

# 圓形微流道之研製

陳育堂<sup>1</sup> 康尚文<sup>2</sup> 王一忠<sup>3</sup>

<sup>1</sup>宏國德霖科技大學，機械系副教授

<sup>2</sup>淡江大學，機械與機電工程學系教授

<sup>3</sup>淡江大學，機械與機電工程學系研究生

## 摘 要

本研究提出一個新穎的圓形微流道製作方法，並且完成了水力直徑 36、80、125  $\mu\text{m}$  等流道內壁極為光滑、真圓度極佳，並且整段微流道真圓度具高均勻性的圓形微流道。本文之微流道是以低溫製程完成，製程中利用光纖的微細玻璃核心當作犧牲層，以 SU-8 透明負型光阻當作結構層，並以分層堆疊方式完成結構。使用低成本的紫外光當作曝光源定義高分子光阻，將定義好的微流道晶片浸泡在氫氟酸中 20 小時蝕刻去除玻璃光纖，即可完成細小內徑的圓形透明微流道。經過影像處理的精密分析，本文所製作之微流道真圓度偏差皆低於 7%，流道內壁經表面形貌儀( $\alpha$ -step 500)測定所得之粗糙度 Ra 值介於 2 埃到 10 埃之間，顯示完成之流道皆具有光滑的內壁。文中並探討微流道內壁表面性質在浸泡過氫氟酸後之親、疏水性，以及不同蝕刻濃度、溫度、流道尺寸下的蝕刻速率。本文之微流道製作方法提供了一個選擇薄膜光阻流道形狀的新方向。

**關鍵詞：**圓形微流道、光纖、真圓度偏差、粗糙度、親疏水性、蝕刻濃度

## Fabrication of Circular Microchannel

**Yu-Tang Chen<sup>1</sup> Shung-Wen Kang<sup>2</sup> Yi-Chung Wang<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Associate Professor, Hungkou Delin University of Technology, Department of Mechanical Engineering

<sup>2</sup>Professor, Tamkang University, Department of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering

<sup>3</sup>Lecturer, Tamkang University, Department of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering

### Abstract

This paper proposes a novel technique for fabricating microchannels in SU-8 by inserting optical-fibers as sacrificial moulds. The embedded circular microchannels, with inner diameters of 36, 80, and 125 $\mu\text{m}$  (i.e., the diameters of optical-fibers), have been made successfully using a low-temperature fabrication process; where the SU-8 transparent negative-bone photo-resist is selected as the structure layer built in multilayers. Additionally, low-cost ultraviolet is applied as the exposure source to pattern the thin film photo-resist. Preliminary results show that the microchannels fabricated with the proposed technique have an average surface roughness (Ra) of the inner wall less than 10nm and roundness deviation less than 7%. This paper also discusses the wetting behavior of the SU-8 surfaces before and after dipping in the hydrofluoric acid, and summarizes the relationship between the etching rate of sacrificial optical-fibers, etching temperature, concentration, and channel size. Finally, the etching rate of sacrificial optical-fibers versus etching temperature subject to different concentrations and channel sizes is summarized and explained. This new fabrication technique of microchannel manufacture provides a new approach in selecting SU-8 for the structure material containing microchannels.

**Keywords:** SU-8 microchannels, Optical-fibers, Surface roughness, Roundness deviations, Wetting behaviors, Etching rate

## 壹、前言

微流道在現今之科學領域中扮演了極重要的角色，不但應用廣泛、種類繁多，同時也與日常生活息息相關，從化學物質的分析、微小管之流力性質研究、微幫浦、微熱致動器、微小閥門，一直到生醫晶片中生物細胞的分離、計數或基因、酵素反應都有微流道應用之蹤跡[1]，甚至廣泛應用在散熱用均熱片、微熱管或微熱交換器上，並且可與半導體製程相互應用與整合。這對散熱需求急遽升高的電子產品而言是一件重要的事，因此發展不同需求與應用之微流道也成了時下重要的課題之一。目前在微流道之製作上仍以微機電(MEMS, Micro Electro Mechanic System)技術為主，其中發展最成熟者當屬化學蝕刻[2][3]，本研究將製作透明、堅韌之圓形微流道，並且觀察、量測圓形微流道之真圓度與表面粗糙度，進一步找出快速蝕刻光纖犧牲層以成形圓形微流道的蝕刻速率。

微流道在現今製作上以微機電為主要技術，其中發展最成熟者當屬化學蝕刻，例如成形玻璃空穴與流道之等向性化學蝕刻，以及使用反應性離子蝕刻(RIE)製作二維或三維之漸擴(diffuser)、漸縮噴嘴(nozzle)、微文氏管[4]，近年來更發展出以熱壓技術與ICP(Inductive Coupling Plasma)製程製作微流道之方法[5]。除此之外尚有非等向性蝕刻者，例如傳統之矽晶圓晶向蝕刻(Crystal Orientation Dependent Etching)，此種流道外形在長久的發展下種類繁多，包括矩形、梯形、V型，甚至將V型微流道組合成三維星型微流道[6]等。Mallik[7]在1995年使用電子束氣相沉積(E-BEAM deposition)製作出微熱管(Micro Heat Pipe, MHP)結構所需之微流道，流道截面形狀為尖銳之三角形。Kiet[8]與Papautsky[9]分別於1995、1997年以面型加工之犧牲層製程，搭配微電鑄法製作出微流道結構。Guerin[10]在1997年使用SU-8光阻製作出矩形微流道，不但成功的以面型加工完成低成本的高分子矩形截面微流道，開啟了SU-8光阻多采多姿的應用範疇。Kim[11]在2000~2002年也作了一系列將SU-8光阻應用在微幫浦之研究，以堆疊的方式分段作出矩形微流道。Rebecca[12]在2001年以分段曝光的方式，使用兩道光罩製作出應用在微流體系統之多層、矩形微流道。Francis[13]在2001年利用不同的曝光強度造成不同的曝光深度的原理來製作微流道以及微懸臂樑等微結構，其實驗成果也都是矩形截面的微流道與微樑。楊涵評[14]在2002年也以堆疊的方式作出矩形截面微流道，並在流道內佈置極性電極形成流體幫浦。由以上可知在SU-8微結構中製作圓形微流道的研究實屬少數，圓形、透明而結構堅固的結構更是付之闕如，因此本研究之目的即為製作透明、堅韌 [15]之圓形微流道，並且觀察、量測圓形微流道之真圓度與表面粗糙度，進一步找出快速蝕刻光纖犧牲層以成形圓形微流道的蝕刻速率。

