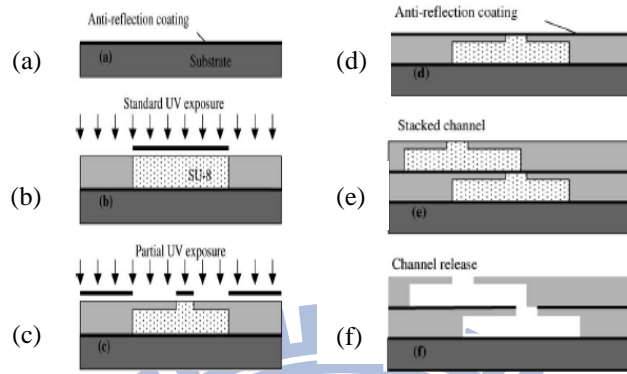


圖 11 2 次光阻塗佈做出兩層流道[12]

Gracias (2006) 以 2 次光阻塗佈，多層變化的流道，製程如下：(a) 矽基板上塗佈 SU-8，厚度 $100\mu\text{m}$ ，(b) 照射紫外光曝光能量 500 mJ/cm^2 使厚度 $100\mu\text{m}$ 的 SU-8 曝光到基板，(c) 再塗佈第 2 層 SU-8，(d) 照射紫外光曝光能量 500 mJ/cm^2 使 SU-8 曝光達到 $100\mu\text{m}$ ，(e) 曝光使第 1 層流道上蓋成形，(f) 部分曝光形成第 2 層流道的上蓋，(g) 顯影[13]。如圖 12。

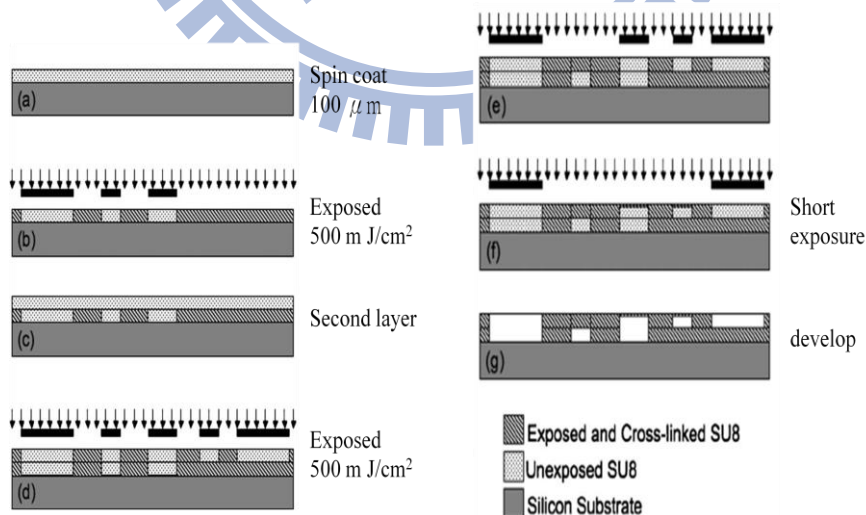


圖 12 2 次光阻塗佈做出兩層流道[13]

綜合以上之文獻，目前要製作 2 層微流道的方法有 3 個，(1) 在基板上塗佈 2

次光阻，(2) 2 片基板上個別蝕刻微流道後接合在一起，(3) 2 片基板上個別塗佈光阻製作出微流道後再接合。過程需要多次塗佈、接合，如此限制了截面型狀的變化。

1.3 研究目標

本研究目標為開發新的方法製作封閉式微流道，其特點為：

- (1) 單層塗佈 SU-8
- (2) 不用接合
- (3) 流道內截面形狀可變化

Chung (2007) 等人提出在雙面部分曝光製程技術，並應用在正光阻 AZ9620 做出懸浮結構[14]，如圖 13，其特點是以玻璃為基板、在基板上鍍不同厚度的鈦、一次塗佈及正、背雙面部分曝光。

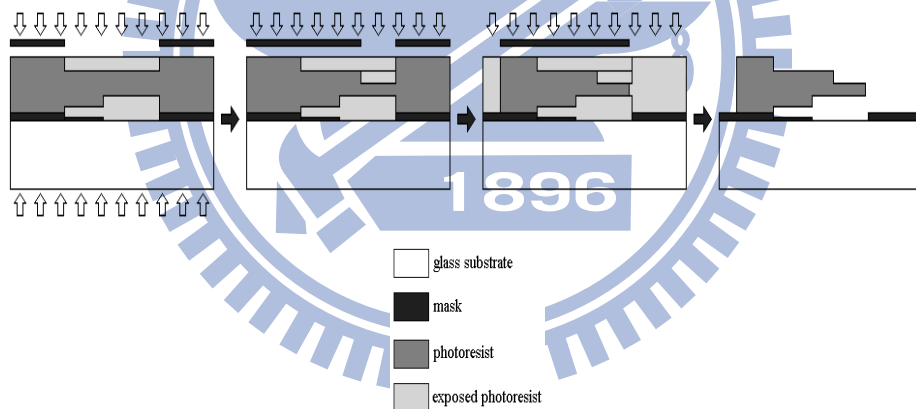


圖 13 2 面部分曝光做出懸浮結構[14]

在此就是要拓展雙面部分曝光技術至負型光阻，因為曝光後的圖形與光罩相反，塗佈厚度可從 $20\ \mu\text{m}$ 到 $650\ \mu\text{m}$ ，曝光部分可以做為流道的結構，未曝光部分經由顯影劑去除後可以提供流體流動的空間。

第二章 研究方法

2.1 細部設計

玻璃試片採用厚度 $500\ \mu\text{m}$ 的鈉玻璃，裁成 $6 \times 6\ \text{cm}$ 正方形。在試片上鍍鉻的目的，在背向曝光時當作光罩以擋住不要曝光的區域。鍍鉻區範圍為 $4 \times 4\ \text{cm}$ 正方形，再細分成 4 個區域，各為 $2 \times 2\ \text{cm}$ 正方形，從上視圖各區的微流道尺寸別為 $900 \times 100\ \mu\text{m}$ 、 $900 \times 200\ \mu\text{m}$ 、 $900 \times 300\ \mu\text{m}$ 、 $900 \times 400\ \mu\text{m}$ 。這樣的規畫可以使一片 $12 \times 12\ \text{cm}$ 的光罩上放 3 個正面曝光以及 1 個鍍鉻的圖案。

製作流程：(a) 塗佈 SU-8，(b) 正向曝光，(c) 正向第一次部分曝光，(d) 正向第二次部分曝光，(e) 背向部分曝光，(f) 以顯影劑去除未曝光的光阻，如圖 14。

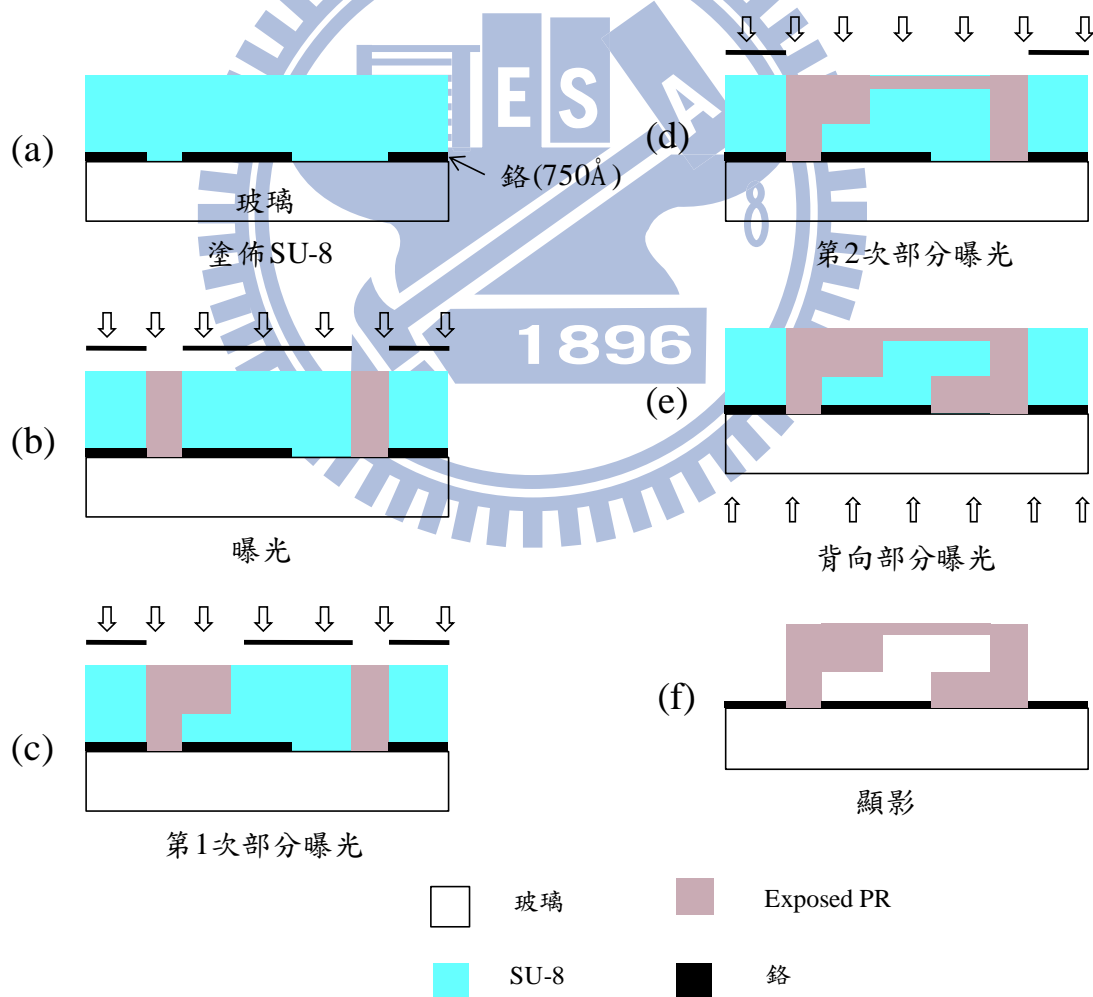
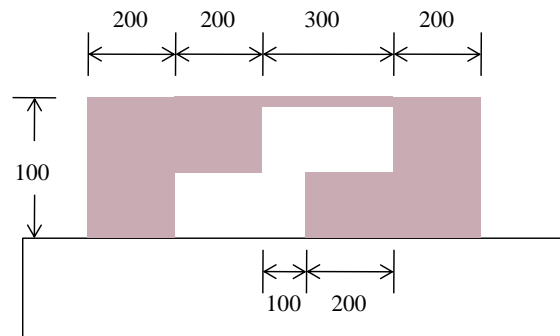


