

第一章 緒論

1.1 前言

近十年，元件的微小化一直是相當令人注意的焦點，許多產業界及學術界相繼的投入其研究，諸如MEMS(micro electro mechanical systems)與MST(micro system technologies)等名詞的出現。微小元件在許多領域中被廣泛使用，其應用領域已經涵蓋電子、資訊、材料、醫學、生化、通訊、航太工業及汽車等工業上，隨其可靠度的增加，在更多領域上應用更具有相當高的潛力，常見大尺度的流量感測器依照其應用原理，可以分為壓差檢出流量計(differential pressure flow meter)、超音波流量計(ultrasonic flow meter)、熱式流量計(thermal flow meter)、渦流流量計(vortex flow meter)、置換氣量流量計(positive displacement flow meter)、渦輪流量計(turbine flow meter)、射流流量計(fluidic flow meter)、柯氏力流量計(Coriolis force flow meter)、皮托管流速計(Pitot tube)、熱線流速儀(hot wire anemometry)及雷射都卜勒測速儀(laser Doppler anemometry)等。本文中所要探討的微流體感測器及技術可以整合為不同功能之智慧型微流體系統晶片，廣泛應用於生物科技之DNA分析晶片；民生消費之智慧型微型瓦斯計量表；醫療器材之呼吸流量器；環保科技之攜帶型環境偵測分析系統；電腦週邊之微冷卻器；微型噴墨頭；半導體設備之微質流量控制器；汽車上安全氣囊之加速度量測器；精密機械之微幫浦及自動化設備之數位式流量計等。利用微機電加工技術，可以將上述傳統的流量感測器製作成微小尺度之微型流量感測器，除了可以應用於大尺度的流場特性量測外，亦可以應用在微小流場。

根據訊號產生的形式如熱、輻射、機械量、電磁量、化學量、生物及電性及其相關量測的物理量如溫度、加熱量、焓值、熱容-----等微感測器所量測的物理量有多種種類，其內容分類詳見表1.1【1】；現階段的微機電製程不管其生成訊號為何，皆可以電性來為其量測的訊號如圖1.1所示。

表1.1 根據訊號形式之感測器分類表

訊號形式	量測物理量
熱	溫度、加熱量、焓值、熱容量。
輻射	伽瑪射線、可見光、X光、微波、無線電波。
機械量	位移、速度、加速度、力、扭力、壓力、質量、聲波長和振幅。
電磁量	磁場、磁通量、磁導性、磁化量。
化學量	溼度、PH值、氣體濃度、毒性和易燃物材料、污染物。
生物	蛋白質、糖、賀爾蒙、抗原。
電性	充電量、電流、電壓、電阻、電導性、電容性、電感性、介電性、頻率。

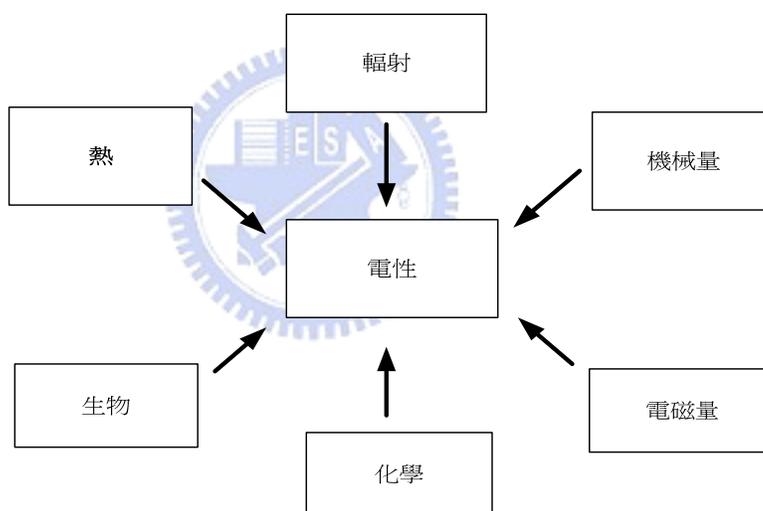


圖1.1 訊號接收相關圖

微機電系統的發展概念，是將半導體製程技術融合機械的觀念及原理所發展出的技術，其應用的起源可以回溯至西元1960年對機械微小化之研究，再經過數十年隨著半導體技術的漸進成熟，以及傳統電子、電機、機械及近代物理，將半導體製程技術延伸發展出目前的微機電技術，其包含了微製造技術、晶片接合技術、組裝技術及檢測技術等，以微製造技術方面主要分為半導體微加工、LIGA技術、微機械加工等三類。在半導體微加工上更是引用了積體電路的半導體製程技術其有三個基本製程，即

微影加工(lithography)、薄膜沈積(deposition)及蝕刻等，其特點為易大量生產、製程元件尺寸微小，而就其製程方式的不同又可以分為體型微加工技術(bulk micromachining)和面微細加工(surface micromachining)，其缺點是其結構受半導體製程技術所侷限。LIGA是德文Lithographie Galvanoformung Abformung之縮寫，翻譯成英文則為Lithography electroforming micro molding，是“深刻模造”技術之縮寫，其中LI為深刻術，利用同步輻射X光在厚膜光阻上刻出高深寬比的微結構，G代表精密電鑄模仁技術，A代表射出量產技術。使用同步輻射產生之X-Ray對矽表面做模具結構，利用完成之模具做射出成型等加工，優點是容易製作高深寬比的結構；缺點是此模具的製作費過於昂貴，且蝕刻製程受限制變化不大，全世界總共只有五十餘台、台灣也只是一台，微機器加工是使用製作更精密的機械工具，來對元件作加工，優點是可以不在受限於半導體或LIGA製程的製程約束，製作任意想要之結構；缺點是難以製作極小、大量的陣列元件結構。



1.2 文獻回顧

微流體感測器依感測方式原理包含了機械方式、光學方式、熱感應方式、差壓式、超音波量測方式，和電磁式等；微流體感測器的研究與應用可參見1988年美國史丹福大學Kovacs的著作【2】。1997年烏克蘭Grudin等人【3】利用〈100〉的矽晶圓上製作加熱電阻，並蝕刻出浮板的結構，而其減少固體的熱傳導損失，利用熱傳導方式，求出氣體壓力大小與熱傳速率的關係。1998年日本熊本大學Toda等人【4】則針對真空條件下，研究真空度與熱散失的關係。1998年西班牙Politecnica De Cataluna大學Castaner等人【5】則利用加熱垂直於流體流動方向的金屬框，由熱對流損失的能量多寡來決定流速的大小，然而此製作方式與微機電技術方式不匹配。1999年奧地利維也納科技大學Glaninger等人【6】製作出流速0.01~200 m/sec的流量感測器。其中0.01 m/sec至3 m/sec是線性區，其餘為非線性區，不易於後面電路的應用。2001年美國華盛頓大學Rasmussen等人【7】以Navier-stokes方程式作為微管之控制方式，並計算加熱器前後之溫度差與實驗之比較。2002年Chang等人【8】採用CFX4軟體建構微流體感測器之格點系統，藉由流體帶走熱量，並計算在微流道上、下壁溫度差來決定流體在微流道內之流速，認為其運用之原理較Rasmussen等人【7】所發表之研究結果更為實用，所得之結果並以Fieldview and Tecplot軟體予以可視化分析。2002年Chang等人【9】觀察微流道內，當流速為極微小值（體積流速nl/min）且下壁加熱至臨界值（126瓩）時，上、下壁溫度差將引發浮力效應，而使微流道內產生二次流現象，藉此現象來獲知流體在微流道內極低流量之量測。以上的文獻皆只有針對熱散失對微流體感測器的影響，並未提到表面效應的影響。2002年美國猶他大學Papautsky等人【10】以壁面粗糙度和微管的水力直徑之比2%，在低流速情況下，研究不同的寬高比對層流摩擦係數之效應，並未對熱傳現象做探討。2002年加拿大亞伯達大學Harris等人【11】於微管內部以不同形式重製多孔薄膜技術，獲得流體較多接觸表面積，也並沒有針對微管流體流動及熱傳行為做探討。1983年美國史丹福大學Wu and Little【12】開始提到小管子裡有許多因素將影響流體的熱傳及流體力學的性質，如管徑的寬度與深度、渠道的製作方法、蝕刻的表面、管子結合的方式都會影響到測試結果。1991年美國賓州大學Pfahler等人【13】指出在微管內熱傳和流體力學行為與一般管子不同。1992年美國布

朗大學Beskok等人【14】認為當滑動流發生時，接近壁面的分子對比於連續流，不再達到壁面之速度與溫度，而應該形成速度滑動及溫度落差效應。

電容式感測器已經用於各種感測器的應用,例如加速度,力量,壓力,電解質性質,和轉換式的感測器【15】【16】。與平行板電容的研究比較,柱形電容感測器的研究主要集中於性質的分析,例如電荷飽滿的共軸圓柱形電容器的靜電力【17】【18】;圓柱形電容感測器的非線性分析【19】。迄今為止,沒有研究是要分析和討論用於流體應用的半柱形的電容型感測器。本研究目的有鑒於近年來生物技術不斷的突破,且人類及多種生物基因的解碼成功,使得生物科技發展日益快速,其中又以生物晶片最具代表性,其中微流體晶片又稱微整合分析晶片(uTAS),主要係於微小晶片上來完成傳統實驗室所進行的分析流程,將檢體、試劑及其他混何物傳送、混合、反應、分離,在這些過程中便能以本流量感測器完美的控制其流量,本研究之電容式感測器有以下的優點,沒有漏電流的問題、沒有容積餘隙的問題、沒有動力消耗的問題、沒有差動壓力能量的問題、沒有反應時間上的問題、對多餘雜質不會起反應、電位操作是呈線性的、適用各種黏性流質、對於生技研究方面流量控制能提供更好更精確的研究數據,所有的流量感測器發展年代會整於表1.2中。

表1.2 流量感測器發展年代

年代	作者	研究成果
1983	Wu and Little	管徑的寬度與深度、渠道的製作方法、蝕刻的表面、管子結合的方式都會影響到流體的熱傳及流體力學性質測試結果
1991	Pfahler	微管內熱傳和流體力學行為與一般管子不同。
1992	Beskok	當滑動流發生時，接近壁面的分子對比於連續流，不再達到壁面之速度與溫度，而應該形成速度滑動及溫度落差效應。
1997	Grudin	利用<100>的矽晶圓上製作加熱電阻，並蝕刻出浮板的結構，而其減少固體的熱傳導損失，利用熱傳導方式，求出氣體壓力大小與熱傳速率的關係。
1998	Toda	真空條件下，研究真空度與熱散失的關係。
1998	Castaner	利用加熱垂直於流體流動方向的金屬框，由熱對流損失的能量多寡來決定流速的大小。
1999	Glaninger	製作出流速0.01~200 m/sec的流量感測器。其中0.01 m/sec至3 m/sec是線性區，其餘為非線性區，不易於後面電路的應用。
2001	Rasmussen	以Navier-stokes方程式作為微管之控制方式，並計算加熱器前後之溫度差與實驗之比較。
2002	Chang	觀察微流道內，當流速為極微小值(體積流速nl/min)且下壁加熱至臨界值(126瓩)時，上、下壁溫度差將引發浮力效應，而使微流道內產生二次流現象，藉此現象來獲知流體在微流道內極低流量之量測。
2002	Papautsky	以壁面粗糙度和微管的水力直徑之比2%，在低流速情況下，研究不同的寬高比對層流摩擦係數之效應。
2002	Harris	於微管內部以不同形式重製多孔薄膜技術，獲得流體較多接觸表面積，並沒針對微管流體流動及熱傳行為做探討。

1.3 工作項目

本論文主旨在實現一個電容式感測器的製作及量測，其中計畫幾個工作項目來完成整個製作及設計：

1. 光罩之設計及製作：首先利用AutoCad工程軟體將感測器layout圖設計出來，並委託NDL製作光罩。
2. 電容式感測器製作：利用交通大學奈米中心的儀器，並利用半導體製程技術將其製作出來。
3. 設計介面電路：利用LM555 IC、電阻、電容等元件，製作出電容轉頻率的介面電路。
4. 頻率、電容量測：將電容式感測器通道中無水、充滿水及流有微粒子的狀態，利用C-F轉換電路量測出其頻率及相對電容值。

1.4 本文架構

本論文共分述五個章節來討論，運用半導體微加工技術所製作之電容式感測器。

第一章 介紹本研究之動機以及相關文獻。

第二章 首先介紹一般電容式感測器量測原理，及推導出的半圓形感測器的可行性，並介紹各種電容轉頻率介面電路的架構。

第三章 介紹製作感測器所需之製程技術，運用標準的半導體製程，包括光罩設計、沈積、曝光、顯影、蝕刻----等步驟。

第四章 敘述感測器的設計流程、SEM圖及利用Protel 99SE及intellsuite模擬感測器通道內流速及壓力並量測實驗數據。

第五章 結果與未來展望。

第二章 電容式流量感測器之原理

2.1 電容式感測器原理

感測器是將感測之物理或化學變化量以電磁信號的模式顯示出。通常可分成電阻、電容以及電感，各有其不同之感測原理及方式。比起其他原理的感測器，電容式感測器特別適合於低溫度係數、低耗電、以及高靈敏度之應用。電容值如式 (2.1) 所示，

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (2.1)$$

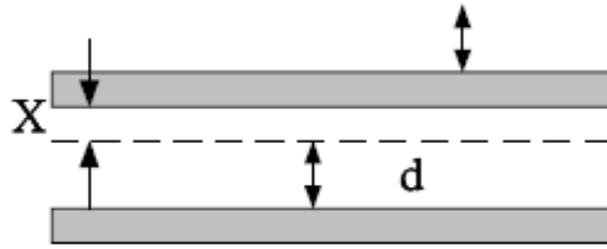
其中， ε 為金屬間材料介電係數， A 為金屬間重疊部分之面積， d 為兩金屬間之距離，對 (2.1) 是做偏微分處理結果如式 (2.2) 所示，

$$\begin{aligned} \Delta C &= \left(\frac{\partial C}{\partial \varepsilon}\right)\Delta\varepsilon + \left(\frac{\partial C}{\partial d}\right)\Delta d + \left(\frac{\partial C}{\partial A}\right)\Delta A \\ \Delta C &= \frac{A}{d}\Delta\varepsilon - \frac{\varepsilon A}{d^2}\Delta d + \frac{\varepsilon}{d}\Delta A \end{aligned} \quad (2.2)$$

