

第一章 緒 論

1.1 研究動機

隨著電子電路不斷的微小化，各類的電子化商品也逐漸趨向輕薄短小且多功能化，其概念亦影響機械元件的設計與製造，因而衍生出符合現代產業需求之『微機電系統技術(micro-electro-mechanical system, MEMS)』，此技術是整合光、機、電、材料、控制、化學等多重科技，將微感測器(μ -sensor)、微致動器(μ -actuator)、微處理器(μ -processor)等元件模組化於單一晶片(chip)上，提高了微機電系統的應用性與附加價值，其應用領域涵蓋電子、資訊、材料、醫學、生化、通訊、航太等方面。可以預期的是以微機電製程所製作的微系統，在未來將會成為人類生活中不可或缺的產品，因此微機電系統技術已被視為重要的核心製造技術。

微機電製程技術包括矽基微細加工(silicon based micromachining)、非矽基微細加工(non-silicon based micromachining)等二大類技術，如表 1-1 所示【1】。矽基微細加工可分為兩類：(1)面型微細加工(surface micromachining)是以矽晶圓為基材，在表面進行薄膜沉積、微影、蝕刻等積體電路製程技術，配合犧牲層(sacrificial layer)蝕刻技術，可在矽基材表面製作出微懸浮結構；(2)體型微細加工(bulk micromachining)是以矽晶圓為塊材，將矽晶圓做為加工材料，進行單晶矽等向性蝕刻、非等向性蝕刻、雙面對準、蝕刻終止與蝕刻幕罩保護等製程技術。在非矽基微細加工技術之中，由於深光刻電鑄模造(LIGA)(in German: lithographie, galvanofornung, abformun; in English: lithography, electroforming, molding)相較於非矽基微細加工中其它的微加工術，其與積體電路製程技術的相容性佳，且適用於製作高深寬比(aspect ratio)的微結構，可增加結構強度及微元件的電、磁致動特性，因此特別受到重視。

標準的 LIGA 製程使用波長 0.2-0.6 nm 的同步輻射光作為光深刻術的光刻

源。由於同步輻射光具有波長短、繞射現象小、功率大及穿透力強等優點，使得應用 X-ray LIGA 製程所製作的結構深度、精度、表面粗糙度及深寬比，皆可獲得過去微機械加工所無法達到的境界。然而，同步輻射光源為一龐大且昂貴的設備，世界上適合用來進行 X-ray LIGA 製程的同步輻射環僅約 30 座，且 X-ray 光罩的製作成本過於昂貴。因此以替代性光源發展類 LIGA(LIGA-like)製程已經成為目前研究發展的趨勢。

在類 LIGA 製程中主要的替代性光深刻術有超導小型同步輻射(superconducting compact synchrotron radiation)、準分子雷射加工術(excimer laser micromachining)、感應耦合電漿反應離子蝕刻(inductively coupled plasma reactive ion etching, ICP-RIE)及紫外光光刻術(UV lithography)。在這些替代性光深刻術中，超導小型同步輻射仍屬研發中且罕見的設備；感應耦合電漿反應離子蝕刻主要以矽晶圓為加工材料之製程技術，其製程設備採用高電漿密度低氣體壓力(HDLP, high density low pressure)蝕刻系統，不僅可提升蝕刻速率及改善傳統 RIE 有側向蝕刻的缺點，同時亦能獲得高深寬比(> 40 : 1)結構【2】；以準分子雷射作為替代性光源的類 LIGA 技術稱之為 Laser-LIGA，準分子雷射是由惰性氣體與化學性質較活潑的鹵素相混合後，再經放電所激發之高功率深紫外光，其加工機制為光分解挖除(photoablation)，即工件材料吸收短波長的準分子雷射後，將材料內的鍵結直接打斷而破壞，雷射照射區域的材料經斷鍵後會產生壓力急速上升，並強迫材料以微小爆炸(mini-explosion)的方式排出，而達到加工的目的【3】；以紫外光作為替代性光源的類 LIGA 技術稱之為 UV-LIGA，標準微影製程配合厚膜光阻技術(如 SU-8、JSR430N、JSR611P、AZ P4620)，可實現低成本的 LIGA 製程。它與積體電路製程相容的特性，使其在封裝、微電子、微機電等應用領域備受重視。