圖 14 製作流道流程圖

初步的塗佈厚度以及截面尺寸設計如圖 15。



Unit: μm

圖 15 初步流道尺寸設計

2.2 製程設備

(1) 蒸鍍機 (ULVAC EBX-10C)

實驗過程中需要測試許多的數據以及方法，失敗率很高，因此試片的消耗很大。此蒸鍍機(圖 16)可以一次放入 18 片 6" 晶片進行鍍鉻，對於實驗進行時間的縮短有很大的幫助。



圖 16 蒸鍍機

(2) 光阻塗佈機 (KarlSuss RC-8)

由於厚膜光阻需要可以設定加速度的光阻塗佈機慢慢的旋開，以得到良好的均

勻度，如圖 17。



圖 17 光阻塗佈機

(3) 紫外光曝光機

光源為波長 $365\ \mu\text{m}$ 的汞燈。具有光源強度調整器，可以使照射到試片的光強度穩定，不會因為汞燈的衰減而影響曝光劑量。其最短設定時間為 $0.1\ \text{sec}$ ，增加對於曝光劑量控制的彈性，如圖 18。

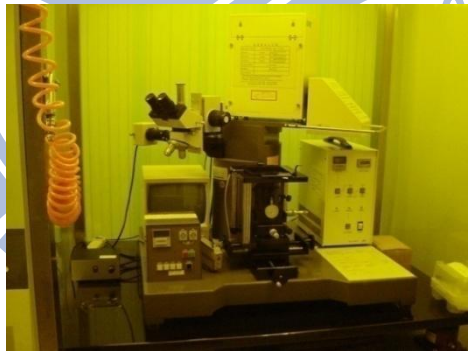


圖 18 紫外光曝光機

(4) 加熱平板

光阻內的有機溶劑需要以加熱方式去除，加熱方法有使用烤箱及加熱板兩種，烤箱會使光阻表面先凝固因而使光阻內部的有機溶劑不容易蒸發，加熱板從光阻底部加熱使有機溶劑蒸發，效果比較好，如圖 19。



圖 19 加熱板

(5) 迴轉式震盪器

顯影時需要一直搖晃使顯影液流動，可以均勻的去除了未曝光的負型光阻並且加快顯影時間，若浸泡太久，光阻容易從試片剝離。使用可以設定時間及無段轉速設定(20 ~ 500 rpm)的迴轉式震盪器(圖 20)，可節省人力並且使顯影液流動穩定。



圖 20 迴轉式震盪器

2.3 量測設備

(1) 超微細表面形狀測定器 ET-4000

在做完塗佈厚度試驗的製程後可以立即量測結果，無需破片。量測範圍： 100 \AA ~ $100 \mu\text{m}$ ，如圖 21。



圖 21 超微細表面形狀測定器

(2) 掃描式電子顯微鏡 (S-3000N)

在觀察剖面及量測高度時需要使用電子顯微鏡，必須將試片裁切成 $< 2 \times 2 \text{ cm}$ 正方形才可以放進腔體內觀察。在裁切已經完成製程的試片時，為了避免破壞樣本，必須將樣本面朝下，在沒有樣本的面做裁切。此電子顯微鏡的度解析度為 4.5 nm ，放大倍數可以達 8 萬倍，如圖 22。



圖 22 電子顯微鏡

(3) 紫外光強度測試儀

由於曝光機汞燈的光源強度會衰減，因此每次曝光前必須先測試光源強度，當光源強度衰減時需調整光源強度調整器到需要的光源強度。使用的光源感應器只偵測波長 365 nm ，如圖 23。

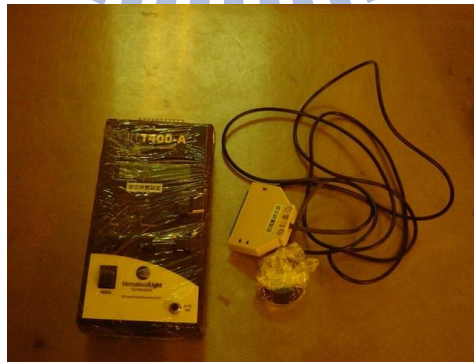


圖 23 紫外光強度測試儀

第三章 結果

3.1 光罩及玻璃試片透光測試

曝光機上的紫外光經過玻璃會衰減，為了確實掌握光阻實際感光的曝光劑量，首先將光源強度計放在試片載台上測紫外光源的強度，如圖 24。接著將素光罩以及素玻璃試片分別放在光源強度計上測試紫外光經過玻璃後得到的值，如圖 25。測試結果如表 1。

表 1 透光測試結果

	光罩	玻璃試片
曝光強度(mW/cm^2)	26	27
透光率 (%)	87	90

光源： $30 \text{ mW}/\text{cm}^2$

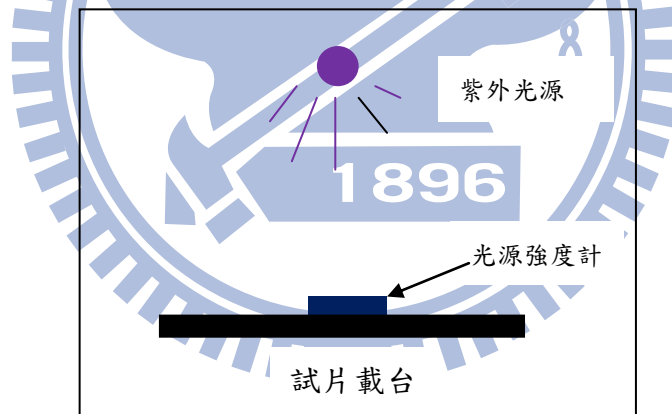


圖 24 光源強度測試

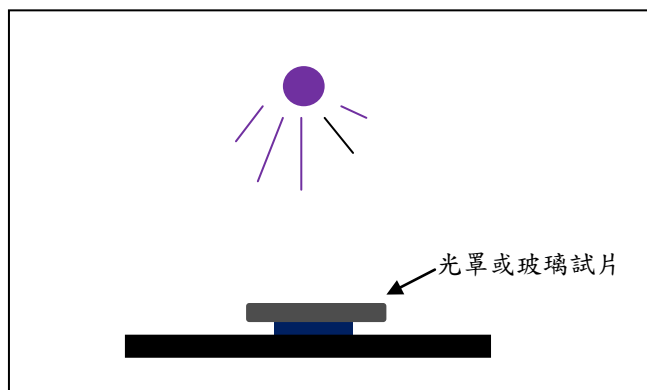


圖 25 透光測試

3.2 玻璃鍍鉻製程

首先在玻璃上鍍一層鉻做為背向曝光用的光罩，以 leaf off 方式去除不要的鉻。在 $6 \times 6 \text{ cm}$ 的玻璃試片內鍍鉻範圍為 $4 \times 4 \text{ cm}$ 。選用正光阻 F-6400，經過試驗曝光能量在 $130 \sim 160 \text{ mJ/cm}^2$ 所得到圖形的效果最佳。微影所使用的光罩其鍍鉻的厚度是 $1,000\text{\AA}$ ，經過試驗在玻璃上鍍鉻的厚度 750\AA 就可以擋住紫外光。製程如下：(a) 清潔： $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ (3:1)，10 min，(b) 清洗：DI water，3 min，(c) 去水烘烤： 120°C ，10 min，(d) HMDS： 120°C ，5 min，(e) 注入 F-6400，(f) 旋轉：第 1 段 500 rpm，5 sec，第 2 段 2000 rpm，30 sec，(g) 軟烤： 90°C ，1 min，(h) 曝光：UV 365 nm， 140 mJ/cm^2 ，(i) 顯影：FHD-5，1 min，(j) 定影：DI water，1 min，(k) 硬烤： 120°C ，2 min，(l) 鍍鉻： 750\AA ，(m) 去光阻：丙酮+超音波震盪。圖 26 為鍍鉻流程示意圖，完成鍍鉻的照片如圖 27。

