

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫三：鑽石與低介電類鑽薄膜在薄膜型微波通訊元件之
應用研究(3/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2219-E-009-029-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學材料科學與工程學系

計畫主持人：陳家富

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 2 月 3 日

薄膜型微波通訊被動元件之設計與製作—子計畫三

鑽石與低介電類鑽薄膜在薄膜型微波通訊元件之應用研究

Study of the diamond and low dielectric DLC thin film in the application of microwave communication elements

計畫編號：NSC 91-2219-E-009-029

執行期限：89 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：陳家富

國立交通大學 材料科學與工程學系

計畫參與人員：林建良，李延煒，管正平，鮑宣凱，彭若慈，王滋銘，陳建銘

國立交通大學 材料科學與工程學系

一、中文摘要

在本研究中，我們利用熱電子輔助化學氣相沉積法，在矽晶片成長大面積的多晶鑽石膜。而氧化鋅由於其極佳的壓電特性，及其易於利用濺渡法沉積於各種基板上的特性，近年來廣泛地被選為成長壓電薄膜的材料。高均勻品質的鑽石膜結合上高優選方向的氧化鋅薄膜，及利用舉離法所研製出的交趾狀電極，製作出鑽石表面聲波濾波器。此外，本計畫還比較在相同的交趾狀電極下，氧化鋅/鑽石/矽，以及氧化鋅/矽這二種結構的表面聲波濾波器的特性差異。

關鍵詞：表面聲波濾波器；熱燈絲化學氣相沉積；鑽石；氧化鋅；交趾式電極

Abstract

In this work, we developed the large area of polycrystalline diamond film on silicon by Hot Filament CVD (HFCVD). Zinc Oxide, which has strong piezoelectric effect and sputtered on a variety of substrates, is a nature choice as the piezoelectric film layer in recent years. High uniformity of quality of diamond associated highly preferred orientation ZnO thin film and the interdigital transducers (IDTs) fabricated by lift-off process exhibit wonderful performance of diamond SAW filters. Moreover we compare the structures of ZnO/Diamond/Silicon and ZnO/Silicon on the characteristics of SAW filters with the same interdigital transducers (IDTs).

Keywords: SAW filters; HFCVD; Diamond; ZnO; IDTs

二、緣由與目的

鑽石因擁有極高的聲波傳播速率、彈性常數及熱傳導性，所以用來製作表面聲波 (SAW) 濾波器具有多項優點。目前常見的表面聲波濾波器大都以石英或鈮酸鋰 (LiNbO_3) 為材料 [1,2]，其使用頻率在 IDTs 為 $1\mu\text{m}$ 的線寬時低於 1 GHz，故為達到較高的頻率 (1~5 GHz)，就需要提高表面聲波傳播的速率，抑或製作更小的 IDTs 線寬。但太小的線寬將增加製程的難度，且更容易在使用時產生損壞。因此比較目前其他常用的材料，鑽石的高聲波傳播速率可使相同頻率的元件，允許有較寬的 IDTs，進而提高元件的功率耐久力、直流電崩潰電壓與可靠度 [3]；另一方面來說，則是在相同線寬的情況下，鑽石表面聲波濾波器能有較高的中心頻率。同時，鑽石極佳的彈性常數與熱傳導性，也對提高元件的功率耐久力、直流電崩潰電壓與可靠度有利。然而，鑽石晶片必須符合表一中的需求才能適用於表面聲波濾波器 [4]。

表一、鑽石表面聲波濾波器的晶片需求

項目	需求
晶片尺寸	2, 3 或 4 吋
晶片厚度	$300\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$
晶片彎曲	$< 40\mu\text{m}$
鑽石品質	多晶鑽石膜 (任意取向)
鑽石厚度	$> 10\mu\text{m}$ (依頻率決定)
缺陷密度	$< 100 \text{ cm}^{-1}$
表面粗度	$< 10 \text{ nm}$
電阻率	$> 10^6 \Omega\text{cm}$

由於鑽石的晶體結構屬於立方晶系，不具有壓電特性，所以用來製作表面聲波濾波

器時，其表面還需鍍上一層 ZnO [5]或 AlN [6]等壓電薄膜。但是，利用鑽石本身優越的特性，配合表面上濺鍍壓電薄膜，金屬電極的蒸鍍(或濺鍍)，與光雕相術等已經成熟的半導體製程，可以製作出中心頻率 1 GHz 以上，可靠耐用的表面聲波濾波器 [5]。

三、實驗流程

基本的表面聲波濾波器如圖 1 所示。為配合半導體製程，以矽晶片為主要的基材；矽晶片上的鑽石薄膜，主要作為傳遞表面聲波的媒介；氧化鋅則作為壓電薄膜，將上層鋁電極所引入的電訊號，轉變為機械訊號。

