

利用快速模具技術製作壓電式無閥門微泵浦之可行性探討

楊政穎¹ 吳明勳² 張晨鋒³

¹ 中州科技大學機械與自動化工程系 cyyang@dragon.ccut.edu.tw

² 中州科技大學機械與自動化工程系 wums@dragon.ccut.edu.tw

³ 國立高雄應用科技大學模具工程系暨研究所 yashikis@gmail.com

摘 要

本文利用快速成型與快速模具技術製作壓電式無閥門微泵浦，主要的目的在於建立製作程序並探討其性能。首先利用 3D 列印技術之液態類快速成型系統，以光硬化樹脂為材料，製作微流道結構之原型，並將壓電片蜂鳴器與此微流道結構以適當方式黏合。此微泵浦原型機可以成功地以電壓 20~80Vpp、頻率 40~190Hz 之方波或弦波來驅動並輸送流體。接著利用 RP 微流道結構為母型，並利用矽膠模具，以 ABS 為材料製作相同尺寸之微流道結構，再將壓電片蜂鳴器與其黏合。此 ABS 微泵浦可以成功地以電壓 20~80Vpp、頻率 40~300Hz 之方波或弦波來驅動並輸送流體。本研究所製作的微泵浦屬於具漸張／漸縮管之無閥門微泵浦，其漸張／漸縮管之漸縮端寬 200 μ m，擴散角度 8°、微流道長為 2400 μ m、深 250 μ m。壓電片蜂鳴器與微流道結構間採用雙面膠搭配 AB 膠黏合。對光硬化樹脂為材料之微泵浦原型機而言，以 80Vpp 之方波驅動時，最佳頻率約為 130Hz，最大流量約為 530 μ l/min，最大背壓為 685Pa。對 ABS 微泵浦而言，以 80Vpp 之方波驅動時，最佳頻率約為 140Hz，最大流量約為 815.6 μ l/min，最大背壓為 1037Pa。由於快速成型與快速模具技術製作微泵浦元件無需使用無塵室，所使用設備、耗材相對而言較為便宜，其製作程序簡便。此一製作方式具有發展價值。

關鍵字：快速成型、快速模具、壓電式無閥門微泵浦

壹、前言

過去二、三十年中，由於電子元件製程方法及技巧的大幅度進步，使得各種元件的微小化遂成為科學發展中一重要課題。而此項微小化之技術即為近年來許多熱門的話題之一：微機電技術 (MEMS)。微機電系統是一個跨領域的技術整合系統，因必須結合電子、電機、機械、化學與光電等不同領域之專業理論，並加以微小化、積體化而成為一具有專業功能之系統。近幾年微機電系統在光電、通訊、生醫、生物科技等領域的應用逐漸被發展出來，成為最熱門的研究領域之一。微機電技術所發展出來的微細精密製造技術，如光蝕刻微影 (photo-lithography)、X 光深刻模造 (LIGA) 等方法，使得我們可以製造出微米，甚至次微米的零件和結構。但是這些微機電的主流製程多半需於無塵室中進行，設備相當昂貴並且流程複雜，一般而言需要受過相當訓練才能操作。此外，受到這些製程技術之限制，對於幾何形狀複雜之零件的製作過程也十分繁複。因此，在微機電系統製造與開發過程中，一些相對便宜而簡單的傳統製程是否也能扮演重要的角色，也逐漸引起一些探討。

本研究希望利用快速成型 (RP) 與快速模具 (RT) 技術製作微泵浦。在現今競爭激烈凡事講求效率的工業時代，產品的開發和製作必須朝向省時、快速與降低成本，而快速成型技術符合「快速」及「省時」之條件。其優點在於只要付出極少之成本，也不必開模生產，只需利用原型機將產品原型製作出來，方便組裝測試與產品展示，對於生命週期短之產品、講究產品研發之時效的生產者而言，快速成型技術已成為設計研發業者所不可或缺的一項技術 [1]。快速成型技術具備了省時與成本低之優點，近年來快速成型技術已被廣泛應用於工業製造、生物醫學、航太、汽車...等，藉由此技術可快速更改設計、縮短產品開發週期、加速產品上市時間、提高市場競爭之優點。而快速成型技術對形狀複雜之幾何零件加工幾乎沒有限制，同時對於傳統切削加工所無法切削出的零件都可製作，因此此系統製作 3D 形狀之零件非常適合。其製造方法乃是利用疊層加工的製作方式，跳脫了傳統加工所必須運用切削的加工限制，同時也對於手工原型製作的缺點加以改善，且形狀複雜或微小之零件原型更可快速製作，可降低產品在開發中的風險及提昇產品品質。快速模具或稱快速造模，主要是運用所製造出之原型翻製模具或直接以 RP 製造模具，運用此種技術可迅速製作出原型產品或少量生產所需之模具，因此也以暫用模稱之。一般常見使用矽膠模製程，其是以 RP 原型為母型，其外澆注矽膠，固化後再將其切開，並將 RP 原型取出，並以此模具製作少量工件。此製程中應用 RP 原型主要有提高母型精度、表面品質及縮短製作時間等具體效益 [2]。

微型泵浦屬於微流體系統中的一環，是操作微流體系統不可或缺的關鍵元件。其可分為機械式與非機械式二種，其中機械式微泵浦又可細分為有閥門與無閥門二種。在無閥門微泵浦的發展上，1993 首先由瑞典 Stemme 等人 [3] 利用黃銅製作出了第一個無閥門微泵浦。其採用漸張／漸縮管方式，此微泵浦為正流動方式，即淨流量由漸縮端往漸張端流動，其漸張角度均小於 20° 。隔年德國的 Gerlach 等人 [4] 使用半導體製程技術中的非等向性濕蝕刻特性，製作出另一種方式的無閥門微泵浦，其為大角度 (70.5°) 之漸張／漸縮微泵浦，雖作動原理與