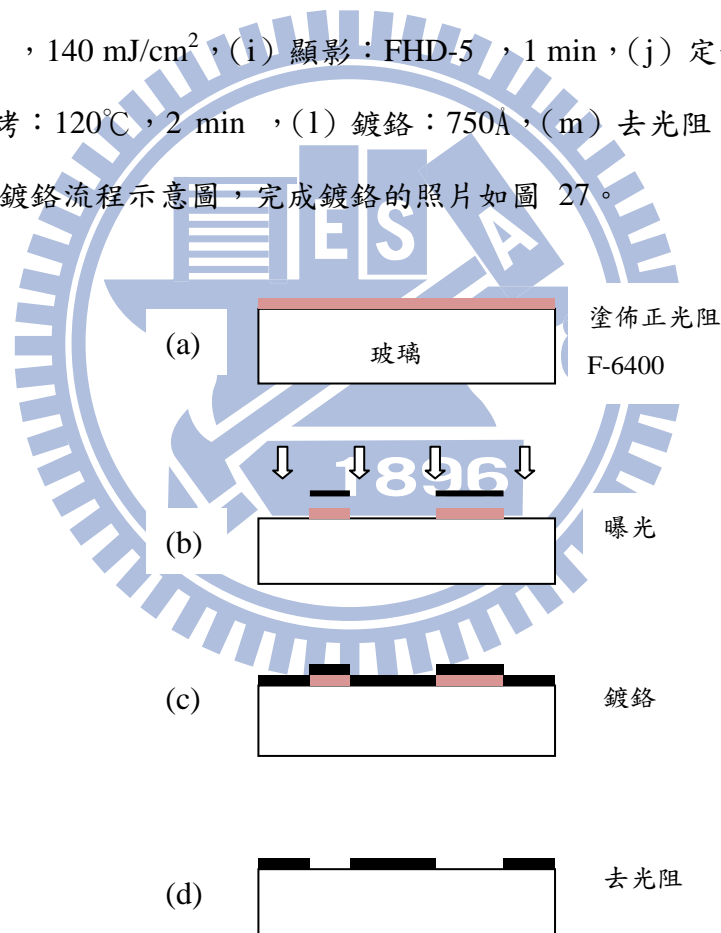


圖 26 鍍鉻流程

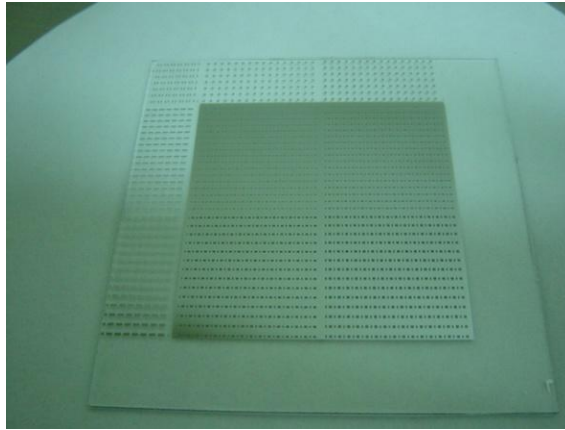


圖 27 鍍鉻完成照片

3.3 製作厚度 $100\ \mu\text{m}$ SU-8 光阻製程

依照 MICRO·CHEM 建議的製作流程為 (a) 前置作業, (b) 塗佈, (c) 洗邊, (d) 軟烤, (e) 曝光, (f) 曝後烤, (g) 顯影。每個步驟之說明如下：

3.3.1 前置作業

首先將玻璃試片清潔，目的在去除有機物及微粒，使用化學藥劑為硫酸+雙氧水。HMDS 可以使增加光阻的附著性，將試片放在鐵盤內，試片周圍滴數滴的 HMDS，蓋上鋁箔紙封好，然後放在加熱板上加熱以蒸發方式將 HMDS 塗在試片上。

處理流程：(a) $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ (3:1) 10 min，(b) 清洗：DI water，3 min，(c) 去水烘烤： $120\ ^\circ\text{C}$ ，10 min，(d) HMDS： $120\ ^\circ\text{C}$ ，5 min。

3.3.2 光阻塗佈轉速

光阻注入量 1 ml/inch diameter

以光阻厚度為 $100\ \mu\text{m}$ 為例，選用 SU-8 2075，由 MICRO·CHEM[15]提供的轉速資料第一次轉速 500 rpm、5 ~ 10 sec、加速度 100 rpm/sec，第二次轉速依 SU-8 編號及厚度曲線決定所需要的轉速，時間為 30 sec、加速度 300 rpm/sec。由 SU-8 2075 的曲線中可以決定轉速在 2200 rpm，如圖 28。

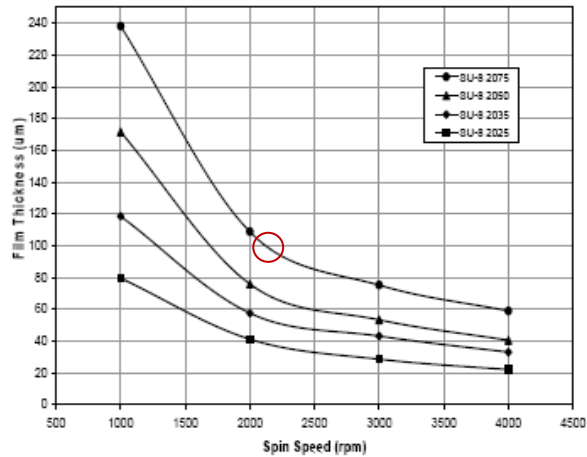


圖 28 塗佈厚度與轉速曲線圖[15]

使用 RC-8 塗佈機以 2200 rpm 旋轉塗佈厚度在 120 μ m，測試從 1900 rpm 至 2700 rpm 的塗佈厚度如圖 29。結果塗佈厚度比 SU-8 2075 data sheet 的值略高。在 2500 rpm 時接近塗佈厚度 100 μ m。

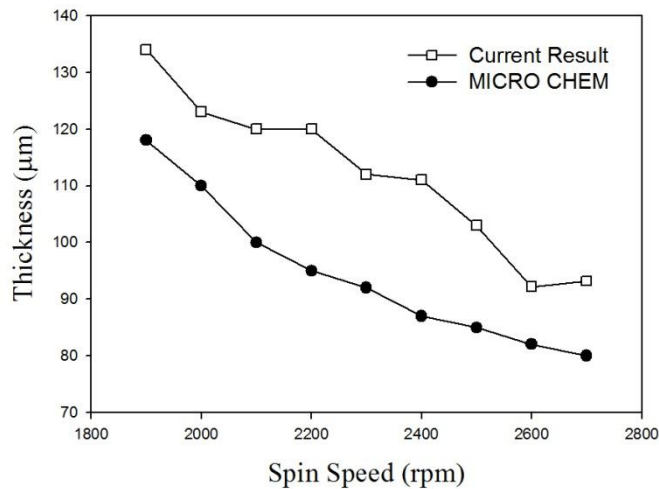


圖 29 轉速與塗佈厚度曲線

3.3.3 洗邊

旋轉塗佈完成後需要立即洗邊，避免光阻汙染其他設備，使用的化學品為丙酮，轉速設定 500 rpm，25 sec。

在塗佈厚度測試時發現其厚度的均勻度差異很大，如圖 30。觀察在旋轉塗佈的第 2 段轉速後其光阻的表面很平整，但是洗邊後光阻表面出現同心圓的凹凸狀，推

測其原因為洗邊時的旋轉造成光阻再次流動而破壞厚度的均勻度。經過測試在軟烤後使光阻凝固後，不會受到洗邊時旋轉的擾動而破壞光阻表面的均勻度，然後再洗邊即可得到較佳的均勻度，如圖 31。

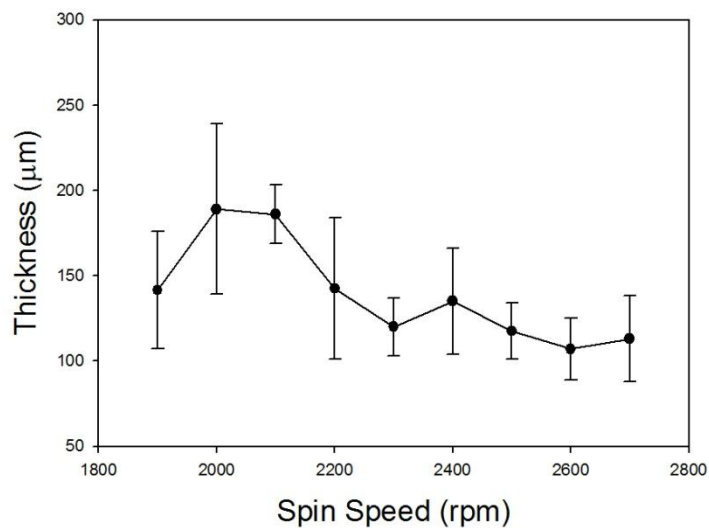


圖 30 旋轉塗佈後先洗邊再軟烤之厚度均勻曲線

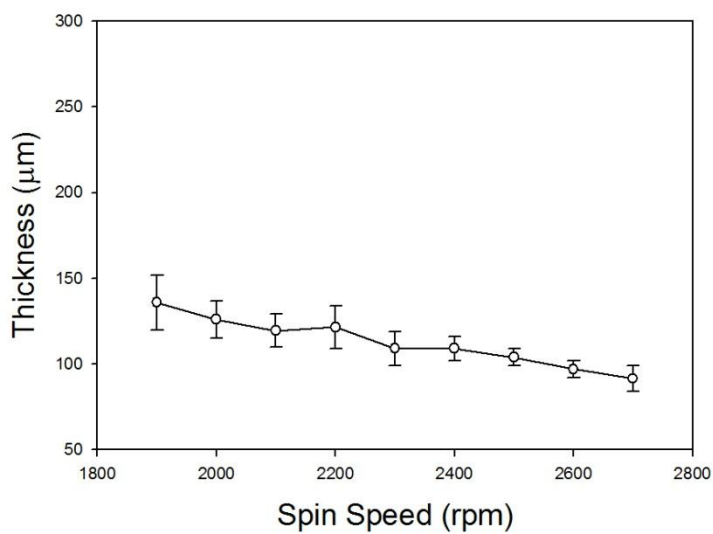


圖 31 旋轉塗佈後先軟烤再洗邊之厚度均勻曲線

3.3.4 軟烤之溫度及時間

軟烤的目的是將光阻內的有機溶劑蒸發使光阻凝固。塗佈好的光阻試片必須放在加熱板上，有機溶劑從光阻內部蒸發，使光阻由液態經過軟烤後成為固態。實驗過程中發現塗佈好的光阻試片必須均勻受熱，光阻同時受熱可以維持原狀，若光阻受熱不均勻會扭曲變形。軟烤時間以測試厚度 100 μ m 時之軟烤時間以內插法算出需 5 min @65 $^{\circ}$ C，16 min@95 $^{\circ}$ C，如表 2。

表 2 軟烤溫度及時間[15]

THICKNESS microns	SOFT BAKE TIMES	
	(65 $^{\circ}$ C) minutes	(95 $^{\circ}$ C) minutes
25 - 40	0 - 3	5 - 6
45 - 80	0 - 3	6 - 9
85 - 110	5	10 - 20
115 - 150	5	20 - 30
160 - 225	7	30 - 45

由上述時間的軟烤後以接觸式曝光時部分未凝固的光阻會有被壓平的痕跡，甚至黏在光罩上。經過試驗在 30 分鐘方可以使光阻不沾黏在光罩上，可以使用晶片夾在光阻表面上碰觸，沒有凹陷則表示光阻已經凝固。

