

以快速成型技術製作壓電式無閥微泵之組裝程序探討

吳明勳¹ 楊政穎² 許明傑³ 李鈞平⁴

¹ 中州科技大學機械與自動化工程系

² 中州科技大學機械與自動化工程系

³ 中州科技大學機械與自動化工程系

⁴ 中州科技大學工程技術研究所

摘要

本研究利用精度為 $16\mu\text{m}$ 之快速成型機製作漸縮/漸擴型無閥門微泵浦之微流道結構，並將壓電片蜂鳴器以數種不同方式與其黏合。以電壓 $20\sim 80\text{Vpp}$ 、頻率 $40\sim 190\text{Hz}$ 之方波或弦波來驅動此微泵浦用以輸送流體（水）。此無閥門微泵浦之漸縮/漸擴管微流道長為 $2400\mu\text{m}$ 、深 $250\mu\text{m}$ 、流道之漸縮端寬 $200\mu\text{m}$ ，擴散角度則為 8° ，成功的黏合方式包括有：AB 膠黏合、雙面膠黏合、雙面膠搭配 AB 膠黏合。其中以第三種最為穩定且效率最佳，以電壓 20Vpp 之方波即可驅動微泵浦輸送流體；此電壓下，最佳操作頻率為 110Hz ，最大流量為 $60.3\mu\text{l}/\text{min}$ ，最大背壓為 68.6Pa 。而當以 80Vpp 之方波驅動時，最佳頻率為 130Hz ，最大流量約為 $530\mu\text{l}/\text{min}$ ，最大背壓為 685Pa 。由於快速成型技術製造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且製作程序簡便。此一製作方式對研發微泵浦時尺寸之修改具有發展價值。

關鍵字：快速成型，微泵浦，壓電片蜂鳴器

壹、緒論

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、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，設備多半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，也逐漸引起一些反思與探討。

本研究利用快速成型技術製作機械式微泵浦。快速成型技術之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]。

貳、文獻探討

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 et al.[2]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 et al.[3]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° ）之漸縮/漸張微泵浦，雖作動原理與前者相似，但淨流量相反為逆流。1996年Olsson et al.[4]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。2007年Cheng & Lin[5]以快速成型技術製做無閥門微泵浦並以壓電片作為驅動方式。2009年King & Covington[6]同樣以快速成型技術製做無閥門微泵浦，但其以氣壓作為微泵浦之驅動源。

本研究將利用精度為 $16\mu\text{m}$ 之快速成型系統製作漸縮/漸擴型無閥門微泵浦之微結構，並使用壓電片蜂鳴器作為流體驅動裝置。主要探討數種不同的組裝黏合方式的可行性，並研究微泵浦的效能。

