

層狀表面聲波濾波器之分析與製造(I)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2212-E-002-156

執行期間：90 年 08 月 01 日至 91 年 10 月 31 日

計畫主持人：吳政忠

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學應用力學研究所

中華民國九十二年一月八日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 層狀表面聲波濾波器之分析與製造(I)

The Analysis and Fabrication of Layered Surface-Acoustic-wave Filter (I)

計畫編號：NSC 90-2212-E-002-156

執行期間：90年8月1日至91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

由於表面聲波元件(Surface Acoustic Wave Device, SAW)具有高性能、尺寸小、低成本，且與 IC 製程技術相容等優點，使其在電子工業與通訊系統上佔有很重要的地位。本計畫擬以三年時間研製先進層狀表面聲波濾波器並建立相關的量測技術。計劃第一年旨在設計與製造中頻表面聲波濾波器，藉此獲得設計層狀聲波濾波器的基本能力。理論部份以聲波耦合模態(Coupling-of-Modes, COM)為基礎，計算中頻表面聲波震盪器之頻率響應，探討各項幾何參數與頻率響應之關係。並配合實驗量測與 Simplex 法則反算 COM 參數，以作為設計中頻表面聲波濾波器的依據。

**關鍵詞：**表面聲波震盪器、聲波耦合模態

### Abstract

A vast market exists for surface acoustic wave (SAW) devices in areas such as wireless communication and a variety of sensor applications. This three-year project is to study the layered SAW filters by both the theoretical analyses and the experimental measurements. In the first year, to grasp the salient features of SAW design, a simple two-port IF SAW filter has been designed and fabricated. The design was based on the Abbott's COM model and the reversed COM parameters. Results have shown that the measured and calculated insertion losses are in good agreements.

Keywords: SAW resonator filter、COM

### 二、計畫緣由與目的

1965 年 White 與 Voltmer [1] 將交指叉電極(Interdigital Transducer, IDT) 鍍在壓電晶體表面，利用壓電特性來激發與接收表面波，至此表面聲波元件才成為不可或缺的電子元件，廣泛地應用在各種通訊系統上。目前設計分析表面聲波元件的技術都掌握在先進國家的手上，台灣只是位於代工的地位，一切都要受限於他國之技術，欲擺脫代工之地位與加強競爭優勢，必須及時加強理論分析與設計能力。

本計劃第一年旨在研製中頻表面聲波濾波器，藉此獲得設計層狀聲波濾波器的基本能力。首先以 Abbott [2] 所提出的聲波耦合模型為基礎推導表面聲波震盪器之傳輸矩陣，以分析中頻表面聲波震盪器之頻率響應，並探討各項幾何參數與頻率響應之關係，求取最佳性能的幾何參數。另外，亦配合實驗量測與 Simplex 法則反算實際的 COM 參數，以作為研製中頻表面聲波濾波器的依據。

### 三、研究方法與成果

#### (一) 聲波耦合理論

金屬電極的反射與衰減微擾使中心頻率產生偏移，這個現象對中心頻率穩定性要求較高的中頻濾波器影響甚鉅，因此本計劃採用將反射與衰減微擾加入聲波耦合方程式中的 Abbott 聲波耦合理論來分析表面聲波震盪器。

若忽略橫向的變化，表面波的傳遞會滿足一維的二階波傳微分方程式，即

$$\frac{d^2y(x,t)}{dx^2} - \left(\frac{1}{v_R^2}\right) \frac{d^2y(x,t)}{dt^2} = 0 \quad (1)$$

其中  $v_R$  為雷利波(Rayleigh wave)相速。

配合邊界條件與新定義的參數，將波傳耦合模態公式的解以[P]矩陣形式來表示

$$\begin{bmatrix} S(0,\omega) \\ R(L,\omega) \\ I(0,\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11}(\omega) & P_{12}(\omega) & P_{13}(\omega) \\ P_{21}(\omega) & P_{22}(\omega) & P_{23}(\omega) \\ P_{31}(\omega) & P_{32}(\omega) & P_{33}(\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_i(\omega) \\ S_i(\omega) \\ V_o(\omega) \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中

