SU-8 光阻在矽晶圓基材上製作微流道面板之研究

莊勝雄　游士諄　林明俊*　周祖亮

南亞技術學院機械系

摘要

本文主要是以UV 微影製程，搭配SU-8 2050厚膜光阻來製作微流道結構。首先以Auto-CAD 設計繪出微流道圖案（Pattern）並製成塑膠光罩，然後再以光罩製作長度2mm，寬度分別為40μm、90μm、200μm，深度90μm，線寬為20μm之微流道結構；並由3D顯微鏡檢測產品品質，進而建立UV光微影標準作業流程及各項參數控制，以提供後續研究參考的依據。

研究中發現以最高轉速1100rpm旋塗SU-8 2050厚膜光阻；在室溫靜置30分；以20分鐘時間由20℃上升至90℃預軟烤後，以90℃軟烤60分鐘，再慢慢降至室溫；曝光時間30秒；以65℃預曝後烤2分鐘，然後以100℃曝後烤10分鐘，再慢慢降至室溫；室溫顯影8分鐘；室溫定影1分鐘；50℃預硬烤2分鐘，然後以120℃硬烤5分鐘等步驟；相較於設計值，可得到寬度誤差低於10%與高度誤差低於4%的最佳製作結果。

關鍵字：微影、軟烤、曝光、曝後烤、顯影、硬烤

*Email： lmgm@nanya.edu.tw　Tel：03-4361070#6302　Fax：03-4384670

Study for Micro-Channel Fabrication with SU-8 Photoresist on Silicon Base

Sheng-Hsiung Chuang Shih-Chun Yu Ming-Chung Lin* Tsu-Liang Chou

Department of Mechanical Engineering
Nanya Institute of Technology
Jhongli, Taiwan

Abstract

For silicon based micro-channel fabrication, the UV photolithography process along with the SU-8 2050 photoresist, was used in this study. The AutoCAD software was used firstly to design and plot the pattern of micro channel, and the plastic mask was made with this pattern. Next, the mask was applied to build the micro channel structure, with dimensions of 2 mm in length, 40μm, 90μm, 200μm in width respectively, 90μm in depth and 20μm in line width. At last, the quality of products was detected by a 3D laser microscope. It is hopeful that the setup of standards of UV photolithographic manufacture processes and all the control parameters can be used as a guideline of latter researches.

According to the results, it was found that the optimum fabrication process of micro channel, with height and width errors less than 4% and 10% respectively, could be obtained to operate in following steps: to begin with, wafer is coated with SU-8 2050 photoresist at maximum rotational speed 1100 rpm, and exposed 30 minutes at room temperature. On next, rising the temperature from 20°C to 90°C during the 20 minutes time interval for Pre-Soft Bake, then, Soft Bake 60 minutes at 90°C and cool down gradually to room temperature. The time of exposure is 30 seconds, after that, Pre-Post Exposure Bake 2 minutes at 65°C, Post Exposure Bake 10 minutes at 100°C, and cool down gradually to room temperature again. Finally, Develop 8 minutes at room temperature, Pre-Hard Bake 2 minutes at 50°C, and Hard Bake 5 minutes at 120°C.

Key words：Photolithography, Soft Bake, Exposure, Post Exposure Bake, Develop, Hard Bake

壹、前言

微流道的應用可分為:(1)微流道熱沉、(2)微熱管(micro heat pipe)、(3)微通道面板(microchannel plate)、(4)微型熱交換器(micro heat exchanger)及(5)利用高分子材料製造的微流道應用【1】。其中利用高分子材料製作微流道裝置為一種可降低成本的新方法。

在微影製程方面，深 UV(Deep Ultra-Violet)光的關鍵尺寸（Critical Dimension）雖然較微小且更具有均勻性。但因為光源不易取得，維修費用高等因素，增加了許多不確定的因素。而使用紫外線光源結合具有高深寬比的厚膜光阻，是近來微機械加工所衍生的另一種方法，它所使用的光源和 LIGA 不同，但卻具有電鑄、模造的特性，故稱為 UV-LIGA。使用此種方法所製造的細微流道，具備有高深寬比、高均勻性及良好的表面粗糙度等優點。