雖然以紫外光做為替代性光源，其成本遠低於同步輻射光，但其加工精度也由次微米降至微米等級，且光刻深度及深寬比也相對降低。然而，在應用上

次微米精度並非絕對必要的情況下，加上新型厚膜光阻材料及特殊旋轉塗佈機(如 Karlsuss RC8)的開發下，使得此技術亦具有一定的競爭優勢。在本研究中即應用標準紫外光微影製程技術，並採用由 MicroChem 公司(前身為 Microlithography Chemical Corp.)生產的 2000 系列 SU-8 負型厚膜光阻，開發以 SU-8 光阻為結構材料之靜電式微致動器。由於 SU-8 負型光阻具有高機械強度與良好的化學穩定性，因此以該光阻做為驅動機構之結構材料，而 SU-8 光阻易於製造高深寬比元件的特性，亦可獲得增加結構強度與元件靜電致動輸出的優點。此外，在結構設計上採用一體成型的製作方式，以避免在製作微致動器的過程中需採用微組裝方式組立微結構的缺點。此外，可應用此靜電式致動器進而發展出微光開關元件。由於此致動器結構為高分子材料，其剛性比矽晶圓材料低，預計可降低元件之驅動電壓，且其響應頻率相較於以矽材料為結構之微光開關元件亦可大幅提高，以增加光訊號的切換速度。

Table 1-1. Microfabrication technologies in MEMS field. 【1】

矽基微細加工	體型微加工技術	蝕刻技術 等向性蝕刻 非等向性蝕刻 蝕刻終止技術	化學蝕刻技術	溼式	浸漬式 漬著式	
	面型微加工技術	薄膜技術	光蝕刻技術	乾式	電漿蝕刻 反應性離子蝕刻 濺散蝕刻 離子束蝕刻	
非矽基微細加工	LIGA 技術	X-ray 深光刻術	精密電鑄技術	微成形技術		
	LIGA-like 技術	紫外光厚膜光阻微影 準分子雷射微加工 感應耦合電漿離子蝕刻* 電子束光刻術	純金屬電鑄 合金電鑄	塑膠微結構成形 熱壓成形 射出成形 輪壓成形 紫外線硬化法 陶瓷微結構成形 粉末射出成形 帶板鑄造		
	微機械加工	切削加工	微切削加工 微鑽孔加工 微銑削加工 微輪磨加工	微電鍍成形 微壓模成形 微射出成形 微沖壓成形		
		非切削加工	微放電加工 雷射、離子束及電子束微加工 超音波微加工 原子力顯微加工術			
		特殊加工				
	高分子微加工技術	微雷射光合高分子成形(Microstereolithography, μ -SL) 軟式微影技術(Soft Lithography) 微接觸印刷術(Microcontact Printing, μ -CP) Micromolding in Capillaries (MIMIC) Microtransfer Molding (μ -TM) Replica Molding (REM)				
	其他低溫製程技術與材料	聚對二甲苯(Parylene) 明膠(Gelatin)蛋白質 鐵氟龍(Teflon) 矽膠(Silicone)				

