

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

與 CMOS 製程相容之寬頻層狀表面聲波濾波器之研製與應用 (3/3) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-002-223-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：國立臺灣大學應用力學研究所

計畫主持人：吳政忠

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：郭維志、蔡子勤
博士後研究：許進成

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 27 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

與 CMOS 製程相容之寬頻層狀表面聲波濾波器之研製與應用(III)

Development of a CMOS compatible layered SAW filter with large bandwidth

計畫編號：NSC 95-2221-E-002-223

執行期間：95年8月1日至96年7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

為符合未來通訊系統高頻化以及高資料傳輸量的需求，層狀寬頻表面聲波濾波器的研究逐漸受到重視。斜交指叉表面聲波濾波器可高達約 50% 的頻寬，且通帶極為平坦而幾乎沒有漣波，極適合作為寬頻濾波器。若能進一步發展成層狀結構的斜交指叉式表面聲波濾波器，利用層狀基底結構的頻散關係，不但可改善傳統斜交指叉式表面聲波濾波器之效能，更可進一步與 CMOS 製程相容，達到高頻化、寬頻化的市場要求。本計畫即針對此趨勢，以三年的時間發展與 CMOS 製程相容的寬頻層狀表面聲波元件之理論、製程與量測技術，並進一步應用寬頻層狀表面聲波元件於微米級聲子晶體頻溝之研究。研究成果已發展完成寬頻表面聲波濾波器之理論分析技術，層狀寬頻表面聲波濾波器之分析理論、設計與微機電製程實際製作，並進行耦合模態理論所需之經驗參數與元件頻率響應的量測。所發展之寬頻層狀表面聲波元件亦進一步應用於微米級二維聲子晶體表面波頻溝之研究。一方面利用理論分析表面波於矽基聲子晶體中之頻散關係及預測全頻溝頻率範圍進而製作聲子晶體，另一方面藉由設計及製作斜交指叉換能器頻率響應量測結果分析二維聲子晶體中表面波頻溝現象。

關鍵詞：層狀寬頻表面聲波濾波器、聲子晶體、聲波耦合模態理論

Abstract

For the demand of future telecommunication systems in high frequency, high bit rate, and

mass data transmission, layered wideband surface acoustic wave (SAW) filters have received much attention recently. SAW filter based on the slanted finger interdigital transducer (SFIT) can provide a flat- and wide-band frequency response with small ripples, large rejection ratio, and steep cutoff characteristics, and thus, is a potential candidate of wide-band filters. For layered SFIT SAW filters, the dispersive characteristics of SAWs in the structures can be utilized to improve the performances of frequency responses. In addition, layered SFIT SAW filters can be compatible with the fabrication process of CMOS to meet the high-frequency and wide-band demands in the telecommunication market. In this report, the analyzing and fabricating techniques for the layered SFIT SAW devices have been developed and further applied to measure the frequency band gap of SAW in a micro phononic crystal. An algorithm based on the coupling of modes method was developed to simulate the frequency response of conventional and layered SFIT SAW devices. On the experimental side, the SFIT SAW filters were realized on the ZnO/Silicon layered substrate utilizing the MEMS fabricating techniques. The dispersive frequency responses and performances were measured and evaluated, and some of empirical parameters were extracted from the measurements. The established layered SFIT SAW devices were then applied to measure the band gap of SAW in two-dimensional micro phononic crystals.

Keywords: layered SFIT SAW filter, phononic

crystal, COM theory

二、計畫緣由與目的

表面聲波濾波器具有體積小、耗損低、過濾效果佳及可大量製造的特性，因此已被廣泛地應用在各種行動通訊系統及全球衛星定位系統上。隨著新一代通訊系統的來臨，高傳輸速度及大資料傳輸量的需求備受重視，要如何提升表面聲波濾波器的性能以因應這些需求，成為目前極為重要的研究課題。有鑑於此，表面聲波濾波器未來必將朝向高頻化與寬頻化的趨勢發展，然而，表面聲波濾波器在各種不同的壓電基板上，最大頻寬只能達到約中心頻率的20%，面對未來寬頻化的需求將不敷使用，於是斜交指叉式表面聲波濾波器在近年來逐漸受到重視。斜交指叉式表面聲波濾波器乃是利用漸變式週期的交指叉狀電極排列，以激發出不同中心頻率的表面聲波，如此不僅能造成高達約50%的頻寬，並能形成一個極為平坦、幾乎沒有漣波之通帶，相當符合寬頻濾波器該具備之特性。此外，若能進一步於矽基板上發展成斜交指叉式層狀表面聲波濾波器，不但可與COMS製程相容，亦可利用表面波於層狀基底結構傳遞的頻散關係，來改善傳統斜交指叉式表面聲波濾波器之效能，如：修正通帶傾斜之現象、增加頻寬、提高表面聲波波速、減少波束轉向效應等。

