

微液體混合器的研發 (I)

計畫編號：NSC-89-2212-E-002-057

執行期限：88 年 08 月 01 日至 89 年 07 月 31 日

主持人：朱錦洲 國立台灣大學應用力學研究所

共同主持人：曾繁根 國立清華大學工程與系統科學研究所

研究助理：姚良瑜，郭仕奇

一、摘要

微渠道流在晶片實驗室 (Lab-on-a-chip) 上有許多重要應用，因此使得其在微機電系統的領域中受到廣泛的注意。與傳統四周固定微通道流不同的是，本文所探討之微流通道僅有上下之流道約束，其左右為自由液面，因此所觀察到之物理現象與傳統四圍固定式之微渠道流大不相同。本研究發現，在僅上下固定邊界的流道裡，驅動微渠道的表面張力存在於液體與固體接觸上表面和下表面，以及在靜止端的液-氣接觸面上。在液體通道中，液體是被侷限在基材底部的微製程親水通道上 (寬 0.1mm，長 4.9mm) 與疏水性覆蓋之下表面間。當體積為 0.2 μl 的液體注入到渠道的入口處時，吾人發現當上表面與下表面基材的間隙小於 0.016mm 時，液體會自動從入口處進入微渠道中；反之，當間隙大於 0.016mm 時，則液體不會流入渠道中。這個現象指出：在前述的幾何條件下，由底材親水介面的表面張力所產生的前進力量和由液滴的慣性力所產生的壓力與由上蓋物疏水性質的表面張力所產生往後退的力量和渠道的阻力達到平衡。實驗結果顯示，在微渠道中，液體前端以新月形的彎曲形狀的前進，速度會隨著前進的距離增加而降低。此一新型之微小渠道可以被應用在無幫浦、無閥門的液滴微小混和領域上。

關鍵字：親水性、疏水性、接觸角、微液體通道

二、理論基礎

表面張力於微觀流體中為主要之作用力。在沒有重力的影響下，以圖 2-1 之液膜為例，液膜呈球形。此一個半徑為 r 的液膜，液膜曲率半徑愈小，內部空氣壓力比外面大愈多。此一壓力差於微管中

可被利用為流體之驅動力。

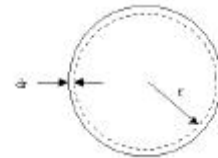


圖 2-1 半徑 r 之液膜

再者，在大多數的情形下，液體不會將固體潤濕，而是保持成液-固相間有一定接觸角的液滴，不同的材料會有不同的接觸角。根據接觸角小於或大於 90 度，可將材料分為親水的 (hydrophilic) 與疏水的 (hydrophobic) 材料。

吾人便是利用材料的表面特性，以鋪設親水通道與疏水間隔來規範流道，並運用表面張力差異特性，以驅動流體來達到液體拉長之目的，以為之後流體混合之預備。

三、微通道之設計與製程安排

3.1 微通道之設計

微通道之設計參數，是經由簡單的估算瞭解各種驅動力之間的相互關係後加以決定。圖 3-1 與圖 3-2 分別顯示本實驗所使用流場之三視圖及進口處之三維放大圖。將體積 0.2 μl 的流體由微通道之左方微儲室滴入，由下方微製造所形成之親水性條材帶入微通道中。上方之蓋板為非親水性之材料構成。由於表面張力之作用流體將於微通道中向右方流動並拉長直到另一側。由圖 3-2 中設計親水性通道有八道，四道一組。親水寬度皆為 100 μm ，疏水間隔為 20 與 40 μm ，適當的疏水間隔可防止發生流道間的合併。通道長 4900 μm 。上方疏水蓋板與下方微通道距離設計約為 10~20 μm 的高度將可提供足夠的表面張力作用使流體前進。

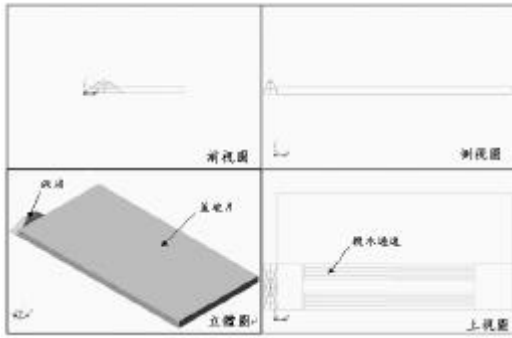


圖 3-1 三維微流道示意圖(一)

