

第一章 绪 論

1. 1 研究动机

半导体积体电路近年来发展相当迅速，这些系统的规模已从LSI扩展成VLSI，再到具有超过一百万单元系统的ULSI。一般预测ULSI系统在21世纪初前将成为电子机械装置及工具系统。然而，当半导体组件小型化的物理极限趋近时，要发展这项技术是愈发困难。如今半导体业者于是被迫去做投资新的资金于新的设备及能突破新的技术瓶颈的新技术开发。在美国，美国半导体协会(SIA)已制作出整个国家半导体的路线图(Roadmap) (表1.1)，而SEMATECH则主导做主要投资及评估，其目标是加强微影技术远景规划(infrastructure)及发展下一代的技术。

回顾微影发展趋势，我们可知微影技术的改良正促成了制程整合的改进。光学微影术制程和设备的改良仍持续进行，它未来还是半导体工业微影技术中的主流技术。

在了解目前的微影发展趋势以后，目前只有加速微影术的研究发展，让它尽快能成为量产的技术之外，并和现有光学微影系统做匹配，都是我们未来半导体业界急待面临的挑战。

1. 2 研究方向

由于制程技术的进步，1997年时已达到原版本在1998年 $0.25\ \mu\text{m}$ 的制程技术，所以将原先积体密度在三年改为两年的循环下快速提高，直到2003年以后才又改回原先三年将技术推进一世代循环，而SEMATECH公司则提出DELPHI路线图来加强对于微影技术(Lithography)的远景规划及发展下一代的技术【2】

由2001年ITRS在光学微影制程中所定义的规格来看，将朝向更小的特征尺寸和更严谨的容忍度发展。因此，显而易见的，整个半导体工业正在逼近光学微影制程的物理极限(表1.2)。

相移式光罩技术对于制作超大型积体电路而言是十分重要的关键技术。因为在制作超大积体电路的发展过程中，当微影技术所使用的光罩线宽缩小到与曝光光源波长相当时，光学绕射效应将会导致经由光罩转印的图形模糊不清，难以定义之正确的电路布局，影响整各积体电路

的制程。而相移式光罩技术不需改变原有的制程与曝光设备，所以已成为国际间近来相当热门的研究题目。【4~8】

相移式光罩的原理主要是利用光束通过具有相移层与未具有相移层之光束有180度的相位差，进而发生破坏性干涉以达到增进光阻剂的解析度与增加聚焦深度(Depth of Focus, DOF)的目的。

微影技术主要是由三个光学参数所影响【17~18】

其中解析度(R)与聚焦深度(DOF)是根据Rayleigh关系式而来的，其关系式如下：

而 λ 是指曝光光源波长， K_1 、 K_2 是和光阻材料相关的系数，NA为透镜之数值孔径(Numerical Aperture)。R值在制程上来说是越小越好，DOF则是越大越好。在曝光光源波长日渐缩短的制程技术，配合较大的数值孔径，这样会使得成像的解析度越佳。但较大的数值孔径会使得聚焦深度变小，因此要降低 K_1 值，增加 K_2 值，才能得到合适之解析度与聚焦深度。

同调性(Coherence, σ)之定义由图1.1【19】来说明，其为投影镜上成像直径 (Diameter of Source Image) 与投影镜有效直径 (Effective Diameter of Projector) 之比值；或发光对投影镜数值孔径之比值。有效同调性介于0~1间，同调性为0时表光一致性最完美、干涉性最强；同调性为1时，光之一致性最不完美、干涉性最弱。微影制程可藉由控制同调性来得到良好的解析度及聚焦深度。

随着晶圆厂的IC制造技术的细微化，现阶段光罩厂对于0.35微米以下的制程，在材质上大多都改用称为相位移转光罩(PSM; Phase Shift Mask)的材料，主流制程明年将会进步到0.25微米。