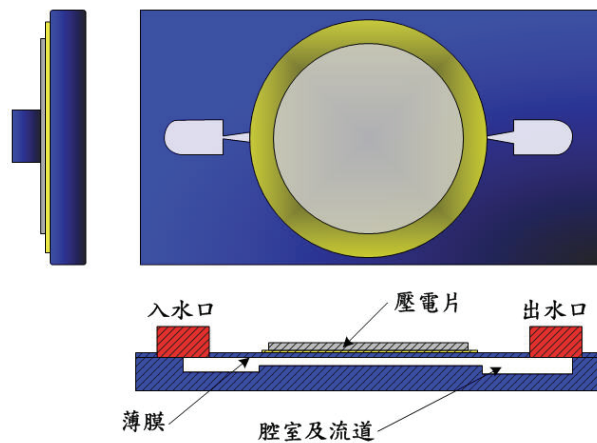
參、研究方法

一、無閥門微泵浦設計

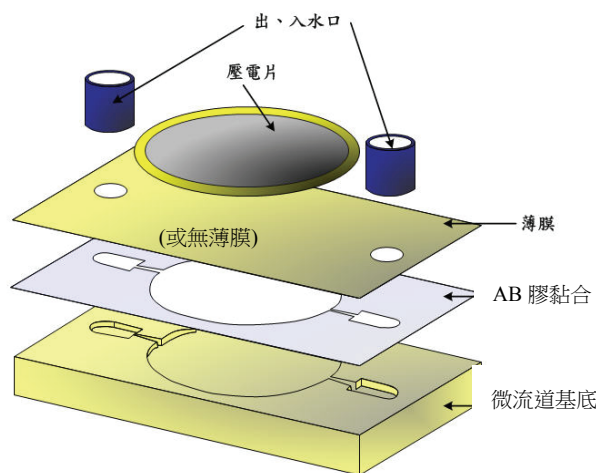
本研究所製作的微泵浦示意圖如圖一，為Stemme與Olsson所提出的漸張/漸縮管（diffuser/nozzle）的無閥門微泵浦，此類微泵浦的效能主要受漸張/漸縮管的角度影響。在此，微泵浦的主要結構由兩個漸張/漸縮管、薄膜、振動腔、壓電片（piezo plate）蜂鳴器所組



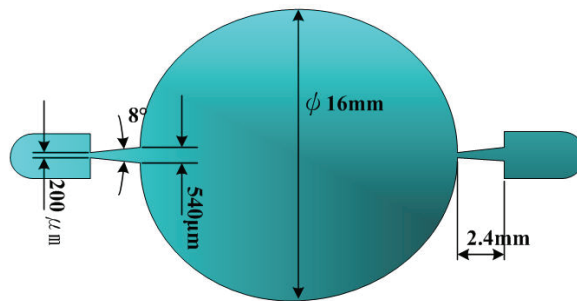
成，其立體構造示意圖如圖二，其中微流道基底與薄膜以快速成型製作，其均為一次成型。其入、出水口直徑為2.5mm，供插入內徑1.5mm之細管用，漸張／漸縮管之漸縮端寬度 W_1 為200 μm 、漸張端寬度為540 μm 、長度 L 為2400 μm 、流道深250 μm 、開口角度為 8° ，振動腔體直徑為16mm、深150 μm 如圖三，於上方利用AB膠將直徑15mm、厚度200 μm 壓電片蜂鳴器黏貼於腔室上方，以達到驅動液體之效果。在微流道結構、薄膜（或無薄膜）與壓電片蜂鳴器間的黏合方式是本文的探討重點之一，我們將探討數種有無薄膜黏合方式的效果。



圖一 無閥門微泵浦示意圖



圖二 微泵浦各元件立體示意圖



圖三 微泵浦尺寸示意圖

一般而言，如由提供微泵浦動力的來源做為分類，可分成機械式微型泵浦和非機械式微型泵浦兩大類別。機械式微型泵浦若依其動力來源則可分為靜電式、氣動式、熱氣動式、壓電式和電磁式。而本研究採用壓電式為動力源，其反應速度快、位移精準、頻率應用可高達幾千赫茲 (KHz)、封裝後元件極小、流體方面也沒有限制，於微機電領域中較常被應用。本研究使用壓電蜂鳴器為圓片式壓電片，壓電片規格為直徑 15mm、厚度 250 μm 、 $d_{33}=450$ ($\times 10^{-12}\text{C/N}$)，金屬片為直徑 18mm、厚度 250 μm ，其材質為黃銅。

微流道從發展至今皆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。但上述製程皆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 (Rapid Prototyping)，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。

快速成型流程簡述如下：首先將原型或零件利用 CAD 軟體繪製好所要的 3D 實體模型，再透過電腦程式將所設計好的 3D 模型轉變為 STL 檔，此為美國 3D SYSTEM 公司所提出來的一種標準格式，此格式的實體是利用三角形網格來趨近於模型曲面所建構而成。最後再將 STL 檔傳輸至快速成型系統，系統會自動將檔案作切層的動作，再利用疊層的方式一層一層堆疊製作出原型。

本研究所製作之漸張／漸縮管微泵浦之材質為光硬化樹脂 (Full cure resins)，屬液態類快速成型加工。因光硬化樹脂為可透光性材料，因此在觀察其流道之流場上會較容易。

二、製作流程

本研究採用之快速成型機為Objet Geometries公司所生產之EDEN260，其屬液態類快速成型系統。利用Objet公司研發之特殊光硬化樹脂噴嘴，將液態樹脂材料以噴墨技術噴塗於製作平台，每次噴射16 μm 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。

本研究所用之EDEN260機器可穩定製作出精度小於0.2mm之元件；在機器校正良好情況下，精度可達16 μm ，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 μm 差，