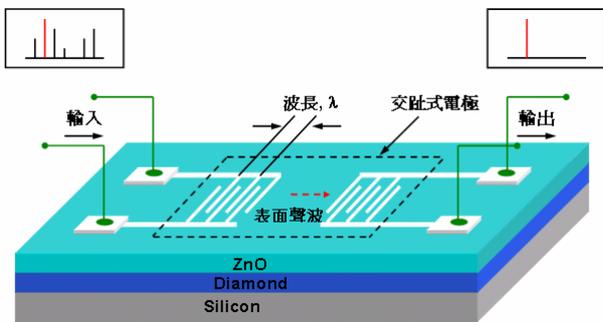


圖 1 基本的表面聲波濾波器示意圖

鑽石表面聲波濾波器的製作流程如圖 2 所示。為配合半導體製程，製作鑽石表面聲波濾波器時，首先以矽晶片為最下方的底材；再鍍上鑽石薄膜作為傳遞表面聲波的媒介；氧化鋅則作為壓電薄膜，將上層鋁電極所引入的電訊號，轉變為機械訊號。成長大面積的鑽石薄膜，鍍膜方式選擇用熱電子輔助化學氣相沉積；成長氧化鋅薄膜，以高週波濺鍍進行；製作交趾鋁電極，則包括微影、鍍鋁與舉離法等步驟。

一般鑽石薄膜鍍膜常使用微波電漿化學氣相沉積法 [7]，或者是熱電子輔助化學氣相沉積法 (另稱為熱燈絲法) [8]。在各種沉積鑽石膜的方法中，熱電子輔助 CVD 與其他 CVD 法比較，其加熱面積寬廣，且沒有火焰法的劇烈溫度梯度及電漿 CVD 法中電漿球形狀的限制，因此在膜厚與品質的均勻性方面，比較容易控制，最適合大面積成長，有利於降低生產成本。因此，本計畫鑽石鍍膜方式選擇用熱電子輔助化學氣相沉積法。

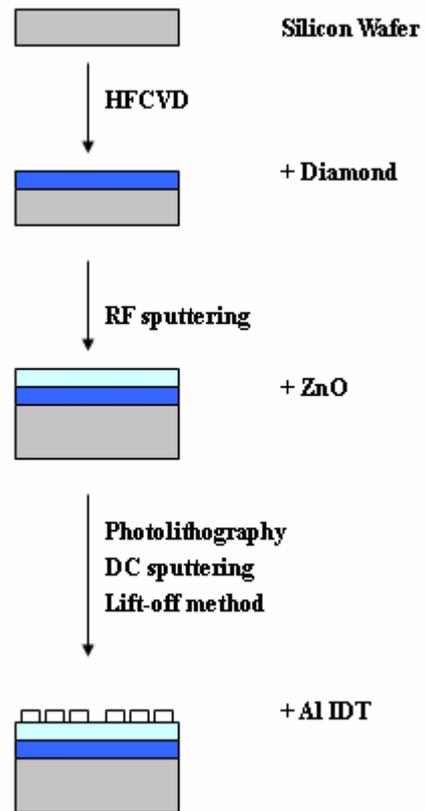


圖 2 鑽石表面聲波濾波器的製作流程

四、結果與討論

4-1 鑽石鍍膜

計畫於初步進行時，使用由廠商所提供之鍍膜機台進行鑽石基材製作。所使用的熱燈絲化學氣相沉積反應器，與成長之鑽石薄膜如圖 3 所示。反應器中可用以鍍膜的面積為 40 x 30 cm，可容納 8 片 4 吋晶片。沉積鑽石薄膜前，矽晶片須經前處理以提高成核密度。試片前處理是以鑽石粉末，在超音波震盪下撞擊試片表面，所進行的時間分別是 3、6、9、12 及 15 小時，來決定何者能得到較低的表面粗糙度(Surface roughness)。

除試片前處理的條件有改變外，鑽石薄膜的沉積條件固定如下：首先進行成核步驟 1.5 小時；然後進行鑽石成長，H₂ 流量為 3000 sccm；CH₄ 流量為 72 sccm，反應壓力為 20 torr，沉積時間為 40 小時。所生長的鑽石薄膜厚度約為 30μm。