前者相似，但淨流量相反為逆流動。1996年 Olsson 等人[5] 利用半導體製程之等向性濕蝕刻技術製作此無閥門微泵浦。2003年 Yang 等人[6]提出非對稱擋體式的無閥門微泵浦的設計概念，並以計算流體力學方法研究其可行性。2009年 Lee 等人[7]利用矽晶圓蝕刻技術，成功地製作出此類非對稱擋體式的無閥門微泵浦，驗證 Yang 等人的設計概念。

本研究將試圖建立快速成型與快速模具技術製作無閥門微泵浦之程序，首先利用 3D 列印技術之液態類快速成型系統，先以光硬化樹脂為材料製作微流道結構之原型，利用適當的黏合組裝方式，製作成無閥門微泵浦原型機。接著嘗試將此微流道結構之原型以矽膠翻模，利用 ABS 為材料製作相同尺寸之微流道結構，再將壓電片蜂鳴器以適當方式與其黏合，製作成 ABS 無閥門微泵浦。

貳、製作程序

微流道為微流體晶片研究中非常重要之結構，透過微機電製程可製作出極微小之微流道。常用來製作微流道之技術主要有體型微加工、面型微加工，並常以 SU-8 搭配微影技術製作。材質常用矽晶圓、PDMS 等。但上述製程多半需使用到半導體製程，其製程設備相當昂貴，取得不易且使用者需受一段時間的專業訓練。若欲製作形狀複雜之幾何微小零件有其一定困難度，同時製作過程繁雜及成本昂貴。本研究採用快速成型技術，其設備費用相對低廉，耗材成本低，製作過程簡易，修改、測試便捷。

本研究採用之快速成型機屬 3D 列印技術之液態類快速成型系統 (Objet Geometries 公司之 EDEN260)，其成型材料為光硬化樹脂。其在製作欲成型之結構時，將液態樹脂材料以噴墨技術噴塗於製作平台，每次噴射 $16\mu\text{m}$ 厚度，再利用紫外光源照射使液態樹脂快速硬化。在噴頭回程時刮刀將待噴射元件之面刮平，透過此製程方式堆疊製作直至元件完成。其平均堆疊速率介於 $13\sim 25\text{mm/hr}$ 之間。本研究所用之快速成型機精度可達 $16\mu\text{m}$ ，即一層液態光硬化樹脂之厚度，不過在另兩個方向上其精度則較 $16\mu\text{m}$ 略差，比較矽基底蝕刻等製程，本快速成型機之精度固然差之甚遠，但以 $16\mu\text{m}$ 之精度大約與膠片光罩相當，用於無閥門微泵浦製作大致上可行，並且快速成型技術發展快速，製作元件精度更高的快速成型機器亦指日可待。

一、微流道原型製作

快速成型流程可分為元件尺寸設計、元件 3D 繪圖、檔案轉檔、切層、元件製作及後處理等過程。其中元件繪圖至元件製作完成之過程如圖 1。

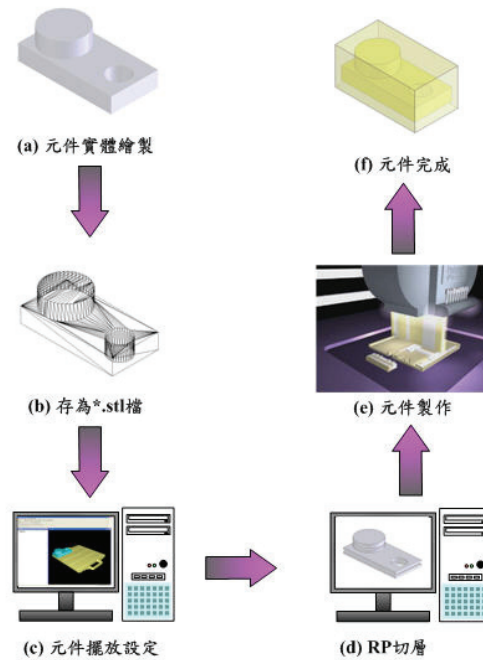


圖 1 快速成型流程示意圖

(1) 元件尺寸設計：本研究所製作的微泵浦為Stemme與Olsson所提出的漸張／漸縮管的無閥門微泵浦，此類微泵浦的效能主要受漸張／漸縮管的角度與尺寸影響。在此，微泵浦的主要結構由兩個漸張/漸縮管、薄膜、振動腔、壓電片（piezo plate）蜂鳴器所組成，其立體構造示意圖如圖2，其中微流道基底與薄膜以光硬化樹脂或ABS製作成型。其入、出水口直徑為2.5mm，供插入內徑1.5mm之細管用，漸張／漸縮管之漸縮端寬度 W_1 為 $200\mu\text{m}$ 、漸張端寬度為 $540\mu\text{m}$ 、長度 L 為 $2400\mu\text{m}$ 、流道深 $250\mu\text{m}$ 、開口角度為 8° ，振動腔體直徑為 16mm 、深 $150\mu\text{m}$ ，於上方利用AB膠將直徑 18mm 、厚度 $200\mu\text{m}$ 壓電片蜂鳴器黏貼於腔室上方，以達到驅動液體之效果。微泵浦流道結構平面圖如圖3。

