

# 第一章 緒 論

## 1. 1 研究動機

半導體積體電路近年來發展相當迅速，這些系統的規模已從 LSI 擴展成 VLSI，再到具有超過一百萬單元系統的 ULSI。一般預測 ULSI 系統在 21 世紀初前將成為電子機械裝置及工具系統。然而，當半導體元件小型化的物理極限趨近時，要發展這項技術是愈發困難。如今半導體業者於是被迫去做投資新的資金於新的設備及能突破新的技術瓶頸的新技術開發。在美國，美國半導體協會(SIA)已製作出整個國家半導體的里程圖(Roadmap) (表 1.1)，而 SEMATECH 則主導做主要投資及評估，其目標是加強微影技術遠景規劃(infrastructure)及發展下一世代的技術。

回顧微影發展趨勢，我們可知微影技術的改良正促成了製程整合的改進。光學微影製程和設備的改良仍持續進行，它未來還是半導體工業微影技術中的主流技術。

在了解目前的微影發展趨勢以後，目前只有加速微影術的研究發展，讓它儘快能成為量產的技術之外，並和現有光學微影系統做匹配，都是我們未來半導體業界急待面臨的挑戰。

## 1.2 研究方向

由於製程技術的進步，1997 年時已達到原版本在 1998 年  $0.25\ \mu\text{m}$  的製程技術，所以將原先積體密度在三年改為兩年的循環下快速提高，直到 2003 年以後才又改回原先三年將技術推進一步的循環，而 SEMATECH 公司則提出 DELPHI 里程圖來加強對於微影技術 (Lithography) 的遠景規劃及發展下一世代的技術【2】

由 2001 年 ITRS 在光學微影製程中所定義的規格來看，將朝向更小的特徵尺寸和更嚴謹的容忍度發展。因此，顯而易見的，整個半導體工業正在逼近光學微影製程的物理極限(表 1.2)。

相移式光罩技術對於製作超大型積體電路而言是十分重要的關鍵技術。因為在製作超大積體電路的發展過程中，當微影技術所使用的光罩線寬縮小到與曝光光源波長相當時，光學繞射效應將會導致經由光罩轉印的圖形模糊不清，難以定義之正確的電路佈局，影響整各積體電路的製程。而相移式光罩技術不需改變原有的製程與曝光設備，所以已成為國際間近來相當熱門的研究題目。【4~8】

相移式光罩的原理主要是利用光束通過具有相移層與未具有相移層之光束有 180 度的相位差，進而發生破壞性干涉以達到增進光阻劑的解析度與增加聚焦深度(Depth of Focus, DOF)的目的。

微影技術主要是由三個光學參數所影響【17~18】

其中解析度(R)與聚焦深度(DOF)是根據 Rayleigh 關係式而來的，其關係式如下：

而 $\lambda$ 是指曝光光源波長， $K_1$ 、 $K_2$ 是和光阻材料相關的係數，NA為透鏡之數值孔徑(Numerical Aperture)。R值在製程上來說是越小越好，DOF則是越大越好。在曝光光源波長日漸縮短的製程技術，配合較大的數值孔徑，這樣會使得成像的解析度越佳。但較大的數值孔徑會使得聚焦深度變小，因此要降低 $K_1$ 值，增加 $K_2$ 值，才能得到合適之解析度與聚焦深度。

同調性(Coherence,  $\sigma$ )之定義由圖 1.1【19】來說明，其為投影鏡上成像直徑 (Diameter of Source Image) 與投影鏡有效直徑 (Effective Diameter of Projector) 之比值；或發光對投影鏡數值孔徑之比值。有效同調性介於 0~1 間，同調性為 0 時表光一致性最完美、干涉性最強；同調性為 $\infty$ 時，光之一致性最不完善、干涉性最弱。微影製程可藉由控制同調性來得到良好的解析度及聚焦深度。

隨著晶圓廠的 IC 製造技術的細微化，現階段光罩廠對於 0.35 微米以下的製程，在材質上大多都改用稱為相位移轉光罩(PSM；Phase Shift Mask)的材料，主流製程明年將會進步到 0.25 微米。

