

第二章 文獻回顧

2.1 光子晶體(Photonic Crystal)介紹與應用

2.1.1 光子晶體(Photonic Crystal)簡介

現代科技發展中，光電科技乃為新興領域，其應用涵蓋各重要範疇，如光纖通訊、光顯示、光資訊儲存、高效率照明及生物醫學方面的應用。隨著光電科技在基礎研究上不斷的突破，它已經在我們的日常生活中造成重大的影響，這樣的影響力並將持續而且擴大。在光電子領域中我們通常希望藉由物質改變光的行為，偏光、電激發光、光學導波，來達到對光的應用，而在 1987 年由 E. Yablonovitch[2]和 S.John[3]不約而同的指出光子晶體的概念與相關理論，因此對於控制光子的方法，出現了一道曙光。

假設在電磁波中製造出具有其波長尺度下週期排列的介質，則類比於電子的物質波與原子晶格的大小，電磁波在此巨觀排列的行為將有如電子在晶體中般，被此排列週期、空間結構和介質的介電常數來控制，不需要改變物質的內在化學結構，我們可以在電磁波的波長尺度下設計並製造出我們想要的光的特性，在光波尺度下這種新的人工晶體即為光子晶體，而具有如同電子能隙現象之光子，稱為光子能隙理論。

對矽或其他半導體來說，相鄰原子間的距離約為四分之一奈米，但對光子晶體而言，產生光子能隙的晶體結構週期性則約略與波長相當，以可見光來說大約 400 到 700 奈米。最典型的週期性結構如圖 2.1 所示，在均勻介電材料中製作個個孔洞，以光學的觀點來看，這些孔洞會使通過的光波在不同方向產生建設性與破壞性干涉。若設計這些孔洞的週期性排列，將可使得某一波段內的光線在所有方向上都無法穿過此光子晶體。若將此晶體結構稍加改變，例如挖大或填滿一個孔穴，將會改變光波的傳播特性。因此只要設計妥當，我們便可按需求製造出具有特定能量或位於特定空間的雜質態，與半導體藉由摻入雜質來調整載子性質非常相似。故光子晶體又經常被比喻成未來光學界的“半導體”。



2.1.2 二維光子晶體(2-D Photonic Crystal)的製作方法

光子晶體可分為一維、二維與三維的光子晶體結構，因此其製作的方法與整體尺度也有很大的不同。一維的光子晶體指的是多層膜結構，很早即被應用於光的反射鏡、濾波鏡等，且技術上已相當成熟且相對的容易。目前較引人興趣的是二維與三維光子晶體的製作，且為配合光路的積體化並能與其他光電元件能整合在一晶片上，許多較高難度的微機電製程技術是需要的。這些技術主要包括薄膜的成長，微影技術與蝕刻技術。

在此介紹幾種目前已知的二維光子晶體製造方法：

(1) 電子束微影

Ying Xu[10]等人利用電子束顯影法（Electron-beam lithography，EBL）在矽基底上製作二維光子晶體結構。利用矽為基材來製造光子晶體有許多的優點：一、矽有很高的折射系數($n=3.4\sim 3.5$)足以打開大部份二維和三維光子晶體的能隙；二、在光通訊上，矽是理想的被動波導材料；三、矽是一種廣泛被應用的微電子材料，而以矽為基材的技術已大量的應用在電路整合上，因此應用矽作為基材可與後續的半導體製程相容。



以下介紹使用EBL與電漿乾蝕刻法(RIE)在矽基板上製造二維光子晶體的方法。此種方法主要的精神是先以EBL光刻出垂直於矽基板表面的平面圓柱或空孔結構來定義圖形，然後把此二維的圖形藉由乾蝕刻移轉到基板上。EBL的製作方法包含了準備光罩圖形，然後利用高能電子束與光阻產生化學反應，轉移此圖形到乾蝕刻層上，例如Au、Cr或SiO₂等。有時需額外的移轉改進光罩的耐久性，但是的光阻結構的品質會因此重覆的過程而降低品質。

在 Ying Xu 等人的研究中，他們是直接把 ZER 520 光阻當成光罩來使用。在最佳的乾蝕刻條件下，光阻和矽基板的蝕刻速率比各為 22nm/min 和 350nm/min，即 16：1。所以欲使矽基板上蝕刻深度趨

近於 $6.4\mu\text{m}$ ，需使用一 400nm 厚的光阻層。經由作者的研究中，發現對於不同直徑大小的孔洞來說，會存在一蝕刻深度的極值，其不會隨著蝕刻時間或光阻的厚度而增加。圖 2.2 顯示一些由空孔和介電材料所成的棒狀二維光子晶體上方的掃描式電子顯微鏡圖像。

