

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

微流體射入分析系統—總計畫

Micro Flow Injection Analysis System

計畫編號：NSC87-2218-E007-002

執行期間：86年8月1日至87年7月31日

計畫主持人：黃瑞星 國立清華大學電機系教授

一、中文摘要

過去10年來在半導體製造技術突飛猛進，加速了很多感測元件的開發。隨著微刻加工技術的到來，小型化的多種離子感測元件配上微小泵、開關閥可以組成一個小流通槽 (flow-through cell) 作成微流體射入分析系統 (micro flow -injection analysis system) 供製程控制，環保監控和健保醫療監控之用。

本群體整合計劃為期三年，目標是開發一能處理微流量 (μ l/min) 的分析系統，共分六個子計劃分別就 (一) 微流體的力學，熱傳與流通道 (flow channel) 尺寸、結構的關係 (二) 雷射LIGA製作微流體系統 (三) 微流體系統用的高分子材料 (四) 矽微加工製作微流體系統，功能材料製作 (五) 微泵、微閥及運轉程序控制，以及 (六) 離子感測元件，做技術開發。

第一年系統組件分別做技術開發與樣品試作，第二年完整離型微流體射入分析系統試裝，第三年改良並標準化微流體射入分析系統。

關鍵詞：微流體力學，微模鑄造，矽微加工，感測元件，微流體系統控制，高分子材料，功能材料

英文摘要

The remarkable progress in the technology of semiconductor fabrication over the past 10 years has accelerated the development of many sensors. With the help of micromachd multi-ion sensors with flow channels and micro pumps, valves arhining technique, miniaturizee integrated

into a flow-through cell to perform flow-injection-analysis(FIA) for chemical process control, environmental monitor, and health care applications.

This three-year cooperated integrated group project is aimed for developing a flow injection analysis system which is capable of handing minute flow rate in the μ l/min range. The project is divided into six subproject. Each subproject is respectively responsible for the technical development of (1)the relationship of micro fluid mechanics, heat transfer with respect to the structure and dimension of the flow channel (2)Laser LIGA technology for micro flow system (3)polymer materials for laser LIGA process (4)functional materials and silicon micromachining technology for micro flow system (5)electronic circuits for micro pump, micro valve and operation process control, and (6)ion sensitive device.

In the first year, the technologies for components of the micro flow injection analysis system will be developed and fabricated. System assembly will be tried but is not the main goal of the year. The second year will be devoted to the development of the prototype of a complete micro flow injection analysis system. In the third year, to improve the performance and standardize the system structure will be the main effort.

Keyword : micro fluid dynamics, LIGA, micromachining, sensor, micro fluid system control, polymer, functional material

二、計畫緣由

微機電系統 (MEMS) 技術是近年來十分受到重視的一項科技，這項技術是利用半導體製程來製造微小的機械元件，例如：齒輪、閥門、馬達、等等，這些元件的尺寸甚至可小於微米，所以 MEMS 具有下列優點：(1) 可將機械結構和電子線路整合，(2) 可批量製造 (batch fabrication) 使成品造價降低且品質均一，(3) 縮小成品尺寸且增高精度；因此 MEMS 被利用來製造許多低成本的感測器和致動器，目前相關的商業產品有：壓力計、加速計、ink jet printer head、等等。

近年來微加工技術 (micromachining) 的發展迅速，除了上述之微感測元件及微驅動元件等應用外，並進一步開發可控制、輸送、感測微升/分 (μ l/min) 之流量的微流體系統 (microfluid system)。事實上微流體射入分析系統 (micro Flow - Injection Analysis System, 或簡稱之 μ FIAS) 已被認定是最具有應用潛力的微加工技術產品之一。

微流體射入分析系統在化學分析、製程控制、環保檢測、監控，以及醫療保健的檢測監控之應用很廣。隨著人類文明的進步，環保意識的抬頭，生活品質的提昇與人類壽命的延長，上述各方面操作簡便，價格便宜，且精確可靠的分析系統，將會廣被採用，其重要性相當明顯。此外，一個流體射入分析系統必須配合 microprocessor 或 PC based information system，而國內的電子資訊業近年來已躍昇為第一大產業，若能與分析系統接合，就可把國內資訊產業擴充進入儀錶、量測儀器的領域，因此也是讓 PC 產業增加附加價值的一個很重要的前置系統。