西元 1965 年 White 和 Voltmer 將交指叉轉能器 ( interdigital

transducer ,IDT )鍍在壓電基板表面，利用壓電特性將電磁波的輸入訊號轉換成機械能，藉此激發表面波，經壓電基板傳遞至輸出端的交指又轉能器，再將機械能轉換成電磁波訊號，以過濾不必要的訊號，提昇收訊品質，如此才使得表面聲波元件成為不可或缺的電子元件。但由於表面聲波元件存在6dB以上的插入損失(insertion loss)，以致無法應用在無線通訊系統之射頻(radio frequency RF)濾波器，隨著新壓電材料及IDT設計技術的開發下，使得表面聲波濾波器(surface acoustic wave filter，SAW filter)的插入損失降至1~3dB，得以廣泛地應用在無線通訊系統之訊號處理領域。由於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，因此現在亦被廣泛應用在各種行動通訊系統及全球衛星定位系統上。

隨著科技的日新月異，高資料傳輸速度的通訊系統日益重要，因此如何提昇其關鍵零組件，表面聲波元件的性能，成為目前極為重要的研究課題。SAW 元件是目前短缺的無線通訊重要零組件，包括 SAW duplexer、SAW resonator，RF 與 IF SAW filter 等。對表面聲波元件來說提高工作頻率的方法就是縮小指差；電極的線寬或是應用更高波速的壓電材料，縮小線寬受限於製程能力，因此必須要往微影製程方面著手。

### 1. 3 研究目的

本實驗論文中，所進行研究的是以近場光微影術(Near-Field Photolithography)與聚-二甲基矽氧烷(Polydimethylsiloxane)，簡稱(PDMS)相位移式光罩( Phase Shifting Mask, PSM)製作表面聲波元件(Surface Acoustic Wave Devices)為主要的研究目的。使用近場光微影術與 Polydimethylsiloxane (PDMS)相位移式光罩和其他相位光罩技術做比較有以下優點:

(1)製程簡單而且便宜。

(2)可利用線寬為微米級之光罩來製作奈米級線寬之圖型。

(3) PDMS 光罩為一軟性材料，可與曝光表面做完美之接觸。

基於上述之優點，所以尋找適當的材料製作成藉以符合 PSM 之要求。進而運用在下一世代之光學微影上。

### 1. 4 論文架構簡介

本論文之架構分為五章。各章之內容簡述如下:

第一章，簡介研究動機、方向、目的。

第二章，首先介紹聚-二甲基矽氧烷(Polydimethylsiloxane)，簡稱(PDMS)的重要特性及相關的材料特性分析，另外介紹近場光學微影

術與表面聲波元件(Surface Acoustic Wave Devices)的相關原理及特性。

第三章，實驗系統部份，將介紹樣品配置，實驗系統架設及實驗流程。

第四章，將針對檢測出之實驗數據作相關的陳述，及實驗中所呈現結果來進行分析與探討。

第五章，結論。

第六章，未來展望。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 表面聲波簡介

表面聲波 (SAW: Surface Acoustic Wave) 元件因具有體積小、特性佳以及可靠度高等特性，已陸續廣泛的應用於各種通訊 (Communication)、電腦 (Computer) 以及消費性 (Consumer) 電子等3C產品上。而其中以應用於行動電話手機之SAW濾波器需求量最大，表面聲波元件(SAW)已在通訊產業中佔重要地位，使得行動電話手機所需關鍵零組件之一的SAW元件也跟著水漲船高，未來之發展也為各界所矚目。

### 2.2 表面聲波原理

表面聲波是一種沿著固體表面傳波的彈性波，由縱波 (Longitudinal wave)和剪波 (Shear wave)組合而成橢圓形軌跡。表面聲波元件的工作原理為輸入對指型換能器 IDT's 逆壓電效應將電訊號轉為聲波訊號，經由壓電基板傳遞，再由輸出對指型換能器 IDT's 將聲波訊號轉成電訊號輸出，此輸入及輸出對指型換能器藉著壓電基材之壓電特性把電波的輸入信號轉換成機械能，後再將機械能轉換成電的信號。SAW 元件主要之優點包括體積小、重量輕以及優良之傳輸波形，但早期的高插入損失 (Insertion Loss) 特性卻阻礙其廣泛的應用於各種電子工業之用途上。