散熱需求急遽升高的電子產品於現今社會是一件重要的事，因此發展不同需求與應用之微流道也成了時下重要的課題之一。因此本研究將提出一個新穎的圓形微流道製作方法，製作透明、堅韌之圓形微流道，並且觀察、量測圓形微流道之真圓度與表面粗糙度，進一步找出快速蝕刻光纖犧牲層以成形圓形微流道的蝕刻速率。本研究將以低溫製程來完成，並利用光纖的微細玻璃核心當作犧牲層，以SU-8透明負型光阻當作結構層，並以分層堆疊方式完成結構。使用低成本的紫外光當作曝光源定義高分子光阻，將定義好的微流道晶片浸泡在氫氟酸中蝕刻去除玻璃光纖，來完成細小內徑的圓形透明微流道。本計劃另探討微流道內壁表面性質在浸泡過氫氟酸後之親、疏水性，以及不同蝕刻濃度、溫度、流道尺寸下的蝕刻速率。預計本計劃研究之微流道製作方法可提供一個選擇厚膜光阻流道形狀全新方向的選擇

## 貳、設計與製程

### 2.1 犧牲層製程

本研究利用高分子厚膜負光阻曝光交鏈後不與酸液產生反應的穩定特性，將此負光阻當作結構層，使用微細玻璃核心當作犧牲層。使用氫氟酸蝕刻微細玻璃核心犧牲層之化學反應式如下：



由以上之化學反應式可知，若要加速蝕刻光纖犧牲層，就必須使反應物反應加快或是迅速移除生成物(氟酸矽、水)，使反應不斷向右進行。因此本研究亦將以製作微流道試片的方式，在不同的溫度、濃度、流道直徑等條件下，探討影響微流道之犧牲層蝕刻速率的因素，期望藉此找出加快蝕刻速率的方法。

### 2.2 圓形微流道設計與製程

圓形微流道之製作流程如圖 1 所示，以下為製程之說明：

1. 以標準 RCA 清潔製程清洗矽晶片，去除矽晶片表面的碳氫化合物，再將矽晶片放在 Hot plate 上以 150 °C 加熱 15 分鐘完全去除水氣，增加 SU-8 光阻與矽晶片之間的附著力，如圖 1-a 所示。
2. 待矽晶片冷卻至室溫後，立刻旋塗上第一層厚度 165μm 之 SU-8，在旋塗時轉速分為二階段，先後為 500rpm-15 秒、1200rpm-45 秒。再將晶片放在 Hot plate 上先後進行 50 °C 5 分鐘、65 °C 10 分鐘與 95 °C 30 分鐘之軟烤。軟烤完後應持續將矽晶片置於 Hot plate 上，關閉電源慢速降溫至室溫，避免厚膜光阻產生內應力。待光阻自然降溫至室溫後即可進行曝光，參數設為 250W、30 秒，不使用光罩(即整面曝光)。曝光完後須進行四階段溫度曝後烤(Post Exposure Bake ,PEB)，參數為 50 °C 5 分鐘、60 °C 5 分鐘、70 °C 10 分鐘，90 °C 5 分鐘。曝後烤完仍須置於 Hot plate 上關掉電源自然降至室溫，如圖 1-b、c 所示。
3. 在軟烤與曝後烤慢速降溫時，可同時完成玻璃裸光纖的製作與準備。首先將光纖剪取所需之適當長度泡入沸騰之丙酮，加快表面壓克力保護層之剝除。然後將玻璃裸光纖泡入煮沸之濃硫酸與雙氧水混合液中清洗( $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 3 : 1$ )。接著將光纖泡入去離子水(D.I.Water)中清洗，使光纖表面保持潔淨。最後將光纖以雙面膠拉直並黏著、固定於第一層完全曝光及交鏈的 SU-8 光阻上。去掉壓克力外皮並清潔處理好的玻璃裸光纖如圖 2 所示，光纖直徑為 125μm。光纖之潔淨度對於蝕刻後的微流道表面粗糙度有著決定性的影響，因此在處理光纖時應務必保持絕對的謹慎與清潔。
4. 將已經固定好光纖之第一層 SU-8 負光阻矽晶片，以同樣旋塗 165μm 厚光阻之參數，製作出第二層曝光及交鏈完成之 SU-8 光阻，此時玻璃裸光纖將完全被第二層光阻包覆，如圖 1-d 所示。
5. 在第二層 SU-8 光阻上再塗上第三層、厚度 75μm 光阻，旋塗轉速 500rpm-15 秒、2000rpm-45 秒，以增厚、補強整體光阻結構，並可使晶片表面(作好第三層光阻層之後)成為平面，避免表面不平使晶片上之光阻結構易破裂，如圖 1-e 所示。
6. 將作好之微流道矽晶片以垂直流道之方向進行切割，使玻璃裸光纖橫截面可裸露出來進行蝕刻，如圖 1-f 所示。
7. 將切割完成的微流道晶片浸入氫氟酸中蝕刻，如圖 1-g 所示。蝕刻時間與溫度將影響蝕刻光纖犧牲層的速率，但是建議不可超過攝氏 65 °C 否則厚膜光阻極易與底材(矽晶片)剝離。微流道晶片在蝕去光纖犧牲層之後即可完成圓形微流道，蝕刻時間可藉由使用超音波震洗機或 hotplate 的攪拌功能，加速蝕刻而縮短[10]。