另一方面，近年來光子晶體之研究逐年迅速增長。所謂光子晶體，即為週期性之介電質結構，因週期性結構之緣故，導致電磁波通過晶體時由於反射波對入射波造成干涉，發生所謂的頻溝現象，阻擋在某些頻率振盪之電磁波通過。光子晶體可應用於光纖通訊上，例如近來十分熱門之高密度分波多工器濾波器，即為其應用之一。而由電磁波與彈性波之類比性，可推論由彈性材料組成之週期性結構，在適當調整其材料常數及排列方式後，通過之聲波亦有頻溝現象存在，則將此類結構稱為聲子晶體。聲子晶體的頻溝現象，可應用於微體波濾波器或表面聲波濾波器，阻止特定角度與頻率入射的聲子傳遞，藉以達

成濾波之效果，此為研究聲子晶體的主要動機。並已有許多文獻討論其應用於聲波濾波器、聲波放大器、聲波通道等許多應用的可能性。

本年度計畫為結合前兩年發展之層狀寬頻表面聲波濾波器，將其應用於量測微米級矽基二維聲子晶體之表面波全頻溝之頻率範圍。計畫成果包括發展聲子晶體結構之波傳理論分析技術，及計算全頻溝位置和設計包含此頻溝大小之層狀寬頻表面聲波濾波器。同時，利用微機電製程實際製作微米級之聲子晶體結構與層狀寬頻表面聲波濾波器，最後進行微米級聲子晶體全頻溝的量測。

三、研究方法與成果

(一) 層狀表面聲波濾波器之設計分析、製作與量測

(1) 表面聲波於層狀基材之頻散分析

以聲波耦合模態理論分析層狀表面聲波元件時，需先利用波傳矩陣法分析層狀表面聲波元件基材之頻散行為[1]，求得表面波相位速度、機電耦合係數及表面質點位移向量隨頻率之變化關係後，再代入耦合模型理論計算聲波耦合模態參數。其中機電耦合係數代表壓電材料的電性能量與力學能量之間的轉換比例關係，直接影響表面聲波元件的插入損失值與3dB頻寬大小，故機電耦合係數為考量表面聲波元件基材之重要因素。求得表面聲波相位速度、機電耦合係數，可進一步求出表面質點位移隨頻率之變化關係。將此三個頻散關係的參數代入耦合模型理論，使此模型理論適用於層狀表面聲波濾波器之分析。圖一為氧化鋅/矽層狀結構的機電耦合係數隨 fh_{ZnO} 之變化圖，圖中顯示第零模態之機電耦合係數，最大值接近1%，而第一模態其機電耦合係數之最大值則接近5%。

(2) 聲波耦合模態頻散參數之計算

聲波耦合模型理論由一維波動方程式開

始，將聲波在傳遞過程中，金屬電極擾動所造成的波傳特性改變逐項加入方程式中，最後得到耦合模態方程式[2,3]。其中共引入六個聲波耦合模態參數，包括速度偏移量、反射係數、電性轉換係數及交指叉轉換器之等效電阻與等效電容值以及波傳損失。

(3) 層狀寬頻表面聲波濾波器之頻率響應模擬

當基底材料為半無限域壓電材料時，除了衰減係數外，耦合模型內之各項參數隨頻率皆無變化。但由於基底材料改變為層狀結構後，表面波波速、機電耦合係數等參數皆發生頻散現象，使得耦合模型內之參數也隨著頻率變化，因此必須將耦合模型內之相關參數引入頻散關係後，才能使用耦合模型適用於分析層狀寬頻表面聲波濾波器。結合層狀介質波傳理論與耦合模型理論，可模擬出層狀寬頻表面聲波濾波器的頻率響應。考慮一如圖二所示之氧化鋅/矽層狀結構之層狀寬頻表面聲波濾波器，氧化鋅厚度 1.2 μm ，金屬厚度 150nm，最小電極線寬 4.25 μm ，最大電極線寬 5.4 μm ，模擬出通帶頻率為 200 MHz 至 250MHz，其理論模擬之頻率響應如圖三所示。

(4) 壓電薄膜製程之建立

以射頻濺鍍機所沈積之氧化鋅壓電薄膜，具有高度的 c 軸方向性、平滑表面、高密度、與在高沈積速度下依然具有好的晶粒結構之優點。但氧化鋅薄膜品質完全依賴於射頻濺鍍機之參數設定，如腔體壓力、腔體溫度、氣體流量(氬氣及氧氣)及射頻功率。為了更提升氧化鋅薄膜之壓電性，將沈積完畢之薄膜可再進一步作熱處理，溫度為 500 $^{\circ}\text{C}$ 、時間為 3 小時。圖四所示，經 X 光繞射儀量測發現經熱處理過的氧化鋅，其 c 軸方向性比沒經過熱處理的還要強，且其角度也在理論之 34.42 $^{\circ}$ 附近，顯示此參數所沈積出的氧化鋅薄膜具有良好的壓電特性。

