

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：NSC88-2218-E-002-020

執行期間：87年8月1日至88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，在理論方面擬利用 Stroh 非等向材料的六階矩陣理論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波傳特性分析，此程式可用來分析表面拉福波或表面波因不同液體黏滯性所產生之波速與能量衰減程度，並據以量測待測液體之黏滯性。在技術發展方面則包括表面拉福波 (Love wave) 元件之設計與製作，及表面聲波元件之初步測試。本計畫之成果可進一步推展至含液體之壓電層狀介質波傳特性分析以探討液體中電性與壓電波傳互制關係外，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。

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. In the theoretical analysis of the elastic wave propagation in layered anisotropic piezoelectric media, the sextic formulation of Stroh will be adopted. The design and manufacturing process of Love wave sensor will be investigated and established. 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. Clinical correlation between the measured viscosity and the degree of disease will also be 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 Stroh 非等向材料的六階矩陣理論[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 Stroh 六階矩陣理論則不論層數之多寡，階數均為 6。此方法對於層狀壓電介質波傳分析之穩定性具極大助益。故本計畫利用此六階矩陣理論，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，並進一步利用數值結果來探討液體負載下多層介質之波傳行為。

對於一般非等向性彈性介質的表面波而言，其表面位移分量同時存在於平面內及反平面，而偏振方向在平面及反平面所產生的固體液體耦合現象十分不同，因此對於一般情形下之非等向介質受液體負載時，由於同時存平面及反平面之耦合作用，其現象較等向性材料複雜許多。以下算例之液體密度為 1000 kg/m^3 ，而縱波波速為 1500 m/s 。

以單晶 Si (001) 面上覆 SiO_2 (厚度 $5 \mu\text{m}$) 為例，探討非等向性層狀介質受到液體負載時，其第一 Rayleigh 模態及第一 Love 模態的表面波之頻散變化。圖一為不同黏滯係數的液體負載下，第一 Rayleigh 模態的頻散曲線 (波傳方向與 $[100]$ 夾 15°)。對一固定之頻率下，當液體為理想液體時，波速較表面為自由面時之表面波為快，而隨液體黏滯性之增加波速降低。當頻率越高時，則不同黏滯係數

間的波速差距越大，並不會有頻散曲線交叉的情形。圖二為一中各頻散曲線所對應之波傳衰減，由圖中可看出當頻率很低或很高時，波傳衰減之變化趨勢較為線性，在中間的部分則有些許起伏的情形。整體而言，當頻率越高或液體黏滯性越大時，則波傳衰減越大。圖三及圖四分別為不同黏滯係數的液體負載下，第一 Love 模態的頻散曲線及其所對應之波傳衰減(波傳方向與 $[100]$ 夾 15°)，由圖發現不同的黏滯係數之頻散曲線，在高頻處會交叉，意謂著頻率變大時，黏滯係數大者波速較快，且甚至大於無液體負載時之表面波波速。

(二)表面拉福波元件尺寸之分析

當一基底材料表面覆以一橫波波速小於基底材料之層狀介質時會有拉福波之產生，至於導入層狀物拉福波的能量大小則與層狀物的厚度有關，即層狀物的厚度將影響拉福波感測器的靈敏度。本計畫根據微擾理論[3,4]，數值計算拉福波感測器靈敏度與層狀物厚度之關係，如圖十。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，且其上之附載薄層材料為金箔。結果顯示當二氧化矽厚度達 $6.8 \mu\text{m}$ 時，拉福波感測器之靈敏度有最大值。據此可分析感測器的最佳尺寸，作為設計之參考。

(三)表面拉福波元件之製作

拉福波元件的製程如圖十一所示，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 SOG 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

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。實驗裝置如圖十二所示，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。圖八及圖九分別為表面波元件在時域及頻率域之結果，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。