公元1965年White和Votmer将交指叉转能器 (interdigital transducer, IDT) 镀在压电基板表面，利用压电特性将电磁波的输入讯号转换成机械能，藉此激发表面波，经压电基板传递至输出端的交指叉转能器，再将机械能转换成电磁波讯号，以过滤不必要的讯号，提升收讯质量，如此才使得表面声波组件成为不可或缺的电子组件。但由于表面声波组件存在6dB以上的插入损失(insertion loss)，以致无法应用在无线通讯系统之射频(radio frequency RF)滤波器，随着新压电材料及IDT设计技术的开发下，使得表面声波滤波器(surface acoustic wave filter, SAW

filter)的插入损失降至1~3dB,得以广泛地应用在无线通讯系统之讯号处理领域。由于表面声波滤波器具有体积小,耗损低、过滤效果佳及可大量制造的特性,因此现在亦被广泛应用在各种行动通讯系统及全球卫星定位系统上。

随着科技的日新月异,高资料传输速度的通讯系统日益重要,因此如何提升其关键零组件,表面声波组件的性能,成为目前极为重要的研究课题。SAW组件是目前短缺的无线通讯重要零组件,包括SAW duplexer、SAW resonator, RF与IF SAW filter等。对表面声波组件来说提高工作频率的方法就是缩小指差,电极的线宽或是应用更高波速的压电材料,缩小线宽受限于制程能力,因此必须要往微影制程方面着手。

1. 3研究目的

本实验论文中,所进行研究的是以近场光微影术(Near-Field Photolithography)与聚-二甲基硅氧烷(Polydimethylsiloxane),简称(PDMS)相位移式光罩(Phase Shifting Mask, PSM)制作表面声波组件(Surface Acoustic Wave Devices)为主要的研究目的。使用近场光微影术与Polydimethylsiloxane (PDMS)相位移式光罩和其它相位光罩技术做比较有以下优点:

- (1)制程简单而且便宜。
- (2)可利用线宽为微米级之光罩来制作奈米级线宽之图型。
- (3) PDMS光罩为一软性材料,可与曝光表面做完美之接触。

基于上述之优点,所以寻找适当的材料制作成藉以符合PSM之要求。进而运用在下一世代之光学微影上。

1. 4论文架构简介

本论文之架构分为五章。各章之内容简述如下:

第一章,简介研究动机、方向、目的。

第二章,首先介绍聚-二甲基硅氧烷(Polydimethylsiloxane),简称(PDMS)的重要特性及相关的材料特性分析,另外介绍近场光学微影术与表面声波组件(Surface Acoustic Wave Devices)的相关原理及特性。

第三章,实验系统部份,将介绍样品配置,实验系统架设及实验流

程。

第四章，将针对检测出之实验数据作相关的陈述，及实验中所呈现结果來进行分析与探讨。

第五章，結論。

第六章，未來展望。

一祥翻译公司 样本
Elegant Translation Service Sample
请勿复制
Do not copy

第二章 文献回顾

2.1 表面声波简介

表面声波 (SAW: Surface Acoustic Wave) 组件因具有体积小、特性佳以及可靠度高等特性，已陸續广泛的应用于各种通讯 (Communication)、计算机 (Computer) 以及消费性 (Consumer) 电子等3C产品上。而其中以应用于行动电话手机之SAW濾波器需求量最大，表面声波组件(SAW)已在通讯产业中占重要地位，使得行动电话手机所需关键零组件之一的SAW组件也跟着水涨船高，未來之发展也为各界所瞩目。

2.2表面声波原理

表面声波是一种沿着固体表面传波的弹性波，由纵波(Longitudinal wave)和剪波(Shear wave)组合而成椭圆形轨迹。表面声波组件的工作原理为输入对指型换能器IDT's逆压电效应将电讯号转为声波讯号，经由压电基板传递，再由输出对指型换能器IDT's将声波讯号转成电讯号输出，此输入及输出对指型换能器借着压电基材之压电特性把电波的输入信号转换成机械能，后再将机械能转换成电的信号。SAW组件主要之优点包括体积小、重量轻以及优良之传输波形，但早期的高插入损失 (Insertion Loss) 特性却阻碍其广泛的应用于各种电子工业之用途上。

2.2.1 压电效应

压电性的作用包括正压电效应及逆压电效应两种，前者系以机械应力或应变作用而使物体产生电荷或电压输出，后者则以电能输入物体使之产生机械能或应变的输出。

基本型表面声波滤波器如图2.1所示，其中指状电极为一换能器(电器讯号---表面声波)，由于基板具有压电(Piezoelectric)特性，可将输入的射频电气信号透过压电效应之作用，使其经由输入端指状电极转换成声波信号，经此表面声波会沿着压电基板(与电极垂直的方向)的表面传播，再经过输出端指状电极之压电效应将声波讯号转换成射频电气讯号而输出。