3.3.5 SU-8 厚度與曝光能量值

負型光阻在感光後形成交鏈，使感光後的光阻結構加強而不會溶於顯影劑。曝光機使用的光源為波長 365 nm 的紫外光。目標厚度 100 μ m，以內插法算出需要的能量值為 230 mJ/cm²，如表 3。

表 3 曝光厚度與能量值[15]

THICKNESS microns	EXPOSURE ENERGY mJ/cm ²
25 - 40	150 - 160
45 - 80	150 - 215
85 - 110	215 - 240
115 - 150	240 - 260
160 - 225	260 - 350

基板曝光劑量表建議玻璃基板需要的曝光劑量為 $230 \text{ mJ/cm}^2 \times 1.5 = 345 \text{ mJ/cm}^2$ ，如表 4。

表 4 基板曝光劑量[15]

RELATIVE DOSE	
Silicon	1X
Glass	1.5X
Pyrex	1.5X
Indium Tin Oxide	1.5X
Silicon Nitride	1.5 - 2X
Gold	1.5 - 2X
Aluminum	1.5 - 2X
Nickel Iron	1.5 - 2X
Copper	1.5 - 2X
Nickel	1.5 - 2X
Titanium	1.5 - 2X

3.3.6 曝後烤

曝後烤的目的在使光阻內殘留的有機溶劑降到最低，使光阻形成更穩定的結構。

測試厚度 $100\mu\text{ m}$ 時需 $3.8 \text{ min @ } 65^\circ\text{C}$ ， $9.2 \text{ min @ } 95^\circ\text{C}$ ，如表 5。

表 5 曝後烤溫度及時間[15]

THICKNESS	PEB TIME (65°C) [*]	PEB TIME (95°C)
microns	minutes	minutes
25 - 40	1	5 - 6
45 - 80	1 - 2	6 - 7
85 - 110	2 - 5	8 - 10
115 - 150	5	10 - 12
160 - 225	5	12 - 15

* Optional step for stress reduction

3.3.7 顯影及定影

顯影的目的是去除未感光的光阻。使用的顯影液為 SU-8 Developer。顯影時間以測試厚度 $100\mu\text{ m}$ 時軟烤時間以內插法算出需 9 min ，如表 6。

表 6 顯影時間[15]

THICKNESS microns	DEVELOPMENT TIME minutes
25 - 40	4 - 5
45 - 75	5 - 7
<u>80 - 110</u>	<u>7 - 10</u>
115 - 150	10 - 15
160 - 225	15 - 17

定影的目的是清洗顯影液，避免日後殘留的顯影液影響光阻的形狀。定影以 IPA 沖洗 10 sec。

3.3.8 總結厚度 100 μm SU-8 光阻製程

1. 玻璃試片：6 × 6 cm
2. 清潔：H₂SO₄ + H₂O₂ (3:1)，10 min
3. 清洗：DI water，3 min
4. 去水烘烤：120 °C，10 min
5. HMDS：120 °C，5 min
6. 注入 SU-8 約 3 ml
7. 旋轉

	rpm/sec	rpm	sec
第一段	100	500	10
第二段	300	2500	30

8. 軟烤

°C	min
65	5
95	30

9. 洗邊：500 rpm，25 sec，acetone
10. 曝光：345 mJ/cm²

11. 曝後烤

°C	min
65	3.8
95	9.2

12. 顯影：SU-8 Developer ， 10 min ， 迴轉式震盪機 70 rpm

13. 定影：IPA ， 10 sec

3.4 正向單次部分曝光強度與曝光深度

利用正向部分曝光可以製作流道的上蓋而形成封閉式的流道，首先測試部分曝光強度與曝光深度的關係，以適當的曝光強度得到希望的曝光深度。

3.4.1 初步測試

測試程序：(a) 塗佈光阻，(b) 正向曝光，(c) 部分曝光，(d) 去光阻，如圖 32。

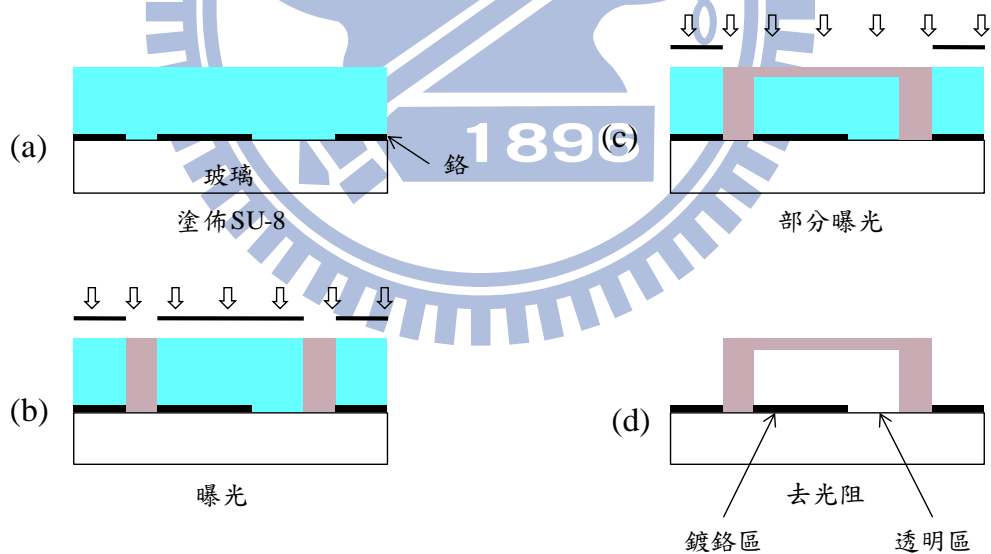


圖 32 部分曝光厚度測試流程圖

以平均塗佈厚度 $110\ \mu\text{m}$ 之 3 片試片分別照射曝光能量 26 、 39 、 $52\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ ，發現在曝光能量 39 、 $52\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ 的試片中其鍍鉻區與透明區呈現不同的曝光深度，如圖 33 及圖 34(b)、(c)。推測鍍鉻區因為反射使得曝光劑量增加，因此曝光深度比較厚。

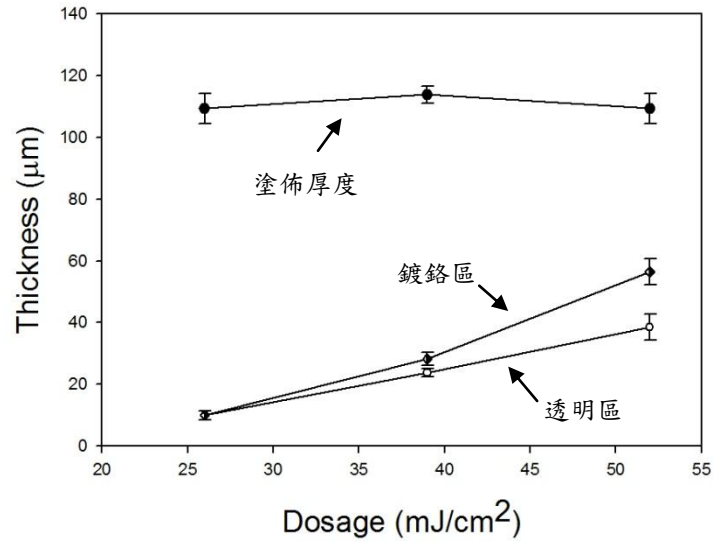
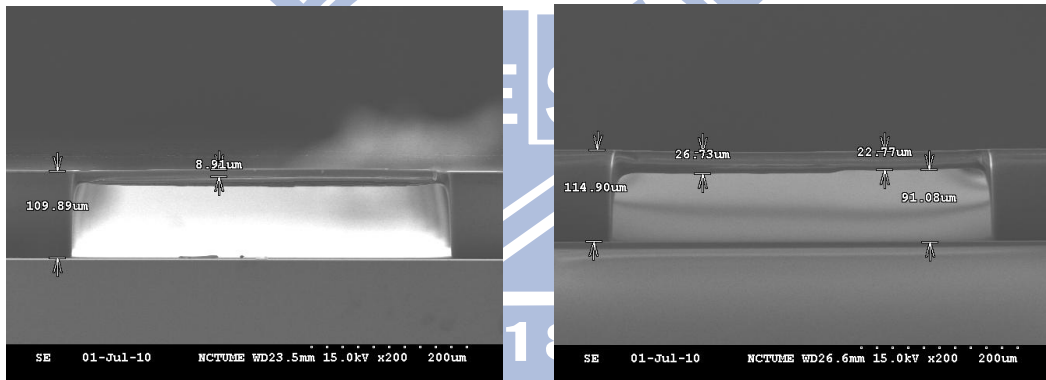
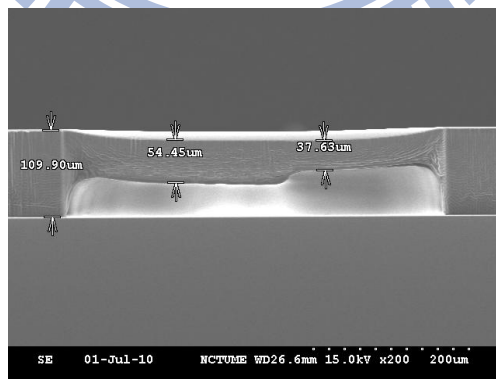


圖 33 塗佈厚度 110 μm 之曝光深度曲線圖



(a) 26 mJ/cm²

(b) 39 mJ/cm²



(c) 52 mJ/cm²

圖 34 正向部分曝光劑量(a) 26 mJ/cm² (b) 39 mJ/cm² (c) 52 mJ/cm²

增加塗佈厚度至 $120 \sim 150 \mu\text{m}$ ，在曝光能量 $52 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 的試片中其鍍鉻區與透明區仍然呈現不同的曝光深度，如圖 35 及圖 36 (b) (c)。

