

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

表面聲波感測系統研製及生醫液體粘滯性量測

On the fabrication of micro acoustic wave sensor and viscosity measurements of bio-fluids

計畫編號：NSC89-2218-E-002-033

執行期間：89年8月1日至90年10月31日

主持人：吳政忠 台灣大學應用力學研究所

一、中文摘要

本計畫發展微型表面聲波元件及探討其在生醫液體粘滯性特性量測之應用。在理論方面進行壓電層狀介質波傳特性分析與程式撰寫，並進一步將之推展至負載液體之壓電層狀介質波傳特性分析。成果除可用來分析表面波元件之基底材料之外，亦可用以探討液體負載下多層介質之波傳行為，藉此作為設計聲波元件之依據。在技術發展方面包括表面拉福波(Love wave)元件之設計與製作、表面聲波元件量測系統建立與測試、關節液超音波波速及粘滯性與臨床診斷相關性初步研究。本計畫之成果對後續各式生化感測器之發展極為重要，並且將有助於開發微型表面聲波元件及進一步應用在生醫液體粘滯性的量測。

關鍵詞：表面聲波、拉福波、粘滯性、生醫感測器

Abstract

This project is to develop a Love wave sensor for measuring the viscosity of synovial fluids, which is important in the quantitative evaluation of arthritis diseases. In the theoretical analysis, the elastic wave propagation in layered anisotropic piezoelectric media was studied using the matrix formulation. The design and manufacturing process of Love wave sensor were investigated and established. A home-made Love wave sensor was then utilized to measure the viscosity of various viscous fluids as well as the synovial fluids from arthritis patients. Clinical correlation

between the measured viscosity and the degree of disease are included.

Keywords: surface acoustic wave (SAW), Love wave, viscosity, biosensor

二、計畫緣由與目的

在醫學、生物化學及農業科學等研究領域中，精確的生物感測器擁有極大且未完全開發的市場。在醫學領域中，病毒或特殊致癌基因的快速檢測，可提升臨床醫療照顧的品質與降低醫療成本。在農業方面，寄生或傳染性有機體之檢測也是重要的課題。總括來說，生化材料的定性和定量檢測極具市場潛力。近年來，微機電系統(Micro-Electro-Mechanical System)研究之蓬勃發展與製造技術之長足進展，已為未來各式感測或致動系統之微小化奠定相當的基礎。當然，生物感測器亦須借用MEMS技術，朝微小化方向發展，以降低成本並提高檢測機能。有鑑於生醫感測系統的附加價值極高，且其製程技術與國內極具世界競爭力之IC工業極為接近，如適當引進和研發此方面之檢測原理配合國內之電子科技技術，可望為我國創造另一高附加價值產業。

本計畫之宗旨為開發微型表面聲波元件及探討其在生醫液體粘滯性量測之應用。研究範疇包括含黏性液體之壓電層狀介質波傳特性計算與分析、表面聲波模式之選擇、拉福波元件之最佳化設計與製作、表面聲波元件量測系統建立與測試、關節液超音波波速及粘滯性與臨床診斷相關性研究。

三、研究方法與成果

(一) 含黏滯性液體之壓電層狀介質波傳特性分析與程式撰寫

利用壓電層狀晶體的八階矩陣理論[1]加上波阻的概念將之推展至含黏滯性液體之壓電層狀介質的波傳特性分析。傳統分析方法，當層數增加時，界面條件構成之矩陣階數急速增加，易造成數值求解之不穩定。而八階矩陣理論則不論層數之多寡，階數均為 8，此方法對於層狀壓電介質波傳分析之效率具極大助益。故本計畫利用此八階矩陣理論，配合局部波阻與反射張量，推導出壓電層狀介質的波傳遞迴計算式，以求得試體表面之全波阻。並由液體之運動方程式及組成律，推導出液體之統御方程式，進而得到黏滯性液體之波動阻抗。最後將非等向層狀介質與黏滯性液體之波動阻抗結合，代入界面之連續條件，求得液體負載下壓電層狀介質之表面聲波頻散方程式。