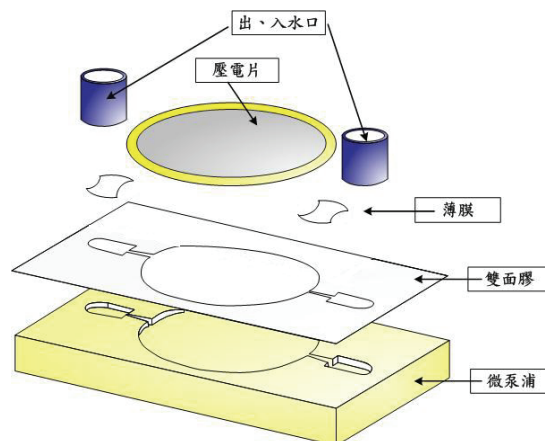


圖 2 壓電式無閥門微流浦之立體構造示意圖



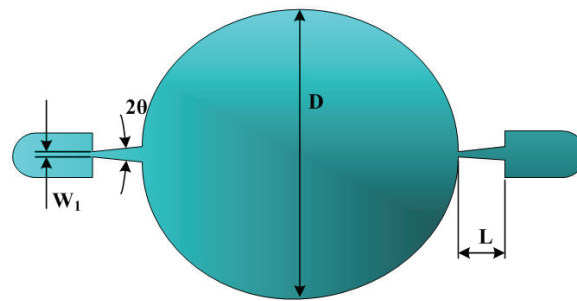


圖 3 微泵浦流道結構平面圖

- (2) 元件實體繪製與檔案轉換：本研究使用SolidWorks建立3D模型。並將圖檔轉成STL格式，傳於快速成型機所搭配之介面軟體。
- (3) 檔案切層：切層為元件實體製作前之最後步驟。由於本研究所採用之快速成型製作為層層堆疊之方式，因此元件3D圖型檔案於製作前需藉由軟體做切層換算，再傳至於快速成型機製作。
- (4) 元件製作：待軟體進行切層程序完畢後，快速成型機即開始製作元件。由於此快速成型機在製作元件時，3個方向的精度不相同，因此必須慎選元件加工的擺放位置，其擺放位置將影響元件所使用之耗料多寡、製作時間、元件精度等。等製作完畢後，利用適當工具將元件取出後做最後之後處理。
- (5) 後處理：本研究所使用之快速成型機於製作時選擇全包覆方式。其所製作出元件會被其支撐材料（support）所包覆住，因此元件製作完後須經後處理將多餘料去除。整個過程以此後處理程序最為重要，後處理之好壞將影響整個微流道成型好壞，其過程包含水槍沖除、超音波洗淨機清洗、氫氧化鈉水溶液浸泡、DI water沖洗、自然風乾等程序。其整個後處理過程如圖4所示。簡要說明如下：
 1. 水槍沖洗：利用水槍噴出的水柱將多餘之支撐材料沖除，此過程需注意控制水槍壓力，如元件輕薄、微小等...需將水槍壓力調低，以避免壓力過大清除時使元件內部細小之零件沖除或導致元件永久變形。
 2. 超音波清洗：利用超音波洗淨機，將多餘且細小輔助料從元件脫離洗淨。而此時必須注意元件厚度，如元件厚度太薄就不能使用超音波洗淨機清洗。太薄的元件會因洗淨機之超音波震動而產生永久變形。
 3. 氫氧化鈉（NaOH）溶液浸泡，此方式主要用來排除元件表面殘留樹脂，讓支撐材料更可輕易分離元件，尤其是講求公差裕度小之元件，浸泡元件前先使用去離子水沖洗乾淨，在將元件放進氫氧化鈉溶液中浸泡大約1-2小時，浸泡時間最好以不超過2小時為限，否則會有變形風險，特別是薄形原件（1mm以下）更須注意，因此元件大小、太薄就必須縮短浸泡時間。氫氧化鈉溶液之容積莫耳濃度約為0.5M。此溶液須放置到室溫狀態才可用來浸泡及清洗元件。浸泡完之元件可使用去離子水沖洗，也可將元件浸泡於異丙醇幾秒鐘然後放置於室溫中半小時讓其風乾。

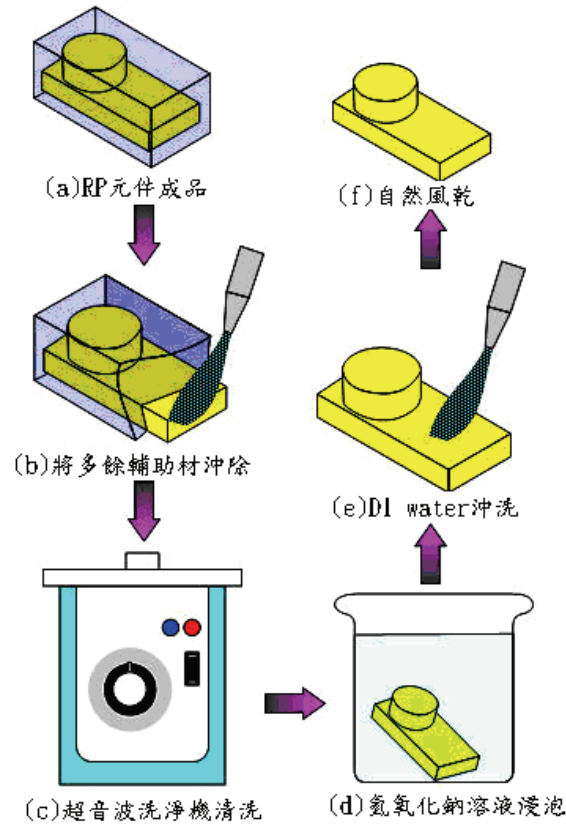


圖 4 快速成型元件後處理流程示意圖

待所有製作流程完成後，可透過顯微鏡觀察完成的元件，確保微流道是否乾淨。由於元件表面粗糙度會影響黏合效果，因此本研究嘗試使用研磨拋光方式將欲接合處之元件表面拋光以利後續接合，同時也使元件更平滑透明。最後使用影像擷取系統及三次元光學量測系統觀察快速成型製作成型之微流道及微流道細部成型成功與否。成功成型之微流道外觀如圖 5 (A) 所示。由於快速成型技術使用疊層方式製作，因此會有粗糙度之問題，唯一能避免粗糙度過大約只能從製作擺放位置著手，透過表面粗糙度儀量測其粗糙度平均值為 $17.10\mu\text{m}$ ，經拋光後其粗糙度平均值為 $0.15\mu\text{m}$ 。另外，透過光學投影機可以量測其尺寸並觀察成型細部結構。其細部結構如圖 5 (B)。依照圖 5 (B) 所量測之實際尺寸，漸張／漸縮管之漸縮端寬度 $W1$ 為 $230\mu\text{m}$ 、漸張端寬度為 $610\mu\text{m}$ 、長度 L 為 $2450\mu\text{m}$ 、開口角度為 8.5° ，振動腔體直徑為 15.79mm 。