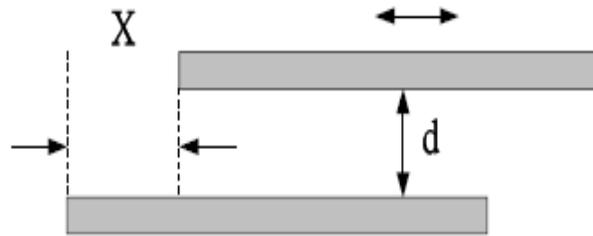
將 (2.2) 式除以 $C = \varepsilon \frac{A}{d}$ 可得式(2.3)

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} - \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta A}{A} \quad (2.3)$$

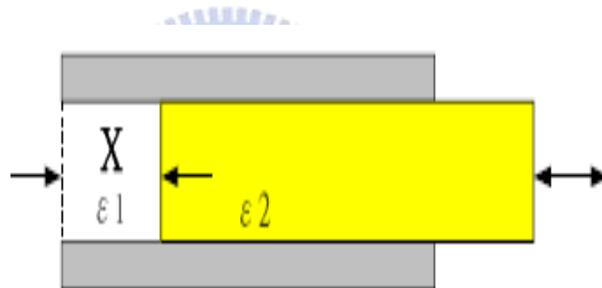
由式 (2.3) 可以看出電容值之變化正比於介電係數與作用面積而反比於兩金屬間之距離。如圖 2.1 所示，(a)、(b)分別為利用距離與面積所造成電容值的變化來感測，一般應用於物理量之量測，如壓力、速度、加速度、位置、流量、溫度等；而(c)則為利用介電係數變化感測，一般應用於化學量之量測，如濕度、氣體、離子、生物感測器、味道感測器等。【20】



(a) 距離的變化



(b) 面積之變化



(c) 介電質之變化

圖 2.1 不同變化因子之電容式感測器結構

2.2 電容-頻率轉換電路

電容式感測器之感測電容信號可經由電路將之轉換為頻率[x]、電壓[x]等不同的形式輸出。電容式感測器之量測電路慢慢的演進可大致分為三部份，(一)傳統量測電容方式、(二)電橋式量測電容之方式、(三)切換式量測電容之方式。在以下分別做說明：

傳統量測電容之方式

(1) 直流電壓源：

如圖 2.2 中電容 C_s 為所要感測的電容，當 C_s 隨著一些參數變化時根據電荷守恆原則，落於電容上的電壓將藉電流流過負載電阻而調整到新的狀態，而會有輸出變化 $(V \cdot \Delta C_s) / C_s$ 。

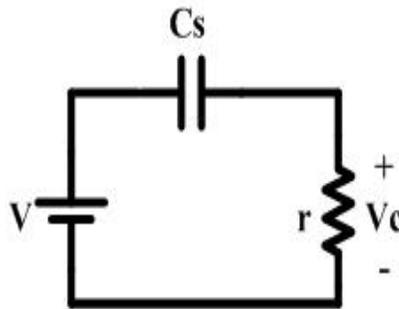


圖 2.2 直流電壓源之量測電容

(2) 定 AC 電流或電壓源：

類似於直流電壓源量測電容方式，只是取代為交流電壓或電流源如圖 2.3 電容的變化分別可以呈現為 $V_c(\omega) = j\omega r C_s V(\omega)$ 以及 $V(\omega) = i(\omega) / j\omega C_s$ 。

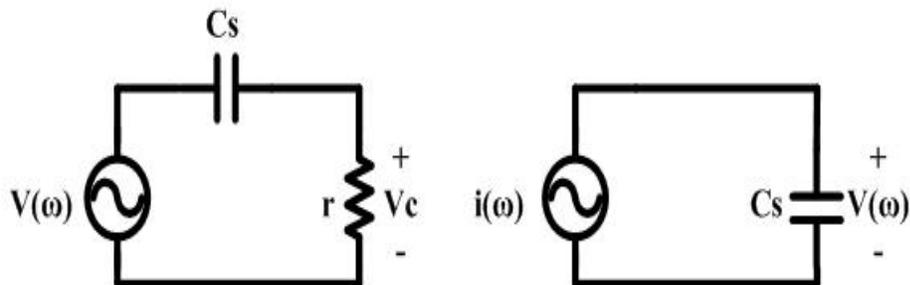


圖 2.3 AC 電流或電壓源之量測電容

(3) AC 分壓器:

如圖 2.4 當感測器電容 C_s 值改變時由分壓定理可得 $\Delta V_o = (V\Delta C_s)/C_2$ 。

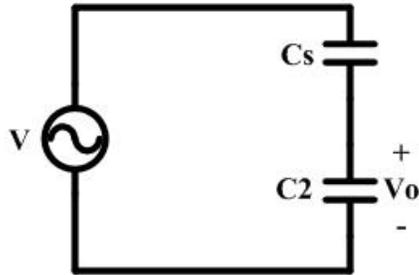


圖 2.4 AC 分壓器量測電容

(4) RLC 振盪電路:

由 RLC 組成的振盪電路可加上放大器而成為弦波振盪器，當固定 R 和 L 值時，藉由頻率的量測就可以知道電容值。但振盪器的穩定性和外界雜訊干擾限制量測本身的靈敏度。

(5) RC Relaxation 振盪電路:

RC relaxation 振盪電路主要轉換電容改變為時間的週期或者脈衝頻率，原理為改變電路的 RC 時間常數。R 及電流固定，感測電容 C_s 改變量就會呈現在時間常數的改變。

電橋式電容量測方式

(1) AC 電容電橋:

如圖 2.5 的惠司頓電路，當 $C_1C_3 = C_2C_4$ 時，電橋輸出為零。此時感測電容 C_3 稍微改變，電橋的輸出 $\Delta V_o = (V\Delta C_3)/C_3$ 。

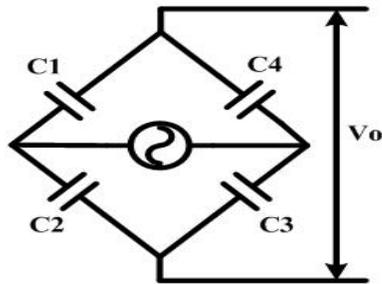


圖 2.5 惠司頓電橋量測電容

在上述文章介紹完基本架構後，在此我們將目前用於電容量測之電路作個表格整理，國內外學者對於電容式感測器的訊號處理電路所做研究則彙整於表 2.1。

表 2.1 所有量測電容電路比較

量測電容方式	(一)傳統式量測	(二)電橋式量測	(三)交換電容式
架構	(1)直流電壓源 (2)AC 電壓或電流源 (3)AC 分壓器 (4)RLC 振盪電路 (5)RC 振盪電路	(1)AC 電容電橋 (2)二極體電橋	(1)交換電容電路為主要架構
敘述	容易受到外在雜訊干擾，且電阻在晶片中製程變異很大(~25%)，因此不適合於晶片實現	架構上也不適合於晶片的實現，因為一樣會有電阻變異等因素	組成元件適合在單晶片上實現，且速度可以很快

第三章 感測器製作

微機電的基本製造技術主要分為三大類-半導體微加工、LIGA技術及微機械加工。本論文利用半導體製程方法，來製作所需之流量感測器，現今之半導體加工足以製作出各種的元件諸如微感測器、微致動器和微結構-----等。

微機電製程製作微結構中，可以細分兩種不同的結構與加工模式：體型微細加工及面型微細加工，而流量感測器的製作亦可以用此兩種不同加工方式來製作。

a. 體型微加工：對矽晶片本身蝕刻加工，其製程和一般積體電路的製程有些不同，特點是使用之矽晶片正反兩面皆可以作加工處理，又因為其通常會深蝕刻及正反兩面結構相互對齊，所以會使用到紅外線等雙面對準技術。其特性如下：

1. 結構面積較大和厚度較厚。
2. 晶片兩面皆可以加工。
3. 結構層可以為單一層矽，亦可以和矽或玻璃做接合。
4. 材料特性與晶格方向有關。
5. 一般來說其製作容易度與成功率遠大於面型微加工技術。

b. 面型微細加工：面型微細加工技術並不針對矽本身作蝕刻加工，矽是當結構的底材，藉由沈積不同材料的方法來架構所需要的結構體，特點是常會利用犧牲層來架空，最後再將犧牲層蝕刻掉。就其他方面，面型微細加工比較接近一般常用之半導體製程，其特性如下：

1. 結構面積小與厚度薄。
2. 結構可由許多材質沈積而成。
3. 材料的特性由所沈積的該層材料有關。
4. 可以與IC製程技術整合做批量生產。
5. 有殘留應力（受沈積方式、摻雜濃度與退火等條件影響）及黏著（stiction）等問題。
6. 常會需要去除犧牲層（sacrificial layer），此步驟為元件製作易失敗之處。

在本章節將討論本感測器製作所用到製程步驟如半導體製程中的RCA clean、晶片氧化、低壓化學沈積、離子乾式蝕刻、曝光流程等技術。

3.1 RCA clean

微機電製程中，用到的濕製程以晶圓潔淨及濕蝕刻為主，因此晶圓的清洗步驟顯得更為重要，由於晶片在出廠時難免會有微小粒子黏附其上，使用RCA標準晶片清洗步驟可以去除晶圓表面之污染物，提升後續沈積或成長之薄膜品質，改善製程良率，由於各元件及連線相當細微，因此製作過程中，如果遭受塵粒、金屬的污染，很容易造成元件的損壞，導致整體系統的失效，除了在無塵室內排除外界污染源外，許多的製程步驟如塗佈、微影、鍍膜、擴散、離子佈植前，均須進行清洗的步驟【22】。

首先將(100)矽晶片先以去離子水(DI water)沖洗五分鐘，其目的是將表面上較大顆的微粒子先予以清除，接著將硫酸和雙氧水以3:1比例調配，並加熱75-85°C浸泡10分鐘，目的在於分解晶片上的氧化有機物，注意剛配製好的硫酸加雙氧水就會產生放熱反應，所以新配的硫酸不需要加熱，如果已經不夠熱，可以放置在加熱器上加熱，等到溫度到達75-85°C以後，需要再補充雙氧水，以補充因為加熱時分解的雙氧水。接著在放置於DI water沖洗五分鐘，再來以室溫中適當比例1:100調配氫氟酸及水，用來清除晶片表面的化學氧化層，接著再以DI water沖洗五分鐘，把晶片上的微粒清除乾淨，接著以氫氧化銨、雙氧水及水以1:4:20比例調製，置於加熱器上加熱75-85°C煮10分鐘(SC1)，用以去除晶片上微小的粒子，因為雙氧水在晶片表面因氧化作用形成chemical oxide，同時氫氧化銨會融解oxide，由於微粒子是以凡得瓦爾力吸附於晶片表面，SC1氧化加蝕刻的作用，會拉開微粒子和矽晶片表面的距離，降低兩者的接觸面積，進而減弱凡得瓦爾力，最終微粒子會因為吸附力不足，脫離表面而被溶液帶走。接著再以DI water沖洗五分鐘，把晶片上的微粒清除乾淨，再以氯化氫、雙氧水及水以1:1:6比例調製，置於加熱器上加熱75-85°C煮10分鐘(SC2)用以去除晶片上鹼金屬離子，注意SC1及SC2要分兩個hood加熱，不只是因為節省清洗晶片時間，因為揮發的氣體會產生氯化銨鹽顆粒，造成bench污染 $\text{NH}_4\text{OH} + \text{HCl} \Rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$ (微粒污染) + H_2O 且SC1及SC2清洗步驟不可以相反，因為SC1可以溶解有機物，去除微粒子；先去除晶片表面的沾附性污染後，接著進行SC2才可以有效的與表面金屬離子反應並去除之，另一方面，鹼金屬與三價金屬例如鋁在鹼性的SC1中，會先反應成懸浮性粒子，接下來的SC2正好可以將這一類的離子團溶解而去除之。接著再以DI water

沖洗浸泡五分鐘，把晶片上的微粒清除乾淨，最後在室溫中適當比例1：100調配氫氟酸和水（去水），來清除晶片表面上的化學氧化層，再以DI water沖洗五分鐘，把晶片上的微粒清除乾淨，如果去水效果不良則可從SC1重新開始清洗，若去水完成則以Spinner旋乾機旋乾，接著便可以進入下一個製程，圖3.1為RCA標準清洗步驟【23】。