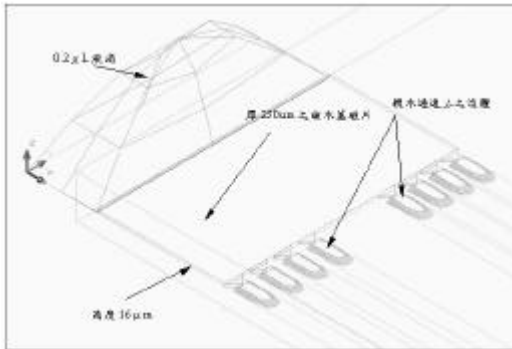


圖 3-2 三維微流道示意圖(二)

3.2 製程設計

在製程材料容易取得，與方便製程及材料間的配合性與親水疏水性等多重條件下，製程安排如圖 3-4 所示。使用黃光製程與濕蝕刻台便完微通道中所需的親水通道與疏水間隔。且在加蓋用的蓋玻片上將杜邦 TEFLON AF-1601 鐵氟龍溶液以 3M FC-40 稀釋到 1 % wt。以旋佈方式佈著於蓋玻片上，接著進行烘烤固化且增加鐵氟龍與玻璃的附著力。

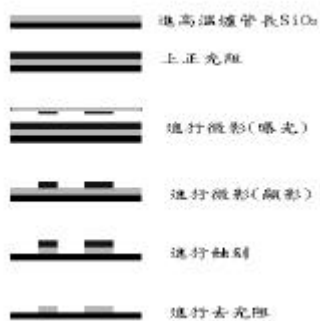


圖 3-4 製程安排

四、實驗方法

製造完成之微流通道，利用定格可變焦放大系統與顯微鏡搭配使用，以量測接觸角與親水通道中

流體速度，流體形狀等物理特性。

4.1 接觸角之量測

吾人利用定格可變焦放大系統量測以下數種材料之接觸角，二氧化矽、鐵氟龍、蓋玻片、矽晶圓、正光阻 FH6400L，實驗設備如圖 4-1。

4.2 液體速度之量測

透過顯微鏡可拍下流體在微流道上的運動情況，經過專業影像播放程式找出時間與位置之對應關係，重建出速度與加速度的變化。

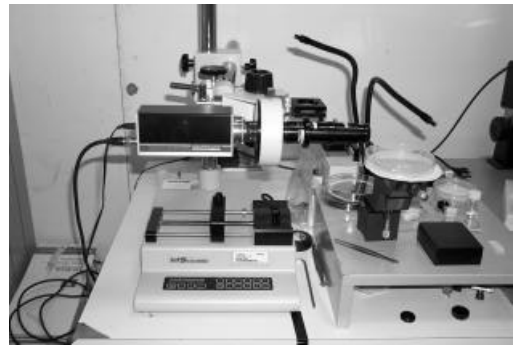


圖 4-1 定格可變焦放大系統

五、結果與討論

本節針對製程設計結果與接觸角量測結果，親水通道與疏水間隔寬度，加蓋高度，流體速度與外型報告結果與討論。測試流道如圖 5-1 所示。圖中下方深色方型區為儲水區，將 0.2 µl 的液體注入此儲水區。而圖上方為等寬度之親水通道，實驗不同疏水間隔寬度對流道的影響。上蓋為鐵氟龍疏水材料。

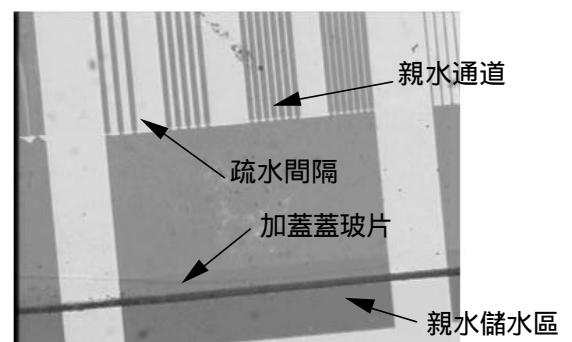


圖 5-1 測試件實體圖

5.1 接觸角量測結果與討論

吾人量測以下數種材料之接觸角，二氧化矽、鐵氟龍、正光阻、加蓋用無塗佈鐵氟龍的蓋玻片，

實驗結果如圖 5-2。

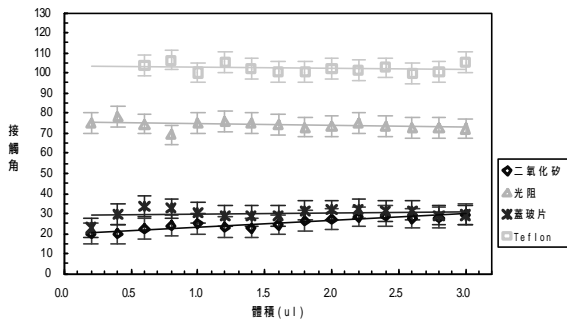


圖 5-2 接觸角

其中，正光阻雖然接觸角大於二氧化矽與蓋玻片，或是其親水性較差，但光阻會因為水的潤濕時間增加，而接觸角會愈小，雖然有製程容易的優點，但只能供初期開發微液體混合器實驗上經驗的提供。