(二) 聲波元件基底材料之分析與探討

ST-cut 石英(quartz)具有極佳的溫度特性，故常被用為表面聲波元件的基底材料。圖一為 ST-Cut 石英之正常表面波(surface wave, SAW)相速與虛擬表面波(pseudo surface wave, PSAW)相速對波傳角度之變化圖，實線代表真實表面波，虛線則為虛擬表面波。由此圖不難發現，虛擬表面波在各個的波傳方向均存在，且波速均大於真實表面波。圖二為虛擬表面波衰減隨波傳角度之變化圖，當波傳角度與[100]夾角為 90 度時，波傳衰減將趨近於零。換言之，若設計聲波元件沿此角度傳遞時，不但可利用虛擬表面波的高波傳速度的特性，來提高表面聲波元件的頻率外，還可避開虛擬表面波衰減較大之缺點。

在非等向性材料中，表面聲波之能量速度方向不一定會與波前垂直，此即所謂波束轉向(beam steering)。表面聲波元件之基底材料大多為非等向性壓電材料，是故選擇適當之波傳角度，使表面波之能量速度方向能與波前垂直，避免波束轉向效應

發生，亦為設計表面波元件重要考量因素之一。圖三為 ST-cut quartz 虛擬表面波之波慢曲線圖，圖中發現當波傳角度與[100]夾角為 90° 時，不論是真實表面波或是虛擬表面波之能量速度方向均與波前垂直，是故 IDT 的位置不需做調整，即可有效率地量測到兩者之波傳訊號。

不論是由相速及波傳損失的大小，亦或是波束轉向之效應來考量，ST-cut 石英在波傳角度與[100]夾角為 90° 時，其虛擬表面波均是感測器模態之最佳選擇。再加上其為橫向偏振，所以本計劃選用 ST-cut 石英作為拉福波感測器之基底材料。

(三) 拉福波感測器最佳化設計

利用所推導之液體負載下壓電層狀介質波傳理論，來數值分析與探討液體負載下，拉福波相速與表層厚度之關係，進而最佳化設計拉福波液體感測器。考慮一拉福波感測器，其結構組成為 $\text{SiO}_2/\text{ST-cut}$ 石英之層狀半無限域，波長為 $40 \mu\text{m}$ ，至於所負載之液體為水及甘油。計算結果如圖四所示，端視此圖發現不論負載何種液體，拉福波相速均較未負載者為低，此異於負載理想液體之雷利波結果。此外，當二氧化矽之厚度越大時，則兩者波速差值越大，代表靈敏度越佳。值得注意的是，當厚度達 $5 \mu\text{m}$ 後，拉福波感測器已有適當之靈敏度，故以此厚度作為實際元件的尺寸。

(四) 微機電製程

本計劃所選用之基底壓電材料為 ST-cut 石英晶片，交指叉電極材料為鋁，且其上表層材料為二氧化矽(由共同主持人張培仁教授協助指導)。拉福波感測器之微機電製程如圖五所示，步驟分別為：

1. 光罩設計
2. 晶片清洗
3. 蒸鍍 IDT 材料—鋁：以電子束蒸鍍法 (EBE) 來進行金屬鋁的沈積。
4. 製作蝕刻擋罩—光阻 (S1813)
5. 濕蝕刻
6. 光阻移除

7. 化學氣相沉積導波層材料：為了避免後製程將金屬電極破壞，且本實驗需沉積較厚的二氧化矽層，所以選用 PECVD 來佈值拉福波感測器之二氧化矽表層。

(五) 量測裝置與實驗方法

傳統之表面聲波元件測試系統均採用網路分析儀來量測頻率響應，但因負載液體時，波傳訊號衰減很大，使得 feed through 訊號造成嚴重的干擾。故本實驗選用高頻超音波量測系統來測試聲波元件，實驗裝置如圖六所示。其中利用 200MHz Pulser/Receiver 來激發聲波元件之波動訊號，然後再由 LeCroy 9354CM 來接收並顯示時域訊號，並將 feed through 訊號去除，最後再藉計算機程式 Matlab 求得元件之頻率響應。另外，因液體不具固定形狀，故製作液體承載盒(liquid cell)來確定液體的位置與負載量。