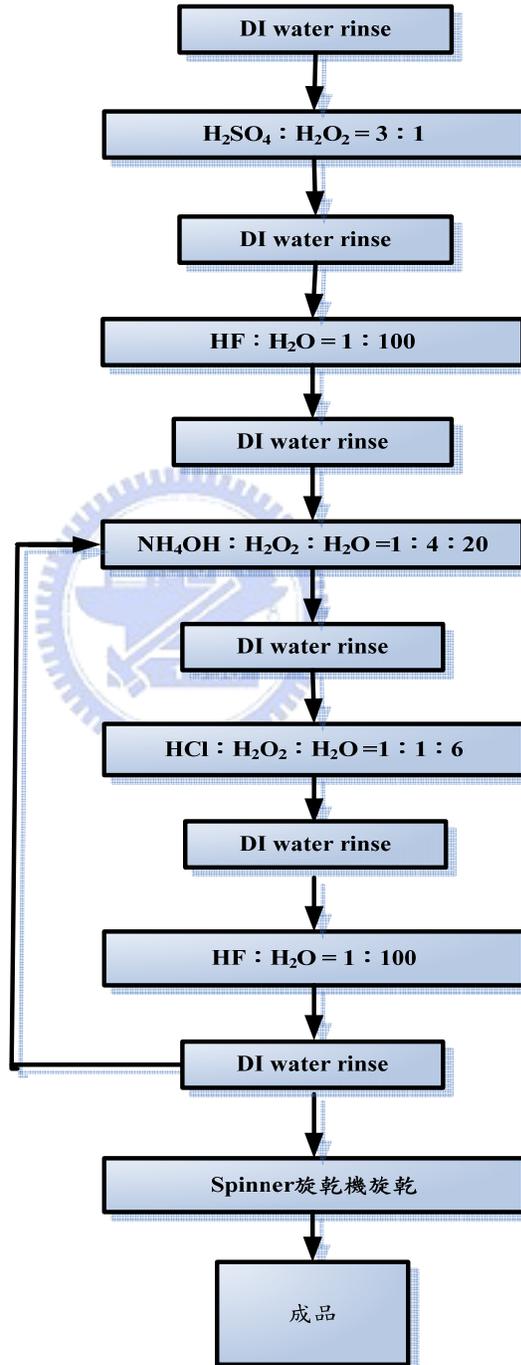
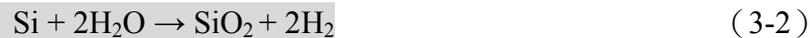


圖3.1 RCA標準清洗步驟

3.2 熱氧化製程

經由RCA Clean清洗過後的晶片，接著要將其放入高溫爐中成長二氧化矽氧化層，半導體製程中之所以偏愛用矽作基材其中一個主要原因，是因為矽可以輕易產生一個優異的氧化物-二氧化矽(SiO₂) 來做晶片阻絕層。這種氧化物不論是在積體電路中或是微機電元件中，都是使用及廣泛的材料，其生成二氧化矽的方式有許多種，本論文是使用高溫爐管產生二氧化矽的反應與特性，此種生成方式稱為熱氧化製程。其成長二氧化矽的原理是利用矽基材，並通入足量的氧氣或是水氣至高溫之爐管中使矽表面形成氧化作用，其中因為通入的氣體與化學反應不同，又可以細分為濕式氧化沈積(wet oxidation) 與乾式氧化沈積(dry oxidation) 兩種，其化學式分別如下：



化學式(3-1)是屬於乾式氧化，其成長方式是通入純氧並施加900°C以上之高溫使其氧化；化學式(3-2)則是屬於濕式氧化，其成長方式是分別通入氧氣和氫氣，使其在高溫爐管中反應成水氣在與矽表面產生化學反應，在濕式氧化製程中未反應之氧氣亦會在矽表面與矽反應氧化主要受下列兩參數來控制【24】，質量輸送係數(Mass Transport Coefficient)和化學反應常數(Reaction rate constant)。

物質傳輸係數指的是氧氣或是水氣擴散至矽表面的速率；而化學反應常數指的是化學反應的速度，在一般的情形下，濕氧化的成長速率遠比乾氧化的成長速率快上數倍，以<100>矽的乾式氧化成長和以濕式氧化成長方式可以來說明之。其主要的差異原因乃是因為濕式氧化成長所使用的的氧化來源為水氣H₂O(分子量18)，其分子遠小於氧分子O₂(分子量32)所致。換句話說即是因為水氣質量傳輸係數高，擴散進入矽基材的速率遠高於氧所致，而正因其反應速率受擴散速率影響，當成長厚度越來越厚，其擴散速率越慢，反應生成也就越慢。

參考下兩圖可以得知<100>矽在攝氏1000度時，利用濕式氧化成長的厚度在18小時大約是2.2um，而乾式氧化成長厚度卻只有0.34um。因此濕式氧化製程較適合成長較厚的氧化層，例如遮蔽氧化層(masking oxide)和場區氧化層(field oxide)，製程中，由於我們只是要在矽上面長一層薄氧化層，且不需要太過緊密的原子結構，為了節省

製程時間及兩方法之間阻擋的效果並沒有差異很大，因此選用濕式氧化製程並加 1000°C 之高溫來成長約 $0.5\mu\text{m}$ 厚度之氧化矽，經由圖3-3可以推知，欲成長至所需之厚度大約需要2個小時的成長時間即可以完成氧化的步驟，其氧化厚度與氧化溫度對照製程所需時間的關係如下圖3.2乾式氧化成長速率及下圖3.3濕式氧化成長速率【25】。但是不論是利用乾式氧化或濕式氧化，皆會消耗部份的矽來形成氧化層，每成長一單位的氧化矽就損失44%的矽。

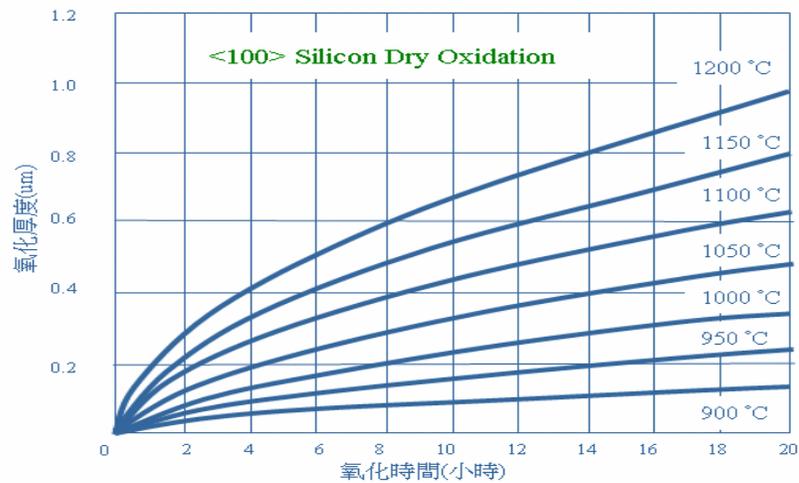


圖3.2 乾式氧化成長速率

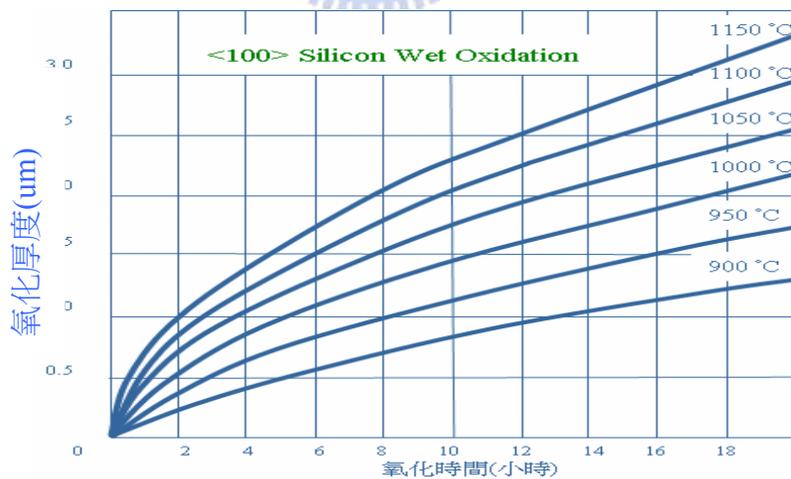


圖3.3 濕式氧化成長速率

3.3 薄膜沈積製程

薄膜沈積製程在半導體積體電路製程算是已經開發成熟的技術，擁有很多的相關製程機台，而在微機電製程中欲使用此技術也是相當容易應用。薄膜沈積依據沈積過程中，是否含有化學反應的機制，以此可區分為物理氣相沈積（Physical Vapor Deposition）簡稱PVD，通常稱為物理蒸鍍及化學氣相沈積（Chemical Vapor Deposition）簡稱CVD，通常稱為化學蒸鍍，在本節中將就本感測器製作中使用到的相關薄膜沈積技術於下介紹之。

3.3.1 低壓化學沈積技術（LPCVD）

本次製程應用中，將需沈積氮化矽（ Si_3N_4 ）作為乾式蝕刻中的硬遮罩阻絕材料，低壓化學氣相沈積（LPCVD）顧名思義即是在低於大氣壓力的環境下進行沈積，與常壓化學氣相沈積系統來比較，低壓化學氣相沈積是利用均勻的溫度分布來控制成長速率和品質，因此其具有更優異的薄膜均勻度，再者由於其低壓環境使得分子具有較高的表面遷移率，因此擁有極佳的階梯覆蓋能力，並且由於壓力和氣體濃度較低，較不會在氣體間反應而生成微粒，微粒污染比較小，且所沈積的薄膜具有優良的性質和覆蓋性，薄膜沈積後內應力亦小，薄膜品質不錯，所以選用此方法來沈積，首先將機台溫度由 400°C 加到 800°C 並維持腔體壓力為1 Torr成長氮化矽薄膜（沈積速率約20分鐘，0.1微米厚）。

3.3.2 電漿輔助化學氣相沈積（PECVD）

當第一道光罩曝光完成及乾蝕刻通道後，沈積二氧化矽薄膜作為鋁電極及矽基板間的絕緣層。本製程選用此系統是因為其使用電漿為輔助能量，使沈積反應溫度得以降低，一般操作溫度約在 $100\text{-}400^\circ\text{C}$ 間，將反應物激發游離成電漿態，其電漿中的反應物是來自於化學活性高的離子或自由基（Radicals），而基板表面受到離子的撞擊也會使化學活性增加，這兩項因素都可促進基板表面的化學反應速率，因此其在較低的溫度便可以沈積薄膜，並有極高的沈積速率，且可以藉由控制射頻（RF）功率來調控薄膜的內應力。

3.3.3 熱蒸鍍 (Thermal coater)

在本論文中將在晶片上鍍鋁，做元件間與接點(Pad)的接線，由於在此最需要的是極佳的階梯覆蓋能力，以免接點處高度差過大而斷線，且因不需要考慮沈積速度的快慢、厚度誤差也並未要求非常精準，所以選擇使用電阻式蒸鍍機(Thermal Coater)來沈積厚度約0.5um的鋁，它是以物理機制來進行薄膜沈積而不涉及化學反應的沈積方式，其動作原理是在高真空的腔體中，將所要蒸鍍的材料利用電阻式 (Thermal Evaporator or Thermal coater) 或電子束式 (E-Gun) 加熱達到熔化溫度，使原子蒸發、到達並附著在基板表面上。過程中基板的溫度對蒸鍍薄膜的性質會有很重要的影響，通常基板也需要適當的加熱，使原子具有足夠的能量，可以在基板表面自由活動，如此才能形成均勻的薄膜，若將基板加熱至150°C以上時，可以使沈積膜與基板間形成良好的鍵結而不至於剝落。表3.1為幾種連接線金屬的材料比較【26】，經由表中可以發現，鋁金屬具有低熔點(660°C)又適合各種蝕刻的製程非常適合做電極的材料。



表3.1 為幾種連接線金屬的材料比較

特性	金屬材料				
	鋁	金	銀	銅	鎢
電阻係數 (uΩ-cm)	2.66	2.35	1.59	1.67	5.65
楊氏係數×10 ⁻¹¹ dyn/cm ²	7.06	7.85	8.27	12.98	41.1
熱傳導係數 (W/cm)	2.38	3.15	4.25	3.98	1.74
熔點 (°C)	660	1064	962	1085	3387
比熱 (J/Kg K)	917	132	234	386	138
抗腐蝕性 (空氣中)	佳	優	差	差	佳
附著性 (與SiO ₂)	佳	差	差	差	差
沈積技術					
物理沈積	✓	✓	✓	✓	✓
化學沈積	✓	?	?	✓	✓
蝕刻技術					
乾蝕刻	✓	?	?	?	✓
濕蝕刻	✓	✓	✓	✓	✓
熱應力 (在矽基板) 10 ⁷ dyn/cm ² -°C	2.5	1.2	1.9	2.5	0.8

3.4 曝光微影技術

曝光微影技術是半導體製程步驟中最重要的一個步驟，而半導體元件的大小亦受到此步驟影響甚大。由於其工作環境需要在黃光的環境下作業，一般亦稱為黃光步驟，其目的主要在定義薄膜的圖形，被光阻阻擋住的區域在後續製程將不會被蝕刻，以達到圖形之轉移。在微影的過程中光阻為必需用到的原料，光阻主要可以分為正光阻和負光阻兩種，所謂正光阻是指被曝光的區域，其光阻分子受到破壞而使它可以溶解在顯影液中；負光阻正好相反，曝光的區域的光阻分子鍵結在一起而使該區域之光阻不會溶解在顯影液中。光阻的種類繁多，通常因後段製程及製程設計的不同，並無硬性規定，使用時僅需選擇自己認為適當的光阻即可。

由於我們製程中需要蝕刻氮化矽、氧化矽及矽基板，所以阻擋層選用正光阻（AZP-4260）此約為9um厚膜光阻，以抵擋長時間的蝕刻及多次的顯影曝光。首先先利用RCA clean或H₂SO₄或ACE先將晶片清洗乾淨，接著將晶片置於加溫的環境中數分鐘，以便水分子從晶片的表面蒸除，再塗上一層HMDS用來增加光阻和晶片表面附著能力，塗佈光阻Step 1：600rpm，5sec；Step 2：3000rpm，60sec，接著利用軟烤90°C，3min，使光阻由原來的液態，經過軟烤之後，成為固態的薄膜，使光阻層對晶片表面的附著能力加強，再來利用光罩與光阻經曝光30sec，利用FHD-5顯影4min，將轉移的潛在圖案顯示出來，最後經過硬烤120°C，3min，進一步將光阻內所殘留的溶劑含量，藉著蒸發而降最低，以進行往後的製程，完整的曝光流程顯示於圖3.4中。【27】