一般來說，可由以下的式子來決定[23]

其中， V 为表面声波速率

为表面声波中心频率 f_0

λ 为表面声波波长(一般设计上会让 $4d = \lambda$)

另外，对于滤波器而言，其3dB频宽可谓是相当重要的参数，在此我们则用一简单的设计公式如下：

2.2.2 表面声波滤波器的重要参数

表面声波滤波器频率响应相关的重要参数包括：中心频率、插入损失(insertion loss)、频宽(bandwidth)等如图2.1，影响这些表现的设计参数包括：

压电材料的种类很多，大致分类如下[24]:

以表面声波组件为例，常用的压电基板材料包括：石英(quartz)、铌酸锂(LiNbO₃)、铌酸钽(LiTaO₃)...等，各具有不同机电耦合系数 K_e^2 (Electromechanical coupling coefficient)，表面波波速 v_0 与温度系数 α_T (Temperature coefficient of delay, TCD)。代表材料电性能量 K_e^2 与机械能量之间转换比例的平方，称之机电耦合系数 K_e^2 。其中 v_0 为压电基板电性开启(open circuit)的表面波波速， v_s 为压电基板电性短路(short circuit)的表面波波速，机电耦合系数(electromechanical coupling coefficient) K_e^2 。

2.3 表面声波组件应用范围

在固体中之传递波主要可分为两大类：内部之传递波称为本体波 (bulk wave)，而在表面之传递波则称为表面波 (surface wave)。表面声波属于Rayleigh波，主要局限于压电材料自由表面以下一个声波波长的范围内传递。

- (1) 组件体积小，重量轻。
- (2) 组件操作频率范围广泛，从10MHz 到2-3GHz之间。
- (3) 组件制程技术与半导体积体电路制程类似，可以大量生产且重现性高。
- (4) 可处理相当复杂的信号处理。
- (5) 组件使用时不需要做额外调整且功率消耗低。
- (6) 组件可操作于高谐波(harmonic)模态下。

若以领域区分，大致上可分成四大类：

- (1) 无线射频模块发射/接收端，如遥控器、编/译码器... 等
- (2) 无线通讯，如行动电话，呼叫器... 等
- (3) 中频电路讯号处理，如本地振荡电路、光纤通讯、数据传输... 等
- (4) 视讯传播，如中频滤波电路、有线电视转换器、高解析度电视(HDTV)... 等。

表2.1则为SAW组件的主要应用范围，包括行动电话、呼叫器、无线电话、卫星通讯系统、电视机之转频器及调谐器等各种产品。

表面声波组件類別	主要应用范筹
濾波器 (Filter)	(1).IF Filters : 无线电话、行动电话手机、缆线数据机 (Cable Modem) 内不可或缺的关键性零组件 (2).RF Filters : 无线电话、行动电话、呼叫器、与无线区域网路系统 (WLAN) 前端使用之重要组件 , 尤其未来CDMA系统的发展 , 这类产品的需求持续增加中 (3).其它Filters : 数据与语音产品用 (Data & Audio)
共振器 (Resonator)	汽车防盗器、遥控器、电视转频器 (CATV Tuner)、无线键盘、无线耳机、无线电通信或高速计算机时序用
延迟线 (Delay Line)	Non-dispersive; Dispersive; Multi-tap SAW Delay Lines
振荡器 (Oscillator)	Fixed frequency; VCXO, VCXO供Phase-Lock Application
表面声波之次系统 或模块	(1)SAW Based Multi-chip Modules Channelized filter banks; Switched filter/delay modules; Pulse expansion/compression 高速clock模块 (2).Digital / SAW Pulse Compression Systems, SAW Subsystem for Military Application
表面声波感测或声 光组件	传感器 (Sensors)