(5) 層狀寬頻表面濾波器之訊號量測

圖五為層狀寬頻表面濾波器之模擬與量測訊號比較。結果顯示量測結果在通帶有往下傾斜的趨勢，而模擬結果卻近似於水平，這可能是因為在模擬程式中將傳遞損失設定為與頻率無關所致。為了驗證這個推論，計畫中量測了通帶的傳遞損失變化。首先設計五組不同頻率的 normal IDT，並在同一頻率下，設定五組不同的延遲線長度，分別量測該頻率之插入損失，再將資料作線性近似，該線性近似的斜率則為這一個頻率下之傳遞損失，結果顯示傳遞損失約為 0.155 dB/mm，將此值代入耦合模態理論，模擬結果如圖六所示。由圖可知，在考慮傳遞損失後之模擬結果，無論在頻帶範圍或是傾斜角度上與實驗結果都具有很好的相似度。

(二) 層狀表面聲波元件應用於微型聲子晶體表面波全頻溝之驗證

(1) 聲子晶體全頻溝之計算分析

本計畫利用平面波展開法計算及分析二維聲子晶體之頻散曲線[4,5]，而基材方面為了與 CMOS 製程作整合將選用矽晶圓，填充物則為空氣。以下簡介平面波展開法的原理。首先由波動方程式開始：

$$\rho(\mathbf{r}') \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[c_{ijmn}(\mathbf{r}') \frac{\partial u_m}{\partial x_n} \right] \quad (1)$$

其中 $\mathbf{r} = (\mathbf{r}', x_3) = (x_1, x_2, x_3)$ 為位置向量， $u_m(\mathbf{r}, t)$ 為位移向量， $\rho(\mathbf{r})$ 以及 $c_{ijmn}(\mathbf{r})$ 則分別為與位置相關之質量密度與彈性係數張量。接著利用倒晶格向量 \mathbf{G} 針對密度與彈性係數張量傅立葉級數展開

$$\rho(\mathbf{r}') = \sum_{\mathbf{G}} e^{i\mathbf{G}\cdot\mathbf{r}'} \rho_{\mathbf{G}} \quad (2)$$

$$c_{ijmn}(\mathbf{r}') = \sum_{\mathbf{G}} e^{i\mathbf{G}\cdot\mathbf{r}'} c_{\mathbf{G}}^{ijmn} \quad (3)$$

其中 $\rho_{\mathbf{G}}$ 與 $c_{\mathbf{G}}^{ijmn}$ 則為相對應之傅立葉係數，可利用以下關係式求得

$$\rho_{\mathbf{G}} = A_c^{-1} \int_{A_c} \rho(\mathbf{r}') e^{-i\mathbf{G}\cdot\mathbf{r}'} d^2r' \quad (4)$$

$$c_{\mathbf{G}}^{ijmn} = A_c^{-1} \int_{A_c} c_{ijmn}(\mathbf{r}') e^{-i\mathbf{G}\cdot\mathbf{r}'} d^2r' \quad (5)$$

其中 A_c 為二維週期性結構中一個單位晶胞所佔之面積。根據布拉克定理[6]，位移向量可以傅立葉級數展開成如下之形式

$$u_j(\mathbf{r}, t) = \sum_{\mathbf{G}} A_{\mathbf{G}}^j e^{ik_3 x_3} e^{i(\mathbf{k}+\mathbf{G})\cdot\mathbf{x}-i\omega t} \quad (6)$$

其中 $\mathbf{k} = (k_1, k_2)$ 為布拉格向量， k_3 為表面波沿深度方向之波數的特徵值， ω 為角頻率， $A_{\mathbf{G}}^j$ 為位移振幅之傅立葉係數。當在傅立葉級數中疊加 n 個倒晶格向量，並將 (2)、(3) 和 (4) 式代入 (1) 和 (4) 式可得到形式如下之廣義特徵值問題

$$(\mathbf{R}\mathbf{k}_3^2 + \mathbf{Q}\mathbf{k}_3 + \mathbf{P}) \cdot \mathbf{U} = 0 \quad (7)$$

其中 \mathbf{U} 為位移向量的傅利葉係數所構成之行向量，矩陣 \mathbf{R} ， \mathbf{P} ， \mathbf{Q} 為與波向量，倒晶格向量，角頻率和材料係數相關之 $3n$ 階方矩陣。針對某一特定的頻率和波向量，代入 (7) 式可解出 $6n$ 組特徵值和特徵向量，為滿足表面波沿深度衰減的特性，僅選擇其中 $3n$ 組合適的特徵值和特徵向量。最後，考慮如下表面曳力為零的邊界條件：

$$T_{13} = T_{23} = T_{33} = 0 \quad \text{at } x_3 = 0 \quad (8)$$

將 (5)、(6) 兩式和前述 $3n$ 組特徵值和特徵向量代入 (8) 式可將邊界條件表示成一線性方程組

$$\begin{pmatrix} H_{1,\mathbf{G}}^{(1)} & H_{1,\mathbf{G}}^{(2)} & \cdots & H_{1,\mathbf{G}}^{(3n)} \\ H_{2,\mathbf{G}}^{(1)} & H_{2,\mathbf{G}}^{(2)} & \cdots & H_{2,\mathbf{G}}^{(3n)} \\ H_{3,\mathbf{G}}^{(1)} & H_{3,\mathbf{G}}^{(2)} & \cdots & H_{3,\mathbf{G}}^{(3n)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_{3n} \end{pmatrix} = 0 \quad (9)$$