比之矽基底蝕刻等製程，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。

快速成型在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。過程如下：

- (1) 元件設計：任何元件從無到有都須先經過設計考量之後才會開始製作、針對問題改進，而快速成型也不例外。
- (2) 元件 3D 實體繪製：待決定好所要製作之元件尺寸，利用 CAD 軟體(如 Solid Works、CATIA 等)建模。
- (3) 檔案轉換：本研究所使用之快速原型機可接受檔案為 STL 檔，因此於存檔時透過 CAD 軟體將檔案存為*.stl 檔，並傳於快速成型機所搭配之 ObjetStudio 軟體。
- (4) 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。
- (5) 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，等製作完畢後將托盤從快速成型機取出，利用適當工具將元件從托盤刮分開來做最後之後處理。
- (6) 後處理：整個過程以後處理為最重要，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。

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晶相研磨機研磨拋光方式，先以砂紙 (P600、P1000、P1200) 研磨，再以氧化鋁粉與水混合液拋光。將使接合處之元件表面更平滑透明，同時也更方便後續元件接合。

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：

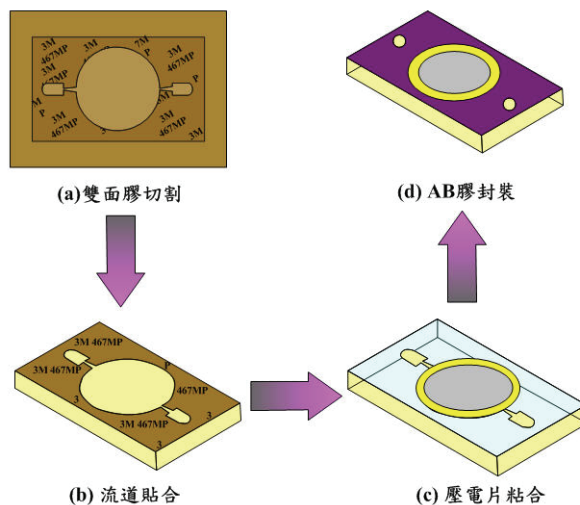
- (1) AB 膠：黏度佳、取得容易，雖在黏度及密封上可達到所要求之封裝效果，但於元件加壓接合時，可能會因 AB 膠之流動性而導致 AB 膠被擠入微流道，致使微流道截面改變甚至堵塞住。
- (2) 網版印刷：雖網版印刷也可達到黏合作用，但因微流道為微尺寸之元件，因此在網版與元件微尺度對準上會有其困難度。
- (3) 防污膜：膜本身已有一層黏膠，且為透明於後續如要觀察流場非常方便，在接合時也不會有對準之問題，但因膜本身表面過於光滑與壓電片接合時會因過於光滑而很快分離，並且膜本身過軟，微泵浦效率甚差。
- (4) 紫外光接著劑 (UV 膠)：透明度高、接著強，但因黏膠於接合時會有毛細現象而流入微流道導致堵塞，故此方式並未實驗成功。
- (5) 雙面膠：黏度雖沒 AB 膠強，但可配合元件形狀加工切割出所要之尺寸，因屬於乾式接合

法所以不會像液態黏膠一樣有黏膠流入微流道的疑慮。

- (6) 雙面膠搭配 AB 膠：首先利用雷射雕刻機將雙面膠雕刻出適當型狀，當作輔助作用，以達到讓壓電蜂鳴器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 AB 膠達到完全密封元件之效果。

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。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[7]。有別於(1)~(5)的黏合均具有一整片 40 μm 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縮/漸張管微泵道上，防止 AB 膠於塗抹時流入流道。為了方便起見，(6)的黏合方式我們稱之微無薄膜黏合以示區別，其過程如下(圖四)：

- (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縮/漸張管微泵道上方，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。