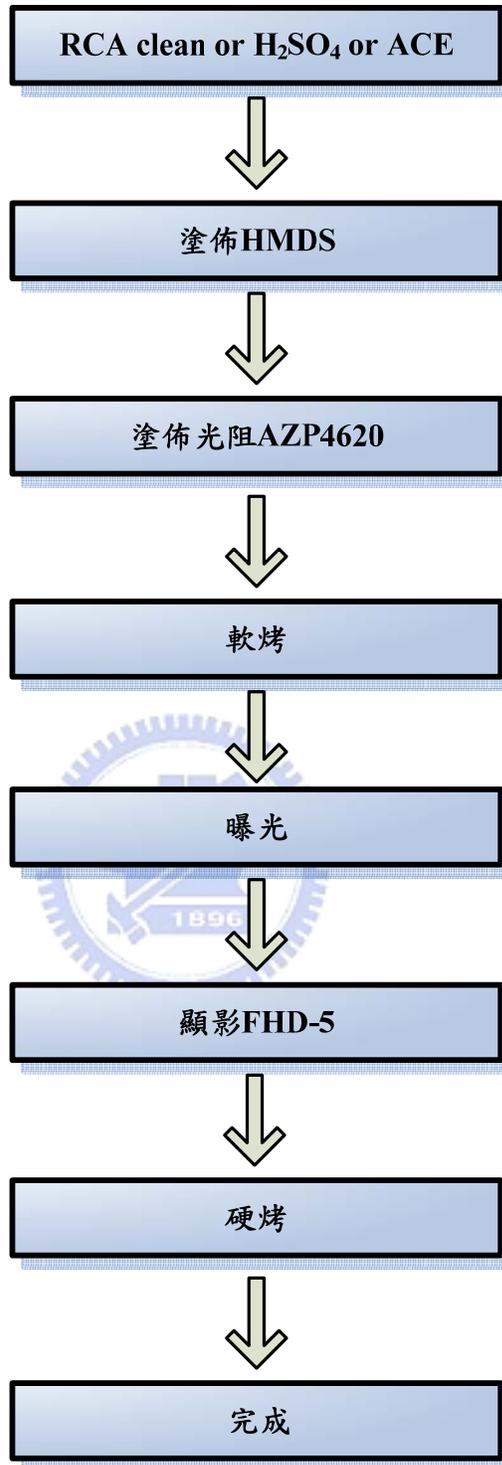


圖3.4 曝光製程流程圖

3.5 蝕刻製程

蝕刻製程就是要將進行微影製程前所沈積的薄膜，將沒有被光阻覆蓋保護的區域，以化學反應或是物理作用的方式加以去除。蝕刻技術可以分為

1. 濕蝕刻 (wet etching)
2. 乾蝕刻 (dry etching)

兩者分別為濕蝕刻是利用液體蝕刻溶液，將晶片沈浸其中，或將其噴灑在晶片上，經由溶液與被蝕刻物之間的化學反應，選擇性的移除接觸的表面材料以達到蝕刻的目的；乾式蝕刻則是利用氣體通常為電漿態，來做蝕刻反應，所以又稱為電漿蝕刻，其可以利用射頻 (radio frequency) 來調控其蝕刻方向性，蝕刻時沒有晶元方向、側向蝕刻等問題，是目前業界常用的蝕刻方式，由於兩種蝕刻方式都有其適用的範圍，且可蝕刻的材料並無優劣，端視使用需求和蝕刻材料，而選擇適合的蝕刻方式，其詳細內容分別介紹如下：【28】

3.5.1 濕式蝕刻 (wet etch)

本次感測器製作中，蝕刻鋁電極部分是採用濕式蝕刻，其原理是利用化學反應來進行薄膜的去除，對於非晶格結構的薄膜通常為等向性蝕刻，但是此方式有個大缺點其無法定義3um以下的線寬，但是對於3um以上的線寬定義，仍然是可以採用的製程技術。首先利用加熱的磷酸、硝酸、醋酸及水的混合溶液加以進行，其比例分別為80%的磷酸、5%的硝酸、5%的醋酸及10%的水，溶液加熱的溫度約在60°C-70°C左右，溫度越高相對蝕刻速率越快，蝕刻速率約為1000-3000 Å /min，而溶液的組成比例、不同的溫度及蝕刻過程中攪拌與否都會影響到蝕刻的速率。

3.5.2 乾式蝕刻 (dry etch)

本元件中製作中，因為需要良好的側壁垂直度，所以採用乾式蝕刻其使用氣態的化學蝕刻劑來和材料產生反應，藉此來蝕刻材料並形成可以從基片表面上移除揮發性副產品。電漿會產生化學上易反應的自由基，這些自由基會明顯的增加化學反應的速率並加強化學蝕刻，也會造成晶圓表面上的離子轟擊。離子轟擊不但能物理式的從表面移除材料且能夠破壞表面原子間的化學鍵結，因此會明顯的提高蝕刻製程的化學反

應速率。

本次製程中因為需要製作高深寬比的通道(channel)，對照表3.2我們可以發現乾式蝕刻可以蝕刻出高井深，且其為非等向性蝕刻，故圖形輪廓亦可得到良好的控制，而濕蝕刻因為其蝕刻輪廓為等向性蝕刻對於設計的圖案會造成破壞，因此採用RIE來蝕刻氮化矽及二氧化矽，此種方法兼具非等向性和高蝕刻選擇比等雙重優點，蝕刻的進行主要靠化學反應來達成，以獲得高選擇比，加入離子轟擊的作用有兩點，將被蝕刻材質表面的原子鍵結破壞，以加速反應速率，接著將再沈積於被蝕刻表面的產物或聚合物 (polymer) 打掉，以使被蝕刻表面能再和蝕刻氣體接觸。此外非等向蝕刻的達成，則是靠在沈積的產物或聚合物，沈積在蝕刻圖形上，在表面的沈積物可以利用離子去除，故蝕刻可以繼續進行，而在側壁的沈積物，因未受到離子轟擊而保留下來，阻隔了蝕刻表面和反應氣體的接觸，使得側壁不受蝕刻，而獲得非等向性蝕刻的效果。但是蝕刻通道200u的深蝕刻時改採用ICP，因為其具有高電漿密度、低氣體壓力 High Density Low Pressure (HDLP) 特性，可以大幅提高蝕刻速率及改善深寬比，為了改善矽深蝕刻的缺點，ICP蝕刻利用Bosch的交替蝕刻與高分子鈍化(Alternating Etch And Polymerization)，並改變不同的側壁鈍化方法來進行矽深蝕刻。以 CF_4/SF_6 反應氣體為例說明其蝕刻機制，首先在矽壁沈積鈍化高分子： CF_4 被電漿分解成活性基，並進行高分子沈積反應，使壁上形成鈍化膜，接著矽底部的高分子與矽被蝕刻 SF_6 被電漿分解成F先蝕刻鈍化膜再蝕刻矽，此時離子撞擊的角色在移除底部的鈍化膜與維持方向性。步驟交替反覆選擇適當的反應氣體，以維持鈍化沈積與蝕刻步驟的平衡。ICP的主要特點在於不需要低溫冷卻即可以獲得高蝕刻速率、高選擇比、高非均向性、高蝕刻深度及高深寬比的矽蝕刻結果。在低壓下操作，因為其離子的平均自由路徑大，離子有很好的方向性；高離子密度使得離子主控蝕刻過程，因此可減少甚至不需要聚合物(Polymer)的側壁保護(Passivation)，製程變得更乾淨，且蝕刻後的輪廓更具非等向性；且高離子密度可減少直流偏壓之使用，可降低或消除電漿所導致的元件損傷，而蝕刻速率也因離子密度的增加而增加；因此製程可變動範疇可加大非常適合本製程需求。

表3.2 濕式蝕刻和乾式蝕刻製程對照表

	濕式蝕刻	乾式蝕刻
橫向蝕刻深度	3um以下製程不可接受	極小
蝕刻輪廓	等向性	可控制，非等向性到等向性
蝕刻速率	高	尚可，且可以控制
選擇性	高	尚可，且可以控制
設備費用	低	高
產量	高(批量)	尚可，且可以控制
化學藥品使用量	高	低



第四章 感測器製作與量測

4.1 感測元件之製作

感測元件的簡易製作流程經由RCA clean清洗晶片，接著長薄膜，挖通道，鍍電極，晶片切割到最後之晶片黏合詳細表示於下圖4-1中。

製程流程方塊圖

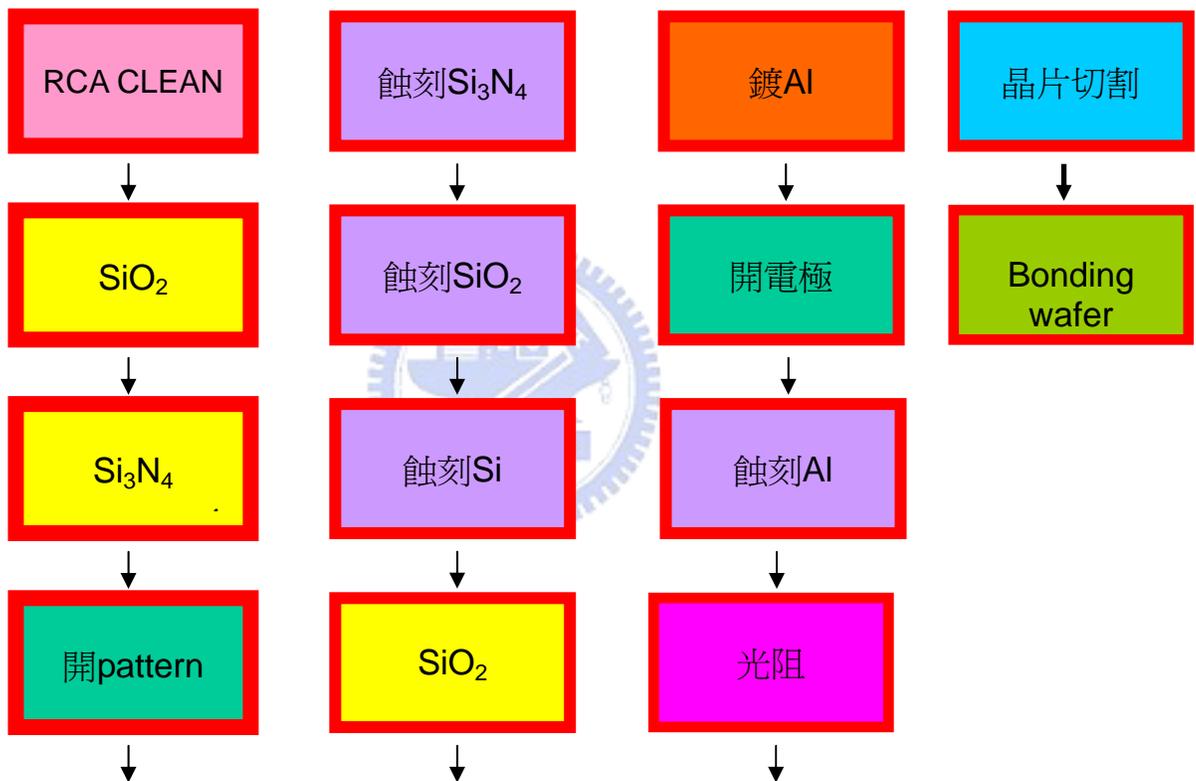
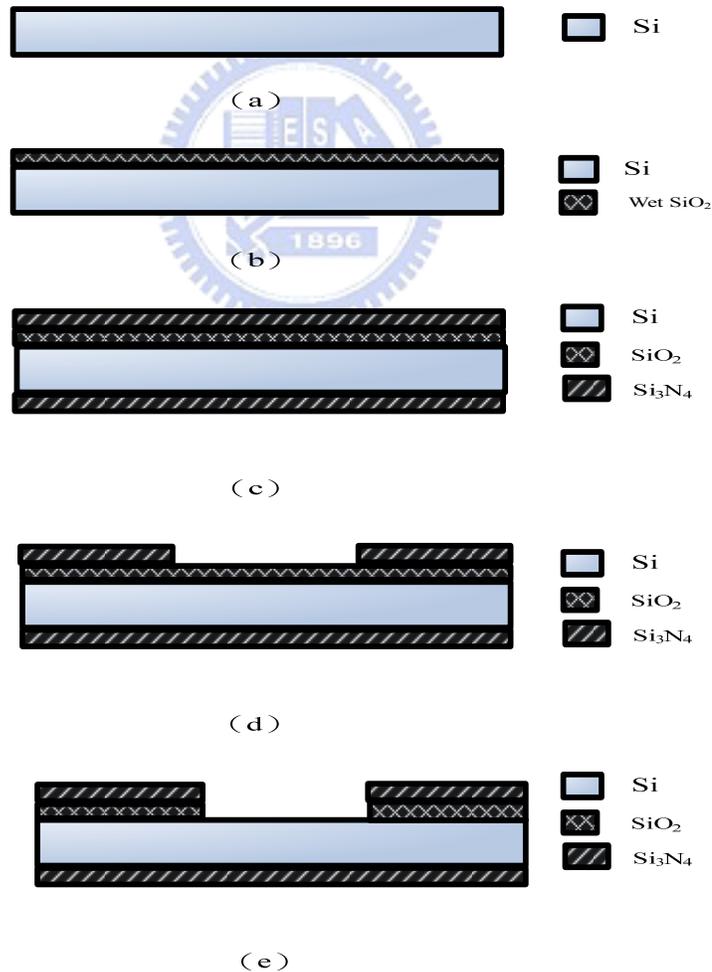


圖4.1 元件製作方塊圖

元件製作流程描述如圖4-2，使用厚度約500 um左右之n-type (100) 晶圓為基材，如圖4.2 (a) 所示，基材厚度將決定最後通道結構能容許蝕刻的深度。經RCA清洗後，置放於高溫爐管以濕氧進行沈積0.5 um厚度之絕緣層如圖4.2 (b)，再利用LPCVD於絕緣層上沈積1um氮化矽作為蝕刻遮罩層如圖4.2 (c)；使用第一道光罩如圖4.2 (a)，並旋塗厚膜光阻定義欲蝕刻之圖形並利用RIE蝕刻氮化矽，如圖4.2 (d)；為避免於ICP