其中 X_l ， $l=1-3n$ ，為待定之未知係數。若代入 (9) 式時所選擇之頻率恰為該聲子晶體中表面波之特徵頻率時，則以下條件應滿足

$$\det \begin{pmatrix} H_{1,\mathbf{G}}^{(1)} & H_{1,\mathbf{G}}^{(2)} & \cdots & H_{1,\mathbf{G}}^{(3n)} \\ H_{2,\mathbf{G}}^{(1)} & H_{2,\mathbf{G}}^{(2)} & \cdots & H_{2,\mathbf{G}}^{(3n)} \\ H_{3,\mathbf{G}}^{(1)} & H_{3,\mathbf{G}}^{(2)} & \cdots & H_{3,\mathbf{G}}^{(3n)} \end{pmatrix} = 0. \quad (10)$$

由於聲子晶體為週期性結構，故依其晶格種類可規範出在 \mathbf{k} 空間需計算的最小範圍，稱為第一布里淵區。沿第一布里淵區周圍計算即足夠定義出聲子晶體的聲波全頻溝。在本計畫中所設計之聲子晶體為正方晶格排列，基材為矽，填充物為空氣，如圖七所示。而其布里淵區如圖六所示，其倒晶格向量為 $\mathbf{G} = 2\pi(n_1/a, n_2/a)$ ，填充率 $F = \pi r_0^2/a^2$ ， a 和 r_0 分別為晶格常數和填充物半徑。其中第一布里淵區之最小不可重複區域如圖八中的紫色三角形所示，其三個頂點分別為 Γ ， X ， M 。之後頻散曲線將只會沿著此三角形邊界計算。

本計畫中所欲量測之全頻溝在計算結果顯示，當填充率等於 0.506 時出現於第一與第二頻帶之間。圖九顯示填充率為 0.506 時二維矽基聲子晶體的頻散曲線，藍色空心圓符號為微體波之特徵頻率，橘色實心圓為表面波模態之特徵頻率。可發現表面波全頻溝落在微體波全頻溝內，且其表面波全頻溝在 $\omega a/C_t = 3.75-4.05$ 的頻率範圍，其中 $C_t = 5841$ m/s 為矽基材之橫波波速。根據計算結果，實驗設計之晶格常數選擇為 $15\mu\text{m}$ ，所對應空氣柱直徑 $12\mu\text{m}$ ，則理論計算之表面波全頻溝將是在 232 MHz 至 251 MHz 之間。設計之波傳角度共有七個，以 Γ - X 方向為起算分別為 0° 、 18.4° 、 26.5° 、 45° 、 63.4° 、 71.5° 及 90° ，但實際上在布里淵區裡因對稱性的關係相當於只有四個不同的角度，其中 0° 與 90° 、 18.4° 與 71.6° 、 26.5° 與 63.5° 各別代表著二維矽基聲子晶體中四組等效的波傳方向。

(2) 層狀寬頻表面聲波交指叉換能器之設計與製作

應用於量測微型二維矽基聲子晶體中的表面聲波全頻溝所設計之層狀寬頻表面聲波濾波器之頻段為 215-255MHz。此層狀寬頻表面聲波濾波器採用 ZnO/Si 層狀結構，濺鍍之氧化鋅薄膜為 $1.2\mu\text{m}$ ，中心頻率設計在 235MHz，頻寬則為 17%。為符合上述需求，利用已建立之耦合模型，設計斜交指叉電極之最大線寬為 $21.6\mu\text{m}$ ，最小線寬 $17\mu\text{m}$ ，交叉長度 $3000\mu\text{m}$ ，輸入於輸出端電極對數分別為 40 對與 32 對，傳輸距離為 $1080\mu\text{m}$ ，鋁電極厚度則為 160nm 。設計完成後，採用微機電製程實際製作層狀寬頻表面聲波濾波器。首先，在乾淨的矽晶圓上濺鍍氧化鋅薄膜，利用丙酮及甲醇清洗並烘乾。接著進行曝光、顯影、鍍鋁等動作，並蝕刻出斜交指叉電極後，再泡入丙酮進行清洗，即完成層狀寬頻表面聲波濾波器之製作。

(3) 微米級聲子晶體之微機電製程

製程方面，首先於直徑為四吋厚度為 500 微米的矽晶圓上旋佈 AZ4620 厚光阻，由於必須在矽晶圓上進行大深寬比的乾蝕刻，所以需要較厚的光阻作為阻擋層。接著進行曝光、顯影、攝氏 90 度硬烤約 30 到 40 分鐘等步驟，在矽晶圓上以光阻定義出蝕刻圖形後，放入電感耦合電漿反應離子蝕刻機進行乾蝕刻。圖十顯示掃描電子顯微鏡 (SEM) 下蝕刻完成之二維矽基聲子晶體之上視圖，圖十一則以矽晶圓切面顯示蝕刻之深度，其約為 $120\mu\text{m}$ 。