## 參、結果與討論

### 3.1 真圓度偏差

本研究中之微流道真圓度偏差，是由量測流道進出口部分橫截面(如圖 3)與流道各段橫截面分析而得，藉此比較流道進、出口端的真圓度偏差與實際蝕刻出流道內部各段的真圓度偏差是否一致且均勻。表一為將長度 2cm，直徑 36、80、125 $\mu\text{m}$  的圓形微流道各切兩次分為 3 段，取得流道橫截面後所得真圓度量測結果。

影響流道真圓度之因素就是光纖的真圓度。因為犧牲層製程的定義，就是由犧牲層結構的外型直接定義出微流道或微孔穴之形狀，所以光纖犧牲層的真圓度直接決定了犧牲層製程成型出的微流道真圓度良窳。根據光纖產品的原始資料，去除壓克力外皮之後的裸光纖其真圓度偏差低於 2%，然而在此成型出的圓形微流道，如表一中所示，真圓度偏差最高為 7%。在此初步歸納出的原因如下：

1. 在切割流道取得橫截面樣本時，切割面沒有完全垂直到流道。
2. 拍攝 SEM 照片時無法將橫截面完全垂直顯微鏡頭。
3. 在使用 OM 觀察與拍攝流道橫截面時，會因為鏡頭景深的差距造成流道橫截面輪廓的差距，改變一點焦距就會造成輪廓的變化，因此無法取得最真實的流道橫截面輪廓。原因就在使用光罩曝光顯影定義微流道時無法百分之百對準、垂直光纖犧牲層。因此使用 CCD 觀測曝光顯影定義出的微流道橫截面時受到鏡頭景深的限制，輪廓清楚的範圍比使用切割機切出的微流道橫截面小，在擷取橫截面影像時產生誤差。
4. 在使用最小平方方法計算流道橫截面真圓度時，使用印表機將影像轉為紙上圖片時會有誤差；在紙上描繪與比對待測圓上均分等份出的各點座標時，會因為線條粗細不同與尺規工具的誤差，造成座標點 x、y 值之誤差，導致最後取得真圓度偏差 h 值時會有一定的誤差。

### 3.2 表面粗糙度

由於本計劃中所製作之微流道直徑非常的微細，以致於量測表面粗糙度時有其困難，因此本研究將製作半圓形微溝槽，並在與蝕刻圓形微流道相同的蝕刻條件下蝕刻出微溝槽，然後使用表面形貌儀( $\alpha$ -STEP 500)量測半圓形微溝槽內壁的表面粗糙度，以此模擬圓形微流道中真實的表面粗糙度。圖 4 即為半圓形微溝槽的製作示意圖。

本研究製作之圓形微流道，若要能應用在微幫浦領域時，流道的表面性質將是一項必須考慮的因素。影響流道表面粗糙度之因素，以犧牲層製程的觀念為基底，將完全決定於犧牲層（微細玻璃光纖）的表面粗糙度。本文中半圓形微溝槽在室溫 23  $^{\circ}\text{C}$  靜置 20 小時的蝕刻時間下，測得的表面粗糙度 Ra 值範圍介於 2 埃到 10 埃之間。

以蝕刻速率的觀點來討論，由於半圓形微溝槽內壁裸露於氫氟酸中之時間比圓形微流道者大上許多，對溝槽內壁的損傷也會比圓形微流道者大，因此在相同蝕刻條件下製作的圓形微流道表面粗糙度，將比半圓形微溝槽的表面粗糙度優良。圖 5 是使用表面粗糙度儀量測半圓形微溝槽的表面粗糙度，雖然量測出的曲線應該是直線，但是在多次嘗試調整半圓形微溝槽晶片的角度後，仍無法完全避免量測到微溝槽最底部之外的曲面，僅中間一段平面才是真正的表面粗糙度 Ra 值。

### 3.3 流道表面親、疏水性之探討

在浸泡氫氟酸之後，氫氟酸之強烈化學性質對於流道表面之親、疏水性會產生影響。Abe[17]在 1998 年指出數個影響流道表面親、疏水性，流道與流體間表面張力的因素，包括表面之幾何外型、溶液內或表面上之顆粒、空氣中之溼度及飽和蒸氣壓影響水

氣之凝結等。使用光學顯微鏡(Optical Microscope, OM)以及掃描式電子顯微鏡(Scanning Electrical Microscope, SEM)觀察微流道表面時，發現流道表面存在一些微細的孔洞，使得流道在微觀下並不完全平整，此即所謂表面幾何外型之變化。再來，就是氫氟酸對流道表面造成的性質改變，可以由圖 6 中觀察出，流道開口在氫氟酸的蝕刻之下有些微的膨脹變形，也就是說厚膜光阻對於氫氟酸有輕微的吸收性，因此在蝕刻完光纖犧牲層之後，流道內壁也吸收了少許的氫氟酸，並不斷持續釋放於流道中增加流道內空氣的溼度。圖 7 中可見 SU-8 在浸泡氫氟酸前之表面性質為疏水性，接觸角 98.2 度，中央黑色半圓形者為水滴，水滴下方黑色部分為厚膜光阻 SU-8。圖 8 可見浸泡氫氟酸之後接觸角為 79.61 度，流道內壁表面性質轉為如圖 9 所示之親水性，中央透明雙彎曲部分為水滴，左右兩端顏色較深者為空氣，顯示表面性質為親水性。這樣的性質對於微汞浦的應用而言是有其必要性的[14]。

### 3.4 蝕刻速率之探討

本研究中針對不同的蝕刻溫度、蝕刻濃度，以及流道尺寸作了一系列的蝕刻速率實驗。本文對完全蝕刻長度之定義，是微流道內完全沒有光纖的長度。將顯微鏡下觀測到的蝕刻長度( $\mu\text{m}$ )，除以當時經過的蝕刻時間(min)即可得到每分鐘的蝕刻速度( $\mu\text{m}/\text{min}$ )。在選擇蝕刻溫度時因考量鐵氟龍燒杯的耐熱程度，85  $^{\circ}\text{C}$  已變形，因此為了安全起見，最高溫度即限制在 85  $^{\circ}\text{C}$  在設定蝕刻濃度時，市購的氫氟酸濃度僅有唯一的 49%，於是最高的蝕刻濃度即限定在 49%，其次則將濃度依序減半為 25% 以及 10%。蝕刻時間為 20 到 60 分鐘不等。經過不斷試驗蝕刻速率之後，得到如圖 10~15 所示之蝕刻速率圖，並且對所測得之蝕刻速率有以下 4 點結論：