表2.1 表面声波组件之主要应用范围

SAW 濾波器依其运作原理之不同 , 一般可区分为两大类 :

transversal SAW濾波器及 resonator SAW濾波器（如图2.3所示）[29]。Transversal SAW濾波器之结构是以两个对指型换能器在压电材料上所组成（如图2.4所示），其中对指型换能器之作用是当作输入及输出电极，而在基材的表面兩端则覆盖声波吸收剂（absorbers）以防止波之反射。Resonator SAW 濾波器由于共振器摆放位置之不同，通常可分为 vertically coupled resonator models及horizontally coupled resonator models 两种（如图2.4所示）。Horizontally coupled resonator models SAW 濾波器具有高且窄的频宽，一般都使用于行动电话之IF频段；而vertically coupled resonator models SAW 濾波器则因为宽带宽之特性，大多使用于RF频段之濾波器。

至于SAW组件的产品制作主要可分为二大部份，包括组件电路仿真设计与半导体组件制作程序（如图5所示）。规格确定后，设计对指型换能器图形，首先必须依基板之声波特性（如表2.2）[30]确定所应有之参数。

上述之对指型换能器之图形转换成光罩图形板(Mask)后，接着进行组件制程。通常SAW组件使用光罩的数目几乎都控制在三道以下，但半导体组件因对产品功能规格要求的日趋严紧与设计的需求，几乎都需要十道光罩以上。

由于微影线宽与其精准度与曝光机台、制作成本有极大的关系，因此首先必需确认产品设计对线宽及其均匀性的要求，俾能选择最适当的制作流程与设备组合。一般SAW组件之对指型换能器所需之电极线宽依其使用之频率而定，使用频率愈高则所需之线宽愈细，以1GHz之频率为例，其所需之线宽约 $1\mu\text{m}$ 左右，因此IF SAW Filter、SAW Resonator及大部份的RF SAW Filter设计之线宽几乎都在 $1\mu\text{m}$ 以上，所使用之前段制程通常以接触式曝光机（Contact Aligner）及Lift-off或Wet Etching为主。然随着双频或多频手机的盛行，使得1.7-1.9GHz频道所必需之RF SAW Filter成为关键之组件。因应此高频规格之需求，SAW组件之线宽则必需小至 $0.5\mu\text{m}$ 左右，因此Contact Aligner已无法满足其规格，取而代之的则为步进机（Stepper）搭配Lift-off或Dry Etching制程。

在行动通讯产品之应用而言，由于设计之不同及使用系统之差益，平均每手机需使用之表面声波组件如表2.3所示。

2.5近场相位移微影技术 (near field phase shift lithography, NFPSL)

在半导体的光学微影制程中，光罩是扮演图形转移的角色。随着组件特性之要求，线宽也渐渐的缩小，在微影制程上会因为光线在相近的线路间产生光学绕射效应使的图案模糊而解析度下降。而利用相移式光罩技术來增加图案的解析度之观念在1982年，由M.D. Levenson等人所发表出来的【31】【32】。在传统光罩上的图形中，在相邻透光区放置透明但能使光束 180° 反相之相移层，将可使曝光系统之解析能力或景深大增，曝光系统之成像乃为将经光罩图形绕射之光线由透镜组合“收集”至芯片上而成。

若使用一特殊物质（能透光，并使光线反相 180° ）置于透光区，则上述两图形之电场分布图反相（破坏性干涉），故其电场相加后，在两者之间形成零电场点。也同时在两者之间形成零电场（光）强度点，也因此两者可被清楚的在晶圆光阻平面被解析开来。依此过程，解析能力被提升了将近一倍；而且影像的对比也同时被改善，致使景深加大一倍左右如图2.6所示【33】。

传统的铬膜光罩其包括了透明与不透明区所组成，当光透过光罩时只能控制通过光罩的光振幅的大小而已，而不能控制振幅的正负号(相位)。相移式光罩则是两者皆可以控制，并且有较小的邻近效应(Proximity Effect)。

2.6相移光罩的光学条件要求

相移光罩膜层之光学要求是要兼具能使相位转移 π 以及能使光有衰

減特性，基于上述相移式光罩膜层的条件如下：

此膜层之厚度必须符合 $\lambda/2$ 的波程差（相对于空气介质而言），所以其厚度如以下关系式：

n 是指材料的折射系数 (refractive index), λ 是指入射光波长 (wavelength) 如图2.7所示【33】。

我们知道然而解析度再好的传统光学微影技术依旧受限于绕射极限要突破绕射限制需要有两个条件：

(1) 光学衰减波。

(2) 因衰减只存在近场，所以样品与光源必须靠得够近。在近场光学中，光的非破坏性及各种对比机制依然存在，因为它仍是以光学为基础的技术，其解析度的限制，在于光孔的宽度和光孔与待测物的距离，跳脱了传统光学显微技术的绕射限制。