$$\begin{aligned} P_{11} &= \frac{+jK_s \sin(DL)}{D \cos(DL) + j\Delta \sin(DL)} \\ P_{12} &= \frac{D}{D \cos(DL) + j\Delta \sin(DL)} e^{-jk_0 L} \\ P_{13} &= +jL \left( \frac{\sin(DL/2)}{DL/2} \right) \left[ \frac{\alpha_s D \cos(DL/2) + j(K_s \alpha_s + \Delta \alpha_s) \sin(DL/2)}{D \cos(DL) + j\Delta \sin(DL)} \right] \\ P_{22} &= \frac{+jK_R \sin(DL)}{D \cos(DL) + j\Delta \sin(DL)} e^{-j2k_0 L} \\ P_{23} &= +jL \left( \frac{\sin(DL/2)}{DL/2} \right) \left[ \frac{\alpha_R D \cos(DL/2) + j(K_R \alpha_R + \Delta \alpha_R) \sin(DL/2)}{D \cos(DL) + j\Delta \sin(DL)} \right] e^{-jk_0 L} \\ P_{33} &= -j2 \left( \frac{K_s \alpha_s^2 + K_R \alpha_R^2 + 2\Delta \alpha_s \alpha_R}{D^3} \right) \left[ DL - \frac{D \sin(DL) + j\Delta(1 - \cos(DL))}{D \cos(DL) + j\Delta \sin(DL)} \right] \\ &\quad - 2 \left( \frac{\Delta(K_s \alpha_s^2 + K_R \alpha_R^2) + 2K_s K_R \alpha_s \alpha_R}{D^3} \right) \left( \frac{1 - \cos(DL)}{D \cos(DL) + j\Delta \sin(DL)} \right) \\ &\quad + j \left( \frac{3\omega C_F L / \Lambda_T}{3 + j\omega R_F C_F} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

且  $P_{21} = P_{12}$ ,  $P_{31} = -2P_{13}$ ,  $P_{32} = -2P_{33}$ 。

## (二) 各項幾何參數對頻率響應之影響

以二埠表面聲波震盪器為例，利用聲波耦合模態來探討各項幾何參數對頻率響應的影響。

### 2.1 交指叉電極對數與交叉長度

圖 1 為固定金屬柵欄個數及交指叉電極交叉長度下，電極對數對頻率響應的關係圖，圖中顯示電極對數越多，插入損失越低，但電極造成的反射將使中心頻率產生偏移。圖 2 是利用固定金屬柵欄個數及交指叉電極對數下，電極交叉長度對頻率響應之關係圖，圖中顯示交叉長度越長可降低插入損失，但不會影響中心頻率值。此外，由圖 1 與圖 2 可以發現，過多的電極對數或過長的交叉長度並無法有效地改善插入損失，只會徒增元件的尺寸。

### 2.2 金屬柵欄數目

藉由交指叉電極兩側之金屬柵欄將原本損耗的能量經由反射加以利用，形成共振產生駐波來降低插入損失。圖 3 為金屬柵欄數目對頻率響應之關係圖，圖中顯示增加金屬柵欄數目可降低中心頻率的插入損失，但過多的金屬柵欄無法有效改善插

入損失，只會增大元件的尺寸。

### 2.3 延遲距離

利用金屬柵欄雖可將損耗的聲波反射回交指叉電極，但仍須藉調整延遲距離使反射波為建設性干涉，才能有效地降低插入損失。二埠表面聲波震盪器共有  $D_2$ 、 $D_4$  及  $D_6$  三個延遲距離，其中  $D_2$  與  $D_6$  為金屬柵欄與 IDT 之間的延遲距離， $D_4$  則為兩 IDT 之間的延遲距離。圖 4 為相同的  $D_2$  與  $D_6$  情況下，延遲距離  $D_4$  對頻率響應的關係圖。圖 5 則為固定  $D_4$  下，延遲距離  $D_2$  與  $D_6$  對頻率響應的關係圖，圖中發現當延遲距離滿足

$$\begin{aligned} D_2 = D_6 &= \left( \frac{3}{8} + \frac{n}{2} \right) \lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots \\ D_4 &= \left( \frac{1}{2} + \frac{m}{2} \right) \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (4)$$

可得到最佳的頻率響應。且不當的設計不但會使中心頻率發生偏移，更可能在原設計的中心頻率處造成破壞性干涉而大幅增加插入損失。

### (三) 指叉電極之各項參數量測方法建立

針對各種不同類型的表面聲波元件設計，利用 COM 理論所求得之[P]矩陣，透過矩陣相乘的方式，即可輕易並成功的模擬出元件的頻率響應。但是在耦合理論模型中，模擬元件之頻率響應之參數包括：表面波波速、反射係數、衰減係數、電性轉換係數、等效電容值及等效電阻值，上述各參數之計算皆為理論值，而非針對實際製作出的元件情形加以計算之參數值，所以會造成模擬與量測結果上之差異。因此本計劃利用所推導出的單埠震盪器導納關係，實際設計單埠表面聲波震盪器，利用量測元件之電導值與電納值，並配合 Simplex 法則來反算實際元件的各項 COM 參數值。

本研究共有六個參數同時進行數值反算，且必須給予各參數初始猜測值，但不當的初始猜測值不僅會增加計算之時間，更可能使最後所計算出來的各參數值毫無意義，因此必須由電導與電納圖之各項特