鐵氟龍接觸角約為 110 度，其疏水性佳，所以不易觀察 0.6 μ l 以下液滴的接觸角，因為 0.6 μ l 以下的液滴，重力不夠大於停留在給滴器的表面張力，所以無法觀察過於微小的液滴。

5.2 寬度與高度觀察結果與討論

研究初期並沒有考慮加蓋之情況，不論親水與疏水性材料如何搭配組皆不能得到可接受的成果。所以在依照原來的通道設計上方加一蓋玻片，但是仍無法有明顯改善效果，微液體依然無法前進。最後在蓋玻片上塗佈一層鐵氟龍才得到一可接受的實驗成果，在表面張力的引導之下，使流體前進，讓流道間不發生流體合併的情況。觀察結果如圖 5-3 與圖 5-4 所示。

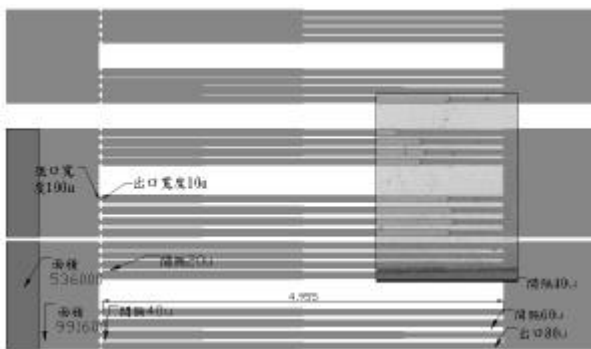


圖 5-3 疏水間隔 20 μ m、40 μ m

圖 5-3 與 5-4 中，親水通道寬度皆為 100 μ m，

但其疏水間隔有 5 μ m、10 μ m、20 μ m、40 μ m 四種寬度，但 10 μ m 以下可從圖 5-4 明顯看出已發生流道合併，20 μ m 以上的疏水間隔可讓流體保持在各親水流道上且持續前進到另一側。也就是疏水間隔寬度至少要流道寬度的五分之一才不會發生流道合併。



圖 5-4 疏水間隔 10 μ m、5 μ m

加蓋的目的在於消除液滴的內聚力。加蓋高度愈高，液前緣的曲率半徑愈大，內外壓力差愈小，造成流體前進速度愈慢，甚至造成流體靜止不前，反之，高度愈低，液前緣曲率半徑愈小，內外壓力差愈大，流體前進速度愈大。所以適當的高度與適當的液滴進入儲水區，是讓液體只在親水通道上前進的主要因素。本研究發現當高度為 16 μ m 時可使流體前進，高於此高度則無法在親水通道上前進。所以高度的設計低於通道寬度的五分之一可使流體前進。

5.3 速度量測結果與討論

根據圖 5-3 的實驗條件下，得到的位置、速度與加速度對時間的關係如下圖所示。

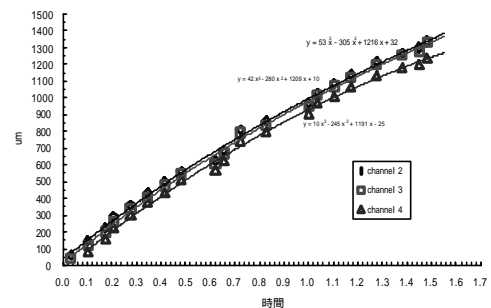


圖 5-5 位置對時間

由速度對時間的圖中可看出，微流體隨著行徑的距離愈來愈長，所受的阻力隨之增加，其來源包括與

空氣接觸的面積增大，造成空氣與水的表面張力加大，且材料對微液體之黏滯力也隨之增加。再加上後面的大液滴 (0.2 μl) 所產生的壓力差，在一開始提供了一個主要的驅動力，但微液體進入親水通道的長度愈長時，留在外面的體積便愈小，而所產生的壓力差變為次要的驅動力，而流體前緣的表面張力始終不變，便取代壓力差成為主要驅動力。