(2) 原子力顯微術微影(AFM lithography)

在目前的微影技術裡面，唯有電子束微影法(EBL)與原子力顯微術微影(AFM)在能達到奈米級的微影線寬。但是皆只能定義出二維的光子晶體結構，由於其製作自由度最高，可以任意定義結構形狀，因此在製作複雜的光子晶體元件時，具有很大的優勢。尤其 AFM 微影技術往往不需要透過光阻來做圖形的轉移，且在一般大氣環境下即可操作，因此具有一定的優勢。



F. S.-S. Chien[11]等人在 1999 年發表的論文就是關於利用 AFM 微影技術來製作二維的週期性結構。此方法是利用一微小的導電探針靠近表面，當探針與表面間外加一電壓時，利用產生的電化學反應，將表面材料氧化，以達到表面微影的目的。而藉由控制探針在表面移動並於適當位置外加電壓，就可以在表面製作出任意形狀的結構。

圖 2.3 所示為一 AFM 的探針在 Si(110)晶面製作微影圖形的示意圖，其中氧化線的方向特意選擇為[112]方向。這些被氧化的矽表面會產生氧化矽，且其產物體積會膨脹，因此氧化過的位置會產生隆

起。由於 KOH 溶液對矽的(110)、(100)與(111)晶面的蝕刻速率比約為 600 : 400 : 1，因此可使用 KOH 在此一微影過的表面做非等向性蝕刻，並在矽表面上得到高可見比的奈米結構，如圖 2.4 所示。

(3) 雷射直寫微影(Direct Laser writing lithography)

這種方法是直接使用雷射光使表面產生化學反應(例如氧化)或物理反應(例如揮發)的微影方法。此方法可如同AFM微影一般，具有很大的材料選擇性，且可在大氣環境使用，甚至可與AFM微影結合在同一操作平台上。此外，雷射直寫又如同EBL一般，可具有極快的掃描速度與範圍，因此與AFM微影具有互補的功效。然而，受限於雷射光點聚焦後的大小往往有數百奈米，因此無法定義微小的結構。圖2.5為搭配使用此兩種微影技術，在表面製作正光阻與負光阻微影的示意圖。圖2.6則為雷射直寫微影法實際製作出的結果。

由以上的介紹可得知目前製造二維光子晶體的方法大多是利用微影製程加上乾蝕刻或濕蝕刻製程。如果要製作應用在兆赫波段的棒狀二維光子晶體，與其波長($\sim 300\mu\text{m}$)相對應的結構尺寸大約在數十 μm ，晶格常數約在一百 μm 左右，而結構高度則往往需要數百 μm 以上。然而受限於光源的穿透力，使得我們無法得到足夠高度的結構(數百 μm 以上)；另外因為蝕刻製程的限制，則無法得到完美的圖形轉移能力。因此之前一直沒有一個合適的製程來製作兆赫波段的二維光子

晶體，直到最近幾年才有人應用 μ SL(microstereo-lithography)技術製造出棒狀的兆赫波段二維光子晶體[4]。但是因為毛細管力的影響其結構外圍的良率往往受到影響，如圖 2.7 所示。因此目前尚無一完美的製程來製造兆赫波段二維光子晶體。

2.1.3 光子晶體(Photonic Crystal)的應用

在 2.1.1 有提過，光子晶體具有如同電子能隙般的光子能隙。然而，在實際的應用上科學界卻更常使用具有”雜質態”的光子晶體。攙了雜質態的光子晶體其實就是在周期結構中故意製造瑕疵空間，此瑕疵破壞了晶體一貫的週期性，使得光子能在原本為”禁區”的能隙中來回共振，如圖 2.8 所示。當此雜質態為一點狀則形成了點缺陷；相同的，若此雜質態連結成線則成為線缺陷，而光能在此點或線中傳遞。因此雜質態提供了我們導引電磁波的可能，這在光電領域上極具用途。

目前已有人提出將具有雜質的光子晶體應用在半導體雷射的共振腔、high-Q 濾波器、光子晶體光纖、微共振腔(micro-cavity)及光波導管(optical waveguide)等元件上。或許將來能更進一步將成串的雜質排列起來，製成所謂的光積體電路(optical integrated circuit)[14]。

2.2 兆赫頻段(Terahertz Wave)