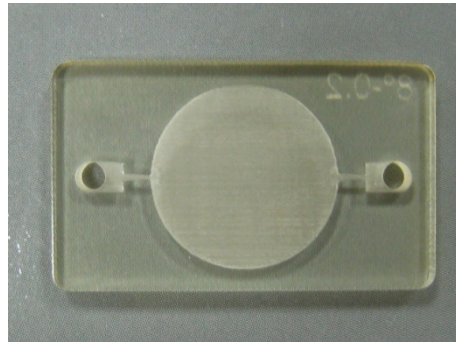


圖 5 (A) 成功成型之微流道結構外觀



圖 5 (B) 漸張／漸縮流道之細部結構

二、快速模具

快速模具或稱為快速造模，運用此種技術可迅速製作出原型產品或少量生產所需之模具，故亦有以暫用模稱之。在此我們採用矽膠模製程，以上述快成型製程所得到的微流道結構原型為母型，在其外澆注矽膠，固化後再以手術刀切開，並將 RP 原型取出，並以此模具來製作 ABS 微流道結構。其中矽膠模流程簡述如下：1.決定零件分模線與澆注口、2.組合固定模板、3.調和矽膠及硬化劑(10:1)、4.均勻攪拌並抽真空、5.灌入模板、6.第二次抽真空(去除氣泡)、7.等待硬化(約24小時)、8.拆模板並切開矽膠模。流程圖如圖6所示。

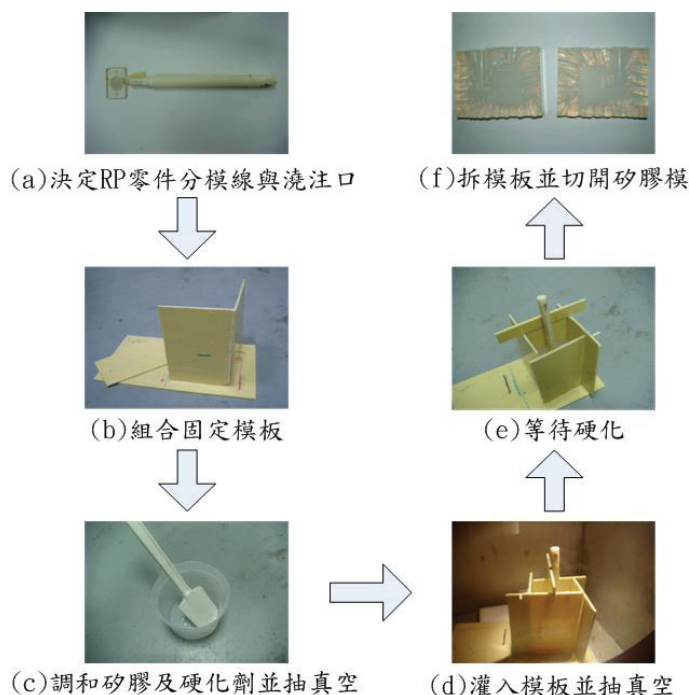


圖 6 矽膠模製作流程圖

此矽膠模製成後，本研究首先選用 ABS 為材料製作微流道結構。其程序簡述如下：1. 組合固定矽膠模、2.ABS 原材料分為 A、B 劑分別裝至真空澆鑄機、3.插上漏斗澆注口上、4.將 ABS 之 A、B 劑及矽膠模分別固定好、5.抽真空後，兩劑混合攪拌均勻、6.將材料注入矽膠模、7.待最遠點逃氣孔溢料、8.放入空氣，取出矽膠模、9.放入烤箱 70 度約兩小時，等待硬化、10.開模取出成品。製作流程圖如圖 7 所示。ABS 微流道結構成品如圖 8 所示。

三、黏合組裝方法

一般微機電製程於封裝時大多採用陽極鍵合技術來封裝微泵浦，此製程於接合時利用高溫搭配高電壓來達到接合目的，而本研究所採用之材料不適用高溫，因此必須另尋其它接合方式。所嘗試方法如下 (1) AB 膠、(2) 網版印刷架橋劑、(3) 防污膜、(4) 紫外光接著劑 (UV 膠)、(5) 雙面膠、(6) 雙面膠搭配 AB 膠等。

綜合上述所嘗試之接合方式，其中 (1)、(5)、(6) 可以成功製作出可輸送流體之微泵浦，但以接合方式及穩定性來說以雙面膠搭配 AB 膠最為佳，其中 AB 膠指的是環氧樹脂與硬化劑。在此限於篇幅僅對 (6) 之黏合方式作一介紹，其餘詳述於李鈞平[8]。首先利用雷射雕刻機將雙面膠雕刻出適當形狀，當作輔助黏合，使得壓電片蜂鳴器可以暫時固定於震動腔室上方，並於微流道上方黏貼一小片薄膜防止 AB 膠於塗抹時流入流道，最後於壓電片蜂鳴器周圍及微泵浦基底表面塗上一層約 1mm 厚之 AB 膠，以達到完全密封元件之效果。