SU-8 是由IBM公司發展出來的光阻，為一環氧基型之負光阻，因為SU-8對近UV光（波長為365nm~405nm之紫外光）具有極佳之光穿透性，可使膜厚得到均勻的曝光劑量，有助於獲得接近垂直側壁的結構。從文獻中得知利用SU-8 所得之微結構，其最大厚度為2mm且深寬比可達25【2】，可得到良好的結構體之厚度以及深寬比，並且在一般標準的UV-LIGA 製程下便可進行，因此可有效的節省實驗經費以及製程時間，SU-8 光阻在UV-LIKE 製程中非常廣泛，也不少學者針對其特性與應用，發表許多研究成果。

[鄭] 等人曾將 SU-8 應用在鎳基模仁的製作【3】。

[楊] 等人也對 SU-8 厚膜光阻在微系統 UV-LIKE 製程的應用，諸多著墨【4】。

[林] 以 SU-8 厚膜光阻塗佈在矽晶圓試片基材，製作方型微流道來研究毛細填充現象【5】。

Anand Gadre【6】敘述微流體系統中越來越多是使用聚合物材料為主要材料，也是因為可塑性材料可減少製作晶片的成本與容易製作微管道。而利用新的接合（bonding）技術，使得EPONTM Resins SU-8 與PDMS（polydimethylsiloxane）可達到管道彎曲、製作簡易，並可在生物應用環境中，對微管道做性質研究。

綜合上述文獻資料，本研究首先由 Auto-CAD 軟體設計並繪製微流道尺寸且製作成塑膠光罩，其解析度可達 4000~25000dpi，最小線徑可達 10μm;再以光微影技術進行研究 SU-8 光阻在矽晶圓基材上的微流道結構成型，來製作 SU-8 光阻微細流道面板，進而提供微細過濾流道與翻鑄微流道模具（Stamp）用途。本研究是利用本校黃光室設備（圖 1），採 UV-LIGA 深刻製程進行各項參數控制以得到高深寬比、高均勻