1. 如圖 10~15 所示，在相同蝕刻濃度、流道直徑下，蝕刻速率將隨著蝕刻溫度的升高而增加，因為升高之溫度提供了化學反應物分子運動所需的動量與碰撞機率，因此加快了化學反應，尤其是從 65  $^{\circ}\text{C}$  高至 85  $^{\circ}\text{C}$  蝕刻速率快速升高。
2. 如圖 10~15 所示，在相同蝕刻溫度、流道直徑下，蝕刻速率將隨著蝕刻濃度的升高而增加，最快的蝕刻速率出現在濃度最高的 49%。原因與結論 a 相同：因為反應物分子濃度高、數量多造成反應物分子碰撞機率增加。
3. 在相同蝕刻濃度、流道直徑下，發現蝕刻速率將隨著微流道孔徑的縮小而升高，如圖 14，15 所示。尤其在最小的流道直徑 38 $\mu\text{m}$  出現最高的蝕刻速率，因為化學反應距離的縮小增加了反應物分子間的碰撞機率。這樣的現象也可經由蝕刻照片圖 27 中發現，光纖都是從最靠近管壁的部份，開始徑向的往流道中心蝕刻得到驗證，也因此光纖最外側被蝕刻時都會呈現尖銳的形狀。
4. 在所有蝕刻濃度下 (10%、25%、49%)，蝕刻溫度達 65  $^{\circ}\text{C}$  後，幾乎所有 SU-8 光阻都會與矽晶片底材剝離，因此建議加熱蝕刻時不要超過 65  $^{\circ}\text{C}$  方可兼顧蝕刻速率與微流道晶片完整性。

## 肆、結論

本文提出一個新穎的圓形微流道製作方法，並且完成了內壁極為光滑、真圓度極佳的三種水力直徑36、80、125 $\mu\text{m}$ 等流道，並且整段微流道真圓度具高均勻性的圓形流道。在研製厚膜光阻圓形透明微流道時，由於國內外先進在此方面發表的已知成就較少，因此在研究初期最大的挑戰便是構思圓形微流道的成形方法、調整厚膜光阻結構製程參數，將圓形微流道結構從無到有製作完成！在微流道結構上更做了完整的表面性質測試，並完成了水力直徑36、80、125 $\mu\text{m}$ 等具有極佳之真圓度、極光滑的流道內壁，以及整段流道真圓度之高均勻性的圓形透明微流道。製程中不但需要將光纖的微細玻璃核心完全去除，以氫氟酸這類的強酸去除犧牲層時更要兼顧SU-8透明負型光阻結構層的完整性。經過影像處理的精密分析，本文製作之圓形微流道真圓度偏差低於7%，流道內壁經表面粗度儀測定所得之粗糙度Ra值介於2埃到10埃之間，顯示完成之流道皆具有光滑的內壁，不但符合微小管流實驗或微泵浦應用層面的需求，本文之微流道製作方法也提供了一個選擇厚膜光阻流道形狀的新方向。


## 參考文獻

- [1] Kai Sun, Akira Yamaguchi, Yutaka Ishida, Shigeki Matsuo, Hiroaki Misawa, "A heater-integrated microchannel chip for continuous-flow PCR .", Sensors and Actuators B, Vol. 84, pp.283-289, 2002。
- [2] 陳明正,「新型微壓力感測器之改良及其於微流道壓力量測之應用」,淡江大學機械與機電工程學系研究所碩士論文,指導教授楊龍杰博士,民國 89 年 6 月。
- [3] W.Kaplan ,H.Elderstig ,C. Veider,"A novel fabrication method of capillary tubes on quartz for chemical analysis applications.", Proc. MEMS'94, pp.63-68,1994。
- [4] 張碧峰,「微文氏管與孔口之研製」,淡江大學機械與機電工程學系研究所碩士論文,指導教授康尚文博士,民國九十年六月。
- [5] 精密儀器發展中心、精儀中心簡訊,第 54 期,第 10 頁,奈米技術研究室,翁俊仁,民國 91 年 12 月。
- [6] S. W. Kang, D.L.Huang, "Fabrication of star grooves and rhombus grooves micro heat pipe.", Journal of Micromechanical and Microengineering, Vol.12, pp.1-7, 2002。
- [7] A. K. Mallik, G. P .Peterson, M. H. Weichold , "Fabrication of Vapor-Deposited Micro Heat Pipe Arrays as an integral Part of Semiconductor Devices", Journal of MEMS, Vol.4, No.3, pp. 119-131, Sep 1995。
- [8] Youngcheol Joo , Kiet Dieu , Chang-Jin Kim, "Fabrication of monolithic microchannels for IC chip cooling", Micro Electro Mechanical Systems, 1995, MEMS '95, Proceedings. IEEE, pp: 36229, Jan.-2 Feb. 1995。
- [9] I. Papautsky, A. B. Frazier, H. Swerdlow, "A Low Temperature IC Compatible Process for Fabrication Surface Micromachined Metallic Microchannels.", Proc. MEMS'97, pp.317-322,1997。
- [10] L.J. Guerin, M. Bossel, S. Calmes, M. Demierre, P. Renaud, "Simple and low cost fabrication of embedded micro-channels by using a new thick-film photoplastic" Solid State Sensors and Actuators, 1997. TRANSDUCERS '97 Chicago, 1997 International Conference on, Vol. 2, pp.16-19, Jun 1997。
- [11] Y. Joo, K. Dieu, C-J Kim, "Fabrication of Monolithic Microchannels for IC Chip Cooling.", Proc. MEMS '95, pp. 362-367, 1995。
- [12] J. J. Rebecca , M. F. Tamara , G. Reza , A.S.Martin , F.J.Klavs , "Microfluidic systems with on-line UV detection fabricated in photodefinable epoxy.", Journal of Micromechanical and Microengineering, Vol.11 , pp. 263-269 , 2001。
- [13] E. H. Tay Francis, J A van Kan, F. Watt, W. O. Choong, "A novel micro-machining method for the fabrication of thick-film SU-8 embedded micro-channels.", Journal of Micromechanical and Microengineering, Vol. 11, pp. 27-32, 2001。