(六) 關節液量測

近年來研究發現骨性關節炎(或稱退化性關節炎)之疼痛程度與關節液彈性及黏稠度之降低有密切的關係。做關節液分析時常見的檢查包括關節液的量、顏色、透明度、粘稠度、白血球含量和分類、利用偏光顯微鏡觀察晶體以及細菌或黴菌的培養。此類的檢查曠日費時，且有些僅是定性的觀察，無法有效地在第一時間幫助醫生作正確的診斷。故若能藉助所發展的拉福波感測器來作分析，不但能提升臨床醫療照顧的品質與降低醫療成本，而且能提供醫師量化的數據，幫助其作正確的病情診斷。

白血球是血液中的一種成份，功能是保護身體及抵抗外來微生物侵害的功能。當身體受細菌感染後，白血球會急速增加，故醫學上常利用白血球數來診斷發炎指數。本實驗藉拉福波中心頻率的變化來與白血球數WBC作一比對，藉此尋找兩者之相關性。

關節液檢體由共同主持人長庚醫院詹永嬌醫師提供，共有七管，將這些檢體分別用所研製之拉福波感測器量測，結果如圖七所示。端視此圖發現，頻率偏移量隨

白血球數而遞減，且變化率亦隨之變小。代表關節未發炎時之WBC指數較小，黏滯性較大，造成頻率偏移量亦隨之增大。相對地，關節發炎時之WBC指數較大，黏滯性較小，造成頻率偏移量亦隨之減小。此結果顯示，所研製之拉福波感測器可實際應用在關節液的檢測。

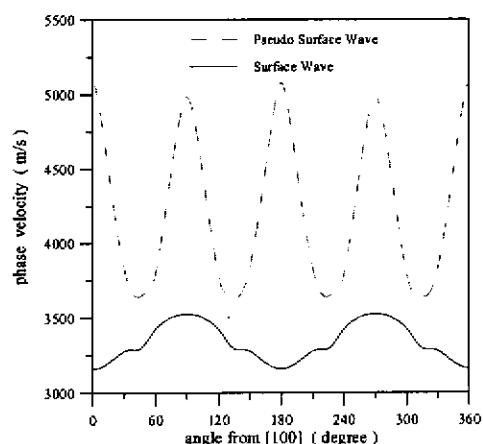
四、計畫進度與成果自評

本計畫的研究內容均依原先訂定的進度順利完成，成果具學術與應用價值，除於研討會發表外，亦投稿於國內外著名期刊[2,3]。計畫成果除可用來分析聲波元件特性外，對後續各式聲波元件之應用發展亦極為重要，並且將有助於開發微型表面聲波元件及進一步應用在生醫液體的量測。

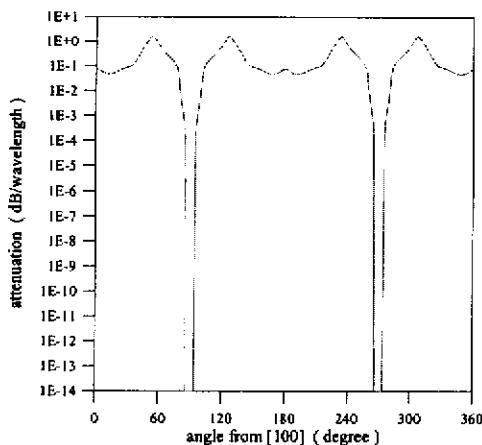
五、參考文獻

1. Braga, M.B. (1990), Wave Propagation in Anisotropic Layered Composites, *Ph.D dissertation, Stanford Univ..*
2. Wu, T.-T. and Wu, T.-Y. (1999), "Surface waves in coated anisotropic medium loaded with viscous liquid," *J. Appl. Mech., ASME.*, (accepted)
3. Chang, M.-P. and Wu, T.-T. (1999) "On the viscous models for wave propagation in solid loaded with viscous liquid," *Chinese Journal of Mechanics*, 15(3), 103-108.