計畫中利用寬頻表面聲波濾波器作聲子晶體之掃頻量測，因此將上述二維矽基聲子晶體的製程流程在完成層狀寬頻表面聲波濾波器製程之後進行，最後完成之試品如圖十二所示，左右兩邊皆為層狀寬頻表面聲波斜交指叉電極，中間為所定義之微型二維矽基聲子晶體。

(4) 表面波全頻溝量測

圖十三為量測架構示意圖。首先利用網路

分析儀，型號為 Agilent 8714ES，及高頻探針量測層狀寬頻表面聲波濾波器之頻率響應，利用 GPIB 介面將資料傳到電腦內並經由 LabView 軟體作 Time-gating 訊號處理以消除電磁饋送及三次回波訊號之影響。量測程序分別針對表面波通過不具聲子晶體結構的矽基材及具有週期性孔洞的二維矽基聲子晶體的頻率響應作量測，並相互比對以探討聲子晶體對表面波傳播之影響。量測結果如圖十四至圖十七所示，其通帶頻率範圍比設計值還低，約為 190MHz 至 240MHz，乃因此片量測元件所設計之寬頻表面聲波濾波器因為壓電薄膜沈積厚度比預想中還厚。圖十四顯示 Γ -X 方向上有無聲子晶體之頻率響應結果，其中粉紅色方塊為模擬結果出之頻溝範圍，發現因為頻率響應比預想較低的關係，僅僅量測到此頻溝下限，其約為 230MHz，與模擬結果相當符合；且結果也發現當聲子晶體排數越多時，其穿射率將會越低，也就是原可傳遞之表面波會因為波傳損失的關係而衰減。圖十五與圖十六分別顯示 Γ -X 方向夾 18.4° 和 26.5° 之方向上有無聲子晶體之頻率響應結果，可發現於此兩方向上在此頻率下都無表面波之模態存在。圖十七顯示表面波沿 Γ -M 方向傳播有無聲子晶體之頻率響應，其中粉紅色方塊同樣為模擬預測中之頻溝範圍，結果也依然發現只能量測到頻溝下限，其值約為 230MHz，同樣的與模擬結果相當符合。

四、計畫成果自評

本計畫共分三年執行，第一年發展寬頻表面聲波濾波器之理論分析技術。第二年發展層狀寬頻表面聲波濾波器之分析理論，並利用微機電製程實際製作寬頻表面聲波濾波器，最後進行理論分析所需之經驗參數與元件頻率響應的量測。第三年將所發展之寬頻層狀表面聲波元件應用於微米級二維聲子晶體表面波頻溝之研究。研究工作均依訂定的進度順利完成，成果具學術與應用價值，相關研究發表於知名期刊與研討會，以及申請專利[7-11]。計畫成果除可用來設計層狀寬頻表面聲波濾波器外，

亦可應用於驗證與探討微米級聲子晶體的頻溝現象。

五、參考文獻

[1] Honein, B., Braga, A. M. B., Barbone, P. and Herrmann, G., "Wave Propagation in Piezoelectric Layered Media with Some Applications," *J. Intelligent Material Systems and Structures*, 2(4), pp.542-557, 1991.

[2] B. P. Abbott, "A Coupling-of-Modes Model for SAW Transducers With Arbitrary Reflectivity Weighting," Ph. D. dissertation, the Department of Electrical Engineering at the University of Central Florida Orlando, Florida, 1989.

[3] Campbell, C. K., Ye, Y. and Sferrazza PaPa, J. J., "Wide-Band Linear Phase SAW Filter Design Using Slanted Transducer Fingers," *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics*, **29(6)**, pp. 224-228, 1982.

[4] M. S. Kushwaha, P. Halevi, L. Dobrzynski, and B. Djafari-Rouhani, "Acoustic Band Structure of Periodic Elastic Composites," *Phys. Rev. Lett.* 71(13), pp. 2022~2025, 1993.

[5] T.-T. Wu, Z.-G. Huang and S. Lin, "Surface and bulk acoustic waves in two-dimensional phononic crystal consisting of materials with general anisotropy," *Phys. Rev. B* 69(9), pp. 094301~094310, 2004.

[6] Neil W. Ashcroft and N. David Mermin, "Solid State Physics." New York: Holt, Rinehart and Winston, 1976.

[7] Chih-Ming Lin, Yung-Yu Chen, and Tsung-Tsong Wu, "A Novel Weighted Method for Layered SAW Filters Using Slanted Fingers Interdigital Transducers," *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39, pp. 466-470, 2006.

[8] Tsung-Tsong Wu, Yung-Yu Chen, Guo-Tsai Huang and Pei-Zen Chang, "Evaluation of Elastic Properties of Sub-Micrometer Thin Films Using Slanted Interdigital Transducers,"

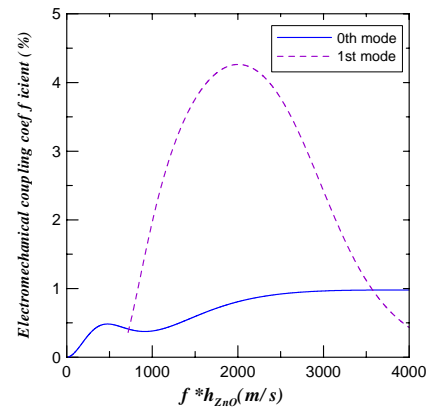
Journal of Applied Physics, 97, 073510, 2005.