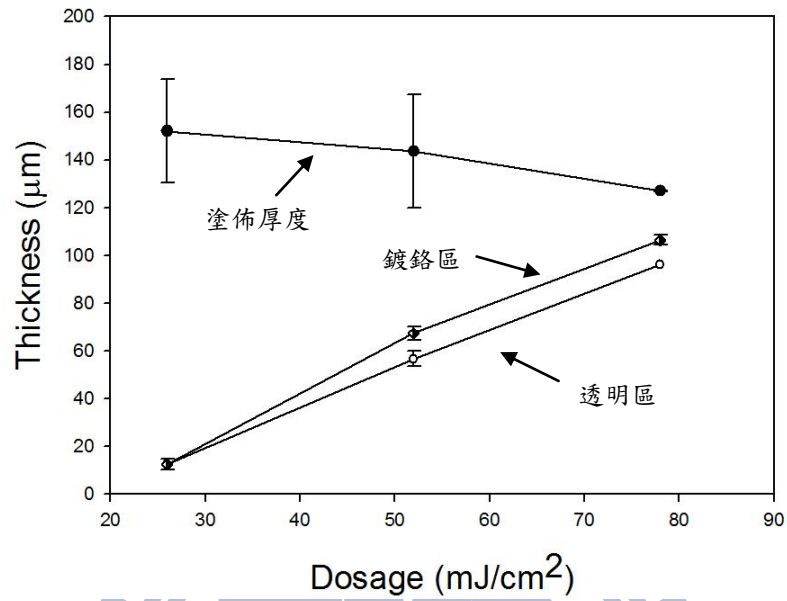
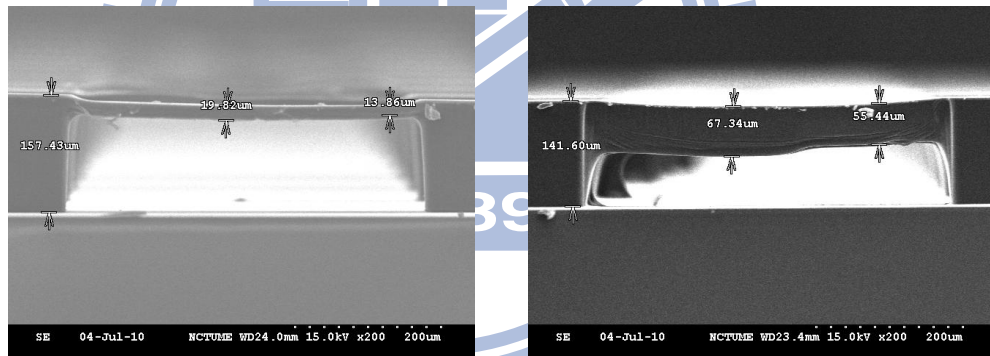
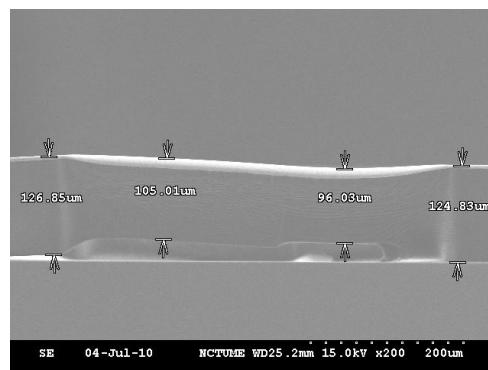


圖 35 塗佈厚度 $120 \sim 150 \mu\text{m}$ 之曝光深度曲線圖



(a) $26 \text{ mJ}/\text{cm}^2$

(b) $52 \text{ mJ}/\text{cm}^2$



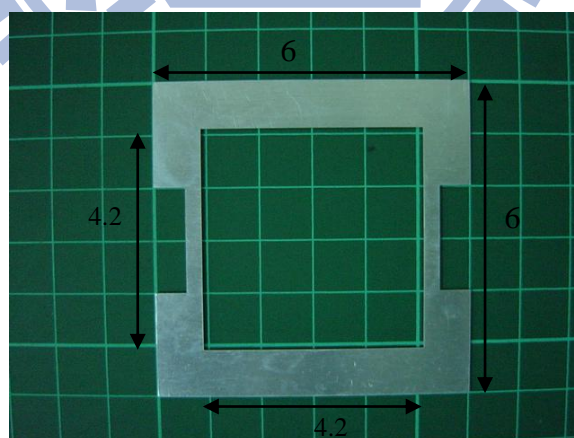
(c) $78 \text{ mJ}/\text{cm}^2$

圖 36 正向部分曝光劑量(a) $26 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ (b) $52 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ (c) $78 \text{ mJ}/\text{cm}^2$

3.4.2 減低鍍鉻區曝光反射效應---增加塗佈厚度

光的強度會因為距離加大而減小，要減低鍍鉻區的反射效應必須增加塗佈厚度，使光的能量在到達鍍鉻區之前消失，或者反射的光能量不至於使曝光深度增加。SU-8 2075 以旋轉塗佈方式的塗佈厚度只能到 $240\ \mu\text{m}$ [15]，以注入模具的方法可以增加塗佈厚度。原先設計十字 align key 的寬度為 $50\ \mu\text{m}$ ，在塗佈厚度 $150\ \mu\text{m}$ 時容易對準，由於塗佈厚度的增加使得對準因繞射現象而困難度增高，因此需要增加 align key 的寬度到 $300\ \mu\text{m}$ 。

在試片上放置厚度 $500\ \mu\text{m}$ 的模具（圖 37），將 SU-8 注入模具內，厚度可以達到 $500\ \mu\text{m}$ 。注入程序：(a) 以玻璃針筒注入模具內，(b) 旋轉 500 rpm，20 sec，使 SU-8 散開在槽內，(c) 以玻璃刮片將 SU-8 塗滿槽內，由於 SU-8 為黏稠狀會沾黏在刮片上，儘量使 SU-8 留在凹槽內。刮片只能在一個方向前進一次，若刮片前進又後退就會產生氣泡在 SU-8 內，(d) 軟烤，(e) 去除模具，如圖 38。凹槽內為 $4\ \text{cm} \times 4\ \text{cm}$ ，分別注入 0.56、0.8、1 ml，結果如表 7。曝光劑量以及曝後烤時間參考 SU-8 2150 data sheet。此方法的不定因素是沾黏在刮板上的 SU-8 體積不定，多少因而影響塗佈厚度。



Unit: cm

圖 37 模具照片



以玻璃針筒注入SU-8



旋轉使SU-8散開在凹槽內



以玻璃片將SU-8塗滿凹槽內



軟烤



移除模具

圖 38 注入模具法流程

表 7 注入量與塗佈厚度

注入量(ml)	預期厚度(μm)	實際厚度(μm)
0.56	350	190 ~ 241
0.8	500	398 ~ 431
1	625	513 ~ 588

3.4.3 總結注入模具法製程

1. 玻璃試片：6 × 6 cm
2. 清潔：H₂SO₄ + H₂O₂ (3:1)， 10 min
3. 清洗：DI water， 3 min

4. 去水烘烤：120 °C，10 min
5. HMDS：120 °C，5 min
6. 將模具放在試片上，以膠帶固。
7. 注入 SU-8
8. 旋轉：500 rpm，20 sec
9. 刮平 SU-8，儘量使 SU-8 留在凹槽內
10. 軟烤

°C	min
65	10
95	90

11. 移除模具(SU-8 尚未完全凝固，容易移除)

12. 軟烤 95°C，90min

13. 曝光：600 mJ/cm²

14. 曝後烤

°C	min
65	5
95	25

15. 顯影：SU-8 Developer，15 min，迴轉式震盪機 70 rpm

16. 定影：IPA，10 sec

3.4.4 增加塗佈厚度降低鍍鉻區的曝光反射現象

在塗佈厚度分別為 125.9 μm、345.4 μm、380 μm 的試片上以部分曝光劑量 78 mJ/cm² 曝光，在塗佈厚度 125.9 μm 及 345.4 μm 的鍍鉻區與透明區的曝光深度仍然有差距。在塗佈厚度 380 μm 試片上的鍍鉻區與透明區的曝光深度則相同，圖 39、圖 40。相同的曝光劑量，部分曝光的深度隨著塗部厚度增加而增加。