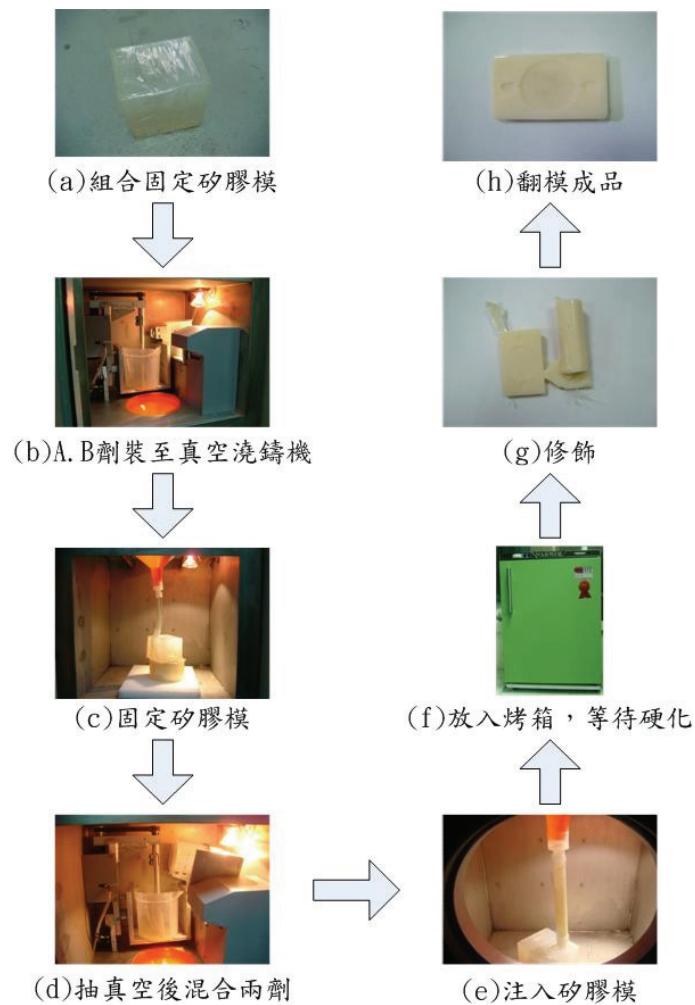


圖 7 ABS 微流道結構製作流程圖



圖 8 ABS 微流道結構成品圖

有別於(1)~(5)的黏合均具有一整片 $40\mu\text{m}$ 薄膜，(6)之黏合方式基本上在振動腔上不具薄膜，利用壓電片蜂鳴器取代薄膜，但仍然置放黏合一小片薄膜於漸張/漸縮管微流道上，防止AB膠於塗抹時流入流道。其過程如下(圖9)：

1. 將事先已透過雷射雕刻切割出雙面膠貼合於微流道表面，透過重物(2kg)加壓10~20分使雙面膠與微流道完全接合，再將雙面膠另面離心紙撕起。

2. 使用酒精將壓電片接合面黃銅擦拭乾淨，接合於腔室上之雙面膠，加壓20~30分以利壓電片與雙面膠緊貼。
3. 置放一小片薄膜於漸張／漸縮管微泵道上方，待加壓與雙面膠黏合後，利用類似鑲埋方式在微流道表面及壓電片周圍塗上一層AB膠，這樣不但能使壓電片與微流道表面黏合更緊密也可達到封閉密合之目的。

上述雙面膠之切割若採用手工切割雙面膠配合筆刀打孔會造成尺寸誤差過大，為避免雙面膠於切割後尺寸誤差過大及形狀不吻合，在此採用雷射雕刻機切割雙面膠來達到所要求的精度及形狀，如要求大量切割時也可迅速及精準切割出。雷射功率為 20 瓦，切割速度為 6 mm/秒，以 1 次加工切出所需圖形。

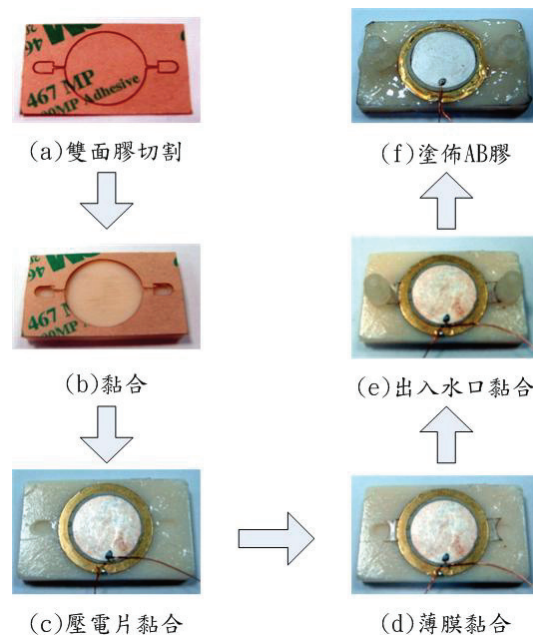


圖 9 雙面膠搭配 AB 膠之黏合組裝流程

壓電蜂鳴器 (piezoelectric buzzer) 選用方面，本研究使用壓電蜂鳴器為寰辰公司所生產圓片式壓電片蜂鳴器，中心圓形壓電片直徑 15mm、厚度 200 μ m、壓電材料之 $d_{33}=450 \times 10^{-12}$ (C/N)，蜂鳴器之圓形金屬片直徑 18mm、厚度 250 μ m，材質為黃銅。壓電片驅動方式為給予正反兩面正、負電壓之方波或弦波，使壓電片於 d_{33} 之方向極化讓壓電片晶格產生變化位移效果，因此壓電蜂鳴器接合方式也很重要，接合好壞將影響變形量。上述製程之完整壓電式無閥門微泵浦成品如圖 10 所示。



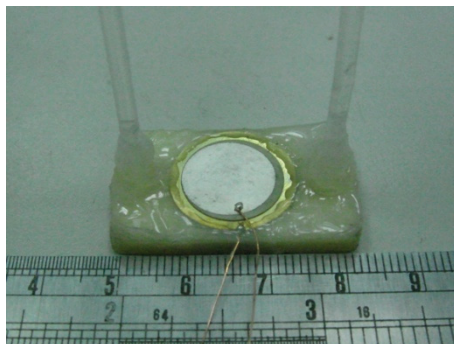


圖 10 壓電式無閥門微泵浦成品

參、結果與討論

微流道接合完後必須先測試是否完全密合，因微流道封裝好壞在實驗測試中佔一重要因素，微流道封裝如不完全時，其測試效能則會不佳，因此微泵浦在做正式量測之前必須先確保元件封裝緊密。封裝測試方法為於燒杯中倒入去離子水，之後將微泵浦放入去離子水中，使用針筒將空氣打入微泵浦，利用此方法觀看是否有氣泡產生，當有氣泡產生時則表示粘合不完全，如沒氣泡產生代表微泵浦封裝良好。於測試氣密性後，結果如顯示無問題後即可開始量測無閥門微泵浦基本效率，搭配先前設計及製作好之夾具，可方便量測及觀察微泵浦效能。