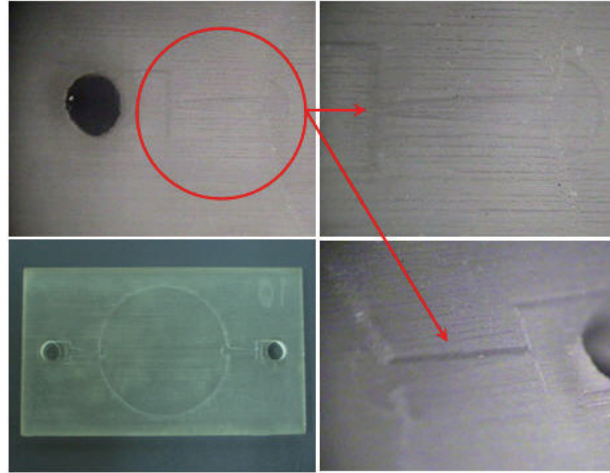
圖四 雙面膠配合 AB 膠接合流程

肆、研究結果與討論

微流道於快速成型系統中製作時，其擺放位置與方向相當重要，元件擺放位置不但關係到製作時間及耗材使用量，同時更是影響微流道成型失敗與否。因此在未製作微流道前必須測試不同擺放位置其所影響之關係，作為往後微流道製作前擺放參考。最後使用影像擷取系

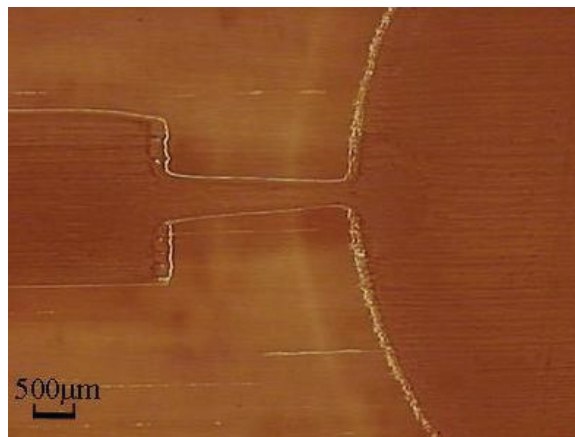


統及三次元光學量測系統觀察快速成型製作成型之微流道及微流道細部成型成功與否。成功成型之微流道如圖五。



圖五 成型之微流道

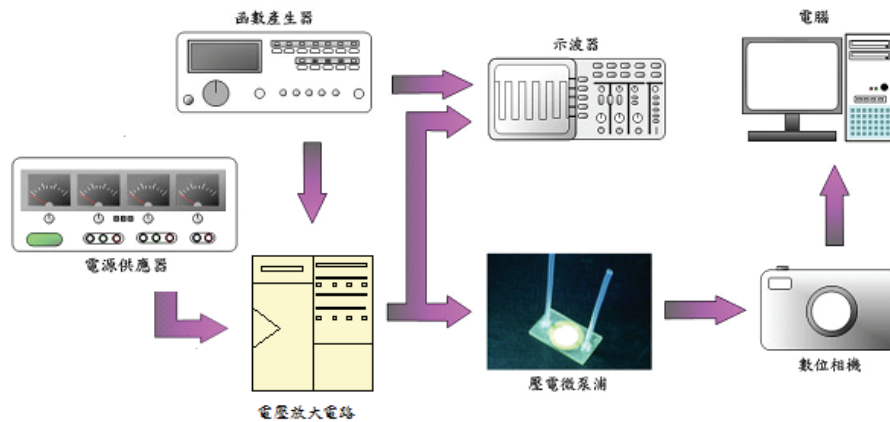
快速成型技術使用疊層方式製作，因此會有粗糙度之問題，唯一能避免粗糙度過大只能從製作擺放位置著手，透過表面粗度儀量測其粗糙度平均值為 $17.10\mu\text{m}$ ，經拋光後其粗糙度平均值為 $0.15\mu\text{m}$ 。透過光學投影機可以量測其尺寸並觀察成型細部結構，如圖六。微泵浦中最窄處約為 $230\mu\text{m}$ 。



圖六 微流道細部圖

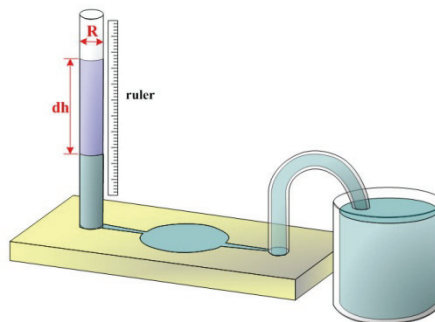
微流道接合完後必須先測試是否完全密合，因微流道封裝好壞在實驗測試中佔一重要因素，微流道封裝如不完全時，其測試效能則會不佳，因此微泵浦在做正式量測之前必須先確保元件封裝緊密。封裝測試方法為於燒杯中倒入 D.I. Water，之後將微泵浦放入 D.I. Water 裡使用針筒將空氣打入微泵浦，利用此方法觀看是否有氣泡產生，當有氣泡產生時則表示粘合不完全，如沒氣泡產生代表微泵浦封裝良好。於測試氣密性後，結果如顯示無問題後即可開始量測無閥門微泵浦基本效率，搭配先前設計及製作好之夾具，可方便量測及觀察微泵浦效能。