* 感應耦合電漿離子蝕刻加工技術：一般應用於矽基體型微加工製程之非等向性、高深寬比蝕刻加工。

1.2 SU-8 厚膜光阻

SU-8 是一種環氧基型(epoxy type)、化學增幅式(chemical amplification)的負型光阻，具有優越的光敏感度，適用於近紫外光波段範圍(350-400 nm)，藉由單一次的旋轉塗佈，即可得到均勻的厚膜光阻層，應用標準的紫外光微影技術，證實可以達到膜厚 2.1 μm 的微結構【4】。SU-8 光阻最初由 IBM 所發展出來，而 MicroChem 公司取得 IBM 的專利授權，推出商品名稱為 NANOTM XP SU-8 的商業化產品，並根據不同的膜厚需求，分別有其相對應的代號(如 SU-8 5、25、50、100 等)，不同代號的光阻有不同的黏度，而其黏度取決於溶劑含量的多寡【5】。SU-8 光阻是由三種主要成份構成：(1)高分子：Biphenol-A novolac epoxy resin；(2)溶劑：GBL(γ -butyrolactone)；(3)感光劑：triaryl sulfonium salt(HSbF₆)。SU-8 光阻有兩個重要的特性，使其適合於厚膜光阻製程之應用。首先，它具有低分子量(分子鍵長度較短)但又可以成膜的能力，分子鍵長度較短的結構具有易被溶劑滲入並加以分解的特性，故 SU-8 高分子可均勻地分散在溶劑中，形成高固含量(濃度)的混合物(72-85 wt%)；其次，在近紫外光光譜中，SU-8 光阻具有低的光吸收性(亦即有高的光穿透性)。圖 1-1 表示不同厚度的 SU-8 光阻對紫外光的吸收光譜，在圖中顯示在波長 365 nm 時，厚度 100 μm 的 SU-8 穿透率為 46 %，這種高的光穿透性，可讓整個厚度的光阻得到均勻的曝光劑量(exposure dose)，這將有助於獲得光阻結構的垂直側壁，且易於精準控制厚度方向的尺寸【6】。

另外，由於 SU-8 光阻屬於化學增幅型光阻，所以比其它厚膜光阻具有更高的解析度及感光度。化學增幅機制【7】是在 1982 年首度被提出，它是一種提高光阻感光度的方式，這種化學反應機制主要是在標準微影製程中，增加了一道曝光後烘烤(post exposure baking)的步驟，能使微量的質子酸產生一連串的化學連鎖反應。圖 1-2 即為 SU-8 光阻的化學反應機構【8】，光阻經由紫外光照射後，首先感光劑產生光分解反應釋放出質子酸，而 SU-8 樹酯上的環氧基在酸催化下而開環，形成帶有氫氧基的羰根陽離子(carbonium ion)中間體，此中間體

會與另一個環氧基反應形成新的鍵結，也就起始了環氧基的交聯反應 (crosslinking)；而新形成的羰根離子又會再向下個帶有環氧基的 SU-8 樹酯起交聯反應，如此進行連鎖反應，因此在很短的時間內，原本是小分子的 SU-8 樹酯因為照光及曝後烤的熱擴散作用，成為高度交聯不易溶解的巨大分子結構。

為了加快光阻溶劑的揮發速率，以縮短軟烤時間，在 2001 年，MicroChem 公司提出 2000 系列 SU-8 光阻，它亦是由三種主要成份所組成：(1)高分子：Biphenol-A novolac epoxy resin；(2)溶劑：CP(cyclopentanone)；(3)感光劑：triaryl sulfonium salt(HSbF₆)。2000 系列與傳統型 SU-8 光阻最大不同之處在於改變溶劑的成份，表 1-2【9】即為兩種溶劑之特性比較。由於傳統型 SU-8 光阻所使用的溶劑 GBL 具有低揮發性，而產生光阻固化時間過長的現象，不利於量產上的應用。由此可知，改用新型溶劑的目的在於提高光阻中溶劑的揮發速率，以縮短光阻的固化時間，圖 1-3 即表示使用兩種不同溶劑的 SU-8 光阻在各種膜厚下的平均固化時間。因為 2000 系列 SU-8 光阻使用新型溶劑，亦連同改善了其它製程上的特性，如改進塗佈特性、加強光阻的附著性及更高的感光性等，圖 1-4 表示光阻於矽晶圓上的附著性【9】。

Table 1-2. Important properties of CP compares with GBL. 【9】

Solvent	Vapor pressure (mmHg) (Propylene-glycol methyl ether)	Surface tension	Molar volume (cm ³ /mol)	Resist viscosity Canon Fenske @ 25 °C		Drying time (to constant weight) (Omnimark)	
				65 % solids	70 % solids	min @ 95 °C	min @ 115 °C
GBL	10	40.4	81	3634.8	12100	38	28
CP	0.3	29.5	88	2004.5	7000	27	13

