

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：NSC89-2212-E-002-008

執行期間：88年8月1日至89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

本計畫擬以三年時間研製微型表面聲波感測器並探討其在生醫液體粘滯性特性量測之應用。本年度建立表面聲波元件量測系統、製作表面拉福波元件及建立液體負載下層狀壓電晶體之波傳行為及特徵分析程式。計畫中，利用八階矩陣波動方程式，配合局部波阻與反射張量，推導出層狀壓電晶體的波傳遞迴計算式。配合液體之運動方程式及組成律，求得液體負載下非等向壓電晶體之表面波頻散方程式。此程式除了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，藉此作為設計元件之依據。在元件製程方面，以 ST-cut 石英為基底材料，引用曝光顯影之技術於石英基底上熱蒸鍍柵狀交錯電極 (Interdigital transducer)。在量測方面，先行利用高頻超音波系統來測試表面波元件基本發射及接收功能，並確認其時域之波形。實驗結果與理論預測頗為吻合。本計畫之成果對後續各式生化感測器之發展亦極為重要，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 three-year 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. The content of the second year's project is in the theoretical analysis of the elastic wave

propagation in liquid loaded layered piezoelectric media and the fabrication testing of a of Love wave sensor. Results showed that the theoretical and experimental results are in very good accordance. The home-made Love wave sensor will then be utilized to measure the viscosity of various viscous fluids as well as the synovial fluids from arthritis patients.

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非等向及

壓電層狀介質波傳特性計算與分析、表面聲波模式之選擇、表面拉福波(Love wave)元件之設計與製作、表面聲波元件量測及校正系統建立與測試、關節液超音波波速及衰減(與粘滯性相關)與臨床診斷相關性研究。

三、研究方法與成果

(一)含黏滯性液體之非等向性層狀介質波傳特性分析與程式撰寫

利用 Braga 非等向層狀壓電晶體的八階矩陣理論[1]加上波阻的概念將之推展至含黏性液體之非等向層狀介質的波傳特性分析。傳統分析方法[2]，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，而以 Braga 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穩定性具極大助益。故本計畫利用此八階矩陣理論，配合局部波阻與反射張量，推導出非等向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，求得液體負載下非等向層狀介質之表面波頻散方程式。

(二)表面波元件之分析與探討

ST-cut 石英具有極佳之溫度特性，常被用為表面波元件的基底材料，故選擇此壓電晶體作為數值模擬之例子。圖一為 ST-Cut Quartz 之表面波速與虛擬表面波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 86 至 94 度，以及 266 至 274 度時，波傳衰減將趨近於零。若將表面波元件之操作點設計於這些角度時，不但可利用虛

擬表面波的高速，將表面波元件的中心頻率提高外，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，是故選則一適當之波傳角度，使表面波之能量速度方向能與波前垂直，避免波速轉向效應發生，亦為設計表面波元件重要考量因素之一。圖三、四為 ST-cut quartz 真實表面波與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 90^0 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。

(三)表面拉福波元件尺寸之分析

本計畫根據 Braga 八階矩陣理論，數值計算液體負載下拉福波波速與層狀物厚度之關係，如圖五所示。此算例之拉福波感測器的結構為以 ST-cut 石英為底層，層狀物之材料為二氧化矽，且其上之附載液體為水及甘油。結果顯示二氧化矽厚度越大，則靈敏度越佳，且當厚度達 $5\mu\text{m}$ 後，拉福波感測器已有適當之靈敏度。故據此可分析感測器的最佳尺寸，作為設計之參考。

(四)表面拉福波元件之製作

表面拉福波元件之製程如圖六所示，以 ST-cut 石英為基底材料，引用傳統曝光顯影之技術於石英基底上熱蒸鍍柵狀交錯電極(Interdigital transducer)，其中選用鋁作為電極金屬材料，如此即完成表面波元件之製作，未來只要在其上表層利用濺鍍的技術來佈植 SiO_2 薄層即可完成拉福波元件之製作。

(四)表面波元件之初步測試

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，本計畫利用高頻

超音波系統來測試表面波元件基本發射及接收功能，並確認其時域之波形。實驗裝置如圖七所示，利用 200MHz Pulser/Receiver 來激發表面波元件及接收表面波訊號，然後再由 LeCroy 9354CM 來顯示時域訊號。圖八為表面波元件在頻率域之結果，圖中顯示此表面波元件表現似一中心頻率為 125MHz 之濾波器，與理論預測相符。結果顯示本實驗裝置可成功地運用於表面波元件的測試，故可利用此高頻超音波系統進行後序之實驗。

依照波慢曲線圖推測，頻譜響應圖上應出現另一中心頻率約 79 MHz 之波速解，即真實表面波之波動訊號。以下將藉助有效介電常數(effective permittivity) [3]，來說明理論與實驗的差異，並進一步探討表面波與電場的耦合效應。有效介電常數與表面電荷密度(surface charge density)、電位相關，當表面波元件之基底材料及波傳角度確定後，即可計算求得。圖九為 ST-cut 石英在波傳角度與[100]夾角為 90° 時之有效介電常數與波速之關係圖，圖中實線表有效介電常數之實部，虛線則為虛部。圖中顯示波速約有一零點，且其虛部為零，代表此波速唯一表面波解，與實驗結果相符，為虛擬表面波之波速。同時，此圖亦不再發現其他零點，即 ST-cut 石英，波傳角度與[100]夾角為 90° 時之真實表面波與電場是不耦合的，其物理意義代表無法利用電場方式去激發或接收其波動位移訊號，因此實驗上無法利用 IDT 量測到真實表面波。是故設計表面波元件時，需選擇能與電場耦合之表面波模態。