目前國外如日本，尤其是歐洲的國家都有長期且大規模的微流體系統研究計劃，近年來也逐漸看到這些投資所表現的成果，不止在學術期刊、學術會議上，這方面的論文很多，而且有些已接近商品化的微流體系統完成。國內方面，這種微流體射入分析系統的研究則是首次的群體整合研究，各項子計劃的研究開發項目也絕

大部分是新的。這種嘗試雖風險大，但成就與貢獻相對也會多些，在國內是一個新領域的展開。

三、研究目的

微流系統是 MEMS 的一項很具體的應用，微流系統一般是由微幫浦、微閥門、和微流道等微機械製造元件所組成，這些元件的尺寸大約是數十至數百微米。微流體系統的優點是流體呆滯空間 (dead volume) 很小，對微小流體之控制精確，且反應靈敏 (fast response)。尤其是整合感測元件，回授控制之整合型微量系統 (integrated microfluid system) 直接取代個別組件 (discrete parts) 組成之系統，不但體積小，呆滯空間少，價格低廉，而且功能可靠。

微流體系統之發展歷史尚淺，可應用於這類系統之元件 (如微泵、微閥、微感測) 仍然有限，目前文獻報導較為成熟之微流體系統有微噴墨系統 (micro ink jet nozzle system)，微劑量系統 (micro dosing system) 及微化學分析系統 (micro chemical analysis system)。其功能簡述如下：

- (1) 微噴墨系統 (micro ink jet nozzle system)：此系統之關鍵技術為噴嘴 (nozzle)，通常係利用非等向蝕刻法在矽單晶上蝕刻成陣式小孔。在技術上最難突破的瓶頸是噴嘴微小化，與致動元件之封裝整合，以定量的而且可重覆地噴出液滴。
- (2) 微劑量系統 (micro dosing system)：基本上，此系統結合微泵，微閥和微感測元 (micro sensing element)，以定量輸送微量流體。微劑量系統簡單而重要的應用如 MOCVD 和 MOMBE 等之先驅體 (precursor) 之流量控制，藥劑定量注射系統等。此外此類系統組成較為複雜之系統，如微化學分析系統 (micro chemical analysis system) 或微化學合成系統 (micro chemical synthesis system)。
- (3) 微化學分析系統 (micro chemical

analysis system)：此類系統除必須包括微劑量控制外，多樣化的微感測元件是必要的配合元件，此外，為求分析的準確，必須對待測樣品之前處理，系統之量測值的校正等要求均較嚴格，操作也較複雜，自然而然系統發展之困難度較高。然而此系統若發展成功，對工業的衝擊與貢獻也較大，不論在製程 (processing)、環保 (environmental) 或醫療 (health care) 的監控均將有革命性的發展。簡單的微化學分析系統如微血液分析系統，微滴定系統，只要定量輸送校正液及待測液並配合適當的感測元 (如ISFET)，即可成為簡易微化學分析系統。較複雜的微化學分析系統如微氣相分析 (gas chromatography) 系統，微液相分析 (liquid chromatograph) 系統；這類系統遷涉到較為複雜的分析方法如毛細電泳 (capillary electrophoresis)；電滲透 (electro-osmotic) 方法等。

過去10年來在半導體製造技術突飛猛進，加速了很多感測元件的開發。隨著微刻加工技術的到來，小型化的多種離子感測元件配上微小泵、開關閥可以組成一個小流通槽 (flow-through cell) 作成微流體射入分析系統供製程控制，環保監控和健保醫療監控之用。本群體計畫整合流體、材料、電子等專長的人力，擬共同開發一個能處理微流量 ($\mu\text{l}/\text{min}$) 的微流體射入分析系統。本群體計畫為期三年，第一年著重於系統組件之技術開發與樣品試作，第二年為完整雛型微流體射入分析系統之試裝，第三年改良並標準化微流體射入分析系統。

四、研究方法

本群體整合計畫的總目標是研發一個微流體射入分析系統，此系統的主要組件包含一個微泵、兩個開關切換閥、控制電路以及離子感測元件。按照專長與實驗室的整合配合，分成五個子計畫，其研究方法簡述於下，詳細內容請參閱各子計畫之報告。