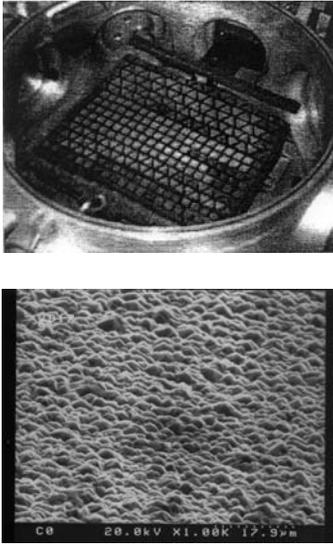


圖 3 熱燈絲化學氣相沉積反應器與成長之鑽石薄膜

鑽石薄膜的品質已用 Raman 光譜及 X-ray 繞射分析，其結果如圖 4 及圖 5 所示。由圖中可證明所鍍薄膜為高品質鑽石。

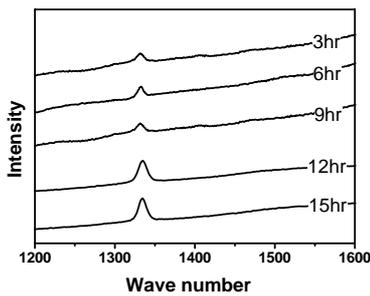


圖 4 鑽石薄膜的 Raman 光譜分析

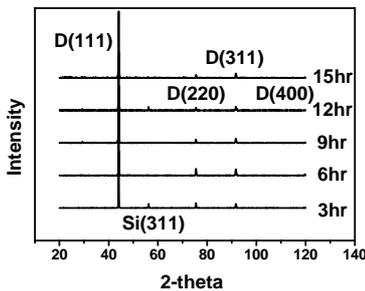


圖 5 鑽石薄膜的 X-ray 繞射分析

有關鑽石薄膜表面的粗糙度，則是鑽石薄膜能否適用於表面聲波濾波器的關鍵。分析方式是以 AFM 進行測量，未經研磨過的鑽石薄膜，其粗糙度依試片前處理的條件不

同，約在 50 ~ 200 nm。經研磨過的鑽石薄膜，其粗糙度可低於 1 nm。

由於近年來各國學術界及企業界紛紛投入巨額與研發人力，相競開發通訊用寬頻鑽石 SAW 濾波器元件，國內也有數家企業及學術研究單位，正著手這項產品的開發，大面積且高品質鑽石膜基材之製作，是發展 SAW 濾波器元件必要的關鍵技術之一。但目前歐美及日本能對外供應大面積鑽石膜基材的公司很少，對我國相關產品之研發及未來商品量化將受到限制。故為達到大面積及大量生產的目標，本實驗室將先前的研究成果：大面積的鑽石薄膜（4 ~ 6 吋）鍍膜設備專利 [8]，簽約技術移轉予廠商，合作生產鑽石薄膜的鍍膜設備技術。新製作之大型熱電子輔助化學氣相沉積系統包括以下特點：~12 吋有效最大處理面積；大尺寸 700φ×450 mm 水冷真空腔體；快速抽換燈絲設計；氣壓式燈絲微調張力機構；可伸降工件基座；30 kW DC 電源加熱供應器；燈絲加熱能力超過 2000°C；自動化質流量計流量控制；自動化真空抽氣；紅外線溫度監控；以及多點熱電偶溫度量測。圖一為此鑽石薄膜成長裝置的外觀圖示 [9]。



圖 6 大型熱電子輔助化學氣相沉積系統

大面積、高品質的鑽石基材製造是本計畫執行的重點，因此其中的研究子題及成果敘述如下：

4-1-1 不同形式之氣體流場對鑽石膜成長速率的影響

透過透氣孔之設計將流場定義成兩種，一種是自然擴散的流場；另一種是強制對流

的流場。兩者最大的不同在於，前者利用氣體自身的擴散能力填滿整個真空腔體，讓反應氣體經高溫鎢絲的裂解而自然沉積在基材上；後者利用置放座透氣孔設計，將大量反應氣體在熱裂解後強行控制反應氣氛通過基材表面，有效將鑽石沉積在基材上，以達到促進成長速率的效果。

圖 7 為在不同形式之氣體流場下沉積鑽石膜的 SEM 圖。上述 2 片試片除反應氣體流場不同外，其餘的沉積條件皆相同。製程條件分別為製程溫度 $\sim 2100^{\circ}\text{C}$ 、基材溫度 $\sim 727^{\circ}\text{C}$ 、鍍膜時間為 40 hr、氫氣與甲烷的總流量為 1700 sccm、甲烷對氫氣的濃度為 1.5 %、反應壓力為 30 Torr。

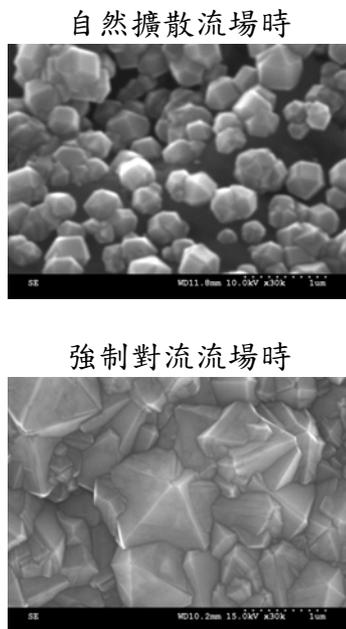


圖 7 鑽石膜在不同形式的氣體流場下沉積之表面組織圖

由圖 7 中看出，試片在自然擴散流場下沉積，呈現未成膜的晶粒分佈狀況，成長速率非常之慢；相對地，試片在強制對流流場下沉積，可呈現完全成膜狀況，成長速率快，但晶粒粗化現象嚴重，表示其厚度及表面粗度的均勻性非常差。利用 n&k 分析儀量測所得之膜厚結果。(此處不採 AFM 分析儀量測試片之表面粗度，是因為試片之厚度差異太大，以及表面粗化程度過於嚴重，而無法利用 AFM 量測得之，故此處僅討論膜厚的均勻性。) 由測量結果看出，其膜厚的差異性大於 $\pm 10\%$ 以上，均勻性為 26.20 %。顯示因

為粗磨過程導致基材表面過於粗糙，以致鑽石膜的厚度不均勻，且表面粗化程度過大，增加鑽石膜研磨加工的困難度，這些問題有待改善。因此為了改善晶粒粗化問題，後續實驗將採用兩段式成長方式的設計，來改善厚度均勻性及表面粗化。