### 2.2.1 壓電效應

壓電性的作用包括正壓電效應及逆壓電效應兩種，前者係以機械應力或應變作用而使物體產生電荷或電壓輸出，後者則以電能輸入物體使之產生機械能或應變的輸出。

基本型表面聲波濾波器如圖2.1所示，其中指狀電極為一換能器(電器訊號---表面聲波)，由於基板具有壓電(Piezoelectric)特性，可將輸入的射頻電氣信號透過壓電效應之作用，使其經由輸入端指狀電極轉換成聲波信號，經此表面聲波會沿著壓電基板(與電極垂直的方向)的表面傳播，再經過輸出端指狀電極之壓電效應將聲波訊號轉換成射頻電氣訊號而輸出。

一般來說，可由以下的式子來決定[23]

其中， $V$ 為表面聲波速率

$f_0$ 為表面聲波中心頻率

$\lambda$ 為表面聲波波長(一般設計上會讓  $4d=\lambda$ )

另外，對於濾波器而言，其3dB頻寬可謂是相當重要的參數，在此我們則用一簡單的設

計公式如下：

### 2.2.2 表面聲波濾波器的重要參數

表面聲波濾波器頻率響應相關的重要參數包括：中心頻率、插入損失(insertion loss)、頻寬(bandwidth)…等如圖 2.1，影響這些表現的設計參數包括：

壓電材料的種類很多，大致分類如下[24]:

以表面聲波元件為例，常用的壓電基板材料包括：石英(quartz)、鈮酸鋰(LiNbO<sub>3</sub>)、鈮酸鉭(LiTaO<sub>3</sub>)...等，各具有不同機電耦合係數  $K_e^2$  (Electromechanical coupling coefficient)，表面波波速  $v_o$  與溫度係數  $\alpha_T$  (Temperature coefficient of delay, TCD)。 $K_e^2$  代表材料電性能量

與機械能量之間轉換比例的平方，稱之機電耦合係數  $K_e^2$

其中  $v_o$  為壓電基板電性開啟(open circuit)的表面波波速

$v_s$  為壓電基板電性短路(short circuit)的表面波波速

機電耦合係數(electromechanical coupling coefficient  $K_e^2$ )

### 2.3 表面聲波元件應用範圍

在固體中之傳遞波主要可分為兩大類：內部之傳遞波稱為本體波 (bulk wave)，而在表面之傳遞波則稱為表面波 (surface wave)。表面聲波屬於 Rayleigh 波，主要侷限於壓電材料自由表面以下一個聲波

波長的範圍內傳遞。

- (1) 元件體積小，重量輕。
- (2) 元件操作頻率範圍廣泛，從 10MH 到 2-3GHz 之間。
- (3) 元件製程技術與半導體積體電路製程類似，可以大量生產且重現性高。
- (4) 可處理相當複雜的信號處理。
- (5) 元件使用時不需要做額外調整且功率消耗低。
- (6) 元件可操作於高諧波(harmonic)模態下。

若以領域區分，大致上可分成四大類：

- (1) 無線射頻模組發射/接收端，如遙控器、編/解碼器…等
- (2) 無線通訊，如行動電話，呼叫器…等
- (3) 中頻電路訊號處理，如本地振盪電路、光纖通訊、數據傳輸…等
- (4) 視訊傳播，如中頻濾波電路、有線電視轉換器、高解析度電視(HDTV)…等。