性及表面粗糙度良好的微細流道面板，並以 3D 高倍率顯微鏡（圖 2）做為量測檢驗成品品質之系統；設計的微細流道尺寸如圖 3。

儀器名稱	光阻塗佈機	加熱板	超音波震洗機	曝光機
型號	TSC-150M	HP 303D	DC-300H	PEM-6M

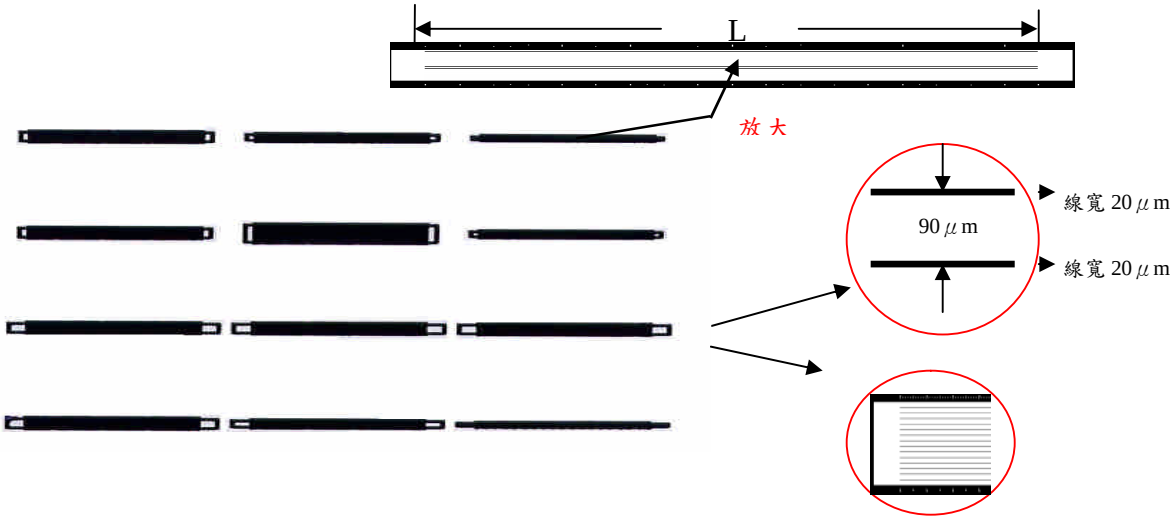
圖 1　本校黃光室設備

圖 2　3D 高倍率顯微鏡（KEYENCE VK8550）

貳、微影製程原理、製程規劃與實驗步驟

微影製程技術主要是藉由曝光機上汞燈所產生的 h line（波長 405nm）或 i line（波長 365nm）光源照射於光罩上之圖案，使光罩上之圖案轉移至光阻(Photoresist)上面，並經由顯影(Develop)後，光阻圖案會和光罩上之圖案完全相同或呈互補，微影製程之

程序有光罩製作、前處理、光阻旋塗、軟烤、曝光、曝光後烘烤、顯影、定影等步驟【7】【8】。本研究是運用 SU-8 2050 厚膜光阻來製作深度為 90μm 之微流道，經由厚膜光阻的一次光阻旋塗、一次曝光、一次顯影，製作一體成型的三維微結構，其製程參數過程如表一所示。



N：流道數目　W：流道寬度　D：線寬（20μm）　L：流道長度（2mm）		
N=15 W=90μm	**N=10** W=90μm	**N=5** W=90μm
N=15 W=90μm	**N=15** W=200μm	**N=15** W=40μm
N=15 W=90μm	**N=15** W=90μm	**N=15** W=90μm
N=15 W=90μm	**N=10** W=90μm	**N=5** W=90μm

圖 3　微流道尺寸

微影製程原理與製程步驟如下：

1.清洗晶片：去除晶片上之微粒、油漬與有機污染，增加光阻與基材之附著性。清洗步驟如表二。

2.去除晶片上之水分子：避免晶圓表面可能吸附水分，造成後續步驟形成一薄負氧化層而影響製程結果，以溫度120℃ 加熱晶片約5分鐘。

3.塗佈SU-8 2050 光阻：光阻塗佈主要是將基材置於旋塗機腔體內，並利用真空幫浦於旋塗軸心抽真空以使基材固定，再利用高速的旋轉速度，使旋轉時產生的離心力，

促使光阻由中心部分逐漸往外圍移動，以達到光阻劑均勻塗佈的目的。光阻的厚度與旋轉塗佈時的轉速成反比；最高轉速為1100rpm，塗佈時間為50秒，轉速與時間之關係如圖4所示。

4.靜置：SU-8 為高黏滯性之光阻且為熔融狀態，為使光阻表面能夠光滑平整，可將已塗佈好之晶片放置於平臺上，在軟烤步驟前先靜置，利用光阻本身的可流動性，來取得表面之光滑平整。

溫　度（℃）	時　間（分鐘）	作　　用
室溫	10~30	清洗晶圓
120	5	預烤（去除水分）
室溫	5/6	塗佈 SU-8（1100rpm）
室溫	30	靜置使表面平整
室溫→90	20	軟烤（溶劑揮發）
90	60	軟烤（溶劑揮發）
90 降至室溫	50	消除熱應力
室溫	0.5	曝光
65	2	曝後烤（預烤）
100	10	曝後烤（加強鍵結）
降至室溫	30	消除熱應力
室溫	8	顯影
室溫	1	定影
50	2	硬烤（軟烤）
120	5	硬烤

表一 SU-8 2050 製程參數

步驟程序	清洗液	溫度	時間	備註
步驟 1	去離子水	室溫	1 分鐘	清洗
步驟 2	丙酮	室溫	10 分鐘	清洗油漬（超音波震洗）
步驟 3	甲醛	室溫	10 分鐘	清洗丙酮（超音波震洗）
步驟 4	去離子水	室溫	1 分鐘	清洗甲醛
步驟 5	氮氣	室溫	30 秒	吹乾水氣