自從十九世紀中Maxwell(1831-1879)提出電磁場理論，證實了光

是一種電磁波之後，開啟了物理學家後續一連串對於電磁波頻譜的理論研究與實驗觀察。到了二十世紀，對於電磁波頻譜中所蘊含的豐富且大量資訊的研究與瞭解，以及頻譜中各個波段的掌控與應用，可說是對於現代生活的改變，有著相當顯著且重要的影響與貢獻。除了肉眼可以看到的可見光之外，其他波段諸如：微波波段(Microwave)可應用在訊息的傳播(Radio)與偵測(Radar)；X-ray應用於各種樣品成長優劣的鑑別與輔助醫學上分辨異常細胞組織， γ -ray則被應用於太空物理的研究等，都與現代生活的進步息息相關。

可是在回顧電磁波頻譜研究的發展中，介於可見光(亦或遠紅外光)與微波波段之間，頻率大約為 10^{12} Hz的電磁波頻譜卻一直沒有被開發與應用。在這個頻率範圍的波段稱之為兆赫波段(Terahertz wave，簡稱THz wave or T-ray)，如圖2.9所示。然而在最近十幾年來對於兆赫頻段的研究卻發現在這波段同樣蘊含著大量的資訊和被廣泛應用的潛力。因為在THz波波段中，包含了許多決定材料特性的重要能階，如半導體中受體(acceptor)、施體(donor)及光激子(exciton)等束縛能，光模聲子(optical phonon)、超導能隙，磁場作用下Landau能譜等，也都落在這一波段中，這使得一個可調的兆赫波光源變成一個在了解分子結構及其分子間化學反應時非常有效的工具。其中包含了在農業、人類環境生態、生物科技、太空探測等許多的應用領域；此

外，由於兆赫頻段電磁輻射的能量約數個meV，對於人體的傷害遠低於X-ray，因此在醫學上有許多的應用。例如，我們可以藉著兆赫波光源來偵測及治療許多各種不同的疾病(包括癌症)，利用其對好細胞及壞細胞(癌細胞)的不同反應來達到檢驗及治療的目的[16][17][18]。

而在光子晶體的應用上，我們可以設計適合兆赫頻段的光子晶體做為特定波長的濾片、偏振片，或是使用光子晶體的概念設計兆赫頻段的光波導，這些都是光子晶體在兆赫頻段上的應用。

2.3 深刻電鑄模造製程技術(LIGA Process)

2.3.1 LIGA 製程簡介

LIGA 製程技術為 1978 年由德國 Karlsruhe Nuclear Research Center 的 Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) 為了處理核能鈾料分離問題，所發展出用以製造“高深寬比”元件的微製造技術。並將其實際應用於製作濃縮鈾 ^{235}U 的微型噴嘴(nozzle)上，如圖 2.10 所示。

LIGA 主要製造步驟如同其德文頭字語的組合，分別代表 X 光微影(RöntgenLithographie meaning X-ray Lithography)、電鑄(Galvanik meaning Electrodeposition)、模造成型(Abformung meaning Molding)。

其標準製程如圖 2.11 所示，步驟如下：

(1) 基材準備與光阻層製作[20]

光阻與基板的品質將影響最後光刻結構的解析度，其中必須考

慮：光阻性質、基板材質、光阻與基板的附著性及內應力。同時，為了電鑄成形的考量，基板必須選擇導電性的材料來作為電鑄時的電極。另外，可藉由基板的表面粗化來增加基板與光阻間的附著性。而目前最常用的 X 光光阻材料為 PMMA(poly-methylmeth-acrylate)，也就是壓克力。

(2)光罩製備與光刻[8][6][20]

LIGA 製程技術之光罩是由吸收體(Absorber)、承載膜(Membrane)等所組成。吸收體的材料必須為高原子量的金屬，才能阻擋高能量、高密度之同步輻射 X 光，一般都是以金為吸收體，其厚度約在 10um 以上。目前光罩的製作方法大約可分為兩種：(1)傳統 X 光光罩(2)共型光罩。分別如圖 2.12、2.13 所示。

曝光時 X 光經由特殊設計與製造的光罩(mask)照射在 PMMA 上，高能量 X 光被吸收產生光電子(Photoelectrons)將 PMMA 的聚合鍵打斷使得聚合體的分子量縮小，然後利用溶劑(顯影液)將其去除完成圖形轉印。將照射過 X 光的光阻顯影(developing)後，既可得到由光罩圖案轉移(pattern transfer)的光阻模版。

標準 LIGA 製程是以同步輻射 X 光做為曝光光源，不過由於同步輻射 X 光取得不易且設備昂貴。因此就有人深紫外線、雷射或反應離子蝕刻等來做為替代性光源，這種製程則稱為類 LIGA(LIGA like)。