在此我們將量測微泵浦所能提供的最大背壓及流量。量測方法主要參考 Ahn [9]和 Tsai [10]。實驗設備架構包括電源供應器、函數產生器、電壓放大線路及實驗夾具平台等儀器量測微泵浦，如圖 11 所示。

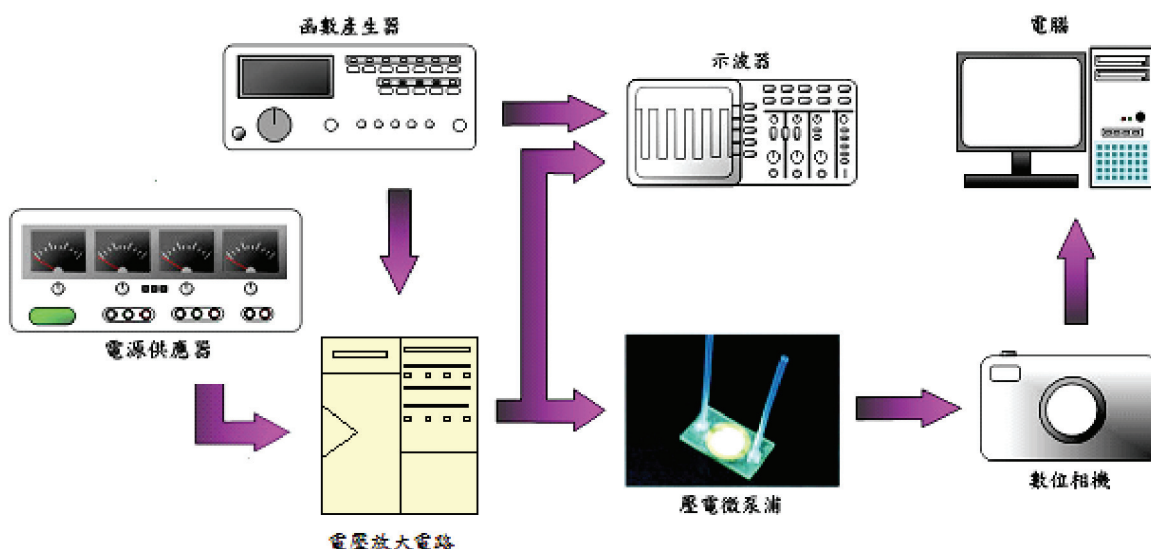


圖 11 量測設備示意圖

驅動壓電蜂鳴器須使用較高之電壓，因此透過電壓放大線路將函數產生器之電壓訊號放大，電壓放大線路則參考美國半導體公司所作測試報告之線路圖[11]。改變輸入訊號之電壓大小及頻率，搭配示波器監控，並將實驗過程以拍照及錄影方式記錄之，以便後續數據分析。

背壓量測方法於微泵浦入、出水口各連接上內徑直徑為 1.5mm 之細管，其中入水口處連接一細彎管，其連接至一開放式容器中，其內注入去離子水；出水口處之細管則垂直粘貼於尺規上（量測示意圖如圖 12）。在平衡狀態下，直管內水柱與容器液面等高，輸入固定電壓、頻率之方波或弦波訊號後，直管內液面會逐漸升高，經過一段時間管內液體不再升高，經由柱高轉算成壓力，此壓力稱為最大背壓。

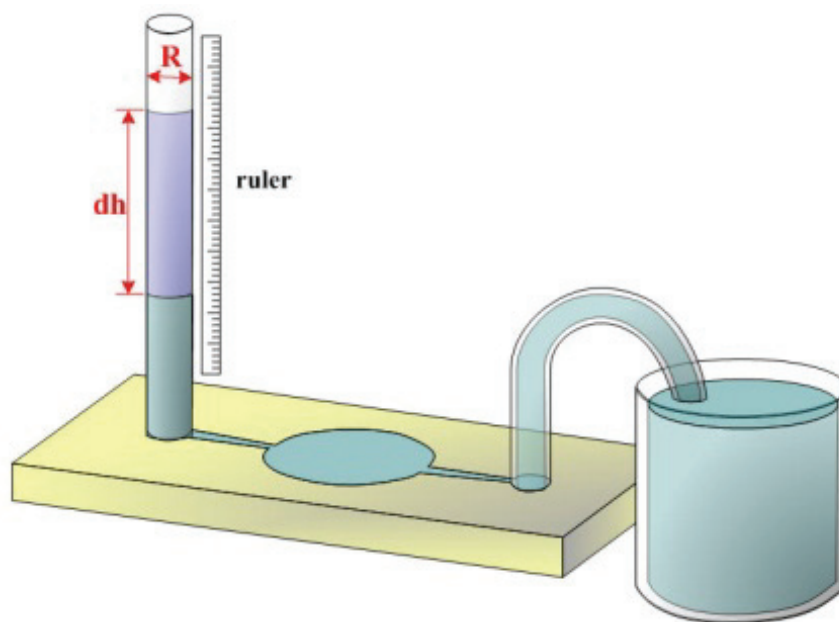


圖 12 背壓暨流量量測示意圖

上述操作過程並以影片紀錄之，用以提供計算流量用。量測方法於出水口端設定一段水柱高 dh ，量測微泵浦於不同電壓及頻率下的時間差 t ，利用下面算式即可得到微泵浦體積流率。

$$\dot{Q} = \frac{\pi D^2 dh}{4 t} \quad (1)$$

其中 \dot{Q} 為體積流率， D 為出水口管內直徑， dh 為所設之一小段水柱高，在此設為 1mm， t 為時間差。基本上由拍攝的影片可以計算出每一壓力下的體積流率，不過在此我們僅探討初始的流量；此流量亦稱為最大流量。