表二 矽晶圓清洗步驟

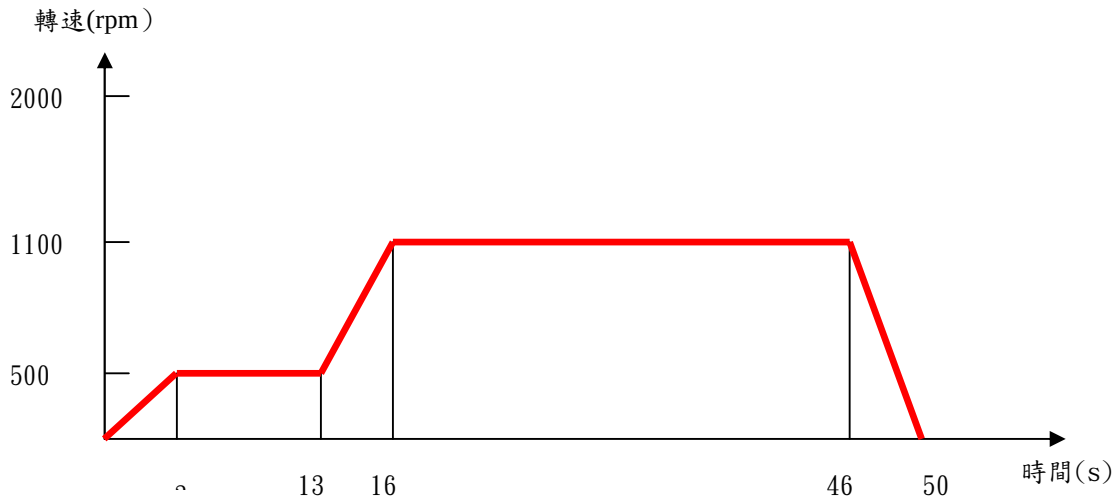


圖 4 塗佈轉速與時間之關係圖

5.軟烤：以20分鐘由室溫慢慢加熱至90℃後，再以60分鐘在90℃進行軟烤，將光阻內部之溶劑以加熱方式來蒸發，並且可以帶走光阻內細小之氣泡。

6.降溫：為了降低光阻內部之熱應力，所以在升降溫的階段都必須要格外的注意，特別是在降溫時，降溫太快會使熱應力加大，降溫要愈慢愈好，因此將其置放於加熱板上，使其慢慢降至室溫。

7.曝光:曝光主要之目的是使負光阻產生鍵結,曝光時間其理論公式為: 曝光時間 = 曝光劑量 / 曝光機功率 ，若顯影後線寬較所設計之線寬小，則是曝光過度，反之，若顯影後線寬過大,則是曝光不足(如圖5、圖6);本實驗所選擇之曝光劑量為450 mJ/cm^2

【9】，經光度能量計量測得汞燈功率h光與i光功率分別為32 mW/cm^2 與13 mW/cm^2 ，因此預測曝光時間為15~45秒之間。

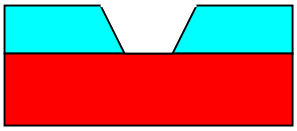


圖 5 曝光量過量

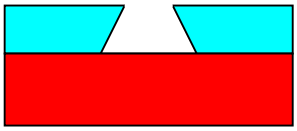


圖 6 曝光量不足

8.曝後烤：負光阻通常都會較正光阻多一道曝後烤程序，因為負光阻需要使其受光部分的鍵結更加完全，才不至於使圖形在顯影時被溶解掉；利用65℃與100℃兩階段之溫度來進行曝後烤。

9.顯影：由於本實驗是在製作微流道，而且深度較深，底部之光阻會因厚度的增加而較難顯影；因此為了幫助顯影，本實驗利用超音波振盪器來幫助顯影。

10.將浸置完顯影液之晶圓放入異丙醇(i sopropano1, IPA)一分鐘，將已顯影後之微結構做定影，再用去離子水(DI water)沖洗之後用氮氣槍吹乾，即可完成定影程序。但是如果於定影時發現晶圓上有白色液體，則表示顯影時間不足，需再回到顯影與定影之程序，直至無白色液體產生為止。

11.硬烤：以溫度50℃與120℃來進行硬烤，使光阻能堅固的依附在晶片的表面上。

參、結果與討論

微影製程之成型參數很多，每一程序的成型參數皆會影響到成品結構的好壞，雖然販售光阻之廠商會提供相關光阻液之成型參數，但是由於所需厚度與基材的大小、實驗環境、以及儀器設備的不同，所產生的結果亦會不同，因此廠商提供之相關光阻液之成型參數只可作為參考之用，所以必須反覆實驗以尋求所需之成型參數。以下為探討 SU-8 2050 微影製程時，常常出現的問題與解決方法，茲說明如下:

1.旋塗

本實驗所用之 SU-8 光阻液單次塗佈約 50μm~180μm，旋塗常出現之問題與解決方法如下敘述:

(1)旋塗不均

旋塗之控制是非常重要的，常常會因為光阻劑量不足與慢速旋塗之時間不足而使晶圓表面未被全面覆蓋，造成光阻的塗佈失敗，因此劑量的給予只能多不能少，但是劑量過多，高速旋塗時多餘的部分又會被旋出，雖然不會影響所需之膜厚，卻造成浪

費而增加成本，一般 4 吋之晶圓所使用光阻劑大約用 4cc 之劑量，而低速旋塗時間則取可將晶圓完全塗佈之時間即可，如此可解決旋塗不均之問題。

(2)平整性不良

旋塗之後其邊緣有突起現象時，可利用軟烤之烘烤使光阻有再次流動的情形而達到自我平坦之效果來解決。定影後經量測會有結構厚度高低不均之問題（如圖 7），可以將旋塗機與加熱板做水平校正以解決此問題。

(3)氣泡問題

氣泡通常於分裝、搬運或是滴定時所夾雜於 SU-8 光阻內，如果光阻內有夾雜氣泡，則旋塗後氣泡會將光阻液排開於氣泡四周，此現象將會影響後續圖案轉移後的缺陷，本實驗採用烘烤與超音波震動之方法來解決此問題，結果顯示烘烤之效果較超音波震動佳。因為 SU-8 光阻之玻璃轉換溫度(glass transition temperature, Tg)為 55℃，高於此 Tg 溫度，光阻黏度會降低而有再流動現象，進一步將氣泡現象消除，所以烘烤溫度採用 65℃預烤，由實驗得知將光阻液置於溫度 65℃的電熱板上，時間為 10 分鐘，可大量改善氣泡之問題，而烘烤時間以所產生之氣泡量來決定，以不超過 30 分鐘為原則。

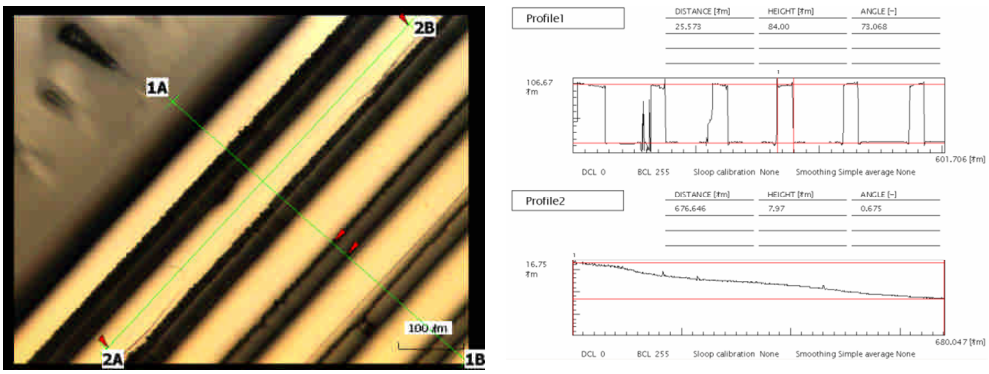


圖 7 微流道結構高度成遞減情形

2.軟烤

此烘烤溫度與時間，不但會影響到光阻的固化情形，亦會影響後續曝光與顯影之結果，若溫度與時間不足，亦即烘烤不足，會使光阻內部溶劑含量過高，造成曝光的精確度會因此而變差，且顯影會因為溶劑含量過高而使選擇性（selectivity）變差，影響光阻的解析度與圖案的轉移不良，還會使接觸式曝光之光罩容易黏附光阻液，造成清除的困擾，光阻對晶圓之附著性不佳。溫度與時間太長，亦即過度烘烤，則光阻內之溶劑含量太少，使光阻變脆，產生應力而易破裂，同時光阻對晶圓之附著性亦不佳。