過程中因長時間離子轟擊導致晶圓厚度變薄，無法承受剪應力影響破壞晶圓，因此，將採用厚膜光阻 (AZP4620) 做蝕刻阻擋層，由於ICP對矽與對光阻的蝕刻選擇比約為1：60，故至少需要5um厚的光阻抵擋ICP之蝕刻過程；使用RIE蝕刻二氧化矽如圖4.2 (e)，由於RIE對於蝕刻深度能力有限，無法蝕刻所需求之深度，因此本文改採ICP進行深蝕刻200um通道，如圖4.2 (f)；接著使用PECVD進行沈積0.2um氧化矽作為鋁與矽之絕緣層，如圖4.2 (g)所示，利用蒸鍍機 (thermal coater) 進行0.5um的鋁金屬蒸鍍作為金屬連接層，如圖4.2 (h)；利用第二道光罩如圖4.3 (b) 定義鋁電極圖案，並使用蝕刻液去除不需要之鋁金屬，如圖4.2 (i)，第三道光罩如圖4.3 (c) 定義出元件黏著區域，使用薄膜光阻利用光阻本身之黏性將兩晶圓元件相互黏合，並經過加熱器加熱增加其接合密度，最後完成如圖4.2 (j) 之元件，如此便完成電容式流量感測元件的製作。



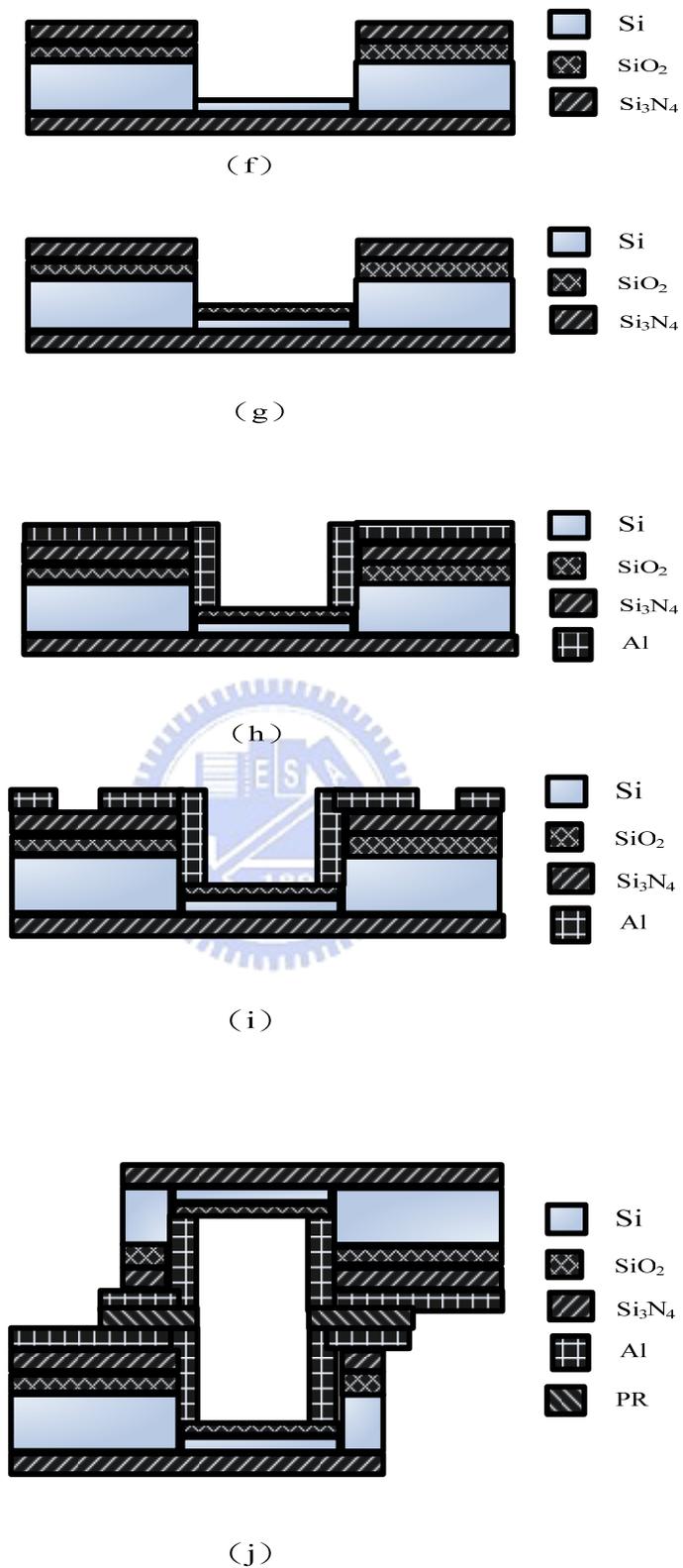
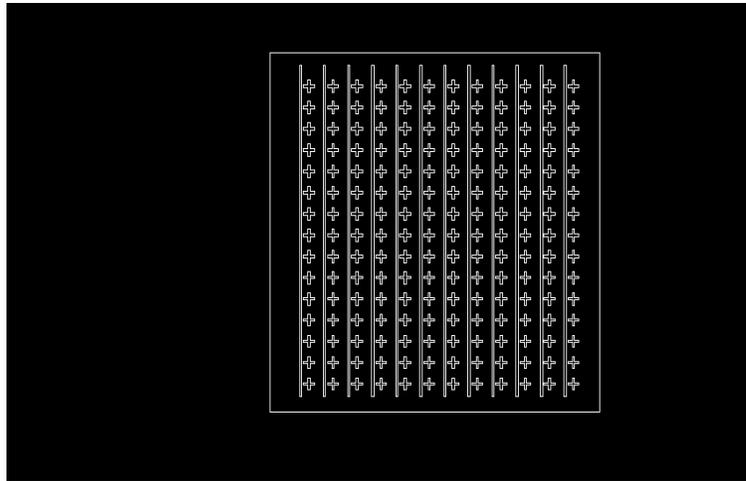
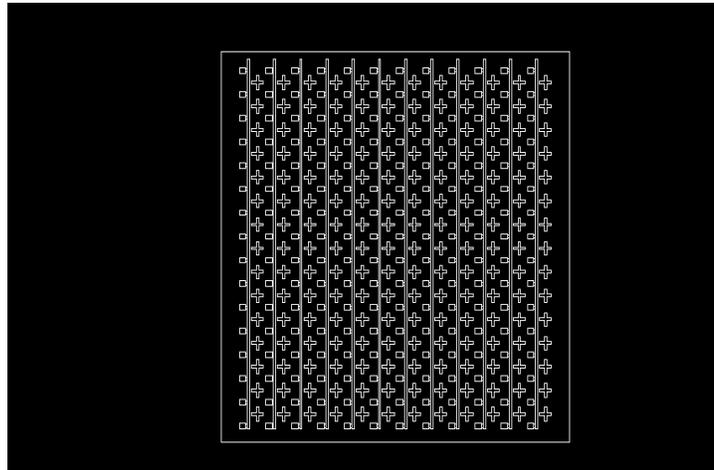


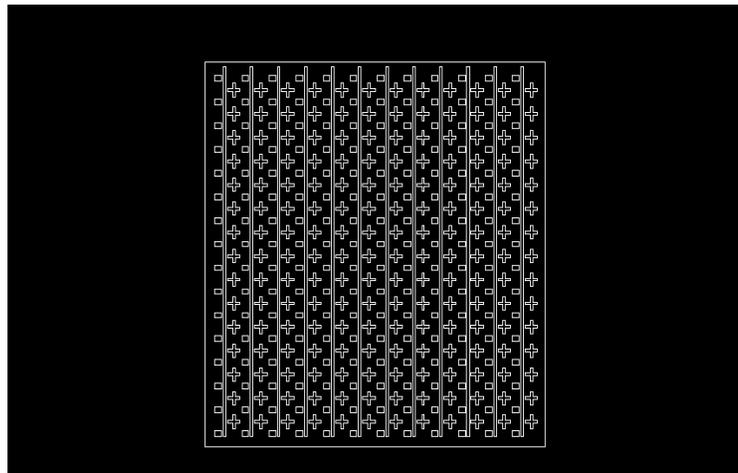
圖4.2 電容式感測器製作流程圖



(a) 第一片光罩



(b) 第二片光罩



(c) 第三片光罩

圖4.3 光罩圖

製程中總共使用三道光罩及氧化、沈積、蝕刻、黏合等共14道步驟，每一道製程步驟於第二章已經詳述，圖4.4為元件未經過光阻接合時，經由光學顯微鏡拍攝顯示的圖形；圖4.5是將圖4.4的元件經由掃描式電子顯微鏡（SEM）做更深入的的圖形拍攝，經由照片我們可以看出通道和電極的相對位置。至於畫面中通道白白的直線乃是由於蝕刻的通道過深，而其陰影所造成的現象。

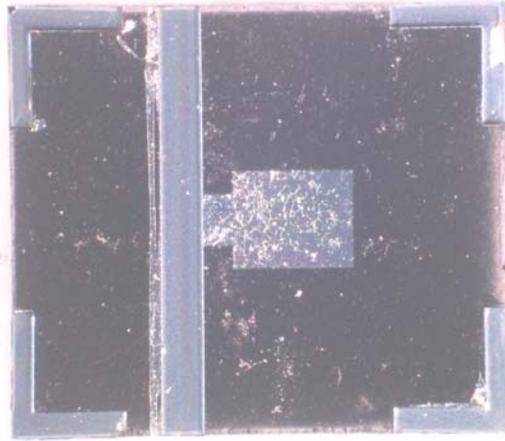


圖4.4 光學顯微鏡拍攝的結構俯視圖

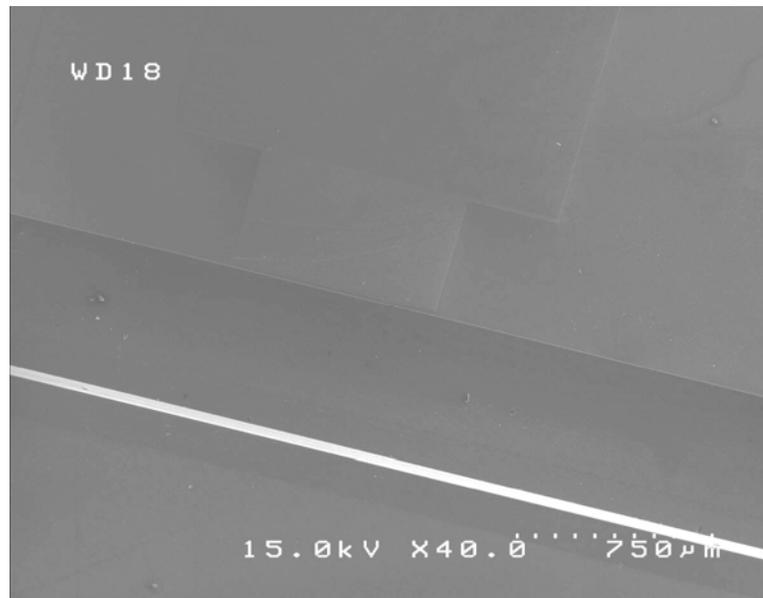


圖4.5 經掃描式電子顯微鏡拍攝的結構俯視圖

下圖4.6乃是利用掃描式電子顯微鏡，將製程中每一層成長上去的薄膜結構分別標示出來。下圖4.7則是經掃描式電子顯微鏡顯像後結構圖，由圖中可以看出來正面的結構經由ICP製作高深度蝕刻的結果相當的垂直，非常合乎用於本元件深蝕刻結構製程。將兩晶片接合在一起最後製程完成如圖4.8所示，經由照片我們可以清楚的看到通道的實景。