本實驗將針對光硬化樹脂製成之微泵浦與 ABS 為材料製成之微泵浦，進行背壓及流量量測。如李鈞平[8]的研究結論指出，直接以 AB 膠黏合時，此組裝黏合方式並不穩定，由於 AB 膠具流動性，在黏合加壓時，往往會流入流道中，進而使流道截面形狀改變，截面積縮



小，甚至阻塞整個流道，此一效應將使得微泵浦的流量下降。另外單純使用雙面膠黏合，亦有滲漏之疑慮。因此其發展出以雙面膠搭配 AB 膠的黏合方式。此法在振動腔上方不再具有薄膜，直接使用雙面膠黏貼壓電片蜂鳴器，但是在漸張／漸縮流道上方仍然披覆一 $40\mu\text{m}$ 的薄膜，最後再以 AB 膠披覆在整個雙面膠的上方。一方面可以加強二者之間的黏合效果，也避免單獨使用雙面膠而致使微泵浦內液體沿著雙面膠滲漏。此法黏合好之微泵浦，其固化後的剛性較僅使用雙面膠黏合好，能量耗散在薄膜振動上的比例會較低，因此表現在微泵浦的效能上較佳（詳見李鈞平[8]）。

在此限於篇幅，我們僅就此雙面膠搭配 AB 膠之黏合方式的微泵浦進行研究。針對不同電壓、頻率下量測其最大背壓及流量。下文中 Type I 是以光硬化樹脂製成之微泵浦。Type II 指的是以 ABS 為材料製成之微泵浦，其黏合方式為均為雙面膠搭配 AB 膠。

觀察 Type I 微泵浦之最大背壓與初始流量，發現最佳效率大約產生在 $110\text{Hz}\sim 130\text{Hz}$ 之間，隨著電壓波形、電壓大小而略有差異。此微泵浦以電壓 20Vpp 之方波即可驅動微泵浦輸送流體。在電壓為 80Vpp 之弦波時，其最佳頻率大約在 130Hz ，此時最大背壓為 597Pa 、初始流量為 $392\mu\text{l}/\text{min}$ 。當驅動電壓為 80Vpp 之方波時，其最佳頻率大約在 130Hz ，此時最大背壓為 685Pa （圖 13），其初始流量為 $529\mu\text{l}/\text{min}$ （詳見李鈞平[8]）。

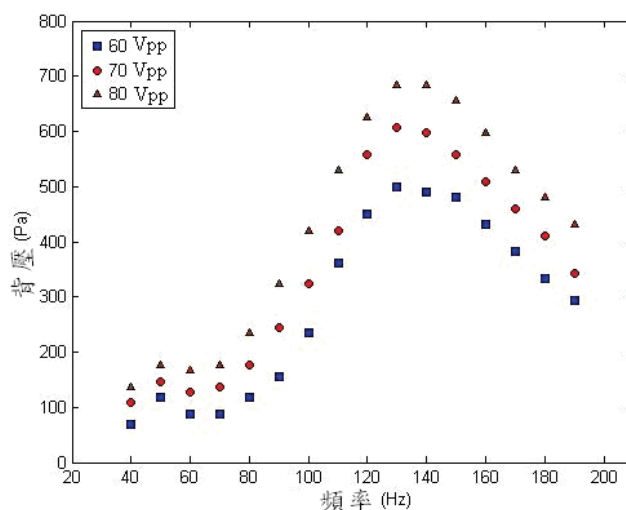


圖 13 Type I 在不同電壓下，背壓隨頻率之變化（材料為光硬化樹脂）

Type II 是使用 ABS 為材料製成之微泵浦，其黏合方式與 Type I 相同。在驅動電壓為 80Vpp 之方波時，其最佳頻率大約在 140Hz ，此時最大背壓可達 1037Pa （圖 14 (a)），最大流量（或稱初始流量）約為 $815.6\mu\text{l}/\text{min}$ （圖 14 (b)）。其最佳頻率與光硬化樹脂微泵浦並無太大差異，但最大可克服之背壓明顯增大許多，很可能是因為 ABS 的材料性質所致，ABS 的剛性較光硬化樹脂佳，當壓電片蜂鳴器振動時，材料所耗散掉的能量較小，故其可達到較大背壓。