[9] Yung-Yu Chen, Chih-Ming Lin and Tsung-Tsong Wu, "A Novel Weighted Method for Wide-Band SAW Filters Using Slanted Finger Interdigital Transducers on Layered Piezoelectric Substrates," 2005 IEEE International Ultrasonics Symposium, Rotterdam, Netherlands, 2005.

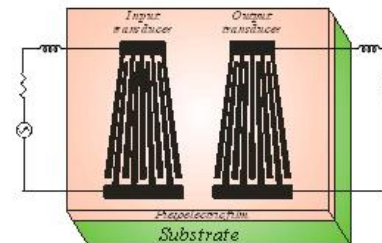
[10] 吳政忠、林志明、陳永裕 (2005)，層狀斜交指叉式表面聲波元件，中華民國專利公告號: 1231647。

[11] J.-H. Sun and T.-T. Wu, "Propagation of surface acoustic waves through sharply bent two-dimensional phononic crystal waveguides using a finite difference time domain method," *Phys. Rev. B* 74, 174305, 2006.

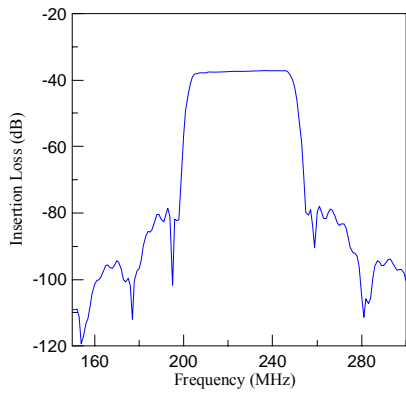
六、圖表



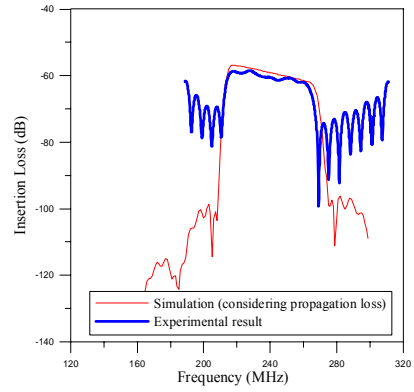
圖一 氧化鋅/矽之表面波機電耦合係數



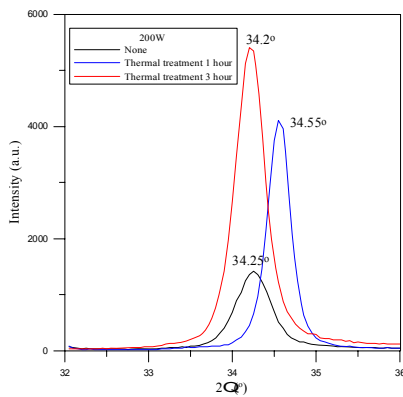
圖二 寬頻層狀表面聲波濾波器示意圖



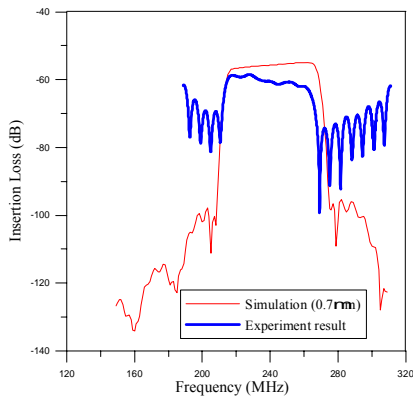
圖三 氧化鋅/矽層狀寬頻表面聲波濾波器之頻率響應模擬



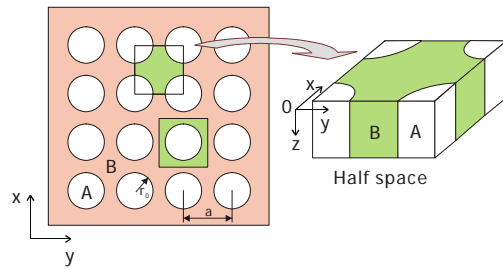
圖五 考慮傳遞損失下實驗與模擬之比較



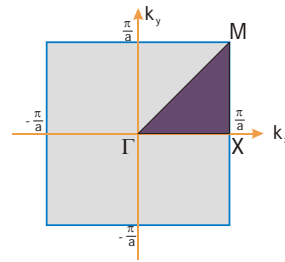
圖四 氧化鋅薄膜之 X 光繞射結果比較圖



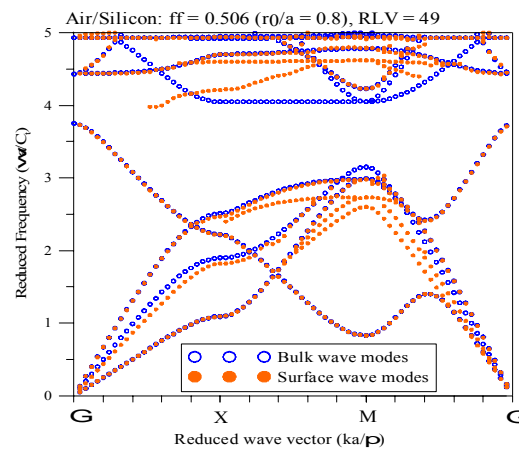
圖五 未考慮傳遞損失下實驗與模擬之頻率響應比較



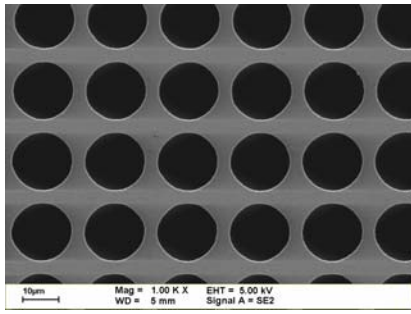
圖七 二維正方晶格排列聲子晶體



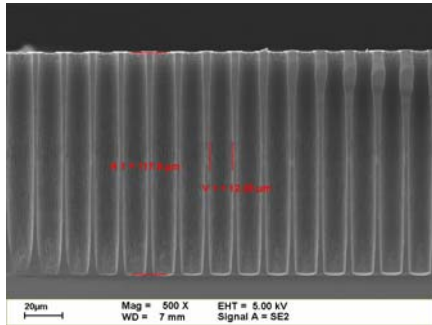
圖八 正方晶格之第一布里淵區



