

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

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 90-2213-E-009-030

執行期限：90年8月1日至91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，鮑宣凱，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

要想達到 GHz 範圍的高頻表面聲波元件，一般傳統表面聲波元件的材料，如石英、鈮酸鋰、鉭酸鋰是很難做到的。由於近幾年來化學氣相沉積鑽石成長技術，我們可以來研究表面聲波元件在鑽石結構上的製作，而且這個結構和系統也已經實際應用在表面聲波濾波器上。即使是多結晶的鑽石膜，由於具有高表面聲波傳遞速度；同時，因為能量都只集中在表面，鑽石膜厚只需要幾個微米就足夠，所以能夠在低成本下大量的生產。此外，鑽石的高熱傳導率及其優秀的高彈性常數也被發現能夠用在超高能量控制方面，所以鑽石除在高頻應用上的特性，比一般的傳統材料優秀外，甚至應用在低頻時，也比傳統材料勝出許多。

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，並挑戰研磨鑽石膜。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

The SAW devices with a high frequency, on the GHz range, and which are hard to realize via SAW devices using conventional materials such as quartz, lithium niobate (LiNbO_3), and lithium tantalate (LiTaO_3). Due to the recent progress in CVD-diamond grown technology, we are studied SAW devices fabricated by structures with polycrystalline diamond, and it has been found that systems involving these materials are practical for high-frequency SAW filters. Amongst the varieties of applications of CVD diamond, the Surface Acoustic Wave (SAW) device using its high SAW velocity, is supposed to be one of the practical applications, because polycrystalline film can be utilized. And the thickness of only several microns is sufficient because the energy concentration is on the surface, which enables low-cost manufacturing. Moreover, the high thermal conductivity, as well as the high elastic constant, of diamond are found to enable super-high power-handling capabilities, which surpass the characteristics of conventional materials even at low frequency.

In this work, we will develop the large area of polycrystalline diamond film on silicon by Hot Filament CVD (HFCVD) and polish the film. 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 (LiNbO₃) 為材料，其使用頻率在 IDTs 為 1 μm 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；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。

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 μm ~ 1000 μm
晶片彎曲	< 40 μm
鑽石品質	多晶鑽石膜 (任意取向)
鑽石厚度	> 10 μm (依頻率決定)
缺陷密度	< 100 cm ⁻¹
表面粗度	< 10 nm
電阻率	> 10 ⁶ Ωcm

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 或 AlN 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。

三、結果與討論

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。

鑽石鍍膜

在鑽石鍍膜方面，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，簽約技術移轉予廠商，準備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 φ 有效最大處理面積；大尺寸 600 φ × 300 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。



圖一、大型熱電子輔助化學氣相沉積系統

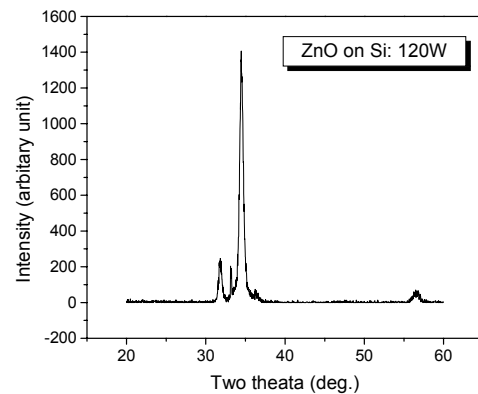
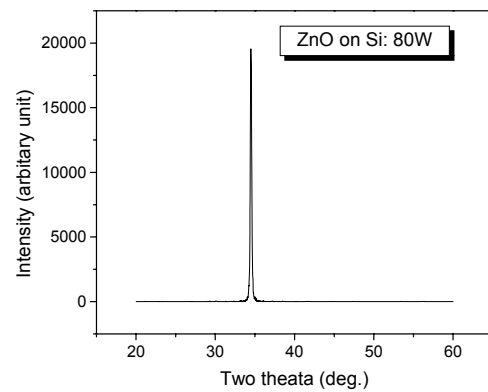
鑽石研磨

在鑽石研磨的努力方面，上年度我們努力尋求國內在研磨方面有專精的廠商協助，但結論是在國內所找到的研磨設備，並無法將鑽石薄膜拋光至 5 nm 以下。在花費許多時間仍無法拋光鑽石後，只好先委託日本廠商拋光。今年度為解決鏡面鑽石晶片來源不易、價格昂貴的困擾，故請求鋒碩科技公司的協助，共同合作開發鑽石膜及超硬質材料之研磨、拋光技術及設備，其技術特點包括：4" ϕ 以下鑽石膜及超硬質基材研磨；機械式研磨法；300 mm ϕ x45 面寬研磨盤；以及一次四片的研磨數量。