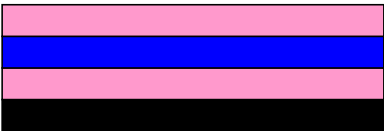
- [14] 楊涵評，「以極化毛細管操控微量流體的研究」，國立交通大學機械工程學系研究所碩士論文，指導教授徐文祥博士，民國九十一年七月。
- [15] <http://aveclafaux.freesevers.com/SU-8.html>
- [16] J. Liu, Y.-C. Tai, J. Lee, K.-C. Pong, Y. Zohar, C.-M. Ho, "In situ monitoring and universal modelling of sacrificial PSG etching using hydrofluoric acid", Micro Electro Mechanical Systems, 1993, MEMS '93, Proceedings An Investigation of Micro Structures, Sensors, Actuators, Machines and Systems. IEEE, pp: 71 -76, 1993.
- [17] T. Abe, "A contamination-free microstructure in a humid environment by means of a combination of hydrophilic and hydrophobic surfaces" J. MEMS, Vol. 7, Issue: 1, pp.94-101, 1998.


## 圖表彙整

(a)   
以RCA程序清潔矽晶片

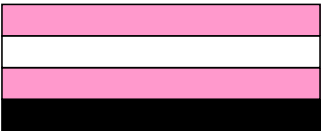
(b)   
在矽晶片上旋塗一層  
165  $\mu\text{m}$ 之SU-8

(c)   
SU-8完全交鏈硬烤完後放上一  
根徹底清潔過之玻璃裸光纖並  
固定之

(d)   
再圖一層165  $\mu\text{m}$ 之SU-8並完  
成曝光交鏈

(e)   
再圖一層75  $\mu\text{m}$ 之SU-8並曝光  
交鏈補強整體流道結構

(f)   
切削整體矽晶片結構使左右  
端露出圓形玻璃光纖橫截面

(g)   
將切削好的晶片泡入氫氟酸  
中蝕去玻璃光纖犧牲層成形  
出圓形微流道




 矽晶片       SU-8       光纖

圖 1、圓形微流道之製作流程圖

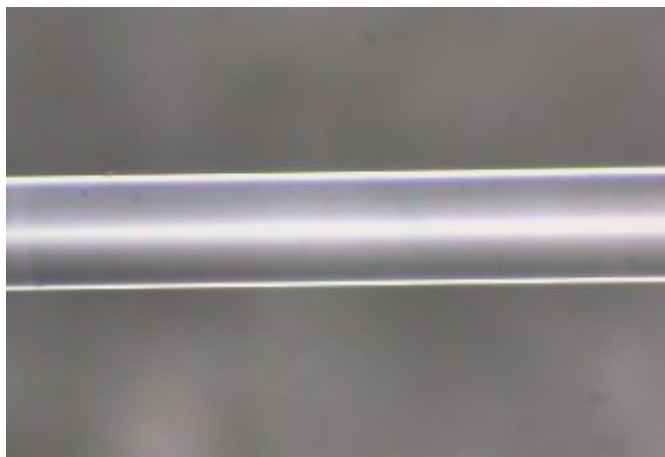
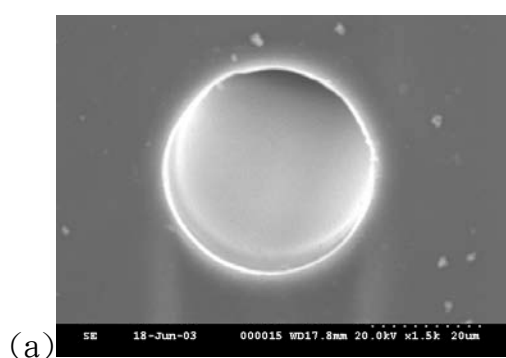
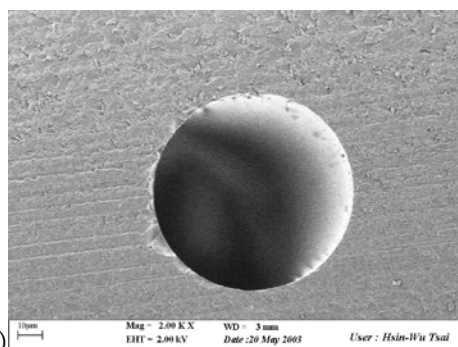


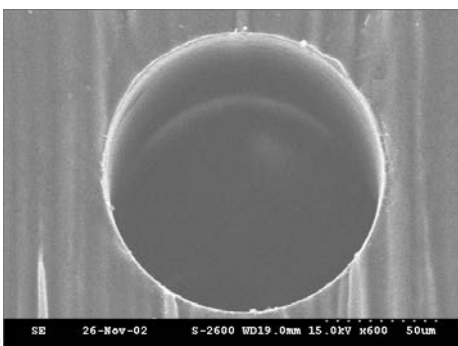
圖 2、剝除壓克力外皮並經過清潔處理的微細玻璃核心，直徑 125 $\mu$ m



(a)



(b)



(c)