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 [8]和 Tsai [9]。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，如圖七所示。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；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。



圖七 量測示意圖

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（量測示意圖如圖八）。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。



圖八 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 dt ，利用下面算式即可得到微泵浦體積流率。

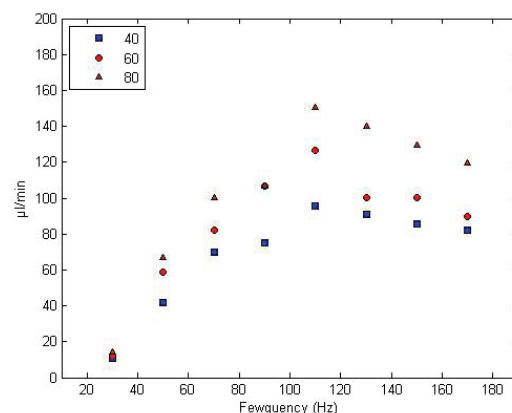
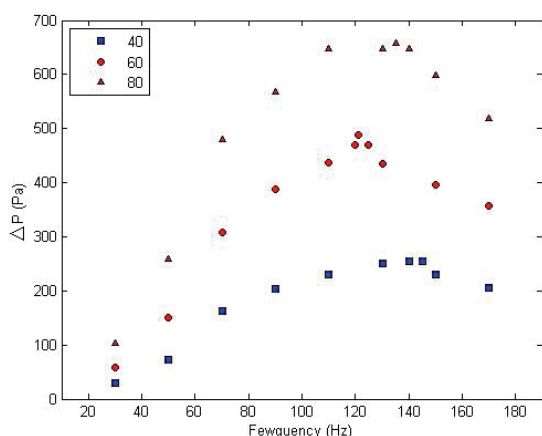
$$\dot{Q} = \frac{\pi R^2 dh}{4 dt} \quad (1)$$



其中 \dot{Q} 體積流率， R 為出管內直徑， dh 為所設之一小段水柱高，在此設為 1mm， dt 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。

本實驗將針對不同接合方法之微泵浦進行量測，將針對不同電壓、頻率及固定頻率改變電壓方式量測其背壓及流量，同時透過改變工作電壓之波形並觀察其背壓及流量有何改變。下文中 Type I 指的是具薄膜並使用 AB 膠接合方式的微泵浦、Type II 指的是具薄膜以雙面膠接合方式的微泵浦，Type III 是無薄膜並以雙面膠搭配 AB 膠接合方式的微泵浦。

首先針對 Type I 微泵浦進行量測，由量測結果發現微泵浦於弦波工作電壓 20Vpp 時即可達到驅動流體效果。例如在此電壓下，當頻率 70Hz 時開始可以觀察到微泵浦驅動流體，其最大背壓 29.4Pa 及初始流量 20.8 μ l/min。如電壓訊號改變為方波時，一樣在 20Vpp 即可達到輸送液體，但頻率於 50Hz 即可驅動，最大背壓及初始流量分別為 19.6Pa、12.57 μ l/min。我們所製作的這一個 Type I 微泵浦，其最佳效率大約產生在 110Hz~130Hz 之間，隨著電壓波形、電壓大小而略有差異。以 80Vpp 之弦波為例，由最大背壓資料觀察，其最佳頻率大約在 110Hz，此時最大背壓為 486Pa、初始流量為 94 μ l/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 647Pa、初始流量為 140 μ l/min 如圖九、十。

