

微液體混合器的研發 (III)

計畫編號：NSC-90-2212-E-002-204

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 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：陳建甫，吳文彬

一、摘要

液體混合是藉不同流體之間分子擴散作用而達成，增加不同流體間相互接觸面積將可提高混合速率。在工作尺度縮小之情況下，Re 將遠小於 1，其中的流體現象為層流，使得以外力擾動之手段，無法有效應用在微尺度流體混合。在流體流場尺度縮小的情況下，表面積對體積的比值將變的鉅大，凸顯了表面效应在微流體力學所扮演的重要性。本研究巧妙地利用表面張力及微結構，在不外加外力之情況下，大幅增加待混合液體之接觸面，降低它們混合尺度，使得混合在極短時間內完成。

關鍵字：表面張力、親水性、疏水性、微液體混合

二、理論基礎

通常要描述一個曲面，必需用到兩個曲率半徑；對球形而言，兩個曲半徑相同，圖 2-1 顯示一個任意曲面的一小部分。曲率半徑分別為 R_1 與 R_2 ，而且這塊表面小到 R_1 與 R_2 實際上是常數。現在如果把這表面向外移動一小段距離，面積的改變為

$$\Delta A = (x+dx)(y+dy) - xy = xdy + ydx$$

為形成這多出來的表面所作的功為

$$\text{功} = \gamma (xdy + ydx)$$

表面兩邊會有一壓力差 ΔP ；它作用在面積 xy 上，經過一段距離 dz 。對應的功則為

$$\text{功} = \Delta P \, xy \, dz$$

由相似三角形比較，可得到

$$\frac{x+dx}{R_1+dz} = \frac{x}{R_1} \quad \text{或} \quad \frac{1}{x} \frac{dx}{dz} = \frac{1}{R_1}$$

以及

$$\frac{y+dy}{R_2+dz} = \frac{y}{R_2} \quad \text{或} \quad \frac{1}{y} \frac{dy}{dz} = \frac{1}{R_2}$$

如果表面呈機械平衡，上面所列兩個功必須相等。令兩式相等得

$$\Delta P = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (2-1)$$

這式就是毛細作用的基本方程式。

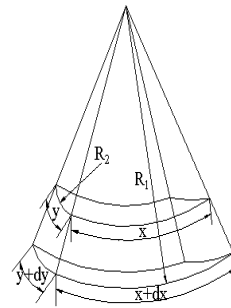


圖 2-1 兩個曲率半徑描述任一曲面

結論：由式(2-1)的推導結果，我們可以對任何一液體的曲面以壓力梯度的方式，來表示表面張力。

三、微通道之設計與製程安排

3.1 微通道之設計

本研究設計迴旋流道目的，是在於了解不同兩種液體在流入迴旋雙流道中，在有限面積之情形下，利用有效之微結構所形成之長距離微通道，藉由通道內不同液體間表面積的接觸，來觀察不同流體間之混合情形。

為了分隔不同之流體並控制流體方向，利用親水材料與疏水性材料之特性來鋪設且定義儲水區與流道，再利用不同的光阻厚度來決定流道高度，高度的不同將影響液體能否流入與流入的情況，然後蓋上雙

面佈著鐵氟龍的載玻片，當水滴在未蓋的儲水區時，液體在於上下層不同之親疏水材料間，由於不同之曲率而使表面張力產生液體向前之驅動力，液體會順著自然流入儲水區及預設之迴旋流道之中，如圖 3-1 所示。其流體流動的剖面圖如圖 3-2 所示，流體選擇在親水性之材料上進行流動。由於流體接觸材料不同，產生上下的形狀的差異。