表2.1則為SAW元件的主要應用範圍，包括行動電話、呼叫器、無線電話、衛星通訊系統、電視機之轉頻器及調諧器等各種產品。

表面聲波元件類別	主要應用範疇
濾波器 (Filter)	(1).IF Filters：無線電話、行動電話手機、纜線數據機 (Cable Modem) 內不可或缺的關鍵性零組件 (2).RF Filters：無線電話、行動電話、呼叫器、與無線區域網路系統 (WLAN) 前端使用之重要元件，尤其未來 CDMA 系統的發展，這類產品的需求持續增加中 (3).其他 Filters：數據與語音產品用 (Data & Audio)
共振器 (Resonator)	汽車防盜器、遙控器、電視轉頻器 (CATV Tuner)、無線鍵盤、無線耳機、無線電通信或高速電腦時序用
延遲線 (Delay Line)	Non-dispersive; Dispersive; Multi-tap SAW Delay Lines
振盪器 (Oscillator)	Fixed frequency; VCXO, VCSO 供 Phase-Lock Application
表面聲波之次系統或模組	(1)SAW Based Multi-chip Modules Channelized filter banks; Switched filter/delay modules; Pulse expansion/compression 高速 clock 模組 (2).Digital / SAW Pulse Compression Systems, SAW Subsystem for Military Application
表面聲波感測或聲光元件	感測器 (Sensors)

表 2.1 表面聲波元件之主要應用範圍

SAW 濾波器依其運作原理之不同，一般可區分為兩大類：transversal SAW濾波器及 resonator SAW濾波器（如圖2.3所示）[29]。Transversal SAW濾波器之結構是以兩個對指型換能器在壓電材料上所組成（如圖2.4所示），其中對指型換能器之作用是當作輸入及輸出電極，而在基材的表面兩端則覆蓋聲波吸收劑（absorbers）以防止波之反射。Resonator SAW 濾波器由於共振器擺放位置之不同，通常可分為vertically coupled resonator models及horizontally coupled resonator models兩種（如圖2.4所示）。Horizontally coupled resonator models SAW 濾波器具有高且窄的頻寬，一般都使用於行動電話之IF頻段；而vertically coupled resonator models SAW 濾波器則因為寬頻寬之特性，大多使用於RF頻段之濾波器。

至於SAW元件的產品製作主要可分為二大部份，包括元件電路模擬設計與半導體元件製作程序（如圖5所示）。規格確定後，設計對指型換能器圖形，首先必須依基板之聲波特性和（如表2.2）[30]確定所應有之參數。

上述之對指型換能器之圖形轉換成光罩圖形板(Mask)後，接著進行元件製程。通常SAW元件使用光罩的數目幾乎都控制在三道以下，但半導體元件因對產品功能規格要求的日趨嚴緊與設計的需求，幾乎都需要十道光罩以上。

由於微影線寬與其精準度與曝光機台、製作成本有極大的關係，因此首先必需確認產品設計對線寬及其均勻性的要求，俾能選擇最適當的製作流程與設備組合。一般SAW元件之對指型換能器所需之電極線寬依其使用之頻率而定，使用頻率愈高則所需之線寬愈細，以1GHz之頻率為例，其所需之線寬約 $1\mu\text{m}$ 左右，因此IF SAW Filter、SAW Resonator及大部份的RF SAW Filter設計之線寬幾乎都在 $1\mu\text{m}$ 以上，所使用之前段製程通常以接觸式曝光機（Contact Aligner）及Lift-off或Wet Etching為主。然隨著雙頻或多頻手機的盛行，使得1.7-1.9GHz頻道所必需之RF SAW Filter成為關鍵之元件。因應此高頻規格之需求，SAW元件之線寬則必需小至 $0.5\mu\text{m}$ 左右，因此Contact Aligner已無法滿足其規格，取而代之的則為步進機（Stepper）搭配Lift-off或Dry Etching製程。

在行動通訊產品之應用而言，由於設計之不同及使用系統之差益，平均每一手機需使用之表面聲波元件如表2.3所示。

## 2.5 近場相位移微影技術 (near field phase shift lithography, NFPSL)

在半導體的光學微影製程中，光罩是扮演圖形轉移的角色。隨著元件特性之要求，線寬也漸漸的縮小，在微影製程上會因為光線在相近的線路間產生光學繞射效應使的圖案模糊而解析度下降。而利用相移式光罩技術來增加圖案的解析度之觀念在 1982 年，由 M.D.