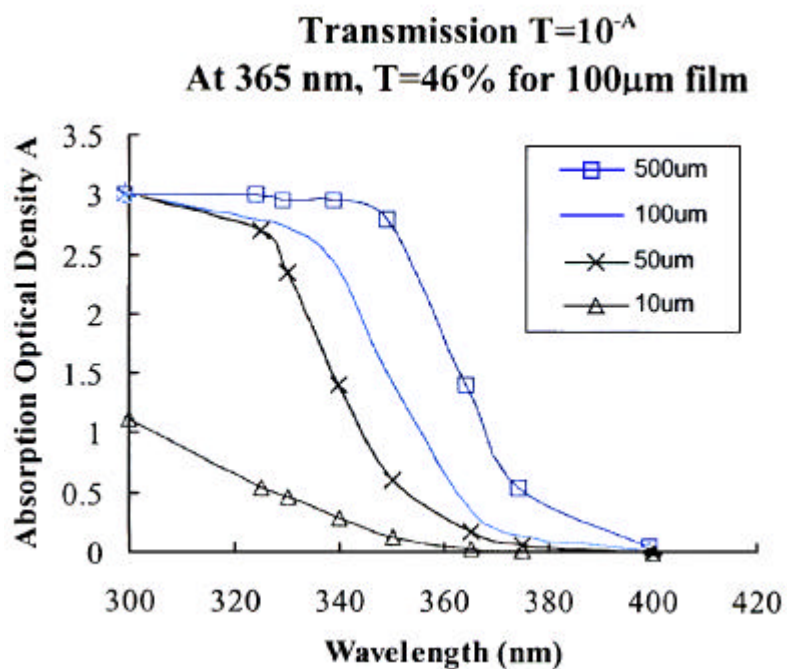
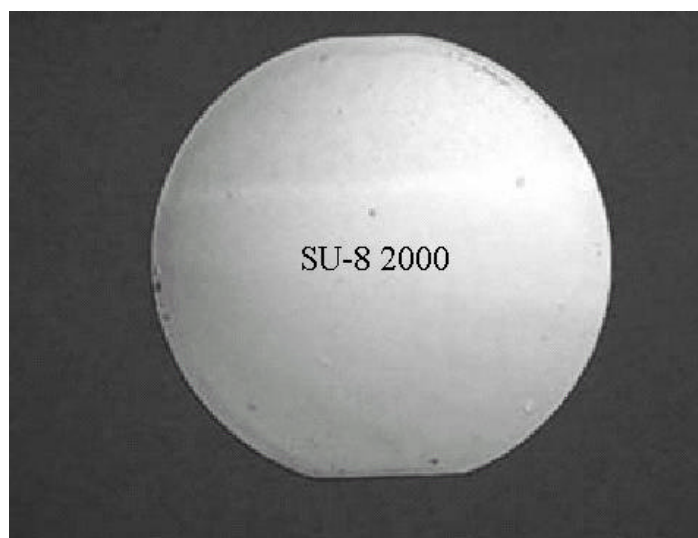


Figure 1-1. SU-8 optical absorption vs. film thickness. 【4】



(a)



(b)

Figure 1-4. (a) SU-8 GBL coating on silicon; (b) SU-8 CP coating on silicon. 【9】

1.3 論文架構

本論文包含五個章節，第一章敘述研究動機及簡介SU-8厚膜光阻；第二章則首先針對SU-8光阻應用於微機電系統的文獻回顧，再者則是針對靜電式微致動器的驅動方式、運動特性及應用之相關文獻資料作說明；第三章提出設計靜電式微致動器的理論基礎，探討元件的幾何外形、輸入(驅動電壓)及輸出力之間的關係，再來是實驗製程規劃，提出製作靜電式致動器的製作程序，並確定所需的製程設備；第四章實驗結果與討論，針對SU-8光阻的製程條件提出各種實驗方法，以獲得最佳的製程參數，並探討靜電式微致動器之各種驅動條件所造成的影響；第五章為結論及提出未來展望。