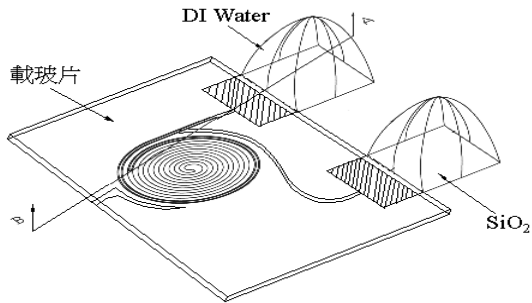


圖 3-1 微混合器致動示意圖

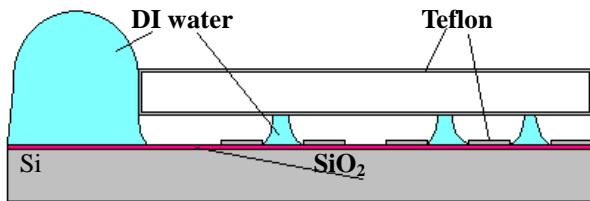


圖 3-2 混合腔體致動剖面示意圖

3.2 製程設計

本研究對於材料的選擇而言，一方面要符合研究所要求的親疏水材料特性，且需要隨著製程層數之疊加，而具備如抗酸鹼之特性，以避免在後續的製程步驟中將原先之圖形去除，且材料需具有容易取得以及在製程研究上普遍性高的特點，亦能在一般學術型實驗室所擁有的儀器上執行製程步驟。

四、結果與討論

4.1 微混合器流體致動

本節敘述微混合器中待測液體驅動相關影響因數之研究結果與討論。包含了流體驅動成因，不同之微混合器腔體設定高度之流動情形，不同覆蓋設定之液體致動效能，待測液體致動位置速度與影響速度大小值之相關變因。

4.1-1 流體致動成因

本研究的流體致動原理為利用界面張力來加以

驅動流體。由剖面圖 4-1 可藉由接觸角了解上下表面對液體的作用力；由 Young's Equation 得知，接觸角 $< 90^\circ$ 時對液體驅動為正向力，而當 $> 90^\circ$ 時則為反向力。

利用儲水區所產生之表面張力、位能差以及多餘產生前進驅動力之表面張力抵抗流體中央空氣所產生之阻力以產生向前流動之力，當流體底部親水層所產生前進之驅動力大於上端疏水層之後斥力以及中央之空氣阻力，則流體便會延著親水流道向前方致動。

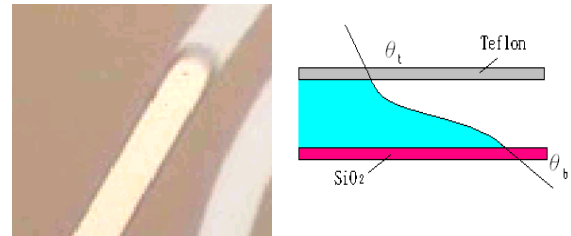


圖 4-1 液體前緣之上視圖與剖面示意圖

而在研究中發現液體會有時停滯在儲水區出口處，並不會自動流入，如圖 4-2 所示

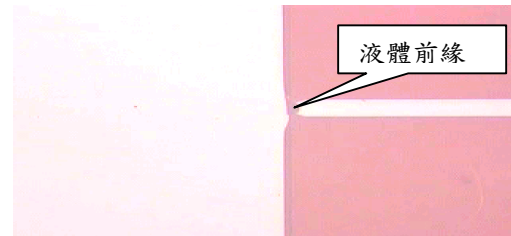


圖 4-2 液體停滯於流道入口

由蓋玻片與待測液之接觸角探究其原因，以致動液體前緣型態加以解釋，由圖 4-3 和 4-4 說明。

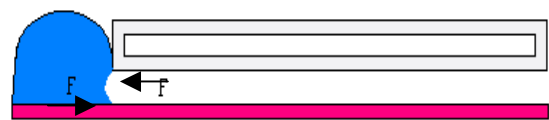


圖 4-3 待測液體停滯於流道入口

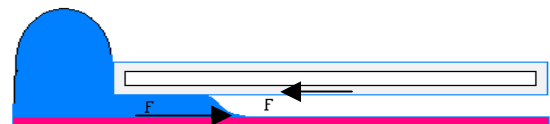


圖 4-4 待測液順利致動於流道

圖 4-3 表示滴入極微量液體剖面示意圖，相較於圖 4-4 滴入微量液體，儲水區液體所形成之曲率較小，並且前端致動液體前緣之接觸角較大，所產生之表面張力致動值較低，而儲水區所能提供之位能也較小，所以其能量無法提供突破入口處之限制所以會產

生停滯於流道入口處之現象。

吾人滴入較多待測液體或改變由 Teflon-Teflon 蓋玻片所遮蓋之儲水區區域大小以控制儲水區之待測液表面曲率以及其重力位能。請參閱 4.1-3。

4.1-2 流道高度與液體致動關係

藉由各個不同之光阻厚度，來作為流道之上蓋高度，以了解在各種不同高度下，使得表面張力驅使流體流動之高度限制，研究設定之親水流道寬度為 $100\ \mu\text{m}$ ，流道與流道間疏水間距為 $100\ \mu\text{m}$ 。驅動研究結果如圖 4-5 以及 4-6 所示，流道墊高高度分別為 $15\ \mu\text{m}$ 和 $10\ \mu\text{m}$ 。