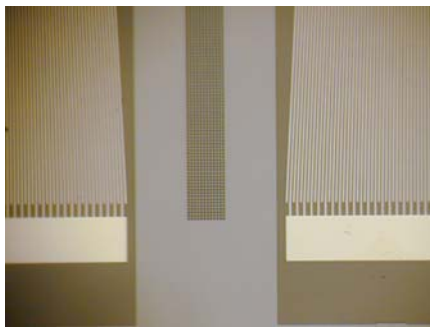
圖九 Air/Silicon 聲子晶體微體波與表面波之頻散曲線



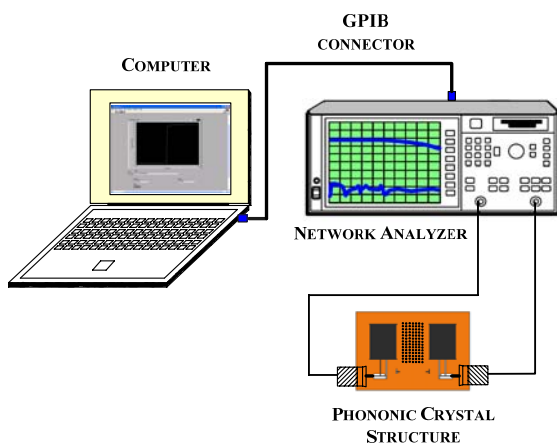
圖十 SEM 下之聲子晶體正面



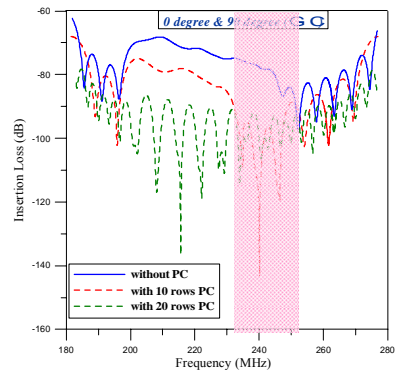
圖十一 SEM 下之聲子晶體側向切面



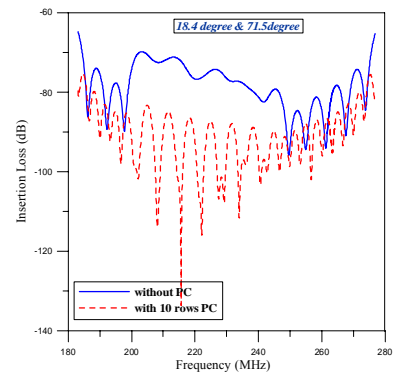
圖十二 實驗設計之製程結果圖



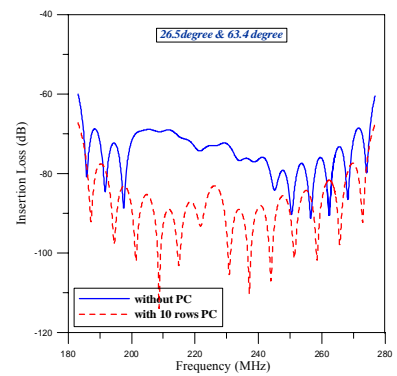
圖十三 量測架構示意圖



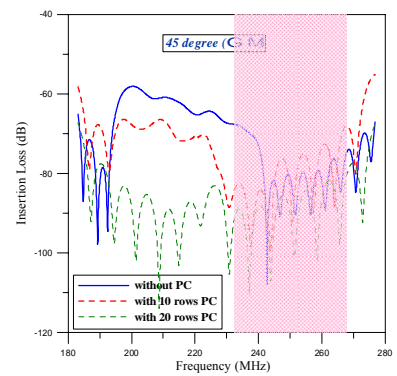
圖十四 Γ -X 方向頻溝量測結果



圖十五 18.4°之傳播方向頻溝量測



圖十六 26.5°之傳播方向頻溝量測



圖十七 Γ -M 方向頻溝量測結果

行政院國家科學委員會補助國內專家學人出席國際學術會議報告

95年11月5日

報告人姓名	吳政忠	服務機關名稱 及 職 稱	國立台灣大學 應用力學研究所 教授
會議期間及 地 點	2006/10/03 至 2006/10/06 加拿大溫哥華市	本 會 核 定 補 助 文 號	
會 議 名 稱	(中文) 2006 國際電子電機工程學會國際超聲波研討會 (英文) 2006 IEEE INTERNATIONAL ULTRASONICS SYMPOSIUM		
發 表 論 文 題 目	(中文) (英文) A Fast Algorithm for Calculating Band Structures in Two-dimensional Phononic-crystal Plates		
<p>報告內容應包括下列各項：</p> <p>一、參加會議經過</p> <p>二、與會心得</p> <p>三、考察參觀活動（無是向活動者省略）</p> <p>四、建議</p> <p>五、攜回資料名稱及內容</p> <p>六、其他</p>			

行政院國家科學委員會補助國內專家學人出席國際學術會議報告

報告內容

95年11月5日

報告人姓名	吳政忠	服務機關名稱 及 職 稱	國立台灣大學 應用力學研究所 教授
會議期間及 地 點	2006/10/03 至 2006/10/06 加拿大溫哥華市	本 會 核 定 補 助 文 號	
會 議 名 稱	(中文) 2006 國際電子電機工程學會國際超聲波研討會 (英文) 2006 IEEE INTERNATIONAL ULTRASONICS SYMPOSIUM		