曝光時光阻對光之敏感性變差而影響解析度，使顯影變得較困難，造成圖案無法成型，以上之問題必須反覆做實驗，才可得到較佳的軟烤時間與溫度。

3.曝光

在曝光中，最重要的考量就是解析度的好壞，而解析度的好壞則取決於繞射現象，本實驗所使用之曝光機為接觸式曝光機，光罩與光阻是為緊密接觸的，所以光罩與光阻上之圖形轉移後幾乎為 1:l 之比例，因此解析度非常好，故繞射現象較不易產生，但是光罩上易沾附光阻液，所以每次曝光後都必須再加以清洗光罩，以確保圖案(pattern)能完全轉移至光阻。另外光罩上圖案的製作，亦是解析度好壞的考量之一，如果光罩上的圖案未做好，則所顯影後的微結構亦是缺陷。有時曝光後，圖案之潛在影像即可隱約看到，此種情形即表示過度曝光所產生的影響，因此需減少曝光的劑量，以解決此問題，否則會因為過度的曝光而造成結構尺寸上的誤差。

4.曝光後烘烤(PEB)

此程序之烘烤時間與溫度也是相當重要的，烘烤不足時，光阻之鏈結效果變差，深寬比變小，光阻與晶圓的黏附性亦不佳，解析度變差等。過度烘烤，則會造成過度鏈結、應力增加、破裂且光阻與晶圓的黏附性亦不佳。本實驗有時將 PEB 之程序省略掉了，結果於顯影時微結構都被顯影液洗掉了，所以此程序必須反覆實驗以期得到較佳之參數，且做此程序不但可以增加曝光後 SU-8 光阻的鏈結強度，並可減少變形及消除駐波現象。

5.顯影

顯影是決定微結構成敗的最後關鍵，所以對時間的控制非常重要，顯影時間不足，光阻會殘留於微結構邊緣，以致解析度不佳，顯影時間過長，則將會把微結構洗掉，而推斷顯影時間是否足夠，可由定影時產生的白色液體來斷定，利用此一特點反覆實驗，可得到較佳之顯影時間，除此之外，光阻與晶圓的附著性不良也容易於顯影時，造成光阻的剝落。本實驗顯影後之微流道結構如圖 8、圖 9 所示，由圖可看到此結構之側壁幾乎接近垂直。

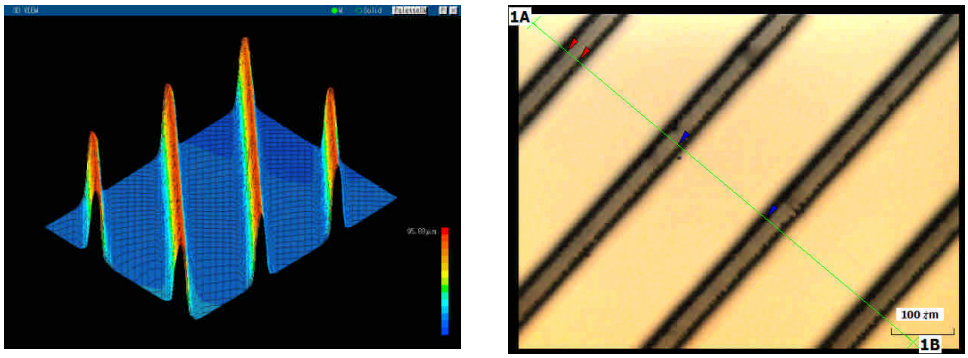


圖 8 微流道結構（N=5、W=200μm）

6.硬烤

硬烤是為了蒸發掉任何殘留的溶劑及硬化光阻，改善光阻對基板的附著性，並移除任何殘留的顯影劑及水分，達到光阻密實化。本製作過程在硬烤溫度不足（95℃）的情形如圖 10，組織較鬆散，經提高硬烤溫度為 120℃，以改善此情形。但須注意太高的硬烤溫度會引起光阻輕微流動，導致圖案變形。