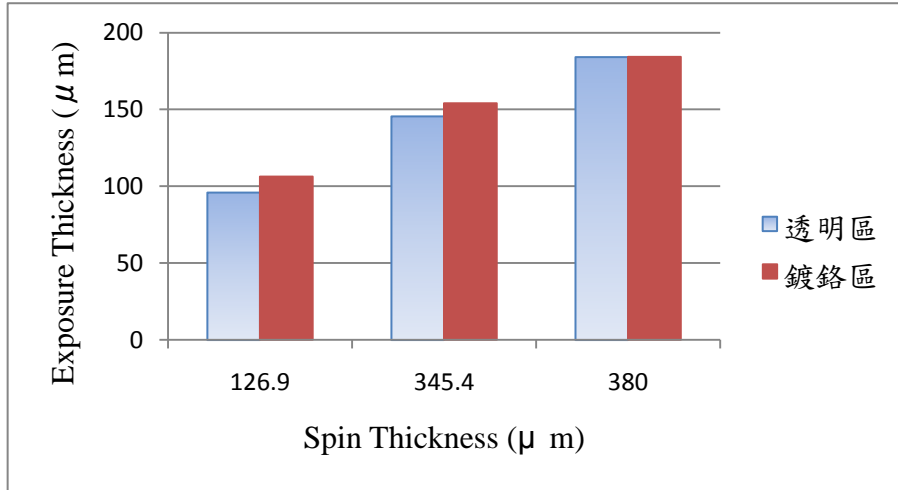


圖 39 相同部分曝光劑量 78 mJ/cm^2 在不同塗佈厚度之比較

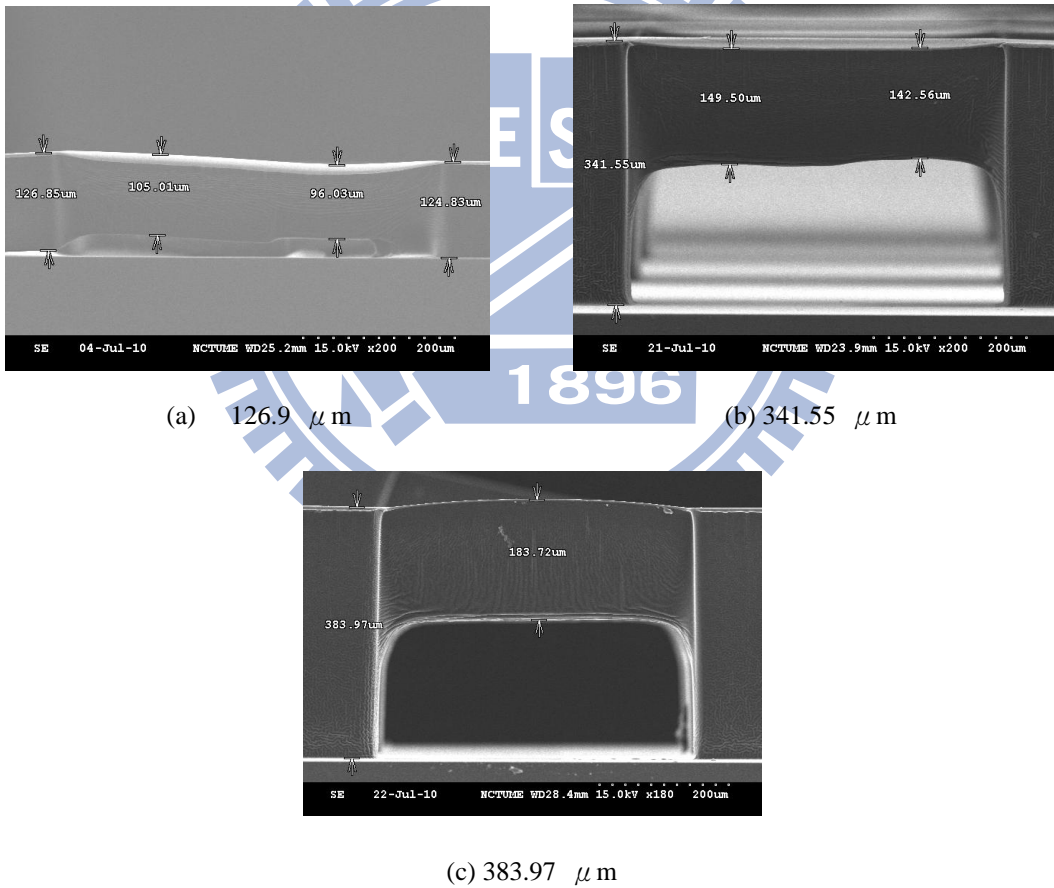


圖 40 單次部分曝光強度 78 mJ/cm^2 在 3 個不同塗佈厚度之照片 (a) 126.9 μm (b) 341.55 μm (c) 383.97 μm

3.5 正向 2 次重複部分曝光厚度測試

要在同一截面做出曝光深度不同的結構可以利用單次+2 次重複部分曝光。在不同區域給予不同曝光劑量做出具高低差的截面結構。

3.5.1 測試程序

測試程序：(a) 塗佈 SU-8，(b) 曝光，(c) 第 1 次部分曝光，(d) 第 2 次部分曝光，(e) 去光阻，如圖 41。

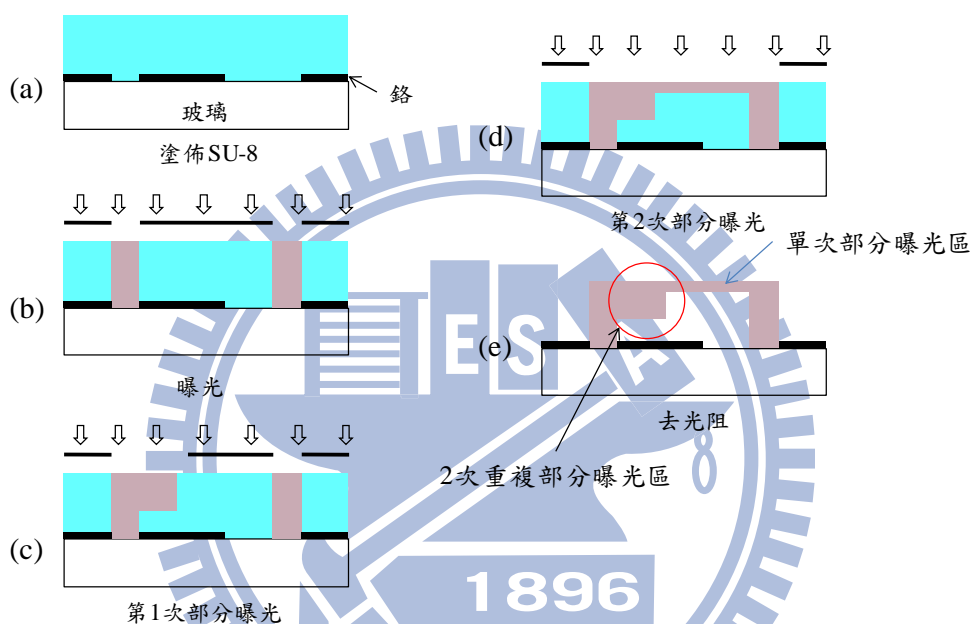


圖 41 正向 2 次重複部分曝光厚度測試程序

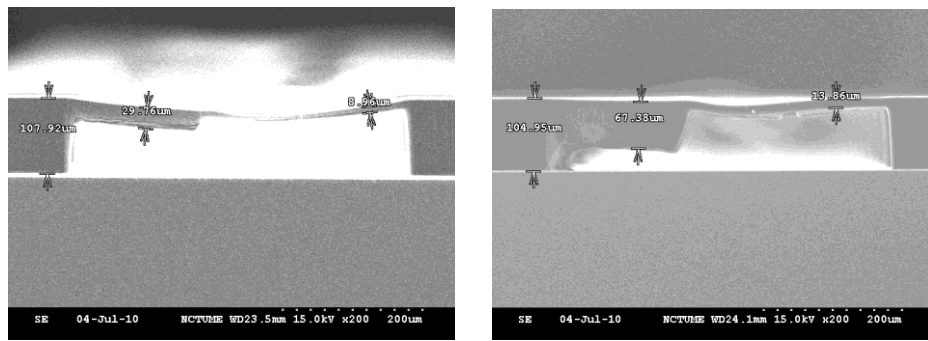
3.5.2 測試結果

在 2 次重複部分曝光區因為曝光劑量的累加使得此區域的曝光深度比單次部分曝光區的曝光深度厚，如表 8，圖 42。在此證明 SU-8 具有曝光劑量累積的效果。

表 8 曝光劑量

	第 1 次部分 曝光劑量	第 2 次部分 曝光劑量	2 次重複部分曝光區 曝光劑量
試片 1	13	26	39
試片 2	26	26	52

Unit: mJ/cm^2



(a) 試片 1

(b) 試片 2

圖 42 正向 2 次重複部分曝光照片 (a) 試片 1 (b) 試片 2

在相同劑量下 2 次重複部分曝光所得到的曝光深度比單次部分曝光的曝光深度厚，如圖 43。推測原因為同一劑量，2 次的反射使得光阻吸收曝光劑量比單次反射大。

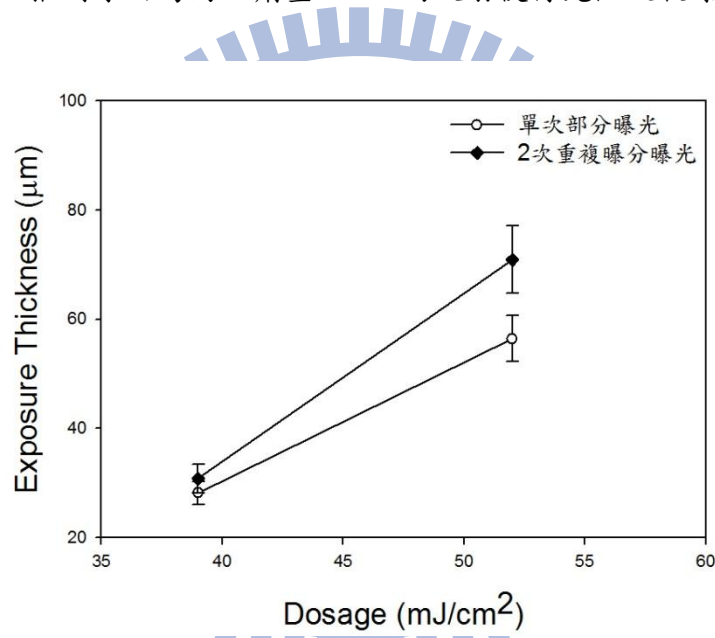


圖 43 鍍鉻區之單次與 2 次重複部分曝光深度比較

3.6 背向部分曝光

除了利用正向的多次部分曝光，加上背向部分曝光可以增加截面形狀的變化。如正向部分曝光的方式，先單獨測試背向部分曝光，並且觀察效果。

3.6.1 測試程序

測試程序：(a) 塗佈 SU-8，(b) 背向部分曝光，(c) 顯影，如圖 44。

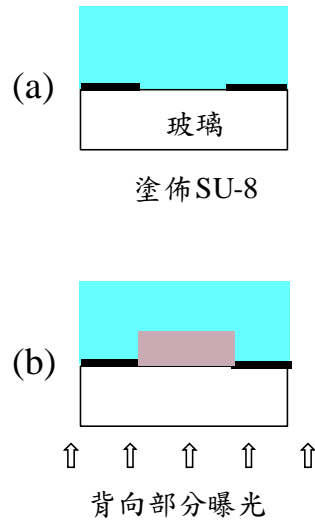


圖 44 背向部分曝光測試程序

3.6.2 測試結果

由圖 45 可以得到背向部分曝光與曝光深度之關係，圖 46 中顯示 SU-8 經過部分曝光後其水平表面不平整。

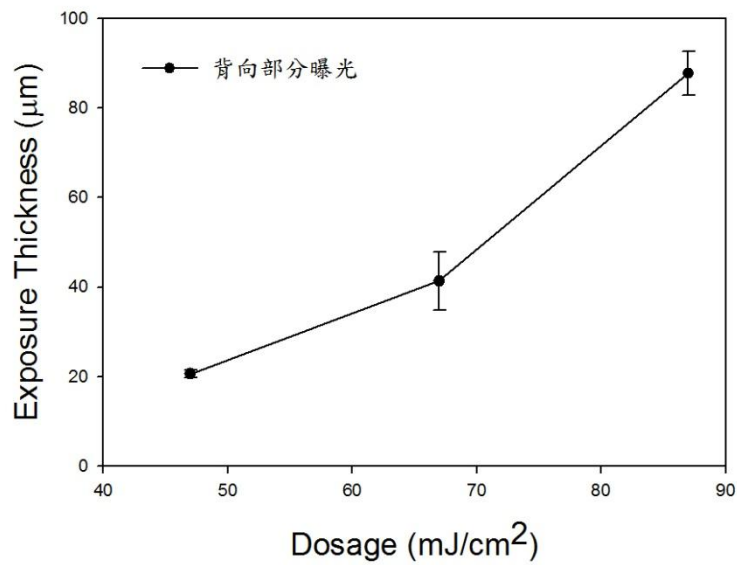
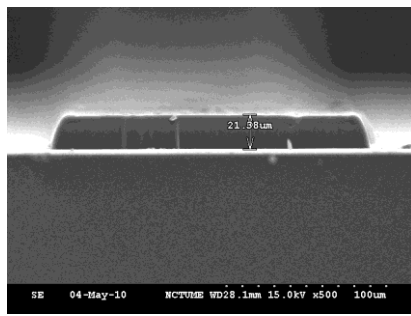