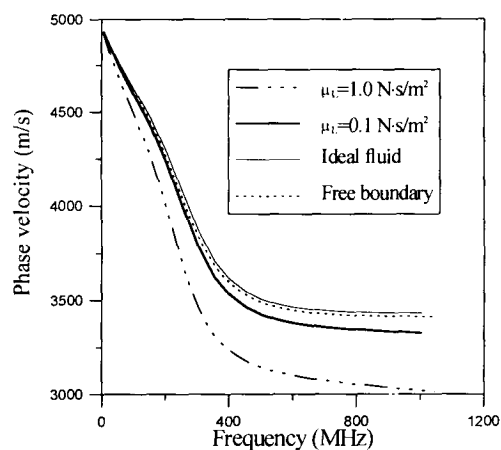
四、計畫進度與成果自評

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，除於國內外研討會發表外[5]，亦投稿於國外著名期刊[6]。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。

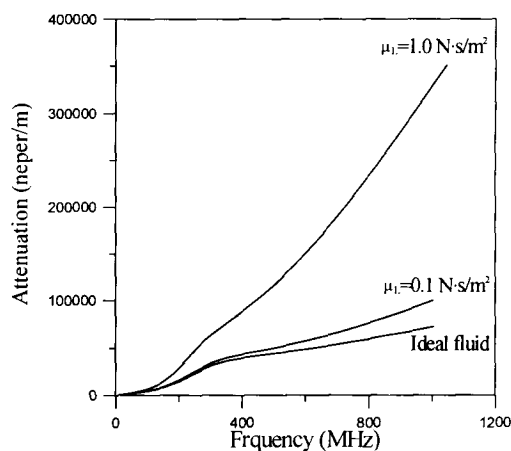
五、參考文獻

1. A. N. Stroh, Steady state problems in anisotropic elasticity, *J. Math. And Phy.*, 41 (1962) 77-103.
2. W. M. Ewing, W. S. Jardetzky and F. Press, *Elastic Waves in Layered Media*, McGraw-Hill, New York (1957).
3. B. A. Auld, *Acoustic Fields and Waves in Solids*, vol. 2, New York: Wiley, 1976, ch. 12.
4. Z. Wang and J. D. N. cheeke, "Sensitivity analysis for Love mode acoustic gravimetric sensors," *Appl. Phy. Lett.*, 64 (22), pp. 2940-2942, 30 May, 1994.
5. Y. -Y. Chen and T. -T Wu, "A perturbation study of mass loading effects on the SAW propagation," *The 5th Far East Conference on NDT*. (1999)
6. T. -T. Wu and T. -Y Wu, "Surface waves in coated anisotropic medium loaded with viscous liquid," *J. Appl. Mech.*, ASME, (accepted).