圖 4-5 腔體墊高高度 $15\ \mu\text{m}$ 之液體致動流場



圖 4-6 腔體墊高高度 $10\ \mu\text{m}$ 之液體致動流場

研究結果顯示出當腔體墊高高度等於 $15\ \mu\text{m}$ 時，雙儲水區中之流體能加以致動，但是在混合入口處會停滯不前，無法順利進入混合腔體之中，不能達到混合之目的，而當腔體高度降為 $10\ \mu\text{m}$ 以下時，則能夠順利的驅動待測液體流入混合腔體之中，以進行混合之步驟。

探究其原因由驅動力量而加以分析。致動液體主要的力量為親水性流道對於待測流體所產生之表面張力，而牽制力主要為流道疏水性上蓋之後斥力，以及液體前進接觸面所產生之空氣阻力，而當待測液體由兩個獨立儲水區分別依循著入口流道流入，經匯流而成一股之混合的過程中，在相同之截面積狀態下，待混合液流量增加為兩倍，使得驅動液體前進混合所

需之力增加，並且空氣對於無邊流道中水之阻力略為上升。所以必須將上蓋玻片與下基底間距離縮小，以減少空氣對於微混合器液體致動之阻抗。研究所得之高度相較於單直流道或單迴旋流道來的小。

4.1-3 上蓋種類之液體驅動效能差異

在研究過程中發現，在微混合器腔體上使用不同上蓋成分組合，對於混合之成效有十分重要之影響。圖 4-7、4-8 和 4-9 分別表示上蓋為 Teflon-Teflon、Teflon-Oxide 以及 Oxide-Oxide 之流場圖。

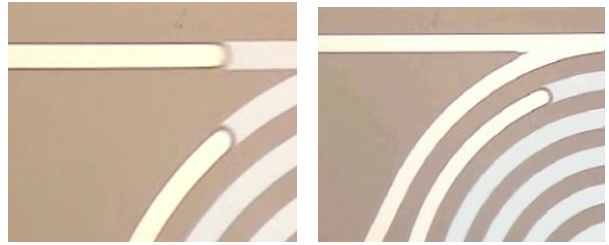


圖 4-7 上蓋為 Teflon-Teflon 之流場圖

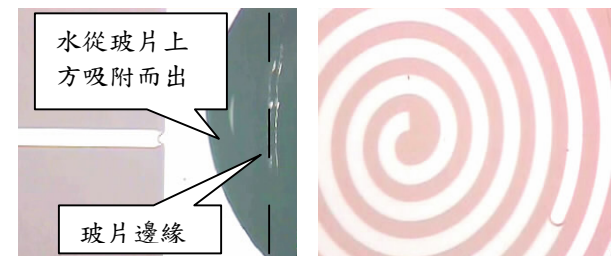


圖 4-8 上蓋為 Teflon-Oxide 之流場圖



圖 4-9 上蓋為 Oxide-Oxide 之流場圖

研究發現上蓋為 Teflon-Teflon 時，微混合器之流體致動效果最佳，不但達到致動流體，流體流動區域定義完美，並且具有最佳之流體驅動效果。

上蓋為 Oxide-Oxide 時，由於上蓋親水層無定義流道區域，使得親水面積過大，使得待測液沿著下基底之親水流道向四周散去，流體流動區域定義十分不佳，待測液不會隨著親疏水間隔而致動，但待測液流動速度則十分快速。

4.1-4 待測液致動流速

研究重要突破便是待測液致動流速這項目。研究

所設定之漸曲圓流道寬為 $100\ \mu\text{m}$ ，最大圓之外半徑為 $1400\ \mu\text{m}$ ，最小圓其外半徑為 $200\ \mu\text{m}$ ，中心線全長為 3cm 。在測試液體致動流速的過程中發現，待測液在混合腔體中之流速並非一固定值，其大小約在 $20\ \text{cm}/\text{sec}$ 至 $6\ \text{cm}/\text{sec}$ 之間，速度十分快速，相較於以往之微液體致動有顯著之效能提昇。