近场光学是一种不受绕射和波长限制的光学领域，在远小于所使用的工作波长的距离内来作量测或记录，因为光的波动性质还未呈现出来，故近场光学记录是不受绕射极限限制的一种新的光学记录方法。图2.8为进场光强度及远场光强度之差异。【33】

2.7 PDMS特性与应用

2.7.1 PDMS基本性质

聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane) 是硅氧烷类聚合物的一种，俗称硅酮树脂 (silicone)，聚硅氧烷的特性为具有良好的热稳定性，不易氧化，分子链柔软 (PDPS 除外)，低玻璃转移温度 (如 PDMS

为 -120°C)，有良好的氧气渗透率及低表面能，可用来改善聚合物的表面亲水性，耐磨耗性、透气性、耐热性、加工性及韧性等等，常见的硅酮产品如高温油浴 silicone oil、隐形眼镜、硅橡胶垫等等。

PDMS 在微米尺度组件 (micro-devices) 的制作上是很重要的材料，其材质坚韧，透明，符合光学检测技术的需求。

2.7.2 PDMS的表面结构变化

综合說來，聚二甲基硅氧烷，是最常被用于制作微装置的聚合物，由于其原本的厌水性可经由氧电浆处理而成为亲水性材料，对于微流质组件而言是很大的优势，也使得PDMS在众聚合物中脱颖而出，成为制作微米组件的宠儿。

2.7.3 PDMS交聯反应

三维空间硅树脂在聚合物的 SiVi 和 SiH 之间透过 hydrosilylation 反应引发硅树脂中交聯反应，其可由下列反应式表示：

活性触媒和抑制剂的性质和浓度，以及乙烯基和 SiH 的浓度 [36, 37]，皆会影响交聯反应速率。

PDMS主剂加入白金活性触媒和抑制剂均匀搅拌后，在高温 150°C 下，迅速完成进行 hydrosilylation cross linking reaction 如反应(2) [36]，首先这个反应机制需要 SiH 的触媒水解：

这时刚形成的 (SiOH) 催化剂随 SiH 而起反应，交聯形成 Si-O-Si bonds：

白金触媒的反应 (2) 和 (3) 比(1)來的更慢速。预期交聯反应 (4) 比 SiH 反应 (2 和 3) 來的更慢速。

第三章 实验方法

3.1 近场相位移微影技术制程

本論文利用近场相位移微影技术制作高频表面声波组件，光罩委由台湾光罩制作，分别为 $5\mu\text{m}$ 及 $10\mu\text{m}$ 双指叉2种 patterns，表4.1中为两种表面声波组件光罩设计如图3.1 ~ 3.2所示。

接下来介绍其近场相位移微影术及PDMS光罩制作的表面声波组件设备、系统、材料、制程說明。

介绍完系统、机台、材料后，进入最重要关键的制作流程，如图3.9, 3.10为近场相位移微影术制作流程一、二，图3.11近场相位移微影术曝光示意图。

3.4 表面声波组件Mold制作

1、试片清洗

实验用之Qz, LT Wafer, 为避免因表面吸附一些灰尘、油污等杂质的附着而影响组件的性质, 所以需将试片确实的清洗干净, 若是因杂质的存在所造成的缺陷除了会增加镀膜制程中变化, 严重的话将会导致PDMS-PSM在使用上造成图案转移错误, 因此试片的洁净度对于镀膜制程是相当重要的, 试片干净与否可说是镀膜制程之关键所在。