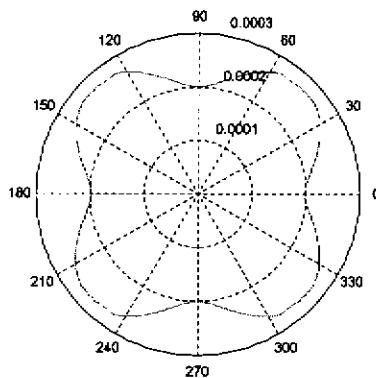
六、圖片



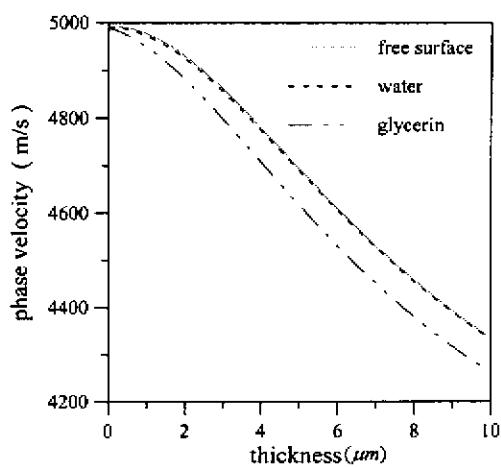
圖一 正常表面波與虛擬表面波相速隨波傳角度之變化圖



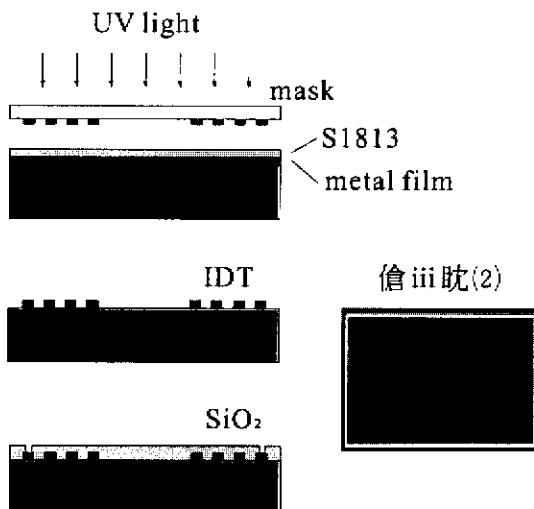
圖二 虛擬表面波衰減隨波傳角度之變化
圖



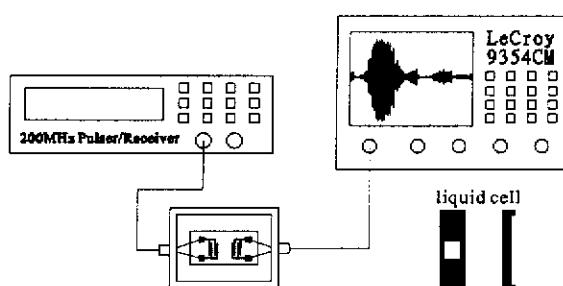
圖三 虛擬表面波之波慢曲線圖



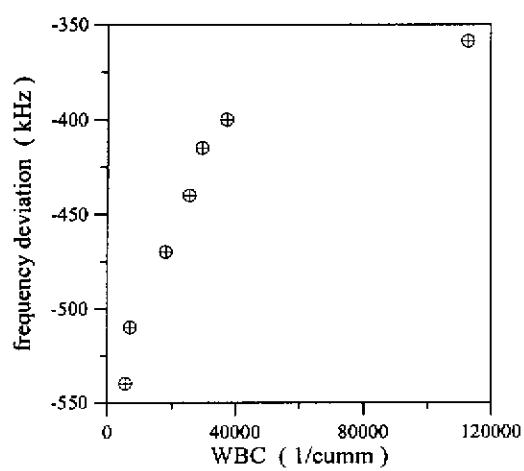
圖四 液體負載下拉福波相速與層狀物厚度關係圖



圖五 拉福波元件之微機電製程



圖六 實驗裝置圖



圖七 中心頻率偏移量與白血球數之關係
圖