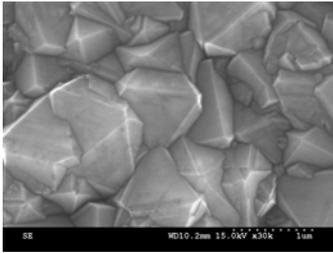
4-1-2 兩段式成長方式對鑽石膜表面粗度的影響

開發寬頻通訊元件鑽石膜基材，重要的關鍵在於所合成之大面積鑽石膜基材的厚度必須超過 $20\mu\text{m}$ 以上，因此尋找提升鑽石膜成長速率的方法是必要的。根據基材前處理的實驗，基材表面的粗度將有助於提升鑽石膜的成核密度，及成長速率。初期實驗結果發現鑽石膜的成長速率為 $0.507\mu\text{m/hr}$ ，厚度均勻性為 26.20 %，且表面粗度有過大的問題，以致不利於鑽石膜加工研磨。

因此，本實驗改以兩段式成長方式的設計，改善鑽石膜膜厚不均勻及表面粗度過大的問題。圖 8 為在不同形式的成長方式下沉積鑽石膜的表面組織圖。兩段式的成長方式中第一階段的製程條件為製程溫度 $\sim 2100^{\circ}\text{C}$ 、基材溫度 $\sim 727^{\circ}\text{C}$ 、鍍膜時間為 28 hr、氫氣與甲烷的總流量為 1700 sccm、甲烷對氫氣的濃度為 1.5 %、反應壓力為 30 Torr；第二階段的製程條件為製程溫度 $\sim 2100^{\circ}\text{C}$ 、基材溫度 $\sim 727^{\circ}\text{C}$ 、鍍膜時間為 12 hr、氫氣與甲烷的總流量為 1500 sccm、甲烷對氫氣的濃度為 1 %、反應壓力 30 為 Torr。而傳統一段式的成長方式的製程條件與兩段式的成長方式中的第一階段相同，唯其鍍膜時間為 40 小時。

在第一階段，為了提高成核密度及膜厚的考量，我們採用較高的甲烷濃度及反應氣體流量來提高鑽石的成核密度及成長速率。在第二階段，因鑽石膜品質及表面粗度的考量，我們採用較低的甲烷濃度及反應氣體流量，利用第一階段高甲烷濃度所形成之高密度微細鑽石晶粒為晶種，成長高品質、高密度的微小鑽石晶粒的平坦薄膜。由圖 8 中看出，利用兩段式的成長方式之鑽石膜表面晶粒細緻，晶粒大小平均，且表面凹凸的情況較為良好。

一段式的成長方式



兩段式的成長方式

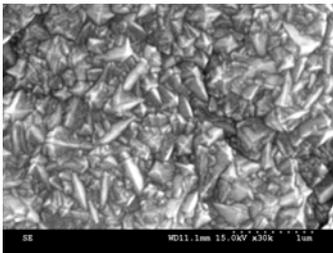


圖 8 鑽石膜在不同成長方式下沉積之表面組織圖

圖 9 為兩段式成長方式沉積鑽石膜的 AFM 圖。由圖中看出，鑽石膜的表面晶粒的確較為細化，其較平坦的區域表面粗度平均為 109.35 nm。此外，利用 n&k 分析儀量測所得之膜厚，計算其膜厚的差異性小於±5 % 以內，且膜厚的均勻性為 4.85 %，因此利用兩段式的成長方式，可有效降低鑽石膜之表面粗度。

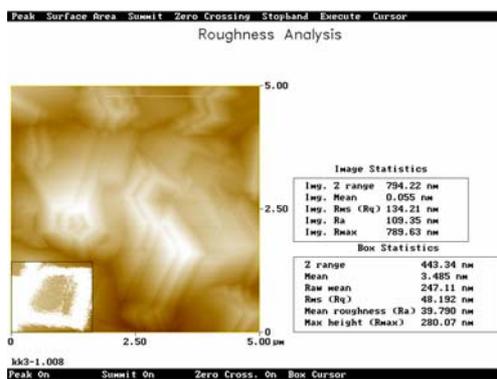


圖 9 兩段式成長方式沉積之 AFM 圖

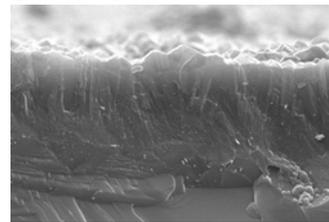
4-1-3 不同形式之基材置放座對鑽石膜基材受熱變形量的影響

以兩段式的成長方式，在最佳化的製程條件下成長的鑽石膜，不論在品質、結晶性及厚度、表面粗度均勻性的要求皆已達商品化的標準。但在後續鑽石膜研磨加工的過程

中，仍發現另一問題，即所成長之鑽石膜基材因高溫製程而有變形，因此學生嘗試改良基材置放座的設計，以期使基材在製程中能有好的熱傳效果及好的恆溫能力，降低基材的變形量。