2、Plasma Clean

将其Wafer上之水份及Particle去除。

3、HMDS涂布

将HMDS涂布在Wafer上, 增加光阻在Wafer之附着力。

4、光阻涂布

将光阻均匀涂布在Qz Wafer上。

5、曝光

将设计之5um 及10um表面声波组件光罩送入stepper, 利用I line stepper机台进行曝光。

6、曝光后烘烤

将曝光后wafer进行烘烤减少驻波效应。

7、显影

利用显影剂进行图型转置。

8、Plasma Clean

将其Wafer上之光阻及Particle去除。

9、蒸镀

利用蒸镀机进行金属电极之沉积Ti及Al膜沉积符合相位位移之深度。

10、Lift off举離

使用NMP将不必要之光阻剥離。

11、将完成后之Qz表面声波组件Mold使用表面輪廓仪进行量测(详细键第四章), 是否有达到相位移深度。

综上所述, 经由上述几道程序, 即可完成表面声波组件Mold之制作, 详细流程如图3.12 ~ 3.14所示。

3.5 表面声波组件PDMS 相位移光罩制作

3.5.1样品的制备

PDMS聚合物在制作过程中，常针对不同的需求而加入某种比例的添加剂，在本实验的样品中，聚二甲基硅氧烷(PDMS)需加入交联剂使样品硬化。本样品以10：1的比例调制硅氧烷，充分混合后并静置4小时后观察是否还残留气泡之后将其样品均匀覆盖在表面声波组件Mold上，涂层结束的样品，静置于150°C Hot-Plate加热15分钟，待其完全硬化。再将PDMS从Mold上剥离即为PDMS相位移光罩如图3.15及3.16所示。

综合以上所述，经由上述几道程序，即可完成PDMS相位移光罩之制作，详细流程如图3.17及3.18所示。

3.6 高频表面声波组件制作

- 11、将完成后之L T wafer表面声波组件使用网路分析仪。探针量测仪量测其频率响应。
- 12、即完成近场相位移微影技术高频表面声波组件之制作(详细Pattern图形见第四章)。

综合以上所述，经由上述几道程序，即可完成高频表面声波组件之制作，详细流程如图3.19 ~ 3.21所示。

综合以上所述，经由上述3.4 ~ 3.6三道程序，即可完成所有近场相位移微影技术制作高频表面声波之组件，详细之流程供往后研究者参考浏览。

第四章 检测与分析

4.1 量测结果检测与分析

量测结果检测与分析依照第三章近场相位移微影制作流程完成高频表面声波组件之制作见实验检测与分析流程(图4.1),先使用Spectrophotometer(图4.2)进行PDMS穿透率量测,确保365nm光源能顺利通过PDMS主体(图4.3),再以365nm Stepper制作出表面声波组件Mold, Mold利用表面轮廓仪进行量测,是否有达到相位移深度如图4.4与图4.5所示,若深度幅合其厚度,即将其Mold利用PDMS进行翻膜制作完成PDMS相位移光罩,使用近场相位移微影术PDMS光罩制作的高频表面声波组件,从图4.10~4.13中可见其Mold边缘经365nm Lamp光源照射产生180相位反转,导致其intensity为零,而形成约200nm左右之Space,由此可证明其制作结果相当成功,运用近场相位移微影术PDMS光罩制作的高频表面声波组件,使用网路分析仪及探针量测仪进行讯号量测。

使用(Field emission SEM)场发射电子显微镜(图4.6)、表面轮廓量测仪(图4.4)及网路分析仪8753ET及探针量测仪(图4.7)来完成讯号量测工作。本次表面声波组件制程使用4吋的LiTaO₃晶圆,相对应于图4.14~4.18为频率响应量测结果。

从量测结果可看出,讯号已提升至2.4GHz左右,以5 μ m,及10 μ m线宽传统制而言,其频率响应只能达到200MHz及100MHz则运用近场相位移微影术PDMS光罩制作的表面声波组件可迅速提升2.4GHz亦可从图4.14及4.17看出,不同的harmonic Frequency,可依产品所需选择不同频段使用,我们更进一步再着手下阶段实验缩小线宽设计达到更高频之频率响应。

第五章 結論

本論文如同上陈述研究趋势其目的主要是运用近场相位移微影术 (Near-Field Phase Shift Photolithography)NFPSL与Polydimethylsiloxane (PDMS)相位移式光罩(Phase Shifting Mask, PSM) 制作表面声波组件 (Surface Acoustic Wave Devices)；进而运用在下一世代之光学微影上。以下是几点实验所得结果心得：