子計畫一：

本子計畫的研究規畫將朝兩個方向進行，分別是(1)迷你型流體系統的製造與量測，(2)微流體系統設計。前者是將微流體系統等比例放大成一尺寸較大的迷你型流體系統，再以此迷你型流體系統進行實驗，如此可便利於觀察流體系統及流場的定性特性。後者是利用簡單幾何結構的微流道 (Microchannel) 建立測試站，以了解微流場的特性和巨觀流場的不同。據此，可建立微流場的分析模式，以便設計和改良微流系統，另外這項量測技術也可成為未來量測較複雜的微流系統的實驗基礎。本子計畫由清大動機系的教授主持。

子計畫二：

負責雷射深刻模造 (Laser LIGA) 製程開發與微流體系統的製作。LIGA的起源製程採用X-光深刻術，但因X光光罩的製作成本高且必需使用高強度的同步輻射光源，並非一種普及的設備。因此本子計畫發展用雷射光的類LIGA技術製作微模，後段的鑄造、電鍍技術與X-光LIGA相同，用此雷射LIGA製造微流體系統的零組件以組合成系統。因其與X-光LIGA有部分技術相通，故由同步輻射研究中心與清大化工系共同主持

子計畫三：

配合子計畫二的X光深刻模造 (X-ray LIGA) 技術發展所需的高分子材料與電鍍技術，含電鑄、射出成形、熱壓、及光阻等高分子材料，由清大材料系教授主持

子計畫四：

負責矽微加工製程之建立與微流體系統製作，採用矽微加工技術製成微泵，微閥的結構經矽與玻璃的結合或矽與矽燒結技術作成微流體系統。主要是 bulk micromachining 以及 Silicon-glass anodic bonding, silicon-silicon thermal fusion bonding 的技術開發與製程標準化。另外發展光助化學氣相沈積技術 (photo-CVD)

，低溫沈積低殘留應力的薄膜層，驅動泵與閥的動力來源將採用 piezoelectric, shape memory material 或 thermal 的方式。因此也必須開發相關的功能材料 (functional materials)。本子計劃由清大材料所負責。

子計劃五：

負責開發驅動微泵，微閥以及運轉程序控制之電路。除考慮開迴路的控制外，配合感測元件的訊號也需考慮閉迴路的控制。控制電路先以 discrete 製作，將來可考慮與感測元件製成同一晶片上。另外本子計劃也負責開發微流體分析系統所需的感測元件。其構想乃以傳統的離子感測場效電晶體 (ISFET) 為出發點，再逐步就絕緣層的材料以及 FET 的結構上求改進，以提昇 ISFET 的性能如 selectivity、sensitivity、stability 及 reliability 等。此計劃必需提供典型的輸出訊號參數供上述之設計控制電路使用，同時必需設計與微流系統連接的界面組件將來才能組成一個系統。本子計劃由清大電機系負責。

五、結果

本計畫之各子計畫本年度成果簡述於下，詳細內容請參閱各子計畫之報告。

子計劃一：

1. 微流體測試結構之設計與製造
2. 微流體流場量測系統之建立

子計劃二：

1. 無閥式微幫浦之設計與製造
2. X-ray LIGA 製程之建立

子計劃三：

1. 高分子材料與電鑄技術之建立
2. 矽加工技術之建立

子計劃四：

1. 驅動用功能材料之製作 - 鐵電陶瓷薄膜 (鈦酸鉛鋁, PLT)
2. 驅動用功能材料之製作 - 鎳鈦記憶合金薄膜

3. 壓阻式壓力感測氣器之研究與製造

子計劃五：

1. 離子感測元件之製作
2. 模組技術之開發與建立 - 參考電極，閘極絕緣層，蝕刻停止層，與接合技術之開發與建立

六、討論

本年度僅要求各子計畫分別的成果，各子計畫也針對其目標發展相關的技術。俟這些基本的技術與設備建立後，第二年度將以此為基礎，使計畫的進行更加順利。

以總計畫的角度而言，目前遭遇之困難是各子計畫之進度不一，而其解決辦法是定期舉行進度報告，並在人力與資源的分配上作可能的機動調配，亦即各子計畫除了自行做垂直方向的分工外，也和其他子計畫做水平方向的任務支援。

另外參與本子計畫之非半導體製程專業背景的碩士生研究助理，必須接受一段為時不短的製程訓練，才能通過多項使用半導體製程設備資格之訓練與測試，以便著手進行相關的研究。