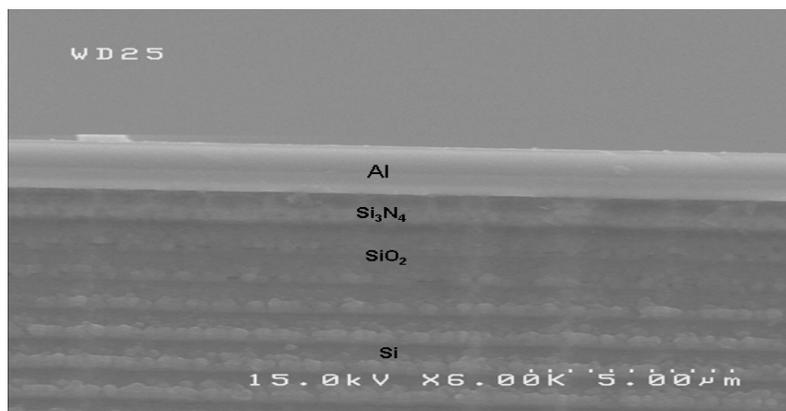


圖4.6 經掃描式電子顯微鏡呈現的階層圖

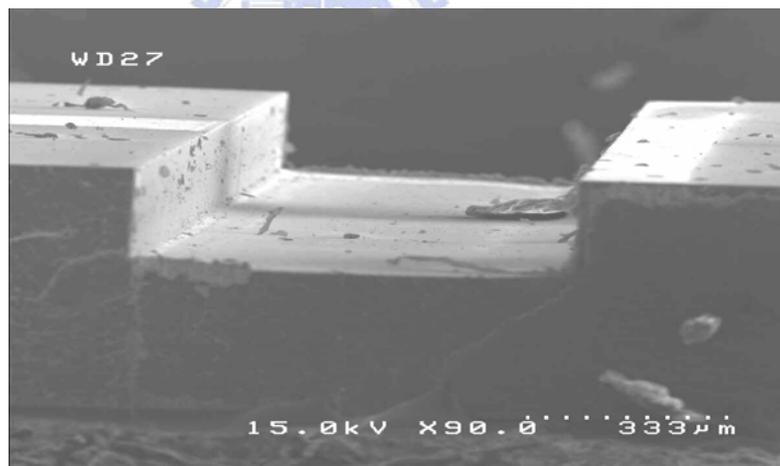


圖4.7 經掃描式電子顯微鏡顯像後結構圖

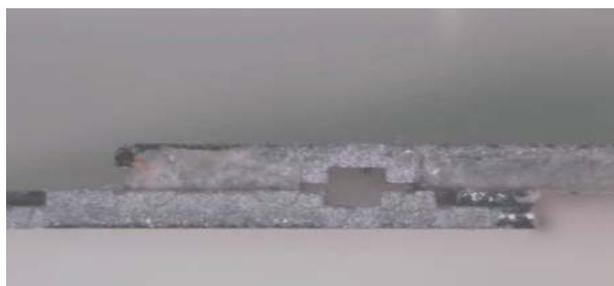


圖4.8 製程完成圖

4.2 元件模擬與設計

4.2.1 感測器系統架構

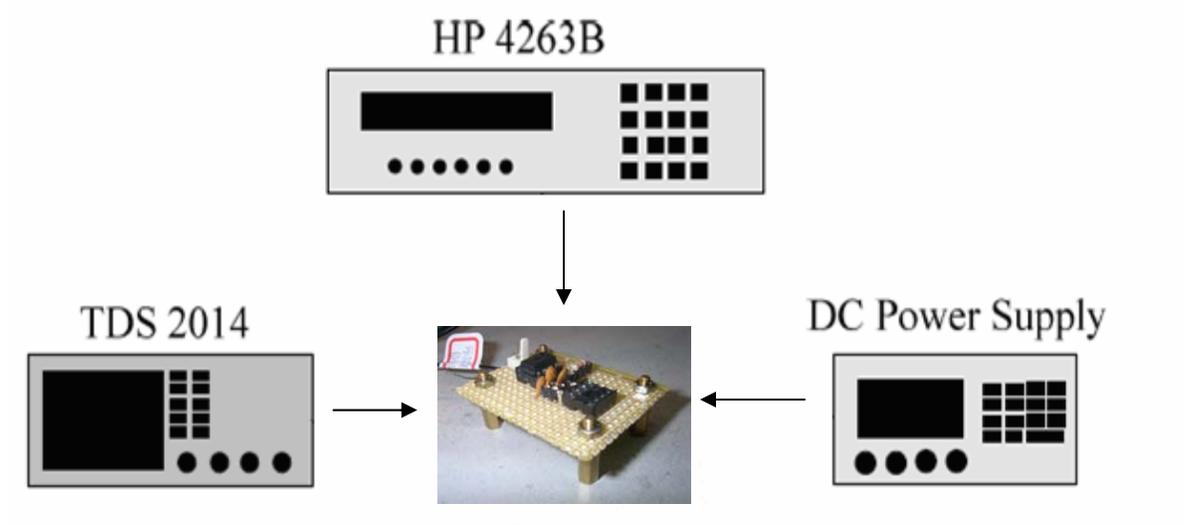


圖4.9 電容式感測器量測儀表示意圖

電容式感測器的量測系統方塊圖如圖4.9所示，以HP4263B LCR Meter對電容式感測器進行電容值量測，可程式數位式電源供應器提供電容式感測電路裝置所需電源，以及基本保護措施，Tektronix TDS2014系列數位元式示波器用以量測電容式感測器因電容變化所造成的頻率變化輸出，液體的輸入與輸出以手動方式對電容式感測器進行液體樣品測試，對五種不同狀態無水、滿水、及水中存有三種不同尺寸的微粒樣品來進行測試。

4.2.2 電容式感測器電容值估算

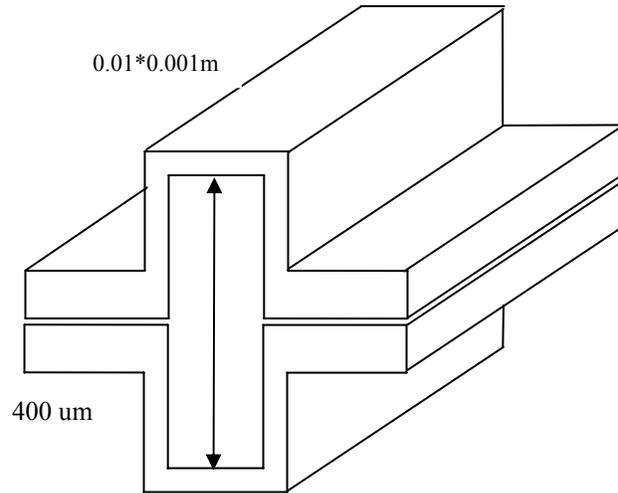


圖 4.10 電容式感測器估算尺寸示意圖

再進行電容式感測器製作前，首先先進行電容值估算，確定感測器無水時及充滿水時是否可以有好的靈敏度。 $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12}$ F/m； $\epsilon=1$ (空氣)； $\epsilon=80.4$ (水)； d =兩平板的距離 400 微米； A =鋁的總面積 $0.01\text{m} \times 0.001\text{m}$ ，我們先估算沒有水流通在感測器通道中的電容值，再估算其充滿水時之狀態。電容式感測器估算尺寸示意如圖 4.10。

利用公式 $c = \epsilon * \frac{A}{d}$ ，我們可以得

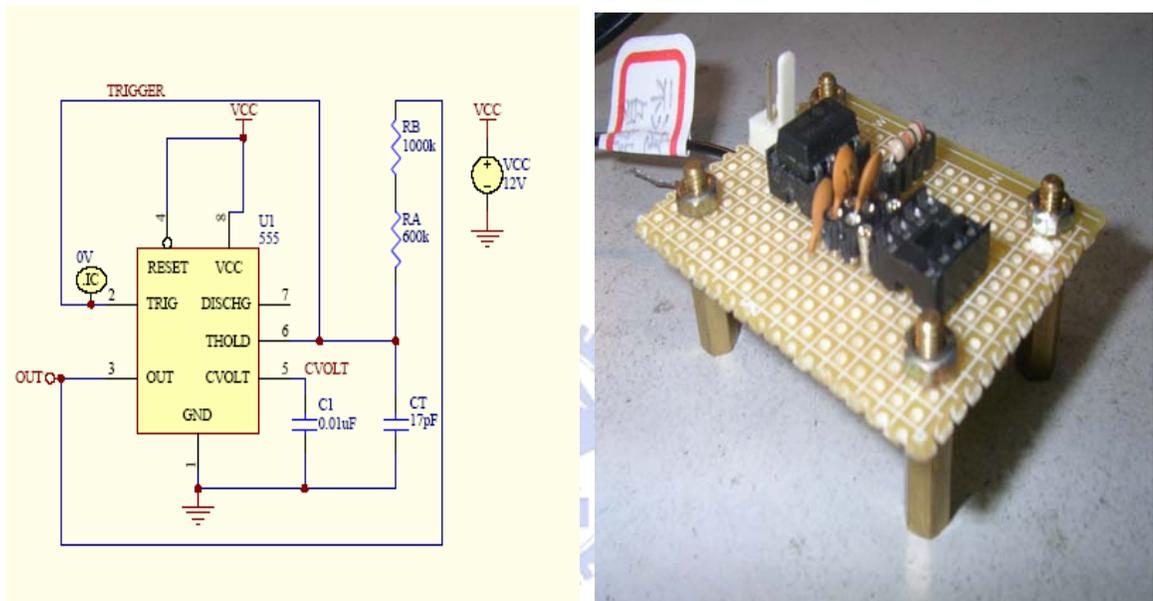
$$c = 8.85 \times 10^{-12} * 1 * \frac{0.01 * 0.001}{400 * 10^{-6}} = 2.21 * 10^{-13} = 0.22 \text{ PF/m (無水時)}$$

$$c = 8.85 \times 10^{-12} * 80.4 * \frac{0.01 * 0.001}{400 * 10^{-6}} = 2.21 * 10^{-13} = 17 \text{ PF/m (滿水時)}$$

經由基本電容公式的計算我們可以得知其無水時電容值約 0.22PF/m；有水時電容值約為 17 PF/m，其無水及滿水電容值之變化約為 77 倍，表示出我們所製作的電容式感測器靈敏度很好。

4.2.3 電容-頻率 (C-F) 轉換電路製作

本實驗架構以 LM555 震盪 IC，配合數位邏輯控制電路，將容值的變化轉換成頻率變化，並簡化為數位式變化【29】，圖 4.11 (a) 為感測器電容-頻率轉換模擬電路圖，其動作原理乃是利用 LM555 本身充電放電路徑，若將通道電容分別置於兩路徑中，容值大小的變化即可以改變充、放電時間，因此，可於 LM555 輸出端獲得不同的頻率變化，圖 4.11 (b) 為電容-頻率轉換電路實體圖。



(a)

(b)

圖 4.11 感測器電容-頻率轉換模擬 (a) 電路圖及 (b) 實體圖

4.2.4 Protel 99SE 模擬

首先進入Protel 99SE模擬軟體進入其電路圖編輯視窗，將我們的電路圖繪製其上，其電路圖如圖4.12所示，接著模擬其感測器通道內無水如圖4.13所示及充滿水如圖4.14所示，模擬其電容及輸出頻率實際波形的輸出情形。