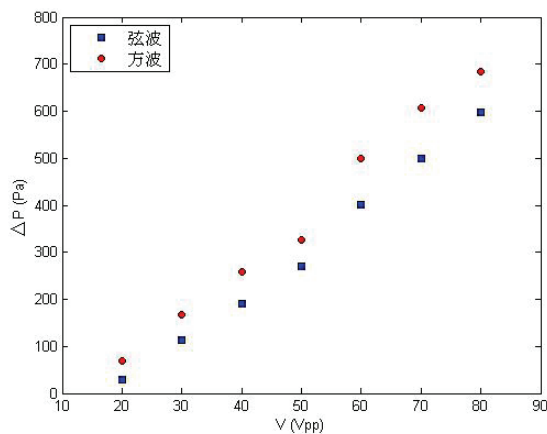


圖九 Type I 不同電壓、頻率下之背壓(方波) 圖十 Type I 不同電壓、頻率下之流量(方波)

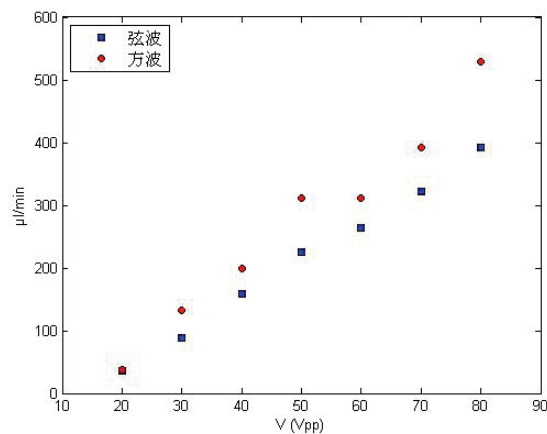
Type II 微泵浦量測結果其特性和 Type I 一樣，在固定電壓下，其效能會隨頻率的增加而隨著增加直到一定的峰值，之後就會隨著頻率的增加而產生下降趨勢。此 Type II 微泵浦，觀察其最大背壓與初始流量，可發現最佳效率大約產生在 130Hz~150Hz 之間，隨著電壓波形、電壓大小而略有差異。以 80Vpp 之弦波為例，由最大背壓資料觀察，其最佳頻率大約在 150Hz，此時最大背壓為 293Pa、初始流量為 145 μ l/min。當驅動電壓為 80Vpp 之方波時，其最佳頻率大約在 140Hz，此時最大背壓為 396Pa、初始流量為 145 μ l/min。由於限於篇幅，Type II 的量測結果詳見李鈞平[7]，在此不呈現。比較 Type I 和 Type II 在最佳頻率下的效能，發現 Type I 的最大背壓明顯地較 Type II 好，然而 Type II 的初始流量卻比 Type I 佳。詳究其原因，我們發現 Type I 的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。然而薄膜與流道基底使用 AB 膠黏合時，其固化後的剛性較使用雙面膠黏合好，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，Type I 的最大背壓明顯地較 Type II 好。綜合 Type I 和 Type II 的優缺點，我們發展出 Type III 無薄膜並以雙面膠搭配 AB 膠的黏合方式。此處無薄膜指的是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，但是在漸縮/漸擴流道上方仍然批覆一 $40\mu\text{m}$ 的薄膜，最後再以 AB 膠加強二者之間的黏合效果。

觀察 Type III 微泵浦之最大背壓與初始流量，可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如圖十一、十二。