Levenson 等人所發表出來的【31】【32】。在傳統光罩上的圖形中，在相鄰透光區放置透明但能使光束  $180^\circ$  反相之相移層，將可使曝光系統之解析能力或景深大增，曝光系統之成像乃為將經光罩圖形繞射之光線由透鏡組合“收集”至晶片上而成。

若使用一特殊物質（能透光，並使光線反相  $180^\circ$ ）置於透光區，怎則上述兩圖形之電場分佈圖反相（破壞性干涉），故其電場相加後，在兩者之間形成零電場點。也同時在兩者之間形成零電場（光）強度點，也因此兩者可被清楚的在晶圓光阻平面被解析開來。依此過程，解析能力被提昇了將近一倍；而且影像的對比也統同時被改善，致使景深加大一倍左右如圖 2.6 所示【33】。

傳統的鉻膜光罩其包括了透明與不透明區所組成，當光透過光罩時只能控制通過光罩的光振幅的大小而已，而不能控制振幅的正負號(相位)。相移式光罩則是兩者皆可以控制，並且有較小的鄰近效應(Proximity Effect)。

## 2.6 相移光罩的光學條件要求

相移光罩膜層之光學要求是要兼具能使相位轉移  $\pi$  以及能使光有衰減特性，基於上述相移式光罩膜層的條件如下：

此膜層之厚度必須符合  $\lambda/2$  的波程差 (相對於空氣介質而言),所以其厚度如以下關係式:

$n$  是指材料的折射係數(refractive index), $\lambda$  是指入射光波長(wavelength)如圖 2.7 所示【33】。

我們知道然而解析度再好的傳統光學微影技術依舊受限於繞射極限要突破繞射限制需要有兩個條件:

(1)光學衰減波。

(2)因衰減只存在近場，所以樣品與光源必須靠得夠近。在近場光學中，光的非破壞性及各種對比機制依然存在，因為它仍是以光學為基礎的技術，其解析度的限制，在於光孔的寬度和光孔與待測物的

距離，跳脫了傳統光學顯微技術的繞射限制。

近場光學是一種不受繞射和波長限制的光學領域，在遠小於所使用的工作波長的距離內來作量測或記錄，因為光的波動性質還未呈現出來，故近場光學記錄是不受繞射極限限制的一種新的光學記錄方法。圖 2.8 為近場光強度及遠場光強度之差異。【33】

## 2.7 PDMS 特性與應用

### 2.7.1 PDMS 基本性質

聚二甲基矽氧烷(polydimethylsiloxane))，是矽氧烷類聚合物的一種，俗稱矽酮樹脂(silicone)，聚矽氧烷的特性為具有良好的熱穩定性，不易氧化，分子鏈柔軟(PDPS 除外)，低玻璃轉移溫度(如 PDMS

為 $-120^{\circ}\text{C}$ )，有良好的氧氣滲透率及低表面能，可用來改善聚合物的表面親水性，耐磨耗性、透氣性、耐熱性、加工性及韌性等等，常見的矽酮產品如高溫油浴 silicone oil、隱形眼鏡、矽橡膠墊等等。

PDMS 在微米尺度元件(micro-devices)的製作上是很重要的材料，其材質堅韌，透明，符合光學檢測技術的需求。

## 2.7.2 PDMS 的表面結構變化

綜合說來，聚二甲基矽氧烷，是最常被用於製作微裝置的聚合物，由於其原本的厭水性可經由氧電漿處理而成為親水性材料，對於微流質元件而言是很大的優勢，也使得 PDMS 在眾聚合物中脫穎而出，成為製作微米元件的寵兒。

## 2.7.3 PDMS交聯反應

三維空間矽樹脂在聚合物的  $\text{SiVi}$  和  $\text{SiH}$  之間透過 hydrosilylation 反應引發矽樹脂中交聯反應，其可由下列反應式表示：

活性觸媒和抑制劑的性質和濃度，以及乙烯基和  $\text{SiH}$  的濃度 [36, 37]，皆會影響交聯反應速率。

PDMS 主劑加入白金活性觸媒和抑制劑均勻攪拌後，在高溫  $150^\circ\text{C}$  下，迅速完成進行 hydrosilylation cross linking reaction 如反應(2)