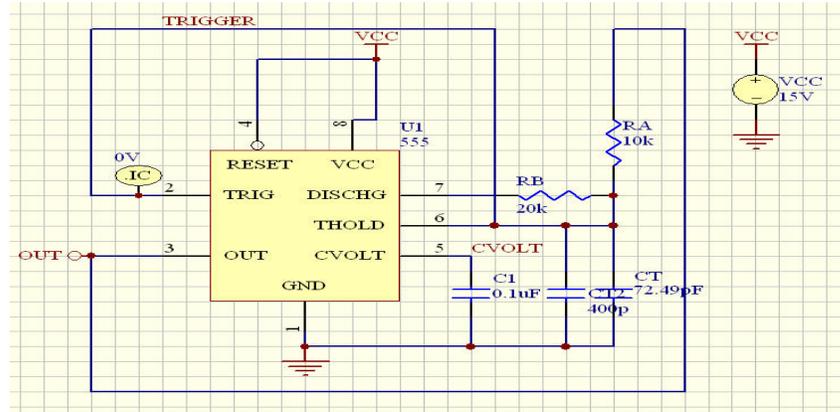


圖4.12 利用Protel 99SE模擬軟體繪製之電路圖

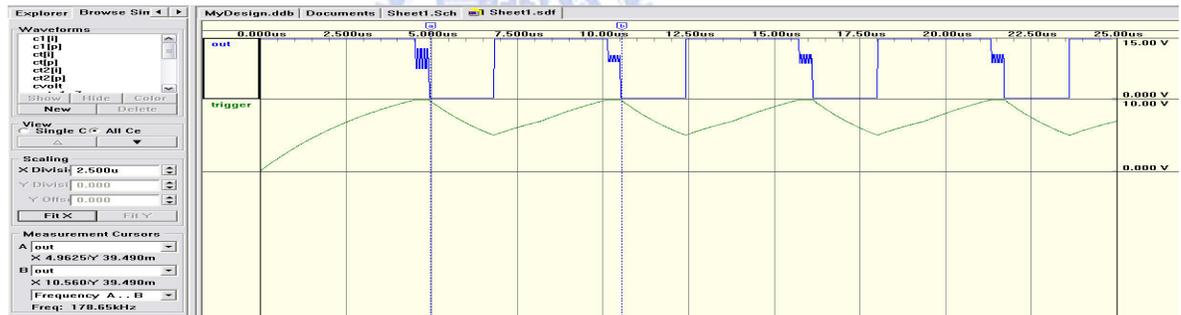


圖4.13 模擬其感測器通道內無水電容及輸出頻率實際波形的輸出

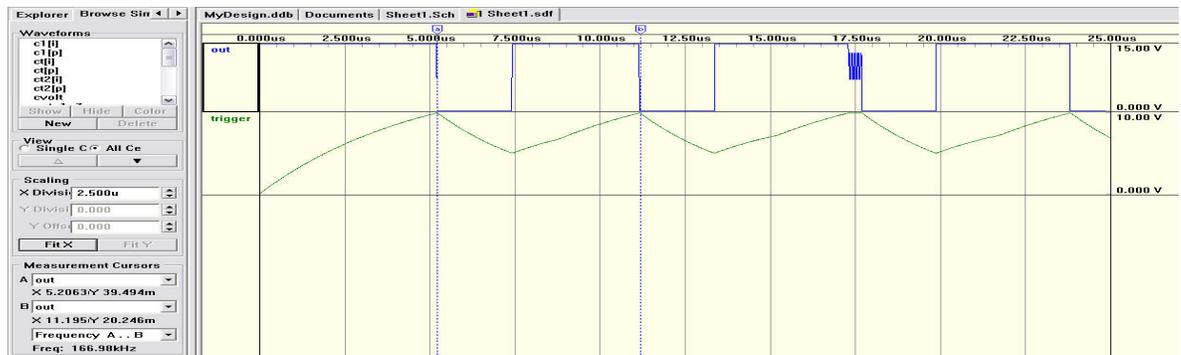


圖4.14 模擬其感測器通道內有水電容及輸出頻率實際波形的輸出

4.2.5 INTELLSUITE 模擬

以intellsuite微機電商業模擬軟體進行感測器通道間流場的模擬，和通道間壓力分布的情形如圖4.15-4.17。

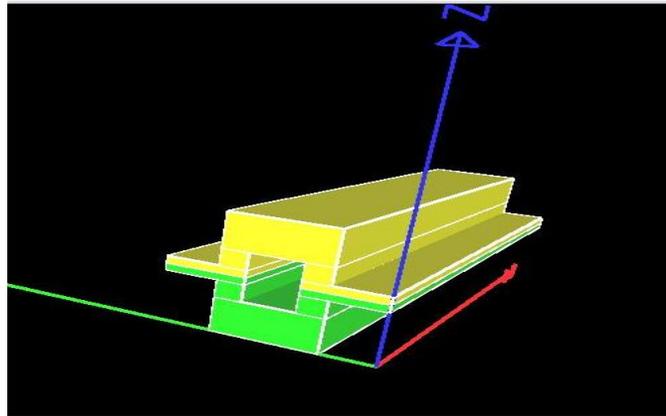


圖4.15 intellsuite 模擬實體圖

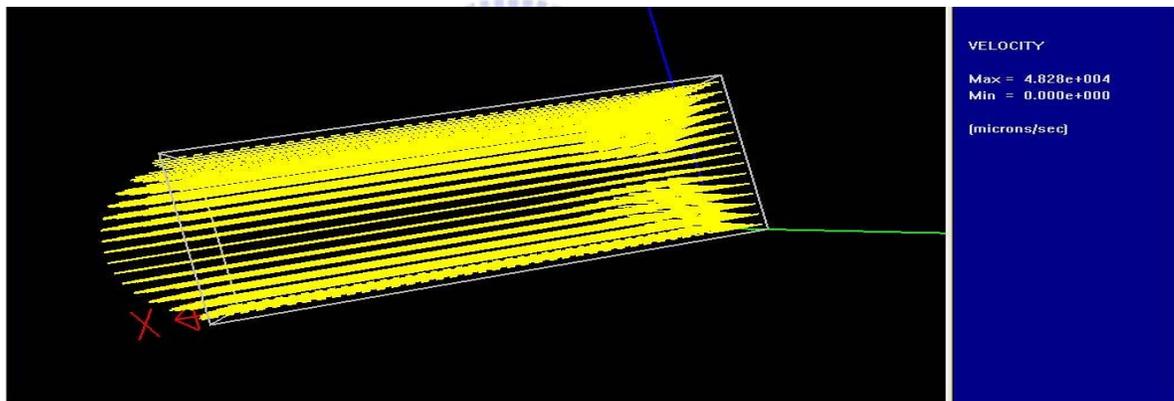


圖4.16 intellsuite流速分析圖

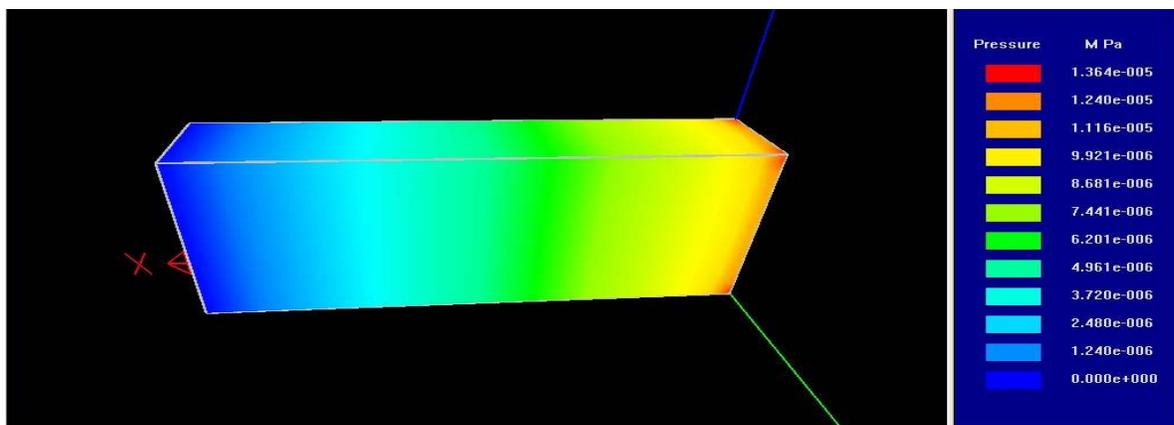
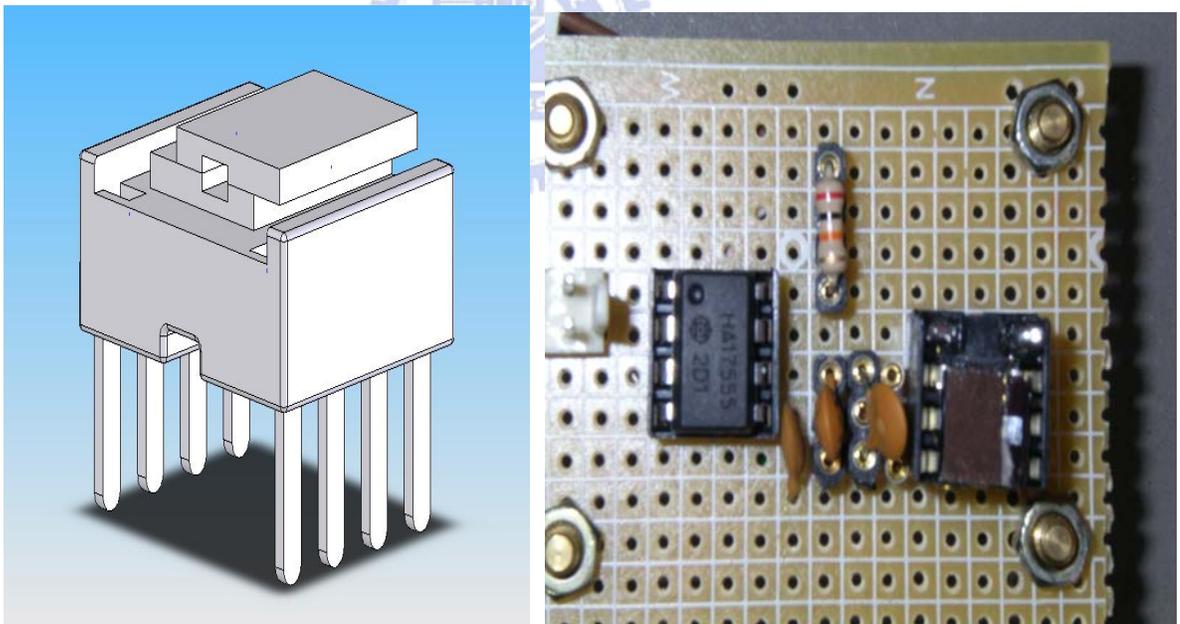


圖4.17 intellsuite壓力分佈圖

4.3 頻率與電容之量測

將所製作的微感測器元件，經過打金線處理後，製作出五個樣品如圖4.18 (a) 示意圖 (b) 為實際圖，利用所製作的LM555振盪電路來量測樣品，其量測數據共分為感測器內無任何水份；充滿水的狀態以及流有三種尺寸大小不同的介質時的狀態，經量測結果顯示其頻率和電容之間的關係，現以樣品1作為主要的說明，首先量測給予直流電壓15V量測沒有加上感測器時的震盪頻率，接著給量測感測器無水時波形的狀態，再以WAYNE KERR公司出品的LCR METER如圖4.19量測其相對電容值，量測完後，接著將感測器灌滿水，量測感測器充滿水時波形的狀態，並量測其相對電容值，並以加熱器將感測器中水份烤乾，並再重複量測其無水時的電容值，確定其電容值完全的回歸到無水時的狀態，接著將感測器中流入有80奈米微粒介質時水的狀態，並量測其波型及電容值，並加熱使其恢復無水時的狀態，重複以上步驟將三種尺寸大小的奈米介質量測出來，樣品1的五種震盪頻率波形輸出為下圖4.20 (a) 至 (f) 所示。



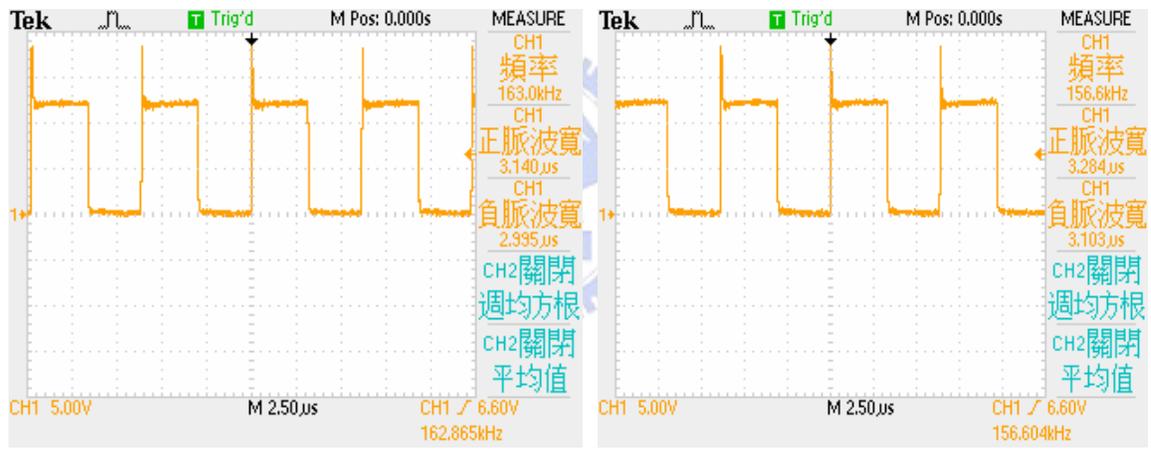
(a)

(b)

圖4.18 感測器 (a) 示意圖 (b) 實體圖



圖4.19 LCR METER儀器實體圖



(a)

(b)



(c)

(d)

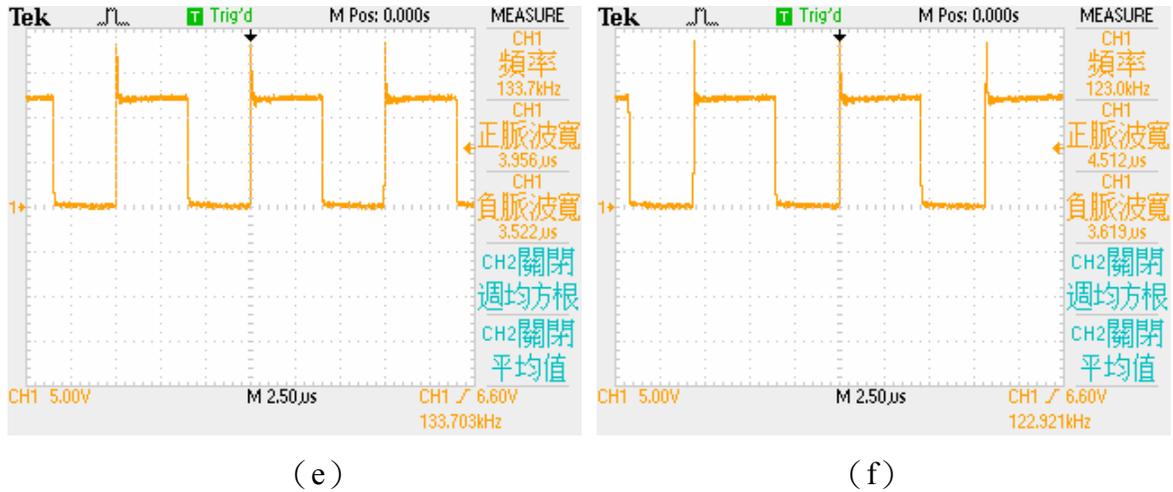


圖4.20 (a) 為無任何水及無感測器時基準的頻率

(b) 為當感測器內並無施加任何水流通的頻率

(c) 是微感測器充滿水時的頻率

(d) 為當感測器內流有80nm的奈米棒時的頻率值

(e) 為當感測器內流有50nm的奈米棒時的頻率值

(f) 為當感測器內流有10nm的奈米顆粒時的頻率值。

將五個感測器樣品量測的五種震盪頻率輸出波形彙整於表4-1中，由樣品1可以得知當感測器中沒有任何水份時，震盪頻率是最高的，但是當充滿水份時，震盪頻率有向下降之趨勢；感測器中若是流有介質微粒時其震盪頻率會略微上升。

表4.1 頻率量測結果數據（單位：KHZ）

樣品	無水	滿水	奈米棒 (80nm)	奈米棒 (50nm)	奈米顆粒 (10nm)
1	156.6	127.9	129.1	133.7	123
2	158.8	132.2	136	131.2	134
3	158.74	126.7	135.7	127.6	139.1
4	152.74	127.54	131.1	131	131.7
5	148.14	131.3	139.6	126.4	125.6

將尺寸大小皆相同的五種樣品，分別為無水之狀態及灌滿水跟有微粒子流過去的情形，量測到的數據，其電容之變化整理如表4-2所示。以樣品1來看當感測器內無水時為7.52 PF當其內部充滿水時量測到的電容值為85.2 PF有明顯的增加趨勢，當其內部

有介質流動時電容值有稍微降低的趨勢。

表4.2 電容量測結果數據 (單位：PF)

樣品	無水	滿水	奈米棒 (80nm)	奈米棒 (50nm)	奈米顆粒 (10nm)
1	7.52	85.2	74.86	77.63	76.54
2	5.01	67.93	55.78	62.28	58.53
3	5.14	77.3	67.34	71.61	69.87
4	13.48	65.72	59.5	63.45	60.35
5	21.38	66.3	62.39	68.48	65.39

但是因為感測元件尺寸過小，在加入1cc的水後，便已經使腔壁之間沒有空隙的存在，造成只能量測到有水及無水之狀態，而無法量測到水變化時的情形，然而經由圖4.21之趨勢可得知，在無充滿水而和腔體有間隙時，其點 將會坐落於無水及充滿水之間。最後，經由圖4.22，我們可以看出來隨著介質尺寸的增大，電容值有向下減少的趨勢。