圖 10 為在不同形式的基材置放座上沉積鑽石膜的 SEM 截面圖。兩者試片除所使用之置放座不同外，其餘的沉積條件皆相同。

置放座與接觸面為空心



置放座與接觸面為實心

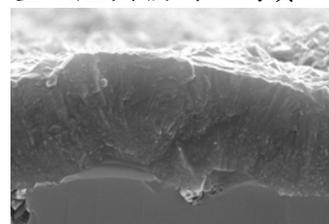


圖 10 鑽石膜在不同置放座沉積之截面圖

實驗利用兩段式的成長方式來沉積鑽石膜，最佳化的製程條件如下所述，第一階段：製程溫度~2100 °C、基材溫度~727 °C、鍍膜時間為 28 hr、氫氣與甲烷的總流量為 1700 sccm、甲烷對氫氣的濃度為 1.5 %、反應壓力為 30 Torr；第二階段：製程溫度~2100 °C、基材溫度~727 °C、鍍膜時間為 12 hr、氫氣與甲烷的總流量為 1500 sccm、甲烷對氫氣的濃度為 1 %、反應壓力為 30 Torr。

由圖 10 中看出，空心放置試片之橫截面有凸向上的情形，而實心放置試片之橫截面有稍微凹向上的情形。推論會發生這兩種不同情形的原因如下：實驗中因基材距高溫燈絲僅有 8 mm 的距離，所以基材受高溫會產生些許的變形，試片和置放座接觸面的部份為空心時，基材中心無接觸的部份，因熱量無法傳遞出去而溫度較外圍高，因此中心產生凸起的情形；而試片和置放座接觸面的部份為實心時，有好的熱傳效果及恆溫能力，不過因熱的傳導使得外圍較熱而凸起，產生凹向上的情形。

但是，相較於空心放置試片的變形量，

實心放置試片基材變形的情况明顯小很多，此一問題在鑽石膜加工研磨的過程中會突顯出來，因基材的變形量遠大於鑽石膜表面粗度的差異程度，所以須要更加重視。本研究利用基材置放座的設計來改善其受熱導致的變形量，有效解決此一問題。

此外，實驗結果發現鑽石膜基材外圍的厚度有相較中心的厚度來的厚，推論這是因為大面積鑽石膜沉積時會有所謂的邊緣效應 [10]。邊緣效應發生的原因如下：根據邊界層理論 [11] 推測，氣體在基材邊緣突然失去基材摩擦力之拖曳，因此在邊緣區域一定距離內，氣體流速將隨著接近邊緣而增加，形成一邊界層厚度逐漸變薄的區域，因為邊界層越薄反應物種擴散速度越快，成長速率越快，因此鑽石膜厚度會隨著與基材邊緣的距離而產生變化。

由圖 10 中亦可稍微看到此一現象，實心放置試片兩邊的厚度相對中心來的厚，吾人推論此亦對鑽石膜研磨加工有所貢獻，因為實驗產出的鑽石膜為凹向上的情形，因此在研磨時外圍將先接觸到研磨盤，若外圍的厚度較厚，則研磨所需磨耗之鑽石膜即可減低。這不論是在縮短研磨加工時間上，或者縮短製程時間上，都有很大的幫助，大大降低生產成本。

4-1-4 鑽石鍍膜結論

研究中探討如何提升鑽石膜成長速率及兼顧鑽石膜品質，厚度及表面粗度之均勻性，以及如何達到商業化量產標準的要求，以降低生產成本符合企業經濟利益。就本論文所述作以下結論：

1. 此量產型 HF-CVD 機台為目前全球最大型鑽石鍍膜設備，可同時在 8 片 4 吋矽基板上成長厚度均勻，品質良好的鑽石膜，極具商業價值。
2. 設備的製程穩定、再現性佳，所生成鑽石膜無論在品質、膜厚，以及表面粗度均勻性上，皆可控制在±10%以內的容忍範圍。
3. 適當的基材表面粗化處理有利於提高基材表面的缺陷密度及高應力區，有效促進鑽石膜的成核密度，進而提升成長速率。
4. 強制對流流場控制反應氣體有效流經過高溫鎢絲而達到充分裂解，通過基材表面而沉積在基材上，有效提升鑽石膜的成長

速率。

5. 隨著甲烷濃度的增加，鑽石膜的成長速率有增加的趨勢，但品質、膜厚，及表面粗度的均勻性有變差的現象，然而在甲烷濃度高過 2.5 % 以後，成長速率的增加有變緩的趨勢。
6. 採兩段式的成長方式可改善鑽石膜厚度均勻性及表面粗度過大的問題。原理是利用第一階段中較高的甲烷濃度條件，來形成高密度微細顆粒鑽石膜，以此微細鑽石顆粒做為晶種，以第二階段較低的甲烷濃度條件成長高品質的微細結晶薄膜，可得鑽石晶粒較為平整且微細的鑽石膜，厚度均勻性為 4.85 %，表面粗度為 109.35 nm。
7. 利用基材與置放座接觸面為實心平面的設計，在製程最佳化參數的條件下沉積鑽石膜，可得受熱變形呈現凹向上形狀的鑽石膜基材，且因邊緣效應的結果，基材外圍的厚度較中心來的厚，有利於鑽石基材之加工研磨。