四、計畫進度與成果自評

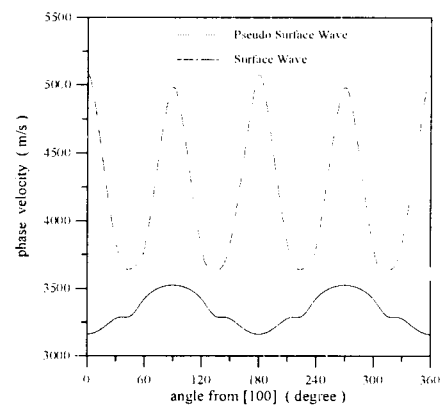
本計畫的研究內容大致依原先訂定的進度順利完成，部分成果除將於國內研討會發表外，亦將投稿於國外著名期刊。計畫成果除可用來分析表面拉福波傳特性外，對後續各式生化感測器之發展亦極為重要，並且將有助於開發微型表面聲波元件及進

一步應用在生醫液體粘滯性的量測。

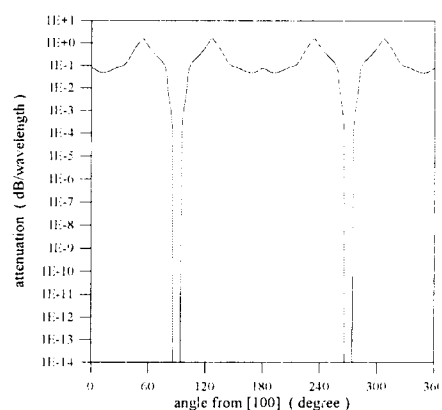
五、參考文獻

- 1.M.B. Braga, Wave Propagation in Anisotropic Layered Composites, *Ph.D dissertation, Stanford Univ* (1990).
- 2.W. M. Ewing, W. S. Jardetzky and F. Press, *Elastic Waves in Layered Media*, McGraw-Hill, New York (1957).
- 3.Davie P. Morgan, *Surface-Wave Devices for signal Processing* (1985).

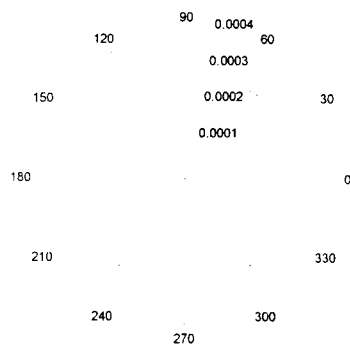
六、圖片



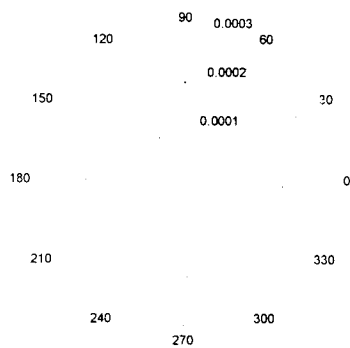
圖一 ST-Cut石英之表面波速與虛擬表面波速對波傳角度之變化圖



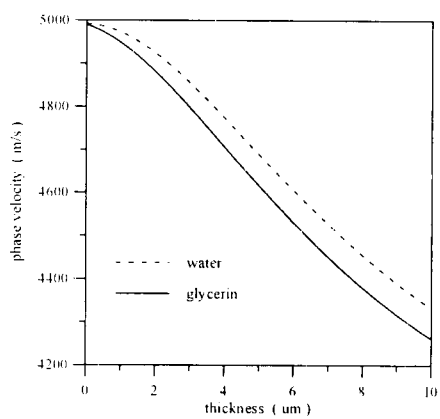
圖二 虛擬表面波衰減隨波傳角度之變化圖



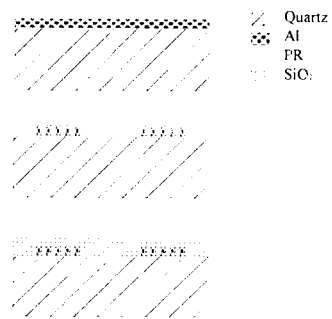
圖三 ST-cut 石英真實表面波之波慢曲線圖



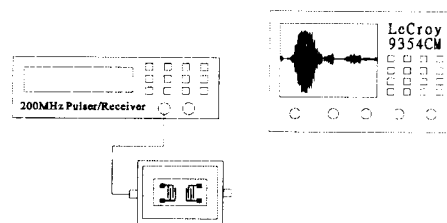
圖四 ST-cut 石英虛擬表面波之波慢曲線圖



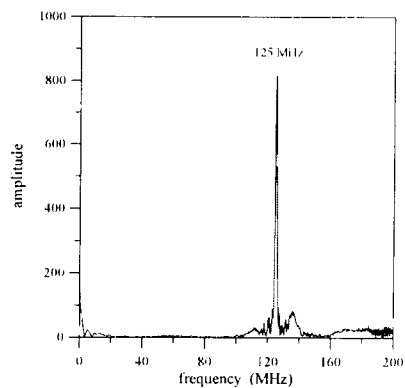
圖五 液體負載下拉福波速與層狀物厚度關係圖



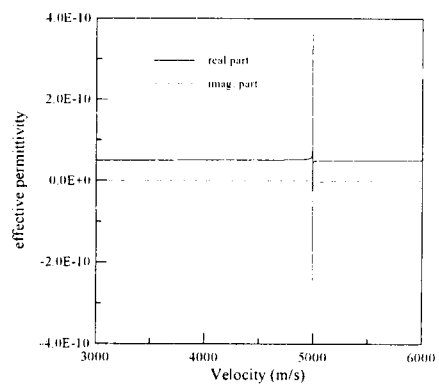
圖六 表面拉福波元件之製程圖



圖七 實驗裝置圖



圖八 表面波元件之頻率響應圖



圖九 有效介電常數與波速之關係圖