圖 3 圓形微流道 SEM 照相截面圖(a)36 $\mu$ m, (b)80 $\mu$ m, (c)125 $\mu$ m

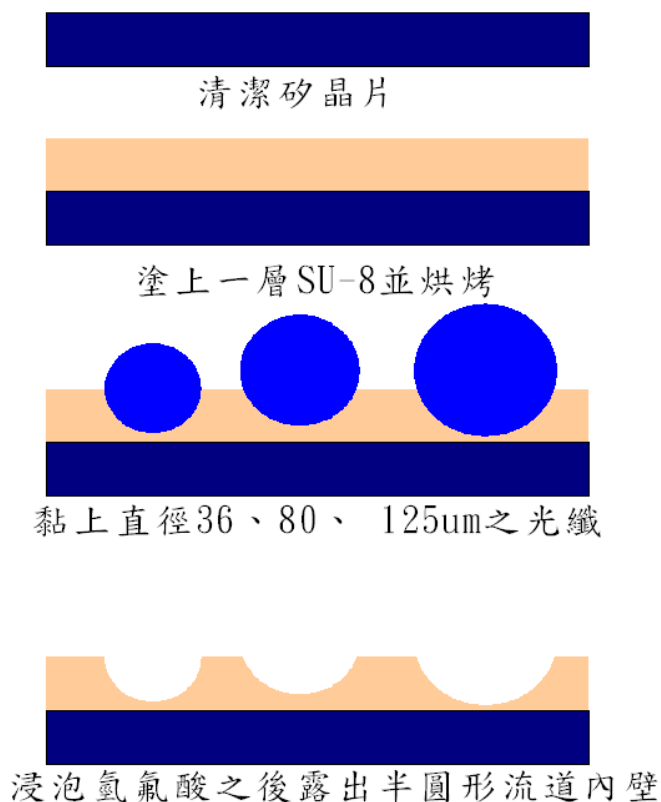


圖 4、半圓形微溝槽製作示意圖

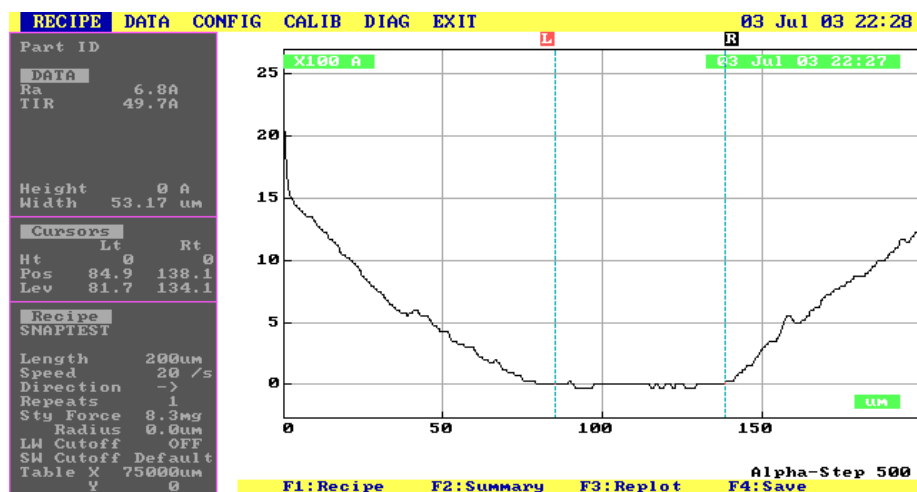


圖 5、表面粗糙度  $Ra=6.8A$

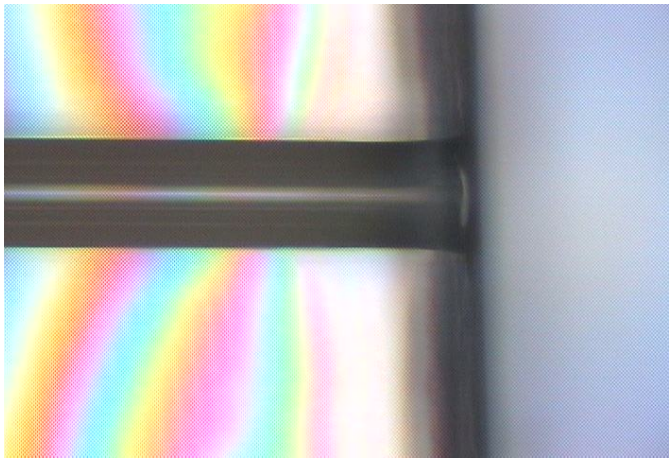


圖 6、右方流道出口端輕微變形

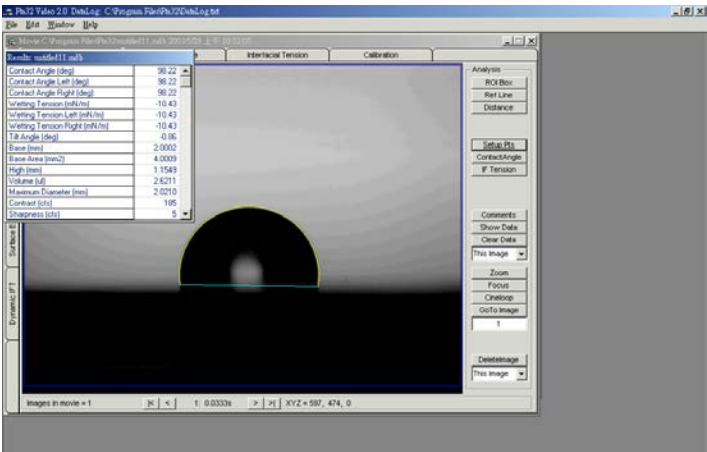


圖 7、接觸角為 98.2 度

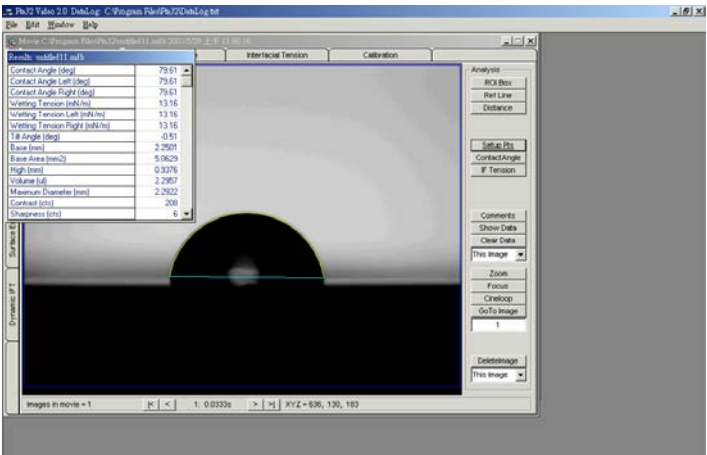


圖 8、接觸角為 79.61 度

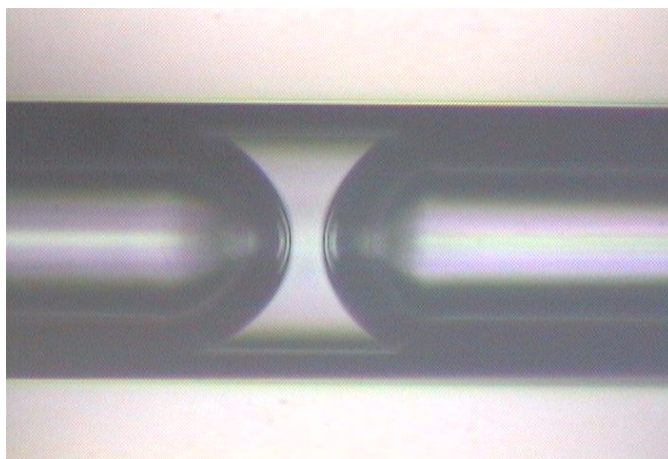