4-2 鑽石膜研磨

需具有特殊研磨機具，本研究無法進行，洽商廠商製作。

4-3 氧化鋅濺鍍

具有壓電特性的氧化鋅薄膜，分別利用高週波磁控濺鍍法在矽晶片，以及鑽石薄膜/矽晶片上成長。靶材為 2 吋摻鋰氧化鋅靶，距離被鍍物為 4.3 cm，通入氣氛為 1:1 之 Ar/O₂，工作壓力為 0.01 torr，基材溫度為 380°C，鍍膜時間為 2 小時，高週波入射功率為 180 W (矽) 及 100 W (鑽石)。

為進一步瞭解濺鍍膜參數對氧化鋅品質的影響，除上述元件製作用鍍膜外，另外再進行單獨的研究。靶材為 3 吋高純度氧化鋅靶，距離被鍍物為 4 cm，通入氣氛為 1:1 之 Ar/O₂，工作壓力為 0.03 torr，基材溫度為 200°C，鍍膜時間為 2 小時，實驗參數為不同的高週波入射功率。ZnO 的品質測試方式為 X-ray 繞射分析。

圖 11 為氧化鋅成長於矽晶片的 X-ray 繞射分析。理想上，氧化鋅 (0002) 面的繞射峰位置為 34.4°。當高週波入射功率為 80 W 時，繞射峰的位置為 34.509°，半高寬為 0.18745°，可得到具有 (0002) 優選方向的氧

化鋅薄膜；同樣的，當高週波入射功率為 120W 時，繞射峰的位置為 34.502° ，半高寬為 0.43734° ，雖然仍可得到具有 (0002) 優選方向的氧化鋅薄膜，但表示其壓電性質較前者差。

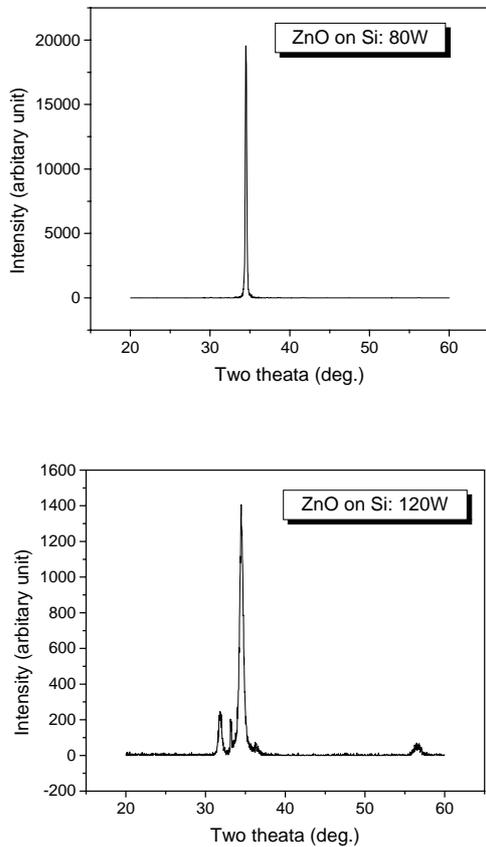


圖 11 氧化鋅成長於矽晶片的 X-ray 繞射分析

當氧化鋅成長於鑽石薄膜時，圖 12 顯示在高週波入射功率為 120 W 時，可得到具有 (002) 優選方向的氧化鋅薄膜，其繞射峰的位置為 35.016° ，半高寬為 0.1822° ，結果與理想的氧化鋅 (0002) 面繞射峰間有角度差異，顯示氧化鋅薄膜中有內應變。

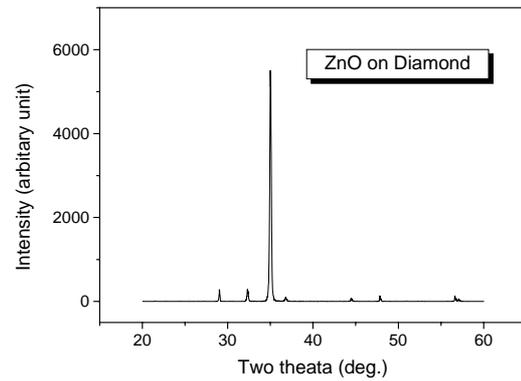


圖 12 氧化鋅成長於鑽石薄膜上的 X-ray 繞射分析

4-4 元件設計、製程與測試

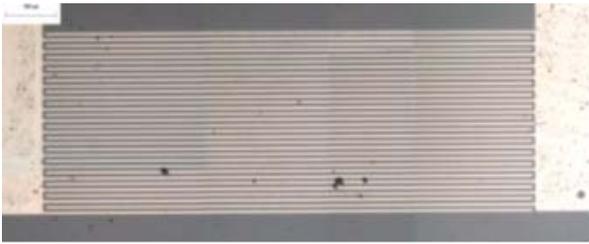
當完成氧化鋅濺鍍後，接著在氧化鋅薄膜上利用微影製程製作不同對數及線寬的交趾狀鋁電極，表二為其中一組設計的參數值，由於鑽石擁有較高的聲波傳遞速度，預計其頻率數可達 1.25 GHz。然而，本計畫執行時仍以 $5\mu\text{m}$ 線寬交趾狀鋁電極進行試做。