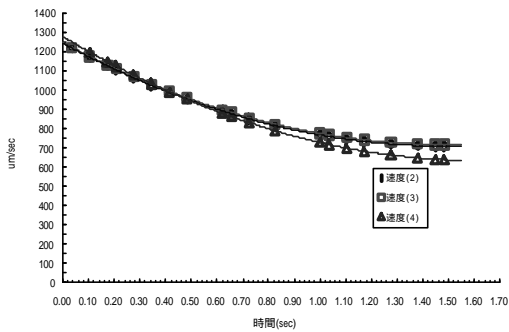


圖 5-6 速度對時間

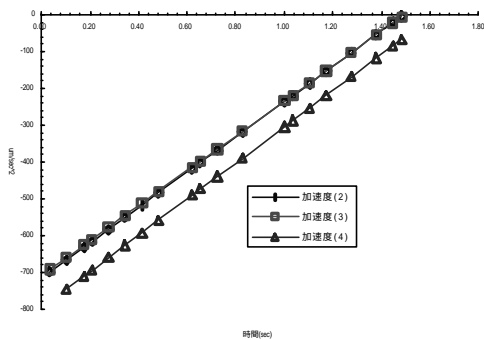


圖 5-7 加速度對時間

但是速度對時間中可看出當時間愈長，速度趨向一個等速，而物理上當流體愈長時，驅動力將無法克服持續增加的黏滯力，在速度的表現上最後應該要趨為零，將來要設計長度更長的流道便可觀察到這個現象。

5.4 三維重建

利用定格可變焦放大系統擷取水在微流道中，前進時的前視圖與側視圖。再加上利用反射式光學顯微鏡所擷取的上視圖，重建出微流體在親水性材料上之運動立體圖像，如圖 5-8，下圖中由左至右為上視圖、前視圖與側視圖。

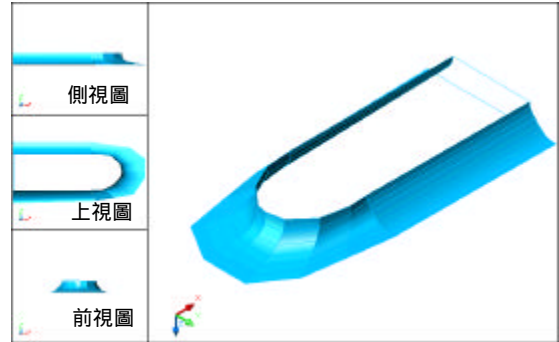
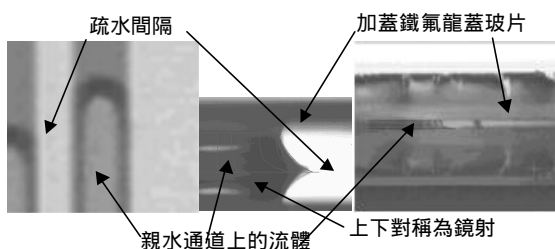


圖 5-8 三維重建

六、結論

在本研究成果中，可作下列數點結論：

- 1、成功地設計並製造出應用於微混合的新型通道。
- 2、搭配使用親水與疏水性材料的特性，巧妙運用表面張力，可以明顯看出控制微液體的流動是可行的。奠定了日後尋找親水性更佳或疏水性更明顯之材料，在製程亦可掌握之材料，可使微流系統多一種微通道方式。
- 3、實驗結果證實此通道的可行性與通道參數設計。
- 4、對於微液體通道量測實驗，本研究已對實驗上所遭遇的困難提出了問題的原由與解決方法。將對未來從事此相關實驗時，提供一個實驗方法。

七、感謝詞

本計劃承蒙國科會研究計畫 NSC 89-2212-E-002-057 的大力支持，始得順利進行，在此特表感謝。研究期間交大半導體中心的林素珠與陳聯珠小姐，台灣杜邦葉錫勳先生提供 TEFLON AF-1601 與美商 3M 陳人瑞先生提供 FC-40，方能順利完成，在此一併感謝。

八、參考文獻

- [1] Yao, L-Y, A study of Microchannel of Micromixer, 台大應力所碩士論文
- [2] 陶雨台 (譯)，表面物理化學，千華出版社。
- [3] 郭兆林，周念縈 (譯)，固、特、異的物質，天下文化。

[4]Gau, H., Herminghaus, S., Lenz, P., and Lipowsky, R.,
Liquid morphologies on structured surfaces: From
microchannels to microchips, Science 283, January 1,
1999