[36]，首先這個反應機制需要  $\text{SiH}$  的觸媒水解：

這時剛形成的  $(\text{SiOH})$  催化劑隨  $\text{SiH}$  而起反應，交聯形成  $\text{Si-O-Si}$  bonds：

白金觸媒的反應 (2) 和 (3) 比(1)來的更慢速。預期交聯反應 (4) 比  $\text{SiH}$  反應 (2 和 3) 來的更慢速。

## 第三章 實驗方法

### 3.1 近場相位移微影技術製程

本論文利用近場相位移微影技術製作高頻表面聲波元件，光罩委由台灣光罩製作，分別為 $5\mu\text{m}$  及 $10\mu\text{m}$ 雙指叉2種patterns，表4.1中為兩種表面聲波元件光罩設計如圖3.1~3.2所示。

接下來介紹其近場相位移微影術及PDMS光罩製作的表面聲波元件設備、系統、材料、製程說明。

介紹完系統、機台、材料後，進入最重要關鍵的製作流程，如圖 3.9, 3.10 為近場相位移微影術製作流程一、二，圖 3.11 近場相位移微影術曝光示意圖。

### 3.4 表面聲波元件 Mold 製作

#### 1、試片清洗

實驗用之 Qz, LT Wafer，為避免因表面吸附一些灰塵、油污等雜質的附著而影響元件的性質，所以需將試片確實的清洗乾淨，若是因雜質的存在所造成的缺陷除了會增加鍍膜製程中變化，嚴重

的話將會導致 PDMS-PSM 在使用上造成圖案轉移錯誤，因此試片的潔淨度對於鍍膜製程是相當重要的，試片乾淨與否可說是鍍膜製程之關鍵所在。

## 2、Plasma Clean

將其 Wafer 上之水份及 Particle 去除。

## 3、HMDS 塗佈

將 HMDS 塗佈在 Wafer 上，增加光阻在 Wafer 之附著力。

## 4、光阻塗佈

將光阻均勻塗佈在 Qz Wafer 上。

## 5、曝光

將設計之 5um 及 10um 表面聲波元件光罩送入 stepper，利用 I line stepper 機台進行曝光。

## 6、曝光後烘烤

將曝光後 wafer 進行烘烤減少駐波效應。

## 7、顯影

利用顯影劑進行圖型轉置。

## 8、Plasma Clean

將其 Wafer 上之光阻及 Particle 去除。

## 9、蒸鍍

利用蒸鍍機進行金屬電極之沉積 Ti 及 Al 膜沉積符合相位位移之深度。

#### 10、Lift off 舉離

使用 NMP 將不必要之光阻剝離。

11、將完成後之 Qz 表面聲波元件 Mold 使用表面輪廓儀進行量測(詳細鍵第四章)，是否有達到相位移深度。

綜上所述，經由上述幾道程序，即可完成表面聲波元件Mold之製作，詳細流程如圖3.12~3.14所示。

### 3.5 表面聲波元件 PDMS 相位移光罩製作

#### 3.5.1 樣品的備製

PDMS 聚合物在製作過程中，常針對不同的需求而加入某種比例的添加劑，在本實驗的樣品中，聚二甲基矽氧烷 (PDMS) 需加入交聯劑使樣品硬化。本樣品以 10：1 的比例調製矽氧烷，充分混合後並靜置 4 小時後觀察是否還殘留氣泡之後將其樣品均勻覆蓋在表面聲波元件 Mold 上，塗層結束的樣品，靜置於 150°C Hot-Plate 加熱 15 分鐘，待其完全硬化。再將 PDMS 從 Mold 上剝離即為 PDMS 相位移光罩如圖 3.15 及 3.16 所