表二、1.25 GHz SAW Filter 設計

Line width, d	$2\mu\text{m}$
Figure pairs, N	$N1 = N2 = 50$
Distance of input and output IDTs, D	$D = 10\lambda = 80\mu\text{m}$
IDTs overlap, W	$W = 60\lambda = 480\mu\text{m}$
Bonding pad	$300 \times 300\mu\text{m}$
Die size	$2.2 \times 1.50 \text{ mm}$
Die spacing	$200\mu\text{m}$
Packing:	3.8 mmsq

實際製作元件時，先將具有壓電特性的氧化鋅薄膜，分別利用濺鍍方法在矽晶片，以及鑽石薄膜/矽晶片上成長。接著在氧化鋅薄膜上利用微影製程製作不同對數 (128, 64, 32 對) 的 $5\mu\text{m}$ 線寬交趾狀鋁電極，最後利用網路分析儀量測帶通濾波器 (Bandpass filter) 特性 [12]。圖 13 是分別在鑽石薄膜/矽晶片，以及矽晶片上的濾波器元件。由圖中，可以鑑別出 IDTs 的完整性。

IDT/ZnO/Si 結構



IDT/ZnO/Diamond/Si 結構



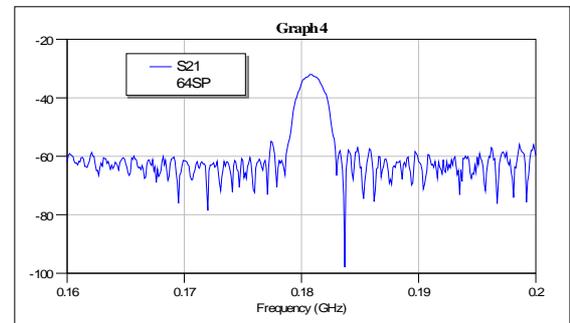
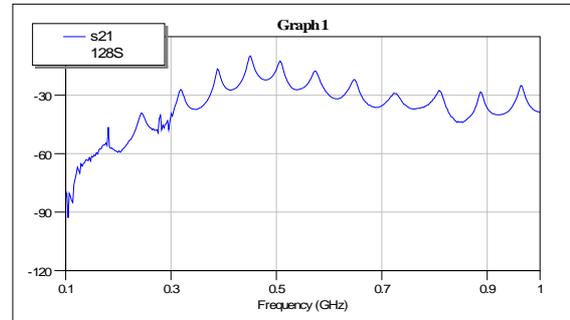
圖 13 光學顯微鏡下的表面聲波濾波器

圖 14 是分別在鑽石薄膜/矽晶片，以及矽晶片上的濾波器元件(128 對電極)之頻率響應分析。由頻率響應分析圖中，發現只有在矽晶片上的元件中出現明顯的帶通濾波器特性，其中心頻率為 181.4 Mb、span 為 40 Mb。在鑽石薄膜/矽晶片上製作的元件，則帶通濾波器的特性並不是很明顯，但是利用鑽石薄膜基底明顯地可增加整體波傳遞的速度。根據此部分的研究工作，得到以下結論：

1. 具有平滑表面的鑽石膜很重要，CVD 鑽石膜的表面粗度往往大於 100 nm，所以需要研磨至 10 nm，甚至 5 nm 以下，以免造成後續氧化鋅膜也一樣粗糙。
2. 多晶鑽石膜的優選面可能扮演重要的角色，文獻中所用的優選面是 (001)，但是我們的鑽石膜卻是 (111)，所以造成下列問題：首先，表面聲波在鑽石膜的傳遞變的困難，可能會發生波散射的問題，這是不利於表面聲波濾波器。再者，鑽石的表面聲波傳遞速度變慢，也因此鑽石表面聲波濾波器的中心頻率也變低。
3. 研磨後的鑽石膜厚度是重要的。因為我們不希望矽晶片的特性會影響到鑽石的特性。如此一來會降低鑽石膜的速度同時元件的中心頻率也會變慢。
4. 鑽石表面聲波濾波器的中心頻率，當電極為 5 μ m 寬時是 326 Mb Hz，但是頻率的尖峰並不明顯，推測原因是由於氧化鋅與

鑽石膜的附著力不佳，這也是鑽石表面聲波濾波器的一項問題。在進行不同氧化鋅鍍膜參數後，並未有效改善。此外，以 Si 當中間層時，Si 本身也無法與鑽石附著良好。

IDT/ZnO/Si 結構



IDT/ZnO/Diamond/Si 結構

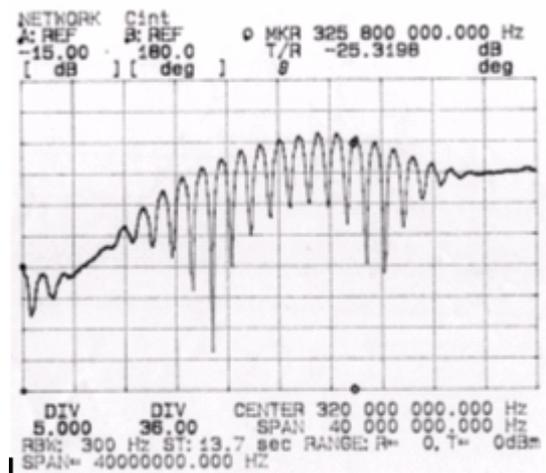
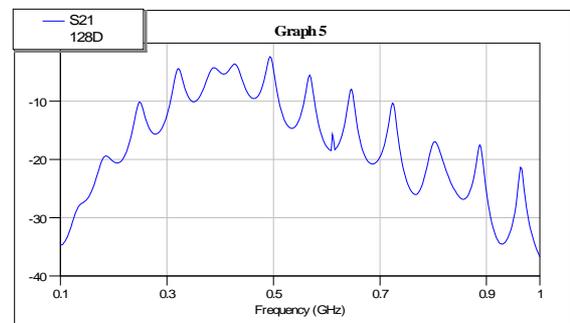