(3)微電鑄[8][6]

光刻程序所得到的光阻微結構，就作為電鑄程序中的模版，在電鑄過程中，金屬會逐漸填滿光阻微結構間的空隙，當電鑄過程結束後，除去光阻就可以得到互補的金屬微結構。

(4)模造[8][6]

以金屬微結構作為模仁(mold insert)，經由熱印壓模或射出成型等技術量產塑膠微結構，或者由這些塑膠微結構再經第二次電鑄而量產金屬微結構。

由於是以 X 光、深紫外線、雷射或反應離子蝕刻製造光刻模具，因此在與 IC 電路的整合方面較無困難。此外，利用電鑄及模造技術，使得微結構得以批量翻造大量生產。目前已實際應用於微致動器、微熱交換器、微幫浦、微感測器、微光學系統等元件的製作。其製程的主要特色如下[8][21]：

1. 可製造高精確度 3D 微結構與零組件。厚度方面達 $1000\mu\text{m}$ ，橫向精度 $0.25\mu\text{m}$ ，表面粗糙度介於 0.03 到 0.05 之間 μm 。
2. 可製造深寬比超過 100 以上的微結構。
3. 與積體電路製程整合性良好。
4. 材料選擇自由度大，如塑膠、金屬、陶瓷及壓電材料等。
5. 可批次製造，降低成本。

2.3.2 同步輻射光源 X-ray

深蝕刻的光源相當多，包括深紫外光、電子束、雷射光束、反應離子蝕刻及同步輻射 X 光等。同步輻射 X 光因為繞射現象小，再加上穿透力強及波長短(0.2~0.6nm)，所以能得到最佳的光刻精度與品質，其誤差約為次微米的等級。因此可製造出高深寬比、側壁陡峭且光滑的微結構[20]。

光一向是人類觀察及研究大自然不可或缺的工具。廣義地說，所有電磁波都可以稱為光。同步輻射也是電磁波的一份子，為一連續波段的電磁波，涵蓋紅外線、可見光、紫外線及 X 光等，如圖 2.14 所示。1974 年首次在美國通用電器公司同步加速器上意外地被發現，因此命名為同步加速器輻射，又簡稱為同步輻射。二十世紀初，同步加速器是高能物理學家專門用來尋找基本粒子與探索宇宙本質的重要工具。自從同步輻射被發現後，一些物理和化學家們利用高能物理研究的空檔，使用加速器所放出的同步輻射做研究，後人便稱此類與高能物理研究共用的加速器為第一代同步輻射光源。1970 年代，科學家們逐漸體認到同步輻射光源的優異性，於是紛紛開始興建專門為產生同步輻射光的加速器，這就是所謂的第二代同步輻射光源。1980 年代，科學家們提出一個構想，在儲存環中裝入特別的插件磁鐵，例如增頻磁鐵或聚頻磁鐵，藉此使電子由偏轉一次變成多次偏轉，同步

輻射的亮度則可提高一千倍以上，這便是第三代同步輻射光源。

根據電磁學的理論，帶電粒子的運動速度或方向改變時會放射出電磁波。當電子以接近光速飛行，受到磁場的作用而發生偏轉時，會因相對論效應沿著偏轉的切線方向，放射出薄片狀的電磁波，這就是同步輻射光，如圖 2.15 所示。同步輻射具有下列特性：

1. 強度極高。
2. 波長連續。
3. 準直性佳。
4. 光束截面積小。
5. 具有時間脈波性。
6. 具有偏振性。



若以 X 光為例，同步輻射在這個波段的亮度比傳統 X 光機所產生的 X 光還要強百萬倍以上，過去需要幾個月才能完成的實驗，現在只需幾分鐘便能得到結果。以往因實驗光源亮度不夠而無法探測的結構，現在藉由同步輻射，都可分析得一清二楚。此種同步輻射 X 光亦可做為探測物質的幾何、電子、化學或磁性微觀結構，應用在生化解析、醫療用途以及微加工技術上。因此於近年內許多嶄新的研究領域得以開發，是先進科學研究的利器[8]。

2.4 SU-8超深X光光刻技術(SU-8 Ultra-Deep X-ray Lithography)

2.4.1 SU-8厚膜光阻

SU-8 是由美國光阻公司Microlithography Chemical Corp., MMC 所推出的一種負型厚膜光阻，商品名稱為NANOTMXP SU-8。此光阻的上市可以說打破了原本高深寬比微系統技術(High-Aspect-Ratio Microsystem Technology, HARMST)在紫外光類LIGA製程應用的極限(300 微米)。