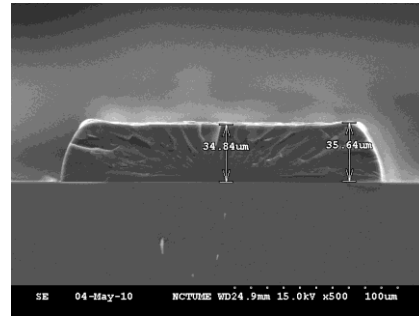


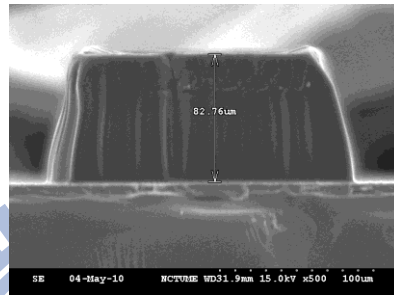
圖 45 背向部分曝光測試結果



(a) 47 mJ/cm^2



(b) 67 mJ/cm^2



(c) 87 mJ/cm^2

圖 46 背向部分曝光劑量 (a) 47 mJ/cm^2 (b) 67 mJ/cm^2 (c) 87 mJ/cm^2

3.7 正向+背向部分曝光

在不同的區域給予不同的曝光劑量，再加上正向部分曝光與背向部分曝光交錯運用可以使截面形狀有更多的變化，並且使截面有分層的結構。

3.7.1 初步測試

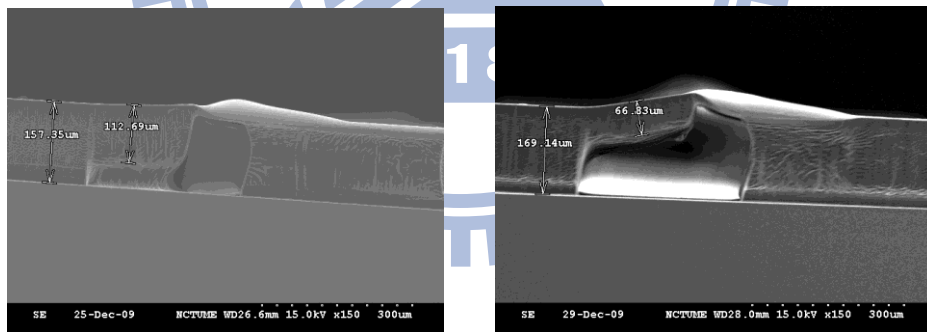
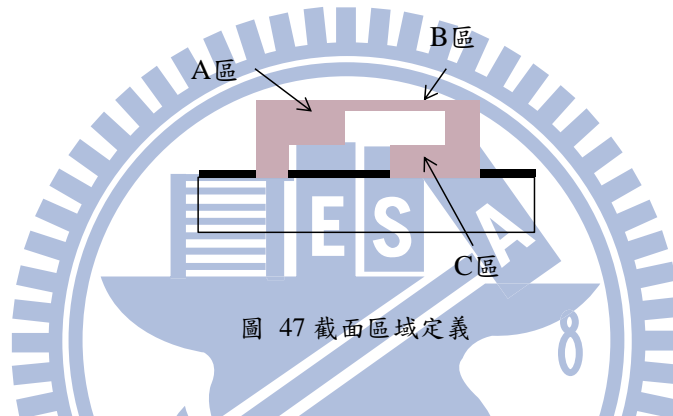
部分曝光截面區域定義如圖 47。如表 9 所示試片 1 的 B 區及 C 區的光阻全部感光，如圖 48 (a)。試片 2 增加塗佈厚度其 B 區及 C 區的光阻仍然全部感光，如圖 48 (b)。

表 9 曝光劑量與厚度

	試片 1	試片 2
塗佈厚度	157.35	169.14
A 區曝光深度 / 正向曝光劑量	112.69 / 84	66.83 / 62
B 區曝光深度 / 正向曝光劑量	無法量測 / 38	無法量測 / 38
C 區曝光深度 / 背向曝光劑量	無法量測 / 42	無法量測 / 48

厚度： μm

曝光劑量： mJ/cm^2



(a) 試片 1

(b) 試片 2

圖 48 正向+背向部分曝光 (a) 試片 1 (b) 試片 2

3.7.2 增加塗佈厚度以減低透明區的正向與背向部分曝光的互相影響

在 3.4 節中提高塗佈厚度可以減少光的能量，運用此方法來減低透明區的正向與背向曝光的互相影響。首先儘量維持一定的塗佈厚度，A 區與 B 區的正向部分曝光劑量固定，只有改變背向部分曝光劑量，結果如表 10 及圖 49。

表 10 曝光劑量與厚度

	試片 1	試片 2	試片 3	試片 4
塗佈厚度	381.48	386.13	398.64	382.8
A 區曝光深度(正向曝光劑量 78)	182.29	168.9	179.53	177
B 區曝光深度(正向曝光劑量 26)	無法量測	無法量測	46.2	18.48
C 區曝光深度 / 背向曝光劑量	無法量測 / 81	無法量測 / 54	129.36 / 40.5	58.08 / 27

曝光深度： μm

曝光劑量： mJ/cm^2

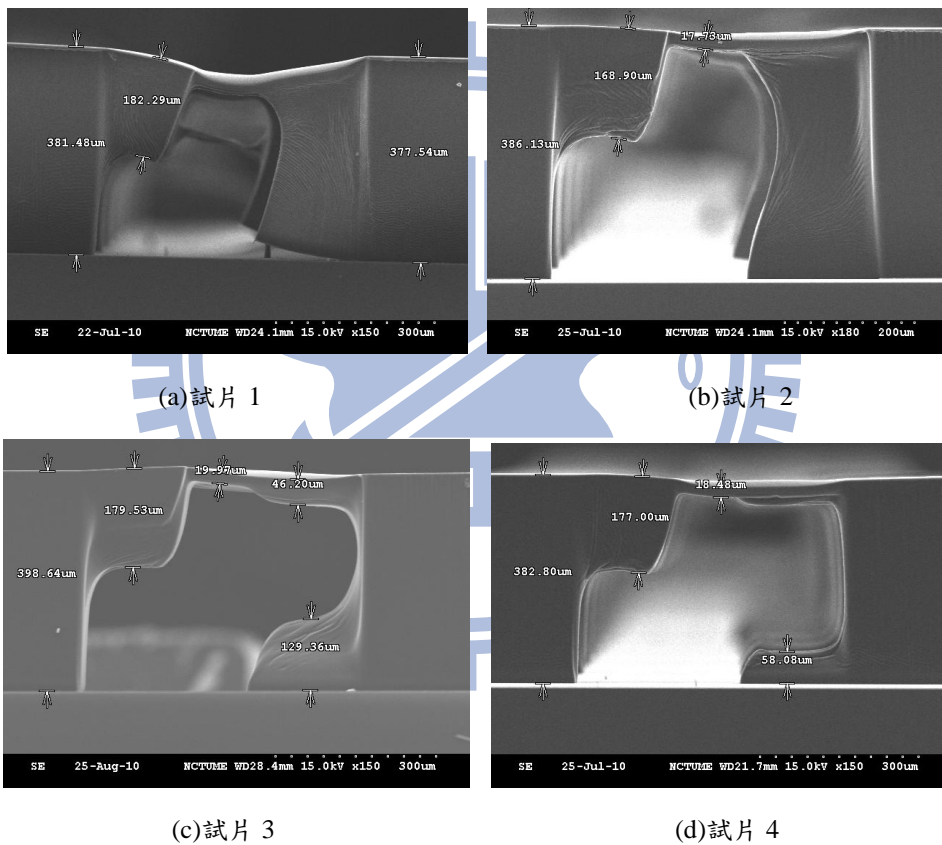


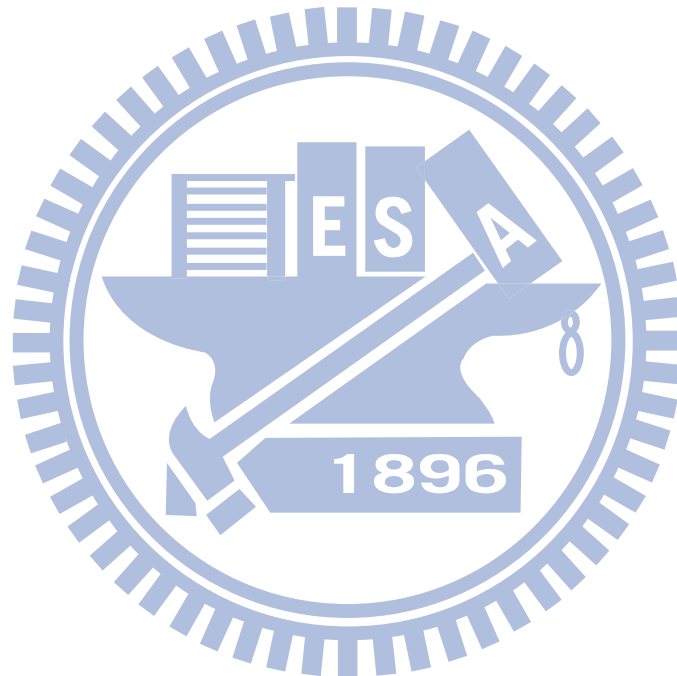
圖 49 正向+背向部分曝光 (a) 試片 1 (b) 試片 2 (c) 試片 3 (d) 試片 4