圖 9、流道直徑 125 $\mu$ m，放大倍率為 500 倍

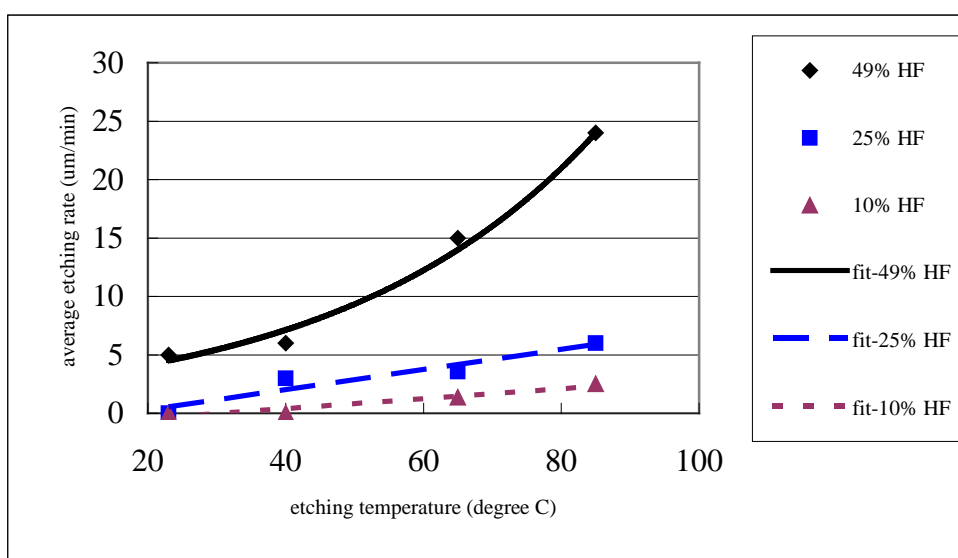


圖 10、直徑 125 $\mu$ m 微流道蝕刻速率

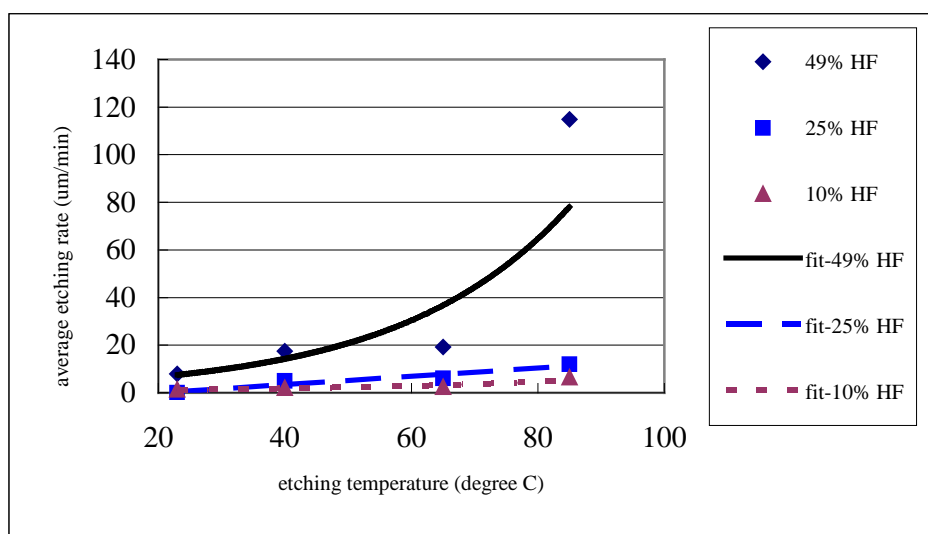


圖 11、直徑 80 $\mu$ m 微流道蝕刻速率

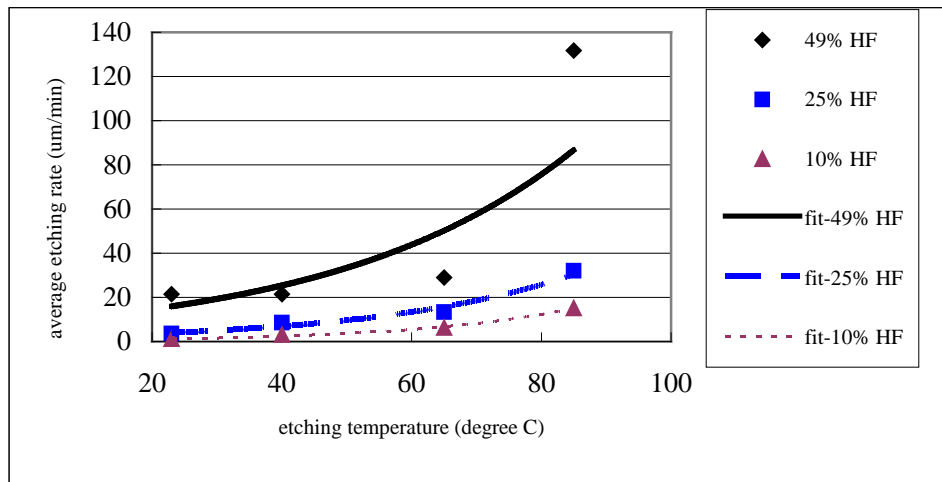


圖 12、直徑 38 $\mu$ m 微流道蝕刻速率

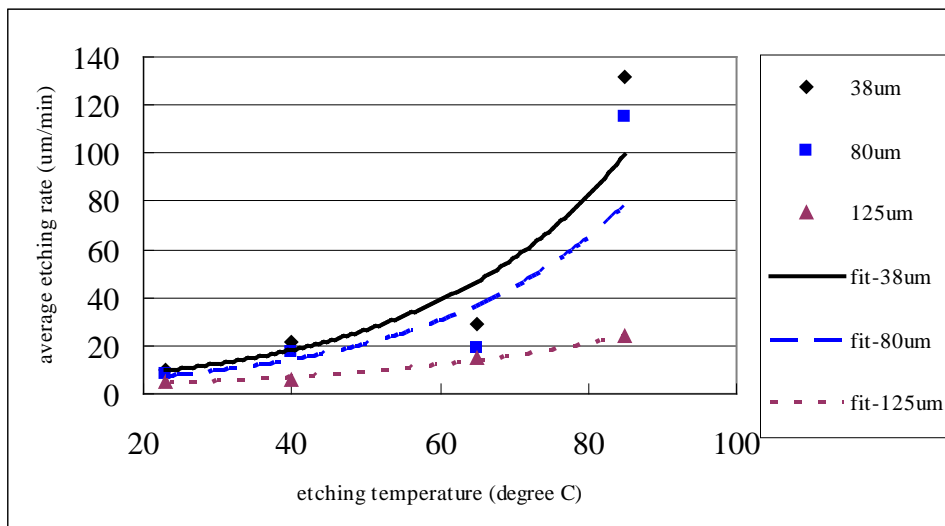


圖 13、HF 濃度 49% 時各尺寸微流道蝕刻速率

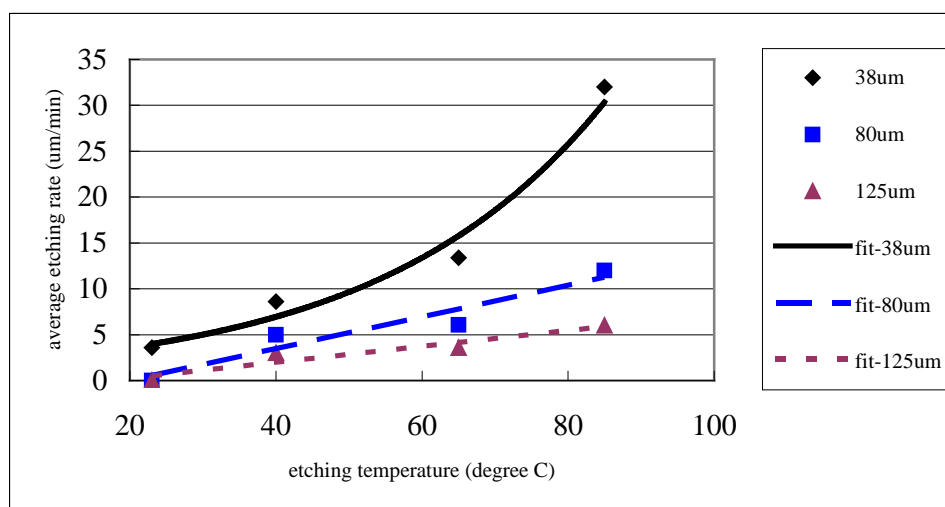


圖 14、HF 濃度 25% 時各尺寸微流道蝕刻速率