流體在雙微流道混合入口處流速達到最大值，待測液在會流入口處速度達到最大值之後，便會隨著液體驅動距離而降低其流體流速。

為何速度會持續下降，這現象是由於腔體中流體流動所產生之空氣阻力值正比於流體致動速度的平方，所以在一開始流體致動之後，在混合腔體中之流體便持續受到變動之空氣阻力影響，而降低其流動速率，並且材料對流體的黏滯力隨著流動的距離增加，當待混合液在腔體中行經之距離越遠，整體待測液所受到之表面黏滯力增加，緩慢降低流體致動速率。

4.2 微混和器待測液混合測試

研究進行最後微混合器之雙液體混合測試。吾人藉由致動兩種不同顯色之螢光微粒試劑，將其分別由各個單獨之儲水區流入所設定之混合區域，藉由觀察螢光微粒子的分佈情形，以觀察微混合器之混合成效。其混合流場如圖 4-10。

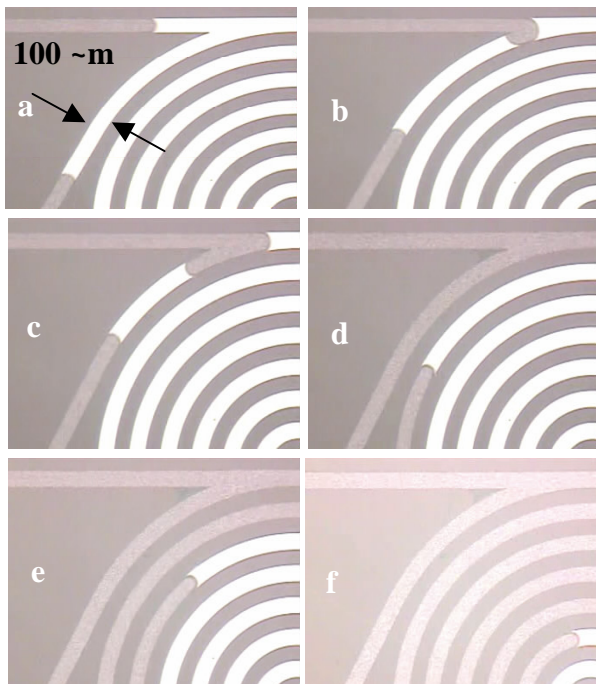


圖 4-10 微混合器之混合流場圖

螢光微粒試劑選擇紅色與綠色兩種，溶質為螢光

微粒，溶劑為去離子水，微粒子重量百分濃度為 1% ，直徑為 $0.93\ \mu\text{m}$ ，微粒子成分為使用多分子聚合物將螢光溶劑包裹在其中。研究可由微粒子清楚看出在微流道設定為 $100\ \mu\text{m}$ 時，其雙流體流入並不會有紊流的產生，其流體流動方式為層流之現象，微液體必須藉由增加接觸表面而加以混合。

五、未來展望

本研究已成功研發出新型表面張力致動式微混合器，達成微混合器第一階段之混合，並就其材料組成種類及方式、致動效能之提昇等方面做了相當多之研究，並得到其成果。相較於以往的文獻記載，本研究在微流體系統致動方面，已經達到十分快速的效果，可以在相對十分短的時間內達到更佳之成效，而在實用化階段，可以使用在單次可拋棄式生物醫學病理檢測上。

而最後之元件封裝問題是十分困難的課題，需要後續相關研究以及設備支援以達到最後元件化之目標。

六、感謝詞

本計劃承蒙國科會研究計畫 NSC 90-2212-E-002-204 的鼎力支持，始得研究方能順利進行，在此特表感謝。研究其間感謝美商 3M 陳人瑞先生提供 FC-40，方能順利完成，在此一併感謝。

七、參考文獻

- [1] 陳建甫, 表面張力致動式微液體混合器的研發, 91 年台大應力所碩士論文.
- [2] 吳文彬, 表面張力驅動之直線微流道與氣泡截斷研究, 91 年台大應力所碩士論文.
- [3] *Torkkeli, A.; Saarilahti, J.; Haara, A.; Harma, H.; Soukka, T.; Tolonen, P.* "Electrostatic transportation of water droplets on superhydrophobic surfaces" *Micro Electro Mechanical Systems, 2001. MEMS 2001. The 14th IEEE International Conference on*, 2001.