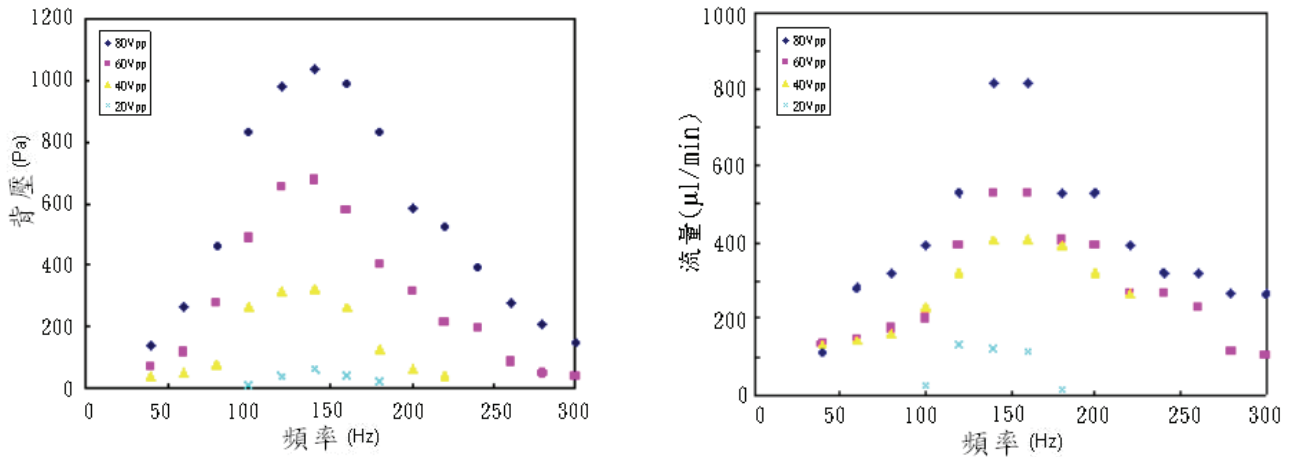


圖 14 (a) Type II 在不同電壓下，背壓隨頻率之變化（材料為 ABS）

圖 14 (b) Type II 在不同電壓下，初始流量隨頻率之變化（材料為 ABS）

肆、結 論

本研究之目的為利用快速成型與快速模具技術製作微泵浦之可行性探討，主要為建立此技術之製作程序。透過此製作程序，一方面在製程上可省去複雜過程之半導體製作，省下不少製作時間，另一方面也可達到後續快速設計變更、製作及測試。底下將本研究之結論彙整如下：

- (1) 利用快速成型技術，以光硬化樹脂為材料，成功製作出漸張／漸縮式無閥門微泵浦，流道中最窄處可達 $200\mu\text{m}$ 。
- (2) 利用快速成型搭配快速模具技術，以ABS為材料，成功製作出漸張／漸縮式ABS無閥門微泵浦。
- (3) 透過雙面膠配合AB膠（環氧樹脂與硬化劑）黏合，不但能達到微泵浦所要求氣密性，同時利用壓電片往覆作動即可達到驅動流體效果。
- (4) 本研究之微泵浦於（方波）電壓 20Vpp 之工作電壓即有驅動流體之效果。在驅動電壓為 80Vpp 之方波時，ABS微泵浦之最佳頻率大約在 140Hz ，此時最大背壓可達 1037Pa ，最大流量約為 $815.6\mu\text{l/min}$ 。

由於限於篇幅，本文之目的主要為建立「以快速成型與快速模具技術製作無閥門微泵浦」之製作程序；流道尺寸、材料特性對此微泵浦之效率影響等研究課題，則有待後續研究再進一步進行深入探討。

參考文獻

1. "微機電系統技術與應用", 行政院國家科學委員會, 精密儀器發展中心出版, 第1~5頁, 民國92年七月。
2. Pham, D T and Dimov, S, Rapid manufacturing - The technologies and applications of rapid prototyping and rapid tooling, Springer-Verlag London, Ltd , 2001
3. Stemme, E. and Stemme, G., "A valve-less diffuser/nozzle-based fluid pump", Sensors and Actuators A., pp159-167, 1993.
4. Gerlach T., Schuenemann M. and Wurmus H., "A new micropump principle of the reciprocating type using pyramidal micro flow channels as passive valves", Journal of Micromechanics and Microengineering, pp199-201, 1995.
5. Olsson, A., "Valve-Less Diffuser Pump for Liquids", Thesis for the degree of Engineering at the Royal Institute of Technology, 1996.
6. Lee, C. J., Sheen, H.J., Tu, Z.K., Lei, U., and Yang, C.Y., "A study of PZT valveless micropump with asymmetric obstacles", Microsystem Technologies, 2009
7. C. Y. Yang, C. T. Lin and U. Lei, "A valve-less micro-pump based on asymmetric obstacles," Taiwan NEMS/MEMS conference, November 20-21, 2003, Taipei, Taiwan ROC.
8. 李鈞平, "快速成型技術應用於壓電微泵之研發", 中州技術學院工程技術研究所, 碩士論文, 2008年。
9. Ahn, S. H. & Kim, Y. K., "Fabrication and experiment of a planar micro ion drag pump", Sensors and Actuators A, vol. 70, pp.1-5, 1998.
10. Tsai, J. & Lin, L., "A thermal-bubble-actuated micronozzle-diffuser pump", Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 11, pp.665-671, 2002.
11. http://www.100y.com.tw/pdf_file/LM143.pdf

Abstract

In the present study, the rapid prototyping (RP) and rapid tooling (RT) technologies are used to fabricate the valveless micropump actuated by a PZT buzzer. The main goal is to establish the fabrication procedure. At first, by using the 3D printing liquid state rapid prototyping system, the prototype of flow channel structure of micropump is fabricated. This prototype of valveless micropump can be successfully actuated to deliver D.I. water by the signals of square wave (or sine wave) with 20~80Vpp and 40~190Hz. Then, by using the rapid tooling technology, the ABS valveless micropump is fabricated with the same assembly method. Such micropump can be successfully actuated to deliver D.I. water by the signals of square wave with 20~80Vpp and frequencies between 40~300Hz. In the micropump, there are two diffusers/nozzles with length of 2400 μ m and depth of 250 μ m. The diverging angle is 8° and the narrowest width of channel is 200 μ m. The buzzer of piezoelectric plate is mounted on the circle chamber with diameter of 16mm and depth of 100 μ m. For the prototype of micropump, which is fabricated by photopolymer, the best operation frequency is about 130Hz. The initial mean flow rate is 530 μ l/min, and the maximum back pressure is 685Pa, operated at the square wave signal of 80Vpp. For the ABS micropump, the best operation frequency is about 140Hz. The initial mean flow rate is 815.6 μ l/min, and the maximum back pressure is 1037Pa, operated at the square wave signal of 80Vpp. The fabrication procedure based on the rapid prototyping and rapid tooling technologies is simpler and easier. It is not necessary to use some expensive equipment. It is useful to develop such fabrication technique.

Keywords: Rapid Prototyping (RP) , Rapid Tooling (RT) , PZT valveless micropump