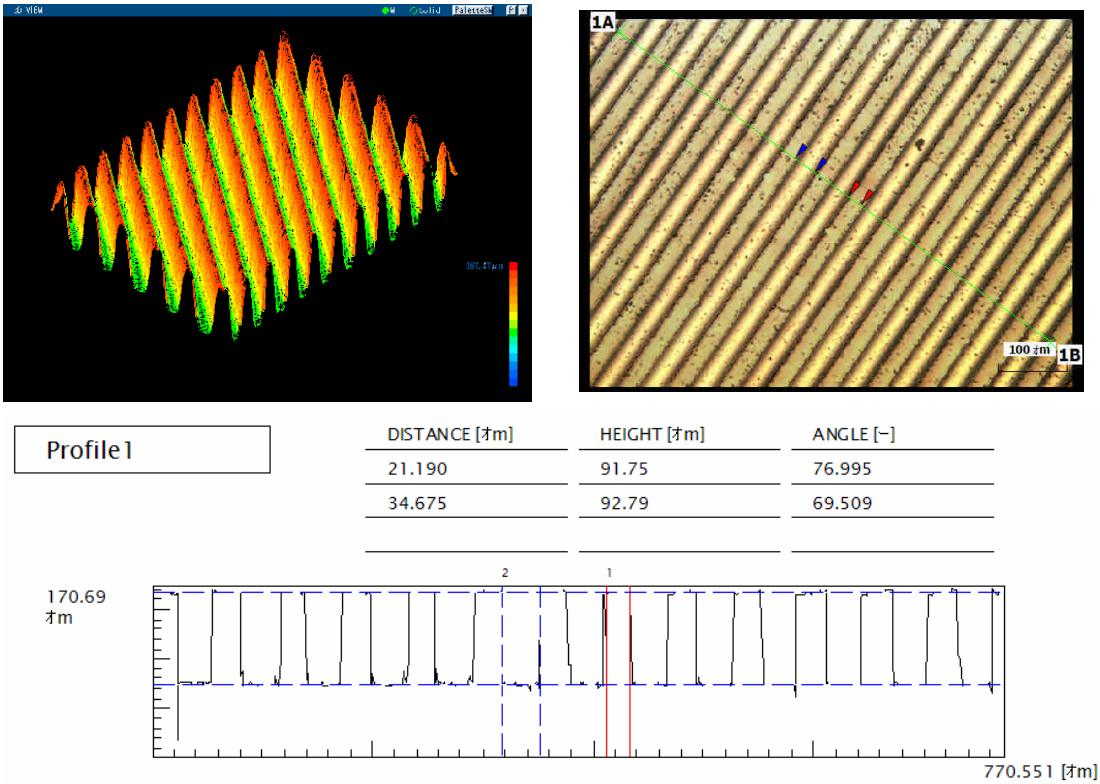


圖 9 微流道結構（N=15、W=40μm）

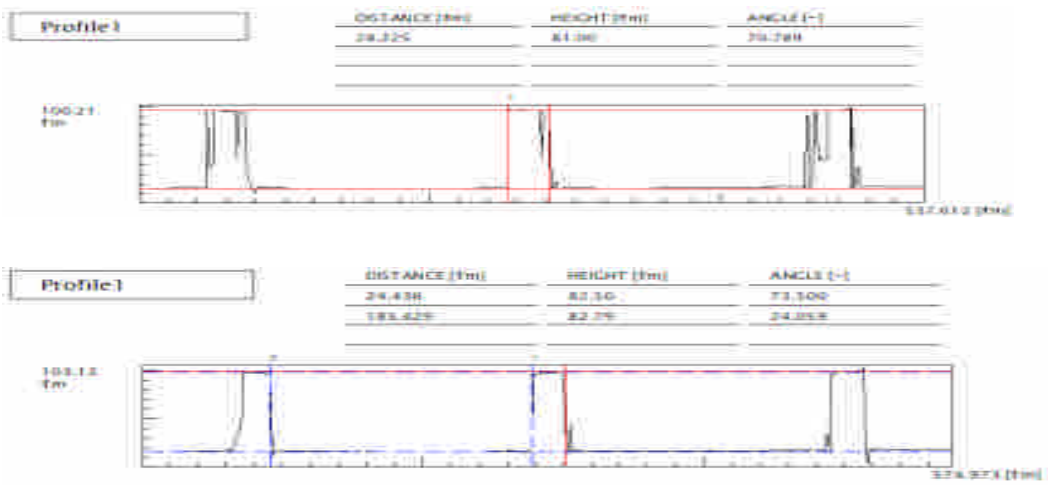


圖 10 硬烤溫度的影響（上圖 95℃、下圖 120℃）

本文所製得的微流道微結構之側壁接近垂直度，高度非常均勻如表三，相較於寬度（40μm、90μm、200μm）與高度（90μm）之設計值，寬度值成型誤差不超過 10%且寬度值愈大誤差愈小；高度值成型誤差不超過 4%；高低平均誤差不超過 3%；此乃在塑膠光罩與接觸式曝光機解析度限制下能成型的最佳結果。

項　　目	W（μm）	H（μm）
N=5 W=40μm	36.4	89.6
	36.2	90.8
	36.9	89.1

項　　目	W（μm）	H（μm）
N=15 W=40μm	36.8	90.5
	36.9	91.8
	36.2	92.8

項　　目	W（μm）	H（μm）
N=5 W=90μm	88.2	88.9
	85.5	89.8
	86.6	88.3

項　　目	W（μm）	H（μm）
N=15 W=90μm	82.5	89.2
	80.9	90.8
	80.8	91.6

項　　目	W（μm）	H（μm）
N=5 W=200μm	191.4	89.5
	185.2	91.5
	182.9	91.8

項　　目	W（μm）	H（μm）
N=15 W=200μm	190.8	89.9
	190.1	89.1
	192.6	88.9

表三 微流道各成型尺寸

肆、結論

本研究藉由黃光製程與 3D 顯微鏡已建立微流道 UV 光微影標準作業流程及各項參數控制準則，也深入探討各製程參數所出現的問題與解決方法；對於研究結果，尚有以下結論 ：

1.此實驗製程中最感到困惑的是氣泡問題，因為此問題亦影響微結構的完整性，雖然利用電熱板預烤可大量改善此問題，但是仍會有殘餘的氣泡未能完全除去，因此可再準備一支針筒將未去除的氣泡吸除，以得到較佳之薄膜。