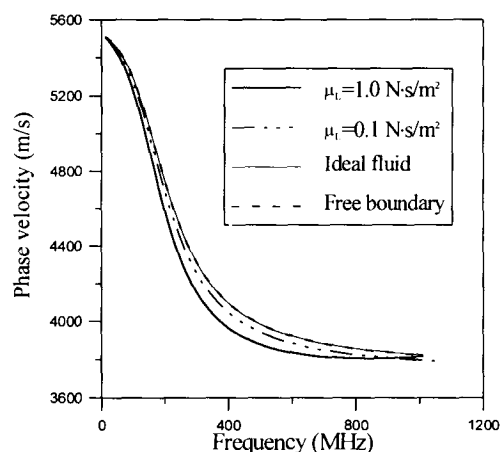
六、圖片



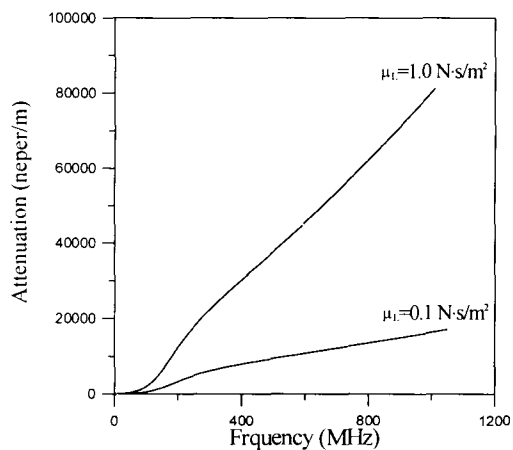
圖一 單晶Si上覆以SiO₂，第一Rayleigh模態表面波之頻散曲線



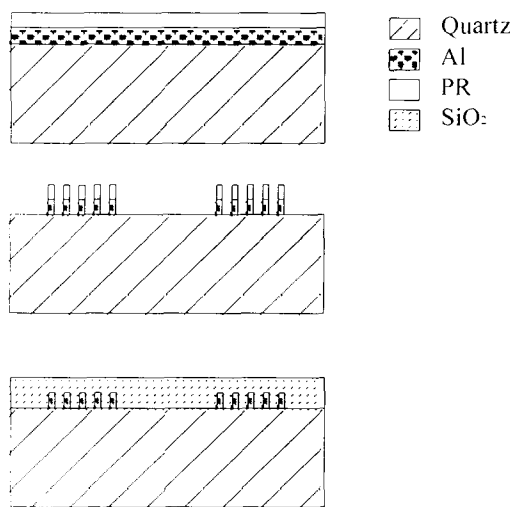
圖二 單晶 Si 上覆以 SiO₂，第一 Rayleigh 模態表面波的波傳衰減隨頻率之變化



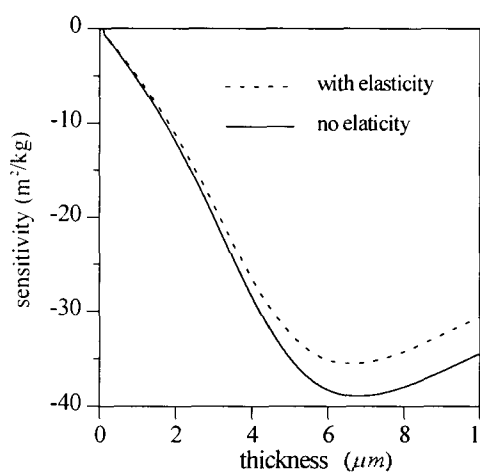
圖三 單晶Si上覆以SiO₂，第一Love模態之頻散曲線



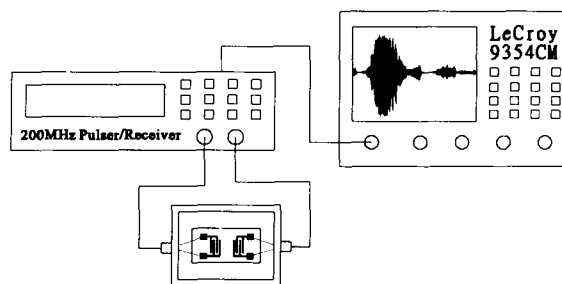
圖四 單晶Si上覆以 SiO_2 ，第一Love模態之波傳衰減隨頻率之變化



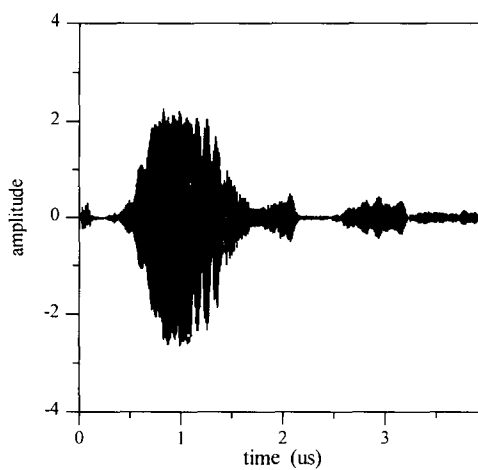
圖五 拉福波元件製程



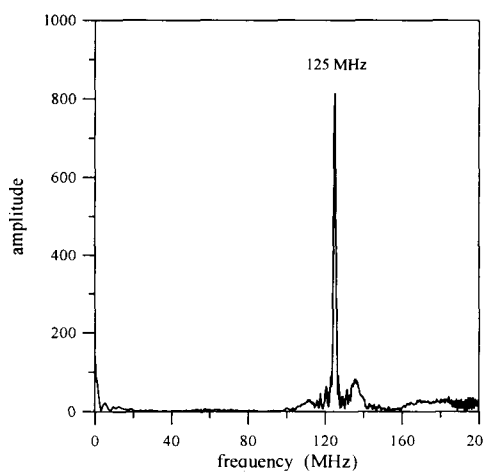
圖六 拉福波感測器靈敏度與層狀物厚度之關係圖



圖七 實驗裝置圖



圖八 表面波元件之時域訊號



圖九 表面波元件之頻率域訊號