氧化鋅濺鍍

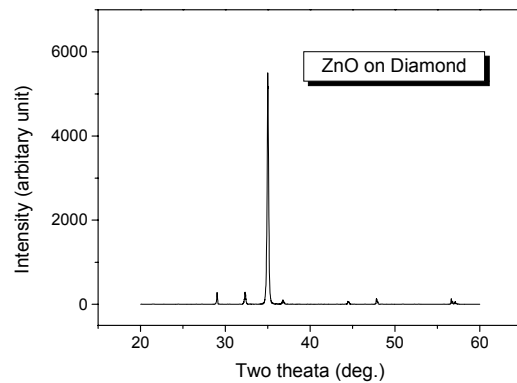
具有壓電特性的氧化鋅薄膜，分別利用高週波磁控濺鍍法在矽晶片，以及鑽石薄膜/矽晶片上成長。因為以往在拋光過的鑽石晶片上所製成的元件，無法擁有非常理想的帶通濾波器特性，推論其原因是出在鑽石(111)面與氧化鋅(0002)面晶格常數相異太大的影響，造成氧化鋅壓電薄膜性質不佳。有關氧化鋅壓電薄膜在光滑鑽石薄膜上的最佳鍍膜條件極為重要，因此今年度本計畫利用舊有設備改裝，特別製作壹台高週波磁控濺鍍設備來沉積氧化鋅薄膜。氧化鋅鍍膜時，靶材為 3 吋高純度氧化鋅靶，距離被鍍物為 4 cm，通入氣氛為 1:1 之 Ar/O₂，工作壓力為 0.03 torr，基材溫度為 200°C，鍍膜時間為 2 小時，實驗參數為不同的高週波入射功率。

圖二為氧化鋅成長於矽晶片的 X-ray 繞射分析。理想上，ZnO (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 ZnO 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 ZnO 薄膜，但表示其壓電性質較前者差。



圖二、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，圖三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 ZnO 薄膜，其繞射峰的位置為 35.016°，半高寬為 0.1822°，結果與理想的 ZnO (0002) 面繞射峰間有角度差異，顯示 ZnO 薄膜中有內應變。



圖三、氧化鋅成長於鑽石薄膜上的 X-ray 繞射分析

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。最後利用網路分析儀量測帶通濾波器 (Bandpass filter) 特性。

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

四、計畫進度及遭遇之困難

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 (Sumitomo Electric Industries) 的技術能力最強，已經製作出 5GHz 的元件，同時也積極的將元件所用的鑽石晶片，向其他鑽石表面聲波濾波器的製造廠商做推銷。在國內來說，則有多個研究單位、學校，以及中國砂輪公司及鑽砂公司對此題目展開進行。

利用未經拋光的鑽石薄膜進行元件製作。原本在計畫書中，我們即預期可能遭遇到鑽石薄膜表面粗糙度不佳的困難，然而試過多種改變製程條件的方法，也只能將表面粗糙度 (Ra) 由幾百 nm 的等級，降低至 20~30 nm (這也是目前文獻中，一般大面積鑽石薄膜最好的等級)，因此製作出的元件無法出現帶通濾波器的特性，其原因即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，粗糙度過高會造成後續製程中，交趾式電極的圖案不完整。

為了要製作優良高頻鑽石表面聲波元件及因應未來產品化技術，沉積出的鑽石薄膜勢必配合拋光步驟。上年度本計畫進

行時，國內並無可供鑽石薄膜拋光用的類似設備，因此實驗所用的鏡面級鑽石薄膜晶片，只能透過特殊管道向日本採購數片，而且每片 2 吋晶片就要價 2 萬多元。基於以上原因，本年度藉由鋒碩科技公司的協助，共同合作開發鑽石薄膜專用研磨機及其研膜技術。同時，本實驗室先前的國科會研究成果：大面積的鑽石薄膜 (4~6 吋) 鍍膜設備專利，已由國科會簽約技術移轉予鋒碩科技，鋒碩科技將充分提供表面聲波濾波器研製用的鑽石晶片。另外，本計畫利用實驗室原有部分設備，並添購部份零件，加以改裝成一高週波磁控濺鍍機，進行氧化鋅的濺鍍。

總體而言，本年度對於鑽石表面聲波濾波器的特定製作設備有著較大的成果，包括鑽石沉積用的大型熱電子輔助化學氣相沉積系統、鑽石拋光用的鑽石膜研磨設備，以及鍍氧化鋅用的磁控濺鍍機。然而，經過將近一年的努力，設備才即將完成，還未能有具體的鑽石晶片可以產出，評估未來可能遭遇之困難還是在研磨技術的挑戰。在製程方面，本年度著重於氧化鋅成長於光滑鑽石面的製程研究，目前結果已能在光滑鑽石面上沉積 (0002) 高優選方向的氧化鋅，然而在鍍膜條件上仍有改善的空間。由於鑽石表面聲波濾波器在國內仍屬初步嘗試，目前雖然在鑽石表面聲波濾波器的製作上，尚未出現帶通濾波器的特性，但是相信在未來的通訊系統之中，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。

誌謝

本計畫承蒙國科會計畫支持，以及大同大學施文欽老師實驗室，各計畫主持人張志揚教授、林鵬教授，與鋒碩科技公司等的協助。