- 1、 PDMS相位移光罩呈如文献当中所表现出，在光束通过具有相移层与未具有相移层之光束有180度的相位差，进而发生破坏性干涉以达到增进光阻剂的解析度与增加聚焦深度(Depth of Focus, DOF)的目的。故采用相移式光罩的技术可以改进光学绕射效应导致图形模糊不清难以定义出正确的电路布局的缺点。
- 2、 就前第四章所見之Field emission SEM微结构图所示，可明显看出相位移光罩曝光后相移层有180度的相位差之效果，并将线宽推进至200nm，突破了传统微影光学(I-Line 365nm)光源之限制，此近场相位移微影术 (NFPSL) 可广泛使用在次世代微影工程应用，以将半导体黄光微影制程更跨进一大步。
- 3、 表面声波组件因黄光微影制程限制再加上成本之考量，显少公司会使用低于I-Line 365nm波长之Stepper制作其组件，因为微影机台相当昂贵将近數亿元。就因如此，本論文应用近场相位移微影术 (NFPSL) 成功制作出高频表面声波组件，如同前章所量测出组件频率，线宽5 μm 及10 μm 就可将其频率提升到2.4GHz，以正常设计理論是不可能达到如此高频频段，以下是简略计算：

其中，V为表面声波速率 ($LT = 4172 \text{ m/s}$)

F为表面声波中心频率

为表面声波波长(一般设计上会让 $4d = \lambda$)

正常5 μm 及10 μm 表面声波组件之工作频率200MHz及100MHz，由上

所示频率相差甚远，此其结果为本論文之重大成果。

- 4、 由于PDMS光罩本身缺陷的影响，检查制作完成之组件可以发现，容易发生电极相互黏着或断掉的情形，如果黏着发生在交指叉电极的部分，更将使的整个组件短路而无法激振出表面波。此外，由于光源中心与边缘强度之不同之问题，都将使的电极宽度不一，进而降低交指叉电极激发与接收表面波之能力，影响到整个组件之表现。
- 5、 本論文表面声波组件Mold光罩设计为初版设计，进而可将线宽从5um及10um更推进至2.5um或1um甚至0.5um來制作PDMS相位移光罩，再应用NFPSL技术，想必亦可将其表面声波组件之工频率提升至5G，甚至到10GHz，这可将是在表面声波业界來說是一场大革命。
- 6、 本論文所应用之近场相位移微影制程技术，表面声波濾波器之制作，且确定整个组件之设计流程，提供相关研究单位作为设计制作时之参考，可互相进行实验室交流与研究。

Elegant Translations
Do not copy

第六章 未來展望

在实验过程当中，发现使用PDMS近场相位移光罩曝光數次后，PDMS光罩上会残留Particle及光阻，使得PDMS光罩不能长期使用，更直接影响了曝光后Pattern的Profile及SAW组件之电性，本人在研究过程当中研讀过有关如何克服此种issue之文献，也针对此问题点做许多实验，但并未改善状况，未來将继续深入探讨，并发表让学术及业界参考。

聚二甲基硅氧烷(PDMS)此高分子材料如同文献回顾中所提到，学术及业界已广泛在应用，也许多論文期刊、醫療科技做深入的推广应用，本論文只应用了PDMS一小部分之功能，未來可将PDMS更广更钻研的分析此材料性质，例如PDMS之亲、疏水性、表面改质、防沾黏性等，想必更能从中找寻更佳之研究方向。

6.1. PDMS之各种特性分析

6.1.1 接触角(Contact angle)的测量[34, 38]:

物质的表面位能决定物质的亲水或疏水性而接触角是针对样品的表面位能状态的量测方法，是将水滴于样品表面，水滴与表面接触的弦切角为接触角，角度愈大，表面自由能愈低，样品就愈倾向疏水性。

在本实验过程中，亦有进行PDMS之各种Pattern的接触角之量测实验。由表6.1可清楚看出其PDMS上有进行翻印所得到的Pattern之接触角大于其主体本身，以SAW Pattern的角度最大如图6.4，表面自由能愈低，样品就愈倾向疏水性。若以此结果可印证出实验遇到之瓶颈，使用其PDMS上有SAW Pattern之相位移光罩进行曝光时，常遇到光罩与wafer接合度不佳之问题，导致曝光不良之情形屢見。因此，若能进行PDMS之SAW Pattern相位移光罩电浆表面改质及可将其表面之自由能提高，使样品愈倾向亲水性，使光罩与wafer之接合度大为提升，以克服曝光不良情形屢見的主要问题。

6.2 未來課題

對於多孔材質聚合物的PDMS表面，在組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組件，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，技術的研发占了舉足輕重的角色，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。