示。

綜合以上所述，經由上述幾道程序，即可完成PDMS相位移光罩之製作，詳細流程如圖3.17及3.18所示。

### 3.6 高頻表面聲波元件製作

11、將完成後之LT wafer表面聲波元件使用網路分析儀。探針量測儀量測其頻率響應。

12、即完成近場相位移微影技術高頻表面聲波元件之製作(詳細Pattern圖形見第四章)。

綜合以上所述，經由上述幾道程序，即可完成高頻表面聲波元件之製作，詳細流程如圖3.19~3.21所示。

綜合以上所述，經由上述3.4~3.6三道程序，即可完成所有近場相位移微影技術製作高頻表面聲波之元件，詳細之流程供往後研究者參考瀏覽。

## 第四章 檢測與分析

### 4.1 量測結果檢測與分析

量測結果檢測與分析依照第三章近場相位移微影製作流程完成高頻表面聲波元件之製作見實驗檢測與分析流程(圖 4.1)，先使用 Spectrophotometer(圖 4.2)進行 PDMS 穿透率量測，確保 365nm 光源能順利通過 PDMS 主體(圖 4.3)，再以 365nm Stepper 製作出表面聲波元件 Mold，Mold 利用表面輪廓儀進行量測，是否有達到相位移深度如圖 4.4 與圖 4.5 所示，若深度幅合其厚度，即將其 Mold 利用 PDMS 進行翻膜製作完成 PDMS 相位移光罩，使用近場相位移微影術 PDMS 光罩製作的高頻表面聲波元件，從圖 4.10~4.13 中可見其 Mold 邊緣經 365nm Lamp 光源照射產生 180 相位反轉，導致其 intensity 為零，而形成約 200nm 左右之 Space，由此可證明其製作結果相當成功，運用近場相位移微影術 PDMS 光罩製作的高頻表面聲波元件，使用網路分析儀及探針量測儀進行訊號量測。

使用(Field emission SEM )場發射電子顯微鏡(圖4.6)、表面輪廓量測儀(圖4.4)及網路分析儀8753ET及探針量測儀(圖4.7)

來完成訊號量測工作。本次表面聲波元件製程使用4吋的LiTaO<sub>3</sub>晶圓，相對應於圖4.14~4.18為頻率響應量測結果。

從量測結果可看出，訊號已提升至2.4GHz左右，以5 $\mu$ m，及10 $\mu$ m線寬傳統製而言，其頻率響應只能達到200MHz及100MHz則運用近場相位移微影術PDMS光罩製作的表面聲波元件可迅速提升2.4GHz亦可從圖4.14及4.17看出，不同的harmonic Frequency，可依產品所需選擇不同頻段使用，我們更一步再著手下階段實驗縮小線寬設計達到更高頻之頻率響應。

## 第五章 結論

本論文如同上陳述研究趨勢其目的主要是運用近場相位移微影術 ( Near-Field Phase Shift Photolithography )NFPSL 與 Polydimethylsiloxane (PDMS)相位移式光罩( Phase Shifting Mask, PSM) 製作表面聲波元件(Surface Acoustic Wave Devices)；進而運用在下一世代之光學微影上。以下是幾點實驗所得結果心得：

- 1、 PDMS 相位移光罩呈如文獻當中所表現出，在光束通過具有相移層與未具有相移層之光束有 180 度的相位差，進而發生破壞性干涉以達到增進光阻劑的解析度與增加聚焦深度( Depth of Focus, DOF )的目的。故採用相移式光罩的技術可以改進光學繞射效應導致圖形模糊不清難以定義出正確的電路佈局的缺點。
- 2、 就前第四章所見之 Field emission SEM 微結構圖所示，可明顯看出相位移光罩曝光後相移層有 180 度的相位差之效果，並將線寬推進至 200nm，突破了傳統微影光學( I-Line 365nm)光源之限制，此近場相位移微影術 ( NFPSL) 可廣泛使用在次世代微影工程應用，以將半導體黃光微影製程更跨進一大步。
- 3、 表面聲波元件因黃光微影製程限制再加上成本之考量，顯少公司

會使用低於 I-Line 365nm 波長之 Stepper 製作其元件，因為微影機台相當昂貴將近數億元。就因如此，本論文應用近場相位移微影術 (NFPSL) 成功製作出高頻表面聲波元件，如同前章所量測出元件頻率，線寬  $5\mu\text{m}$  及  $10\mu\text{m}$  就可將其頻率提升到 2.4GHz，以正常設計理論是不可能達到如此高頻頻段，以下是簡略計算：

其中， $V$  為表面聲波速率 ( $LT = 4172\text{ m/s}$ )

$F$  為表面聲波中心頻率

$\lambda$  為表面聲波波長(一般設計上會讓  $4d = \lambda$ )

正常  $5\mu\text{m}$  及  $10\mu\text{m}$  表面聲波元件之工作頻率 200MHz 及 100MHz，由上所示頻率相差甚遠，此其結果為本論文之重大成果。