2.本研究成型的 SU-8 厚膜光阻結構，可覆蓋 PDMS 與硬化劑混合物而成為方型微流道面板來進行微流體相關行為研究。

伍、參考文獻

1. 康尚文，”微結構”，微機電系統技術與應用， 行政院國家科學委員會精密儀器中心， pp. 453-460，民國 92 年 12 月（2003）。
2. 李國賓，呂宗行，林哲信，洪振益，袁曉峰，陳國祥，”SU-8 厚膜光阻製造微推進器噴嘴之研究”， 中國機械工程學會第二十一屆全國學術研討會論文集，民國93年6月（2004）。
3. 陳仁浩，葉翳民，鄭兆珉， ”鎳基微模仁製作之研究”，中國機械工程學會第十八屆全國學術研討會論文集，民國 90 年 12 月（2001）。
4. 強玲英，黃齊聲，楊啟榮，羅國軒， ”SU-8 厚膜光阻於微系統 UV-LIKE 製程的應用”，科儀新知，第二十卷五期，民國 88 年 4 月（1999）。
5. 林重勳，趙修武，”以SU-8 光阻製作之方型微流道內毛細填充現象研究”，中原大學機械系碩士論文，民國95年7月（2006）。
6. Anand Gadre, Mark Kastantin, Sheng Li and Reza Ghodssi, ”An Integrated BioMEMS Fabrication Technology”, Proceedings of International Semiconductor Device Research Symposium (ISDRS), Washington D.C., pp. 186-189（2001）.
7. 林銘徽，”VLSI 光罩製作”，電子月刊，第一卷，一期，pp. 116-123，民國 84 年 8 月（1995）。
8. 黃皇齊，”應用UV-LIGA於導光板模仁之製造研究”，國立高雄應用科技大學模具系碩士論文，民國93年7月（2004）。
9. Micro Chen, ”NANO^{TM} SU-8 2000 Native Tone Photoresist Formulation”, IBM SU-8（2002）.