發 表 論 文 題 目	(中文) (英文) A Fast Algorithm for Calculating Band Structures in Two-dimensional Phononic-crystal Plates		

一、參加會議經過：

2006 IEEE國際電子電機工程學會國際超聲波研討會於九十五年十月三日至六日在加拿大溫哥華舉行，各國超聲波之專家學者每年一度齊聚一地，交換相關技術與經驗，分享最新研究成果。IEEE國際超聲波研討會為研究表面聲波元件、醫學超聲波與非破壞檢測方面規模最大之研討會，今年論文篇超過七百篇，場面相當盛大。我國此屆出席此會之人員約有一、二十位，領域含括無線通訊、醫學工程與非破壞檢等之產學研究學者與專家。

一如往年，國際間此方面的知名學者與專家，如 C.W. Ruppel (EPCOS AG)， K. Nakamura (日本東北大學)， Khuri-Yacub, K. Hashimoto ...等均與會。大會學術論文以口頭報告與壁報展示之兩種方式同時進行，內容涵蓋表面聲波元件、醫學超聲波與超聲波應用各研究領域：無線通訊超聲波濾波器、震盪器，微機電超聲波元件、醫學超聲波掃描探頭與訊號處理，超聲波生物反應測試等，共有約七百餘篇論文。同時並有各國參展廠商之儀器於會場中連續展示四天，藉此了解世界各地超聲波之實際應用與發展情形。

二、與會心得：

今年的大會演講邀請 K. C. Balcomb, III 演講題目為「鯨魚與聲納」。演講中 Balcomb 教授介紹數十年來他對喙鯨的研究，及探討他在研究過程中發現艦艇用聲納在海中形成的壓力分佈對鯨魚造成的創傷，引起聲波研究學者的注意與共鳴。延續上屆，此次會議針對聲子晶體新開了兩個場次，顯示 UFFC 電機相關領域開始持續注意此一在物理領域之研究課題。此一場次共九篇文章，筆者與研究生發表兩篇，均針對表面波在聲子晶體傳播之研究。另一研究群則來自法國國家科學研究中心 (CNRS)，其研發主軸與我們團隊甚為相近，均朝高寬頻聲波濾波元件與應用。藉由此研討會，也與該研究群兩位主導人物 Vicent Laude 及 A. Khelif 博士交換心得，並規劃後續可能的合作。將射頻表面聲波元件與聲子晶體結合為台大應力所超聲波團隊首先提出之觀念與成果，很高興此次見到日本及法國團隊亦在進行類似的研究。

三、建議：

國際超聲波研討會主要內容除表面聲波元件外，亦包括非破壞檢測及醫學超聲波之主題等先進國相當注意之研發課題。此次我國產學研加起來只約二十位參加，顯示國內在此方面之研究人力雖有進展但仍相當不足，且議題分散，宜持續加強。

四、攜回資料名稱及內容

2006 IEEE國際電子電機工程學會國際超聲波研討會論文摘要一冊，研討會論文集光碟會後寄發。