徵來各簡單的判斷待反算參數之初始猜測值範圍。首先是表面波波速，利用停滯帶的中心位置為頻率來計算表面波波速，並以停滯帶邊緣之頻率作為初始猜測值之範圍。在反射係數方面，可藉由調整反射係數之大小來改變停滯帶之寬度，反射係數越大則停滯帶寬度越大，用此方法來簡單判斷反射係數之初始猜測值。

此外，考慮交指叉電極本身金屬電容與電阻所造成的影响時，曾引入等效電容值與等效電阻值，嘗試調整這兩個參數，發現兩參數並非各自獨立，都會使電導值與電納值產生平移的現象，但不會改變停滯帶之位置及寬度，因此不會影響先前表面波波速與反射係數值之猜測值；在電阻值的初始猜測值上，首先令模型中之等效電阻值為零，並計算此情況下之震盪器阻抗，同時在單埠表面聲波震盪器外部串連一電阻，作為考慮金屬電極與 busbar 電阻之影響。

利用網路分析儀量測出同步單埠表面聲波震盪器之散射係數 (Scattering parameter)，並計算後轉換成元件之輸入阻抗。最後比較實際量測之輸入阻抗與令模型中等效電阻值為零時所計算出之震盪器阻抗，兩者在遠離停滯帶位置時，阻抗之實部之差值作為串連電阻之初始猜測值。至於其餘三個待反算參數電性轉換係數、衰減係數與等效電容值之初始猜測值，只需要與理論計算方式所求得之大小，為同一個等級之數值即可。

為了實際進行 COM 參數的反算工作，本計劃亦設計一同步單埠表面聲波震盪器，選擇 ST-Quartz 為壓電基材，鋁為電極材料，電極週期  $p = 3.932 \mu m$ ，交指叉電極對數  $N_t = 50$ ，兩側金屬柵欄數目  $N_g = 300$ ，交叉長度  $W = 100 * 2p$ ，金屬厚度  $h = 1600 \text{ A}$ ，及金屬覆蓋比  $m/p = 0.5$ 。並利用微機電製程來製作，量測其頻率響應 (如圖 6 所示)，並配合 Simplex 法則來反算 COM 參數，結果發現反算與量測之頻率響應曲線相當吻合，並且能正確、有效率地反算出之各項參數。

#### (四) 中頻表面聲波震盪器之製作與測試

本計劃亦以 Abbott 聲波耦合理論為基礎推導中心頻率為 400MHz 之二埠表面聲波震盪器的傳輸矩陣，並配合反算所得的 COM 參數，來計算中頻表面聲波震盪器之頻率響應。並與理論值參數之模擬結果比較，以驗證反算參數之正確性。

圖 7 為二埠表面聲波震盪器實驗量測及利用理論參數模擬之頻率響應，發現兩者有不錯的吻合度，但是元件的中心頻率與插入損失仍有部分誤差。圖 8 則為實驗量測與反算參數模擬之頻率響應，發現利用反算參數所得之模擬結果的確有效地改善理論參數模擬所造成中心頻率與插入損失的偏移現象，使模擬結果與實驗量測結果更為吻合。不論是中心頻率或插入損失，利用 Simplex 反算參數所得之結果的確較符合實驗量測結果，驗證了量測表面聲波單埠震盪器之電導與電納，並配合 Simplex 法則，確實能有效的求得符合元件實際尺寸下耦合模型之各參數值，將有利於模擬表面聲波元件之頻率響應。

#### 四、計畫進度與未來工作

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，亦投稿於國外著名期刊 [3]。計畫成果除可用來分析中頻表面聲波震盪器之特性外，對後續層狀表面聲波震盪器之研製亦極為重要。

#### 五、參考文獻

- [1] R.-M. White and F.-W. Voltmer, "Direct Piezoelectric Coupling to Surface Elastic Waves," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 7, pp.314-316 , 1965.
- [2] B.-P. Abbott, "A Coupling-of-Modes Model for SAW Transducers with Arbitrary Reflectivity Weighting," 1989.
- [3] T.-T. Wu, S.-M. Wang, Y.-Y. Chen, T.-Y. Wu, P.-Z. Chang, R.-S. Huang, C.-L. Wang, C.-W. Wu, and C.-K. Lee, "Inverse determination of COM parameters of surface acoustic wave resonators," *Japanese Journal of Applied physics*, 2002. (accepted)