圖 14 不同結構濾波器的頻率響應

五、計劃成果自評

比較目前世界各國在鑽石表面聲波濾波器上研製及發展的成果，以住友電子工業的技術能力最強。住友在經過十多年的努力及經驗累積後，已經能製作出 5 GHz 的元件，同時也推出某些鑽石表面聲波濾波器 (2.488 GHz) 進入市場 [13]。在開發通訊用寬頻鑽石 SAW 濾波器元件時，大面積、高品質鑽石膜基材的製作，是發展鑽石 SAW 濾波器元件必要的關鍵技術之一。因此本計畫特別重視這一方面的研究，且已經有相當豐碩且有應用潛力的成果。

在表面聲波濾波器的設計方面，計畫協同人對氧化鋅薄膜表面聲波濾波器提出一套設計流程，並依此流程探討氧化鋅薄膜的常態化厚度及百分比頻寬不同時對濾波器的響應之影響。研究結果顯示，當氧化鋅薄膜的常態化厚度越大且 apodized IDT 和 uniform IDT 具有同的百分比頻寬時，可得到嵌入損失較小且旁帶抑制較大的濾波器響應特性。

在實際製造鑽石表面聲波濾波器時，利用未經拋光的鑽石薄膜進行元件製作，製作出的元件無法出現帶通濾波器的特性，肇因於鑽石膜的表面過於粗糙，無法順利傳遞表面聲波；同時造成後續製程中，交趾式電極的圖案不完整。平滑鑽石薄膜則由於與氧化鋅的附著力問題，帶通濾波器的特性並不明顯。然而，鑽石表面聲波濾波器的中心頻率為 326 Mb，比矽晶片上的元件 (181.4 Mb) 高出許多。

由於鑽石表面聲波濾波器在國內仍前瞻性嘗試，目前雖然在鑽石表面聲波濾波器的製作上，尚未出現良好的帶通濾波器的特性，但是相信在未來的通訊系統之中，隨著鑽石膜基材愈來愈容易取得，且價格日趨便宜的狀況下，以鑽石為基材的表面聲波元件將會廣大的應用在高頻元件上。

六、參考文獻

1. C. Campbell, Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Applications, Academic Press (1989).
2. D.P. Morgan, Surface Wave Devices for Signal Processing, Elsevier, Amsterdam (1985).

3. K. Higaki, H. Nakahata, H. Kitabayashi, S. Fujii, K. Tanabe, Y. Seki and S. Shikata, *High power durability of diamond surface acoustic wave filter*, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 44 (1997) 1395-1400.
4. S. Shikata, *CVD diamond for surface acoustic wave filters*, Low-Pressure Synthetic Diamond, Springer (1998) 261-280.
5. H. Nakahata, K. Higaki, A. Hachigo, S. Shinkata, N. Fujimori, Y. Takahashi, T. Kajihara and Y. Yamamoto, *High Frequency Surface Acoustic Wave Filter Using ZnO/Diamond/Si structure*, Jpn. J. Appl. Phys. 33 (1994) 324-328.
6. P.R. Chalker, T.B. Joyce, C. Johnston, J.A.A. Crossley, J. Huddleston, M.D. Whitfield and R.B. Jackman, *Fabrication of aluminium nitride/ diamond and gallium nitride/ diamond SAW devices*, Diam. Relat. Mater. 8 (1999) 309-313.
7. C. F. Chen, C. L. Lin, T. M. Hong, *Growth of diamond from CO₂ - (C₂H₂, CH₄) gas system-without supplying additional hydrogen gas*; Surf. Coat. Technol. 52. (1992) 205.
8. 陳家富, 洪昭明, 陳勝雄, 大面積鑽石膜合成裝置, 中華民國新型發明 099268, 84.3
9. 王滋銘, 量產型大面積熱電子輔助化學氣相鑽石膜合成裝置之開發, 國立交大材料科學與工程研究所, 碩士論文, 92.6。
10. 李昇頤, 熱燈絲化學氣相沉積法於矽基材成長大面積鑽石膜之均勻性研究, 國立成大材料科學與工程研究所碩士論文, 89.6。
11. R. W. Fox and A. T. Mcdouald, Introduction to Fluid Mechanics, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. (1985) pp.34.
12. 管正平, 鑽石表面聲波濾波器之製作與特性分析, 國立交大材料科學與工程研究所, 碩士論文, 90.6。
13. H. Nakahata, S. Fujii, K. Higaki, A. Hachigo, H. Kitabayashi, S. Shikata and N. Fujimori, *Diamond-based surface acoustic wave devices*, Semicond. Sci. Technol. 18 (2003) S96-S104.