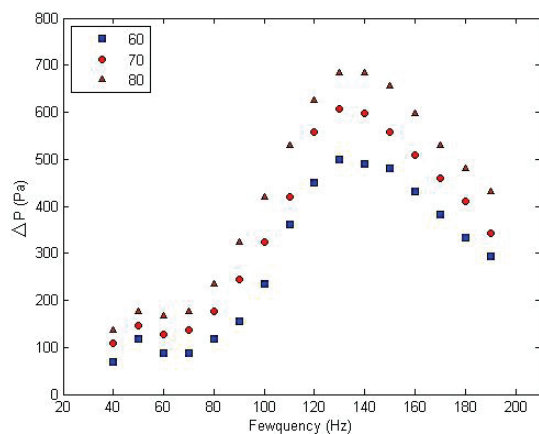
圖十一 Type III 130Hz 下不同電壓之背壓



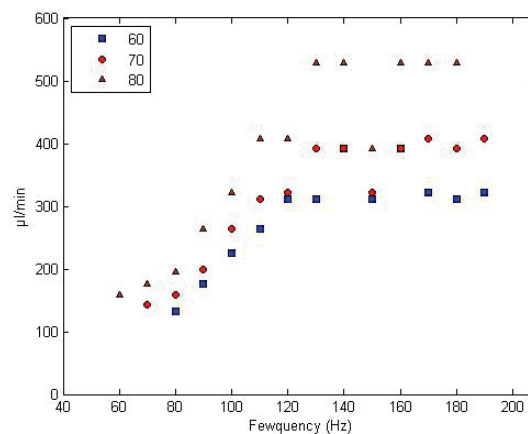
圖十二 Type III 頻率 130Hz 下不同電壓之流量

Type III 微泵浦以電壓 20Vpp 之方波即可驅動微泵浦輸送流體；此電壓下，最佳操作頻率為 110Hz ，最大流量為 $60.3\mu\text{l}/\text{min}$ ，最大背壓為 68.6Pa 。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 、初始流量為 $529\mu\text{l}/\text{min}$ 如圖十三、十四。比較 Type I、Type II 和 Type III 在最佳頻率下的效能，發現 Type III 的最大背壓明顯地較 Type II 好，而略高於 Type I。在初始流量方面，Type III 的初始流量卻比遠較 Type I 與 Type II 太多。很顯然地，不使用薄膜批覆在振動腔上將大幅提升流量效能，而配合 AB 膠封裝，也能保持住最大背壓的效能。





圖十三 Type III不同電壓、頻率下之背壓(方波)



圖十四 Type III不同電壓、頻率下之流量(方波)

伍、結論與建議

本篇研究目的為利用快速成型技術製作微泵浦之可行性，並嘗試找出一最佳黏合方法組裝微泵浦，同時在製程上省去複雜過程之半導體製作，透過快速成型技術省下不少製作時間，也可達到後續快速設計變更、製作及測試。將本實驗結論彙整以下幾點：

- (1) 利用快速成型技術成功製作出漸縮/漸張式無閥門微泵浦，流道中最窄處可達 $230\mu\text{m}$ 。
- (2) 透過雙面膠配合AB膠黏合，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液體效果，也可省去薄膜製作及接合。
- (3) 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。

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. Stemme, E. and Stemme, G., "A valve-less diffuser/nozzle-based fluid pump", Sensors and Actuators A., pp159-167, 1993.
3. 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.
4. Olsson, A., "Valve-Less Diffuser Pump for Liquids", Thesis for the degree of Engineering at the Royal Institute of Technology, 1996.
5. Cheng, Y.L. & Lin, J.H. "Manufacture of three-dimensional valveless micropump", Journal of Materials Processing Technology, V.192, 2007.
6. King, Philip & Covington, James, "A novel monolithic microactuator fabricated by 3D rapid

direct manufacture”, Proceedings of the 23rd Eurosensors Conference.

7. 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。
8. 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.
9. Tsai, J. & Lin, L., "A thermal-bubble-actuated micronozzle-diffuser pump", Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 11, pp.665-671, 2002.



Abstract

In the present study, the rapid prototyping technology is used to fabricate the micro-structure of the valveless micropump actuated by a PZT buzzer. The micropumps are successfully actuated to deliver D.I. water by the signals of square wave (or sine wave) with 20~80Vpp and 40~190Hz. In the micropump, there are two diffusers/nozzles with length of 2400 μm and depth of 250 μm . The diverging angle is 8° and the narrowest width of channel is 200 μm . The buzzer of piezoelectric plate is mounted on the circle chamber with diameter of 16mm and depth of 100 μm . There are three successful mounting methods in the present study, including (1) AB glue with a thin membrane which thickness is 40 μm , (2) double-sided tape with a thin membrane which thickness is 40 μm , (3) double-sided tape without a thin membrane and package by AB glue. The micropumps based on the last mounting method have better performance. It is found that the micropump can be actuated by square wave signal of 20Vpp to deliver D.I. water. The best operation frequency is about 110Hz at 20Vpp, the initial mean flow rate is 60.3 $\mu\text{l}/\text{min}$, and the maximum back pressure is 68.6Pa. For the square wave signal of 80Vpp, the best operation frequency is about 130Hz. The initial mean flow rate is 530 $\mu\text{l}/\text{min}$, and the maximum back pressure is 685Pa. The fabrication procedures based the rapid prototyping technology are simpler and easier. It is not necessary to use some expensive equipment. It is useful to develop such fabrication process.

Keywords: Rapid Prototyping (RP)、Micropump、Piezoelectric plate.