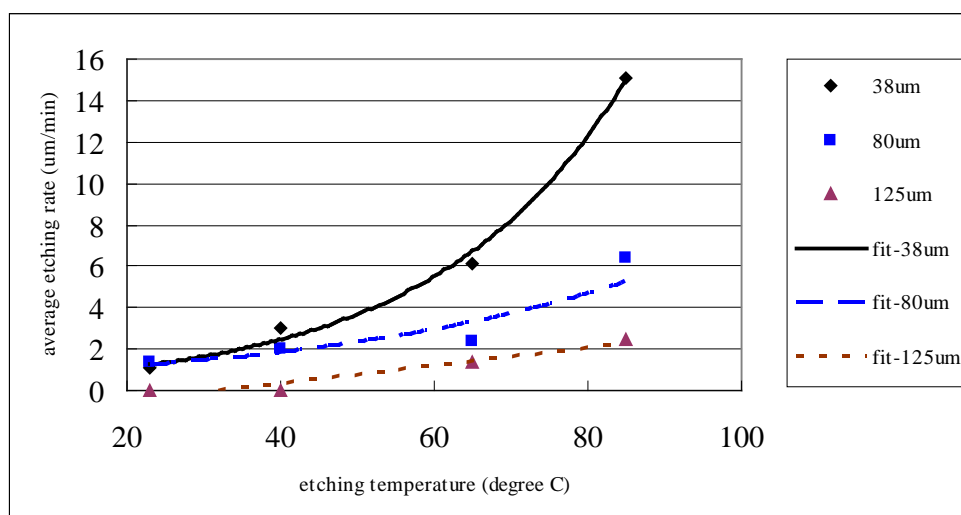


圖 15、HF 濃度 10% 時各尺寸微流道蝕刻速率

表一、微流道真圓度偏差量測結果

取樣位置 流道直徑	進口端	1/3	2/3	出口端	平均
36μm (長度 3cm)	2.081μm (5.78%)	2.370μm (6.5%)	2.014μm (5.59%)	1.683μm (4.67%)	2.287μm (6.35%)
80μm (長度 3cm)	3.06μm (3.82)%	4.23μm (5.28)%	4.11μm (5.13)%	4.46μm (5.57%)	3.965μm (4.95%)
125μm (長度 3cm)	9.943μm (7.54%)	7.592μm (6.07%)	7.037μm (5.62%)	10.526μm (8.42%)	8.774μm (7.01%)