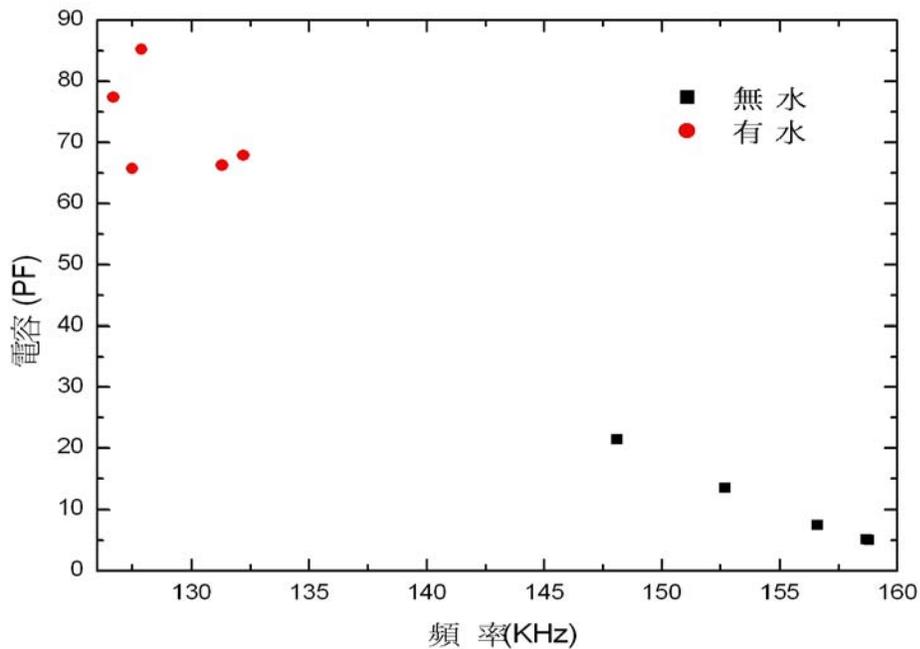


圖4.21 無水及充滿水之趨勢圖

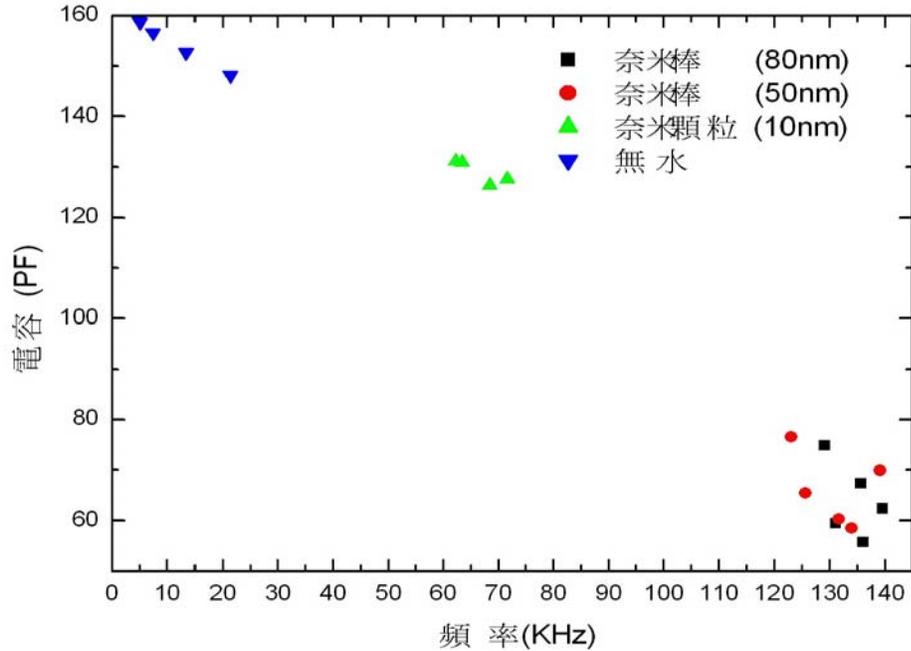


圖4.22 隨著奈米尺寸縮小電容趨勢圖

本次實驗整體量測實驗平台有波形產生器、電容-頻率轉換電路和直流電壓產生器如下圖4.23所示。

由實測的結果顯示，計算的數據結果與實測結果有所出入，主要原因應該是由於元件製作時參數上的設定與環境因素影響所致，因此，了解電路量測系統與元件本身誤差並進行誤差修改是必須的，對於電路量測系統而言，此一誤差修正可經由量測電路系統本身的基準頻率，即未接感測元件時的系統頻率，藉由此一頻率的漂移進行電路量測系統修正；元件本身誤差則可經由修正量來進行修正，或者更進一步的修正製程參數，提高元件製作穩定性並提高製作良率。

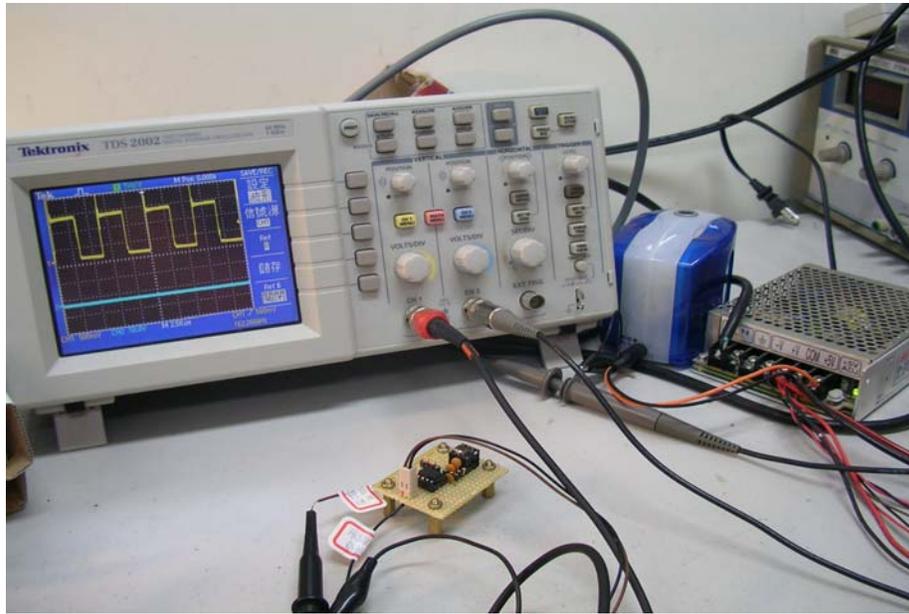


圖4.23 量測實驗平台



第五章 結論與未來展望

為因應科技的進步，精密之微流量測益受重視，未來微流量測元件之發展將朝向系統化整合及多工作業之目標進行研究，而為了適應量測系統之輕、薄、小、巧需求，微流量測元件將以縮小體積、提高元件的效能、多功能整合設計、智慧化和最佳化等目標為設計之原動力，來建構系統化之微流體量測元件，對於人類的生活能盡一份心力。

5.1 技術上的貢獻

本文所設計之微流體量測元件運用相關半導體製程技術來製作，並且經由電路已量測其元件效能，然而因設計之感測元件極為微小，且因水流體具有毛細現象，因此無法呈現出感測器無充滿水而和腔體有間隙時之狀態，但是本感測元件的特性卻極合適於當作流量開關，且對於水中有微粒子產生時亦有很高的靈敏度。因此運用在檢測感測液體中是否有雜質時，將會有很大的貢獻度。

5.2 未來研究方向

本文已完成微型感測元件之原形製作，並也經由電路的量測，得到其元件效能，未來將可適應性地改進元件之結構，以發展運用於如生物科技之DNA分析晶片，醫療器材呼吸器之藥劑供給，電腦週邊之冷卻劑流量檢測，噴墨之溶液控制，半導體設備之微質流量控制器，汽車上安全氣囊之加速度器；精密機械之微幫浦等。以提升國內微機電之研發及應用的能量。並同樣地依循下列之工作要領：

1. 進行微元件結構及量測整合。
2. 元件特性之量測。
3. 將數據整合分析，進行分析驗證。

參考文獻

- 【1】 陳建璋，“ICP深蝕刻之表面效應對微流量感測器影響之研究”，國防大學中正理工學院造船工程研究所，碩士論文，民91。
- 【2】 Kovacs G. T. A., Micromachined Transducers Sourcebook, McGraw-Hill, New York, 1998.
- 【3】 Grudin O. M., Frolov G. A., Katsan I. I. and Lupina B.I., Hermal Microsensor with A. C. Heating for Gas Pressure Measurements, *Sensors and Actuators A*, Vol.62, pp.571-575, 1997.
- 【4】 Toda K., Maeda Y., Sanemasa I., Ishikawa K. and Kimura N., Haracteristics of a Thermal Mass Flow Sensor in Vacuum Systems, *Sensors and Actuators A*, Vol.69, pp.62-67, 1998.
- 【5】 Castaner L., Jimenez V., Dominguez M., Masana F. and Rodriguez A., Conduction Convection Design for Liquid Flow Sensing, *Sensors and Actuators A*, Vol.66, pp.131-137, 1998.
- 【6】 Glaninger A., Jachimowicz A., Kohl F., Chabicosky R. and Urban G., Wide Range Semiconductor Flow Sensors, The 13th European Conference on Solid State Transducers (Euroensors XIII), Hague, Netherlands, pp.241-242, September 1999.
- 【7】 Rasmussen A., Mavriplis C., Zaghoul M. E. Mikulchenko O. and Mayaram K., Simulation and Optimization of a Icrofluidic Flow Sensor, *Sensors and Actuators A*, Vol.88, pp.121-132, 2001.
- 【8】 張百禹，傅明南，陳仲和，溫度差於微流體感測器速度量測之數值模擬，第九屆全國計算流體力學研討會，台南曾文水庫， pp.582-589, 2002.
- 【9】 張百禹，傅明南，陳仲和，A Study of Thermal Buoyancy for Silicon Based Flow Microsensors，中國機械工程師學會第十九屆全國學術研討會，E7-003，虎尾技術學院，2002。
- 【10】 Papautsky I., Gale B. K., Mohanty S., Ammel T. A., and Frazier A. B., Effect of Rectangular Microchannel Aspect Ratio on Laminar Friction Constant . Submitted to *Sensors and Actuators*, 2002.
- 【11】 Harris K. D., Brett M. J., and Backhouse C., “Microchannel Surface Area

- Enhancement Using Porous Thin Films,” Submitted to J. Vac. Sci, Technol, 2002.
- 【12】 Wu P. and Little W. A., “Measurement of Friction Factors for the Flow of Gases in Very Fine Channels Used for Microminiature Joule Thomson Refrigerators,” *Cryogenics*, pp.273-277, 1983.
- 【13】 Pfahler J., Harley J., Bau H. and Zemel J., “Gas and Liquid Flow in Small Channels,” *ASME Micromechanical Sensors, Actuators and System*, Vol.32,pp.49-60, 1991.
- 【14】 Bekok A. and Karniadakis G. E., “Simulation of Slip Flows in Complex Microgeometries,” *ASEM Proceedings*, Vol.40,pp.355-370, 1992.
- 【15】 T. N. Toth and G. C. M. Meijer, “A low-cost smart capacitive position sensor,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 41, no. 6, pp. 1041-1044, Dec. 1992.
- 【16】 L. K. Baxter, *Capacitive Sensors Design and Applications*. New York: IEEE Press, 1997.
- 【17】 Y. S. Ku, “Developing an axisymmetric parametric model for an electrostatic force balance,” *Meas. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 267-270, Jan. 2004.
- 【18】 Y. S. Ku, “Optimization of axisymmetric parametric model for electrostatic force balance,” *Meas. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 10, pp. 2108-2112, Oct. 2004.
- 【19】 H. J. Ahn, I. H. Kim, and D. C. Han, “Nonlinear analysis of cylindrical capacitive sensor,” *Meas. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 3, pp. 699-706, March 2005.
- 【20】 林榮謙, “An Embedded System for Capacitive Sensor Interface”, 國立交通大學電子工程研究所, 碩士論文, 民94。
- 【21】 C. T. Chiang and Y. C. Huang, "A Semi-Cylindrical Capacitive Sensor with Signal Conditioner for Flow Meter Applications," in Proc. of IEEE International Conf. on Sensors, Sensors'06, Oct. 2006.
- 【22】 吳志偉, “洗淨製程技術”, 國立海洋大學機械與機電工程研究所, 碩士論文, 民93。
- 【23】 國立交通大學奈米中心, 濕式清洗蝕刻台操作講義。
- 【24】 建國科技大學, 超大型積體電路 VLSI 技術, 第五章加熱製程。
- 【25】 S. Wolf and R. N. Tauber, *Silicon Process for the VLSI Era : Vol. 1 Process Technology 2nd Ed*, Lattice Press, 2000.

- 【26】吳文發，楊文錄，游信強，銅金屬與矽化鈷淺接面之整合研究，逢甲大學電機系，毫微米通訊第八卷第三期。
- 【27】丁沛熙，“利用多晶矽於絕緣層之基底建立中心凸塊結構之壓力感測元件”，國立交通大學電子工程研究所，碩士論文，民 93。
- 【28】K. R. Williams and R. S. Muller, “Etch Rates for Micromaching Processing,” *J. Microelectromechanical sys.*, Vol. 5, No.4, pp.256-269 1996.
- 【29】王國驊，”以印刷電路板技術發展電容式微流致動和感測系統”，逢甲大學自動控制工程研究所，碩士論文，民 93。



作者學經歷

姓名：鄭岳明

籍貫：台北縣

學歷：

台北市立內湖高級工業職業學校 冷凍空調工程科 民 84 年 9 月~民 87 年 6 月

私立聖約翰科技大學 電機工程系 民 87 年 9 月~民 89 年 6 月

國立台北科技大學 能源與冷凍空調工程學系 民 91 年 9 月~民 93 年 2 月

國立交通大學微電子奈米碩班 民 94 年 2 月~民 96 年 2 月

著作或發表：

1. 熱電製冷材料 Bi_2Te_3 與 FeSi_2 奈米化後熱電性質的比較,2003 第 20 屆機械工程研討會,E02-21。
2. Thermopower and Thermal Conductivity in Nanostructured Bi_2Te_3 ,2003 物理年會壁報論文 PP3。
3. Quantum size effects on magnetic and electronic properties in semiconductor nanoparticles(FeSi_2 and CdSe),2004 物理年會論文宣讀 TM1。