4、由於 PDMS 光罩本身缺陷的影響，檢查製作完成之元件可以發現，容易發生電極相互黏著或斷掉的情形，如果黏著發生在交指又電極的部分，更將使的整個元件短路而無法激振出表面波。此外，由於光源中心與邊緣強度之不同之問題，都將使的電極寬度不一，進而降低交指又電極激發與接收表面波之能力，影響到整個元件之表現。

5、本論文表面聲波元件 Mold 光罩設計為初版設計，進而可將線寬從  $5\mu\text{m}$  及  $10\mu\text{m}$  更推進至  $2.5\mu\text{m}$  或  $1\mu\text{m}$  甚至  $0.5\mu\text{m}$  來製作 PDMS 相位移光罩，再應用 NFPSL 技術，想必亦可將其表面聲波元件之

工頻率提升至 5G，甚至到 10GHz，這可將是在表面聲波業界來說是一場大革命。

- 6、本論文所應用之近場相位移微影製程技術，表面聲波濾波器之製作，且確定整個元件之設計流程，提供相關研究單位作為設計製作時之參考，可互相進行實驗室交流與研究。

一祥翻譯社 樣本  
Elegant Translation Service Sample  
請勿複製  
Do not copy

## 第六章 未來展望

在實驗過程當中，發現使用 PDMS 近場相位移光罩曝光數次後，PDMS 光罩上會殘留 Particle 及光阻，使得 PDMS 光罩不能長期使用，更直接影響了曝光後 Pattern 的 Profile 及 SAW 元件之電性，本人在研究過程當中研讀過有關如何克服此種 issue 之文獻，也針對此問題點做許多實驗，但並未改善狀況，未來將繼續深入探討，並發表讓學術及業界參考。

聚二甲基矽氧烷(PDMS)此高分子材料如同文獻回顧中所提到，學術及業界已廣泛在應用，也許多論文期刊、醫療科技做深入的推廣應用，本論文只應用了 PDMS 一小部分之功能，未來可將 PDMS 更廣更鑽研的分析此材料性質，例如 PDMS 之親、疏水性、表面改質、防沾黏性…等，想必更能從中找尋更佳之研究方向。

### 6.1. PDMS 之各種特性分析

#### 6.1.1 接觸角(Contact angle)的測量[34, 38]:

物質的表面位能決定物質的親水或疏水性而接觸角是針對樣品的表面位能狀態的量測方法，是將水滴於樣品表面，水滴與表面接觸的弦切角為接觸角，角度愈大，表面自由能愈低，樣品就愈傾向疏水性。

在本實驗過程中，亦有進行 PDMS 之各種 Pattern 的接觸角之量測實驗。由表 6.1 可清楚看出其 PDMS 上有進行翻印所得到的 Pattern 之接觸角大於其主體本身，以 SAW Pattern 的角度最大如圖 6.4，表面自由能愈低，樣品就愈傾向疏水性。若以此結果可印證出實驗遇到之瓶頸，使用其 PDMS 上有 SAW Pattern 之相位移光罩進行曝光時，常遇到光罩與 wafer 接合度不佳之問題，導致曝光不良之情形屢見。因此，若能進行 PDMS 之 SAW Pattern 相位移光罩電漿表面改質及可將其表面之自由能提高，使樣品愈傾向親水性，使光罩與 wafer 之接合度大為提昇，以克服曝光不良情形屢見的主要問題。

## 6.2 未來課題

對於多孔材質聚合物的 PDMS 表面，在元件更縮小化的趨勢中，是否產生空隙及沾黏 Particle 的影響，也值得觀察，本論文即是以近場光學微影技術來製作高頻表聲波元件，往後可針對來克服及利用三甲基氯矽烷(TMCS mono layer)來解決沾黏 Particle 問題。

半導體微影製程的繞射限制，是刻不容緩的時代趨勢，在必須兼顧成本與技術層面的一體二面前提之下，技術的研發佔了舉足輕重的角色，進而從回歸原始的物理科學角度去分析與尋求解決問題之道，在成本與競爭力下求得平衡點，這才是本論文最重要的目的。