## 六、圖表

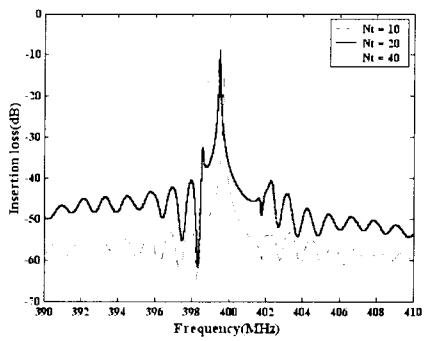


圖 1 交指叉電極數目對頻率響應之影響

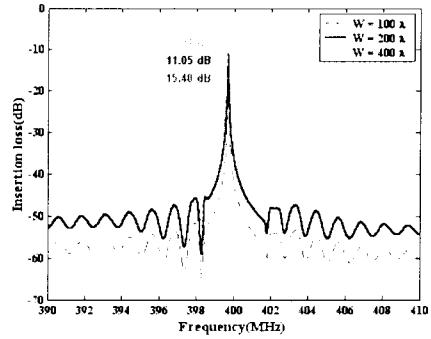


圖 2 交指叉電極交叉長度對頻率響應之影響

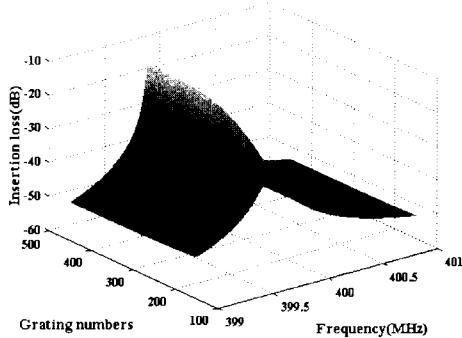


圖 3 金屬柵欄數目對頻率響應之影響

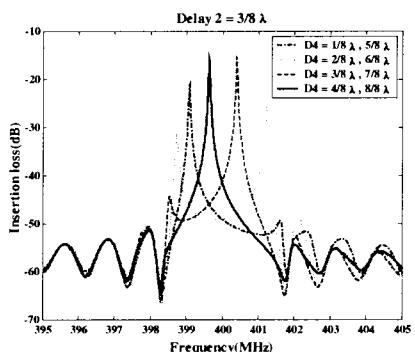


圖 4 延遲距離 D4 對頻率響應之影響

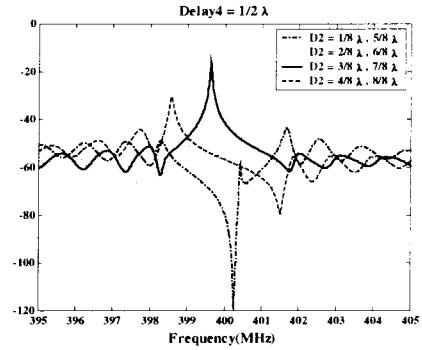


圖 5 延遲距離 D2 對頻率響應之影響

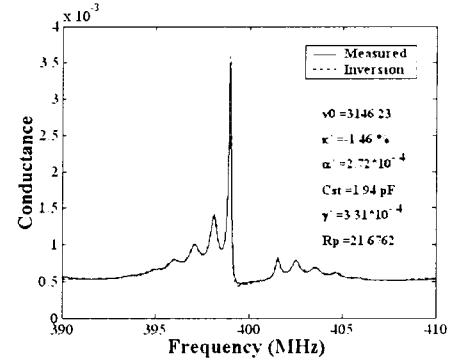


圖 6 單埠表面聲波震盪器之頻率響應與反算結果

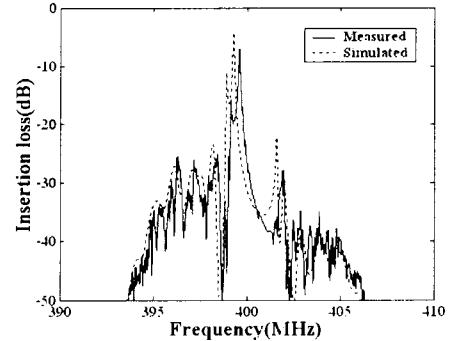


圖 7 二埠表面聲波震盪器實驗量測及理論參數模擬之頻率響應

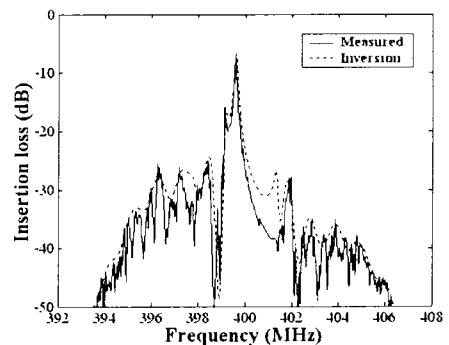


圖 8 二埠表面聲波震盪器實驗量測與反算參數模擬之頻率響應