試片 1~4 的 A 區之曝光深度 168.9~182.29 μm ，試片 1、2 中 B 區與 C 區的光阻全部感光，直到試片 3 的背向曝光劑量降到 40.5 mJ/cm^2 才分開。試片 3 中 B 區的曝光深度明顯增厚，C 區的曝光劑量是試片 4 的 1.5 倍，但是曝光深度卻是試片 4 的 2.2 倍；試片 3 的 C 區曝光劑量是 3.6 節圖 46 (a) 的 0.86，曝光深度卻是 6

倍。很明顯的當 SU-8 同時受到正向部分曝光及背向部分曝光在曝光劑量超過某一範圍時就會互相影響，這範圍與塗佈厚度有關，塗佈厚度愈大範圍愈大。

塗佈厚度 $380\ \mu\text{m}$ 的曝光劑量為 $600\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ ，然而 B 區的正向曝光劑量 $26\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ 以及 C 區的背向曝光劑量 $54\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ 以合計 $80\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ 就可以讓透明區全部感光。

在塗佈厚度 $380\ \mu\text{m}$ 的 B 區的正向曝光劑量 $26\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ ，當 C 區的背向曝光劑量 $54\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上時 B 區及 C 區的光阻會全部感光，C 區的背向曝光劑量 $26\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ 以下時可以製作出具高低差封閉型的結構。



第四章 結論

4.1 總結

成功建立封閉型具高低差流道，在規畫好曝光區域後運用塗佈的技術、正向部分曝光、背向部分部分曝光以及控制好曝光劑量等，可以完成希望的截面結構，能更廣泛的運用在微流道的設計。最後以塗佈、正向部分曝光以及正向+背向部分曝光做為總結。

4.1.1 塗佈

旋轉塗佈後先洗邊，此時 SU-8 仍太軟，其厚度的均勻度會因為洗邊的旋轉遭到破壞。旋轉塗佈後先軟烤使 SU-8 凝固不會因洗邊的旋轉而破壞其厚度的均勻度。

SU-8 資料表中塗佈厚度 $100\mu\text{m}$ 軟烤 95°C 時需 16 分鐘，實際上光阻尚未完全凝固，以接觸式曝光時其未凝固部分會有被壓平的痕跡。經測試在軟烤 95°C 需要 30 分鐘才會使 SU-8 完全凝固。用晶片夾輕碰 SU-8 表面沒有凹陷即表示已經凝固。塗佈厚度 $380\mu\text{m}$ 時軟烤的 95°C 需要 3 小時。

SU-8 2075 旋轉塗佈厚度最高為 $240\mu\text{m}$ ，以定量注入模具內可以製作更高的厚度，而且厚度比較容易控制。

4.1.2 正向部分曝光

因為鍍鉻區的反射，使得鍍鉻區的單次部分曝光與 2 次重複部分曝光劑量相同，曝光深度卻不同。正向部分曝光劑量 $78\text{mJ}/\text{cm}^2$ 在塗佈厚度 $>380\mu\text{m}$ 才得到鍍鉻區與透明區相同的厚度。相同的曝光劑量，部分曝光的深度隨著塗部厚度增加而增加。

同一區域的光阻受到重覆部分曝光，其曝光劑量會累積，運用此現象可以做出曝光深度不同的形狀。

4.1.3 正向+背向部分曝光

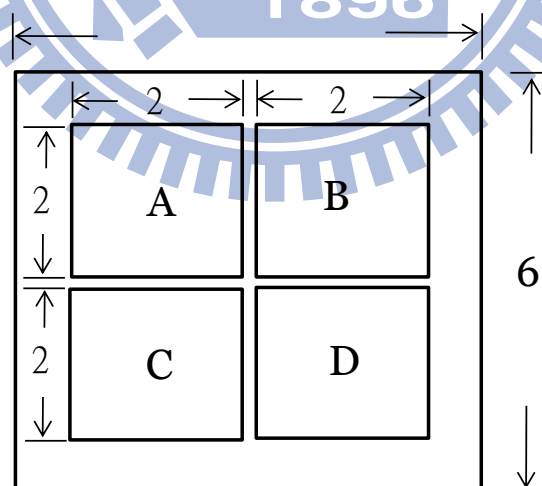
塗佈厚度 $169.14 \mu\text{m}$ 在透明區的正向部分曝光及背向部分曝光的劑量會互相影響使得此域的光阻全部感光。

塗佈厚度 $380 \mu\text{m}$ 在透明區的正向部分曝光劑量 26 mJ/cm^2 及背向部分曝光劑量 27 mJ/cm^2 可以製作出具高低差的結構。

4.2 未來工作

在透明區的正向及背向曝光的互相影響的程度，會因為塗佈厚度的不同有所差異，此差異需要再做更多的實驗以找出其之間的關係。

本實驗將玻璃試片分成 4 個區域如圖 50，樣本尺寸定義如圖 51，樣本與玻璃接觸尺寸如表 11，顯影後發現部份樣本會剝落，顯影時間愈久剝落的數量愈多，如表 12 所示。在 C 區的接觸面 $200 \times 300 \mu\text{m}$ 以上時可以完整的附著在玻璃試片上，因此要製作較長的流道必須增加 SU-8 與玻璃試片接觸面積。然而流道的長度與 SU-8 在玻璃上的接觸面積之間的關係，有待進一步實驗的探討。



Unit: cm

圖 50 試片尺寸區域

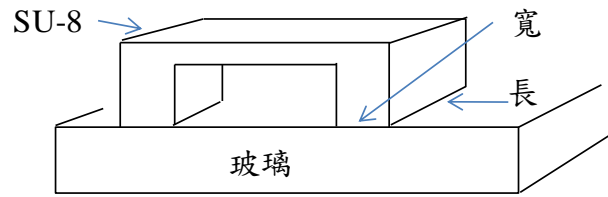


圖 51 樣本尺寸定義

表 11 樣本與玻璃試片接觸面尺寸

	A	B	C	D
長	100	200	300	400
寬	200	200	200	200

Unit: μm

表 12 顯影時間對附著性的影響

顯影時間(min)	A	B	C	D
9	完整	完整	完整	完整
15	部分脫落	部分脫落	完整	完整
20	大部分脫落	部分脫落	完整	完整
30	完全脫落	大部分脫落	完整	完整

迴轉式震盪器設定 70 rpm

參考文獻

- [1] M.O. Heuschkel, L. Gue ´rin, B. Buisson , D. Bertrand, P. Renaud, “Buried microchannels in photopolymer for delivering of solutions to neurons in a network” , Sensors and Actuators, B 48, p.356–361, 1998
- [2] Rebecca J Jackman, Tamara M Floyd, Reza Ghodssi, Martin A Schmidt, Klavs F Jensen, “Microfluidic systems with on-line UV detection fabricated in photodefinable epoxy”, J. Micromech. Microeng., 11, p.263–269, March 2001
- [3] Bing He, Niall Tait, Fred Regnier, “Fabrication of nanocolumns for liquid chromatography”, Anal. Chem., 70, P.3790–3797, September 1998
- [4] P Abgrall, A-M Gu ´e, “Lab- on-chip technologies: making a microfluidic network and coupling it into a complete microsystem - a review”, J. Micromech. Microeng., 17, p.15–49, April 2007
- [5] Marc Anduze, St ´ephane Colin, Robert Caen, Henri Camon, V ´eronique Conedera, Thierry Do Conto, “Analysis and testing of a fluidic vortex microdiode”, J. Micromech. Microeng., 11, p.108–112, 2001
- [6] E. Verpoorte, N.F. De Rooij, “Microfluidics meets MEMS”, Proc. IEEE, 91, p.930–953, June 2003
- [7] Z Lisa Zhang, Noel C MacDonald, “A RIE process for submicron, silicon electromechanical structures” , J. Micromech. Microeng., 2, 1, p.31–38, 1992
- [8] Che-Hsin Lin, Gwo-Bin Lee, Bao-Wen Chang, Guan-Liang Chang, “A new fabrication process for ultra-thick microfluidic microstructures utilizing SU-8 photoresist”, J. Micromech. Microeng.,12, p. 590–597, June 2002
- [9] Yolanda Fintschenko, Albert van den Berg, “Silicon microtechnology and microstructures in separation science”, J. Chromatography A, 819, p.3–12, 1998

- [10] F. J. Blanco, M. Agirregabiria, J. Garcia, J. Berganzo, M. Tijero, M. T. Arroyo, J. M. Ruano, I. Aramburu, Kepa Mayora, “Novel three-dimensional embedded SU-8 microchannels fabricated using a low temperature full wafer adhesive bonding”, *J. Micromech. Microeng.*, 14, p.1047–1056, June 2004
- [11] Sha Li, Li-Wei Pan, Li-Wei Lin, “Frozen water for MEMS fabrication and packaging applications”, *Proc. IEEE MEMS*, p.650–653, January 2003
- [12] Yun-Ju Chuang, Fan-Gang Tseng, Jen-Hau Cheng, Wei-Keng Lin, “A novel fabrication method of embedded micro-channels by using SU-8 thick-film photoresists”, *Sensors and Actuators A*, 103, p.64–69, 2003
- [13] Alison Gracias, Xiaojun Feng, Bai Xu, James Castracane, “Novel microfabrication approach of embedded SU8™ fluidic networks for cell transport on chips”, *J. Microlith., Microfab., Microsyst.* 5(2), p.021102, Apr-Jun 2006
- [14] Jun-wei Chung , Wensyang Hsu, “Enhancement on forming complex three dimensional microstructures by a double-side multiple partial exposure method”, *American Vacuum Society*, p.1671–1678, September 2007
- [15] MICRO · CHEM www.microchem.com