SU-8 為環氧型態負光阻，其本身屬於化學增幅放大型光阻，具有極優越的敏感度和高深寬比性，故經常用於製造高精度的微結構，此種光阻主要的特性有下列幾點：

1. 在近 UV 光譜下具有非常低的光吸收性。也就是穿透率極高，所以它容易在沒有散射的情況下曝的更深，讓整個厚度的光阻，得到均勻的曝光劑量，有助於尺寸的控制和垂直的側壁。
2. 單次旋轉塗佈膜厚可達 200 μm 。
3. 具有極佳的熱和化學穩定性，常被應用於製造高深寬比微結構、封裝、生醫方面。
4. 具有低分子量，能均勻的散佈在有機溶劑中，形成高濃度的混合物。

SU-8 厚膜光阻是由三種主要成分構成：樹脂(epoxy novolak

resin)、溶劑(GBL)以及感光劑(triaryl sulfonium salt)。其中感光劑為光活性化合物(photoactive compound)，簡稱為 PAC。圖 2.16 為其分子組合結構圖。Microlithography Chemical Corp.依照不同的膜厚需求，推出了 SU-8 一系列不同序號的光阻，在成分及含量上有所差異。本研究使用的 SU-8 2050 光阻主要成分如表 2.1 所示。

SU-8的在反應機制方面見圖2.17。SU-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(cross-linking)；而新形成的羰根離子又會再向下個帶有環氧基的SU-8樹酯進行交聯...。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熱擴散的作用，成為高度交聯不易溶解的巨大分子結構。

2.4.2 厚膜光阻製程

一般的旋塗技術不易製作膜厚 500 μm 以上的光阻結構，所以欲製作膜厚達 1mm 以上甚至更厚的光阻結構，則必須使用其他的塗佈方式。由於 SU-8 2050 光阻的黏滯係數較高，在常溫下為濃稠狀，故本製程利用光阻與基板間表面張力的作用，以定量塗佈的方式製作極厚的光阻結構。依塗佈的面積與光阻的密度，使用電子秤以定量塗佈

的方式，可成功地製作出膜厚達 1mm 以上的光阻結構。由於光阻在高溫烘烤時的流動性極佳，藉由重力與表面張力的作用下，光阻會自動攤平成厚度均勻的光阻層。

2.4.3 鼓膜光罩設計與製作

傳統的 X 光光阻材料 PMMA，感光敏感度及對比均不佳，因此其光罩本身必須提供足夠的曝光對比。傳統 X 光光罩的示意圖見

圖 2.18a。鼓膜(membrane)必須使用原子序較低的材料(如 Si_3N_4 、Be)，同時厚度僅可能薄至 $\sim 2\mu\text{m}$ 。至於光罩的吸收體(absorber)，則必須使用原子序較高且高密度的材料(如Au、W)，厚度僅可能厚至數十 μm ，這些要求將使光罩製程極為複雜且困難。因此長久以來，光罩的製作均是X光深刻技術最大的挑戰。

相對地，SU-8 光阻因本身的感光敏感度及對比極高，因此對光罩上的要求便相對的降低，亦即可用較厚的鼓膜與較薄的吸收體製作配合 SU-8 光阻特性的鼓膜光罩，如圖 2.18b 所示。此光罩結構不但可使製程良率大幅提升，複雜性降低，也可以一般體矽微加工(bulk Si micromachining)或晶片接合(wafer bonding)製程實現。同時較薄的金光罩則可提升光罩的精度、降低製作的成本。因此前人據此發展出新式 X 光光罩，其製作分成兩個部分進行，分別為鼓膜與吸收體的製作，其製作方法分別說明於後。

(1) 體型微細加工

利用矽基體型微細加工來製作 X 光光罩的鼓膜。圖 19 為鼓膜製作順序的示意圖與實際成品，其步驟大致如下：

1. 將 Si 晶片做標準的清潔程序。
2. 使用 LPCVD 爐管沈積 Si_3N_4 薄膜，膜厚為 $1.5\mu\text{m}$ ，並經由退火程序消除薄膜應力。
3. 利用 AZ-4620 正型光阻與 UV 微影製程，定義背向蝕刻的圓形窗口。
4. 以光阻當作罩幕層(mask)，利用 RIE 蝕刻 Si_3N_4 ，定義欲溼式背部蝕刻的圖案，之後並將光阻去除。
5. 使用非等向性蝕刻溶液 KOH，經由攪拌進行蝕刻，製作 backwall 為 $20\mu\text{m}$ 的鼓膜。

(2) 面型微細加工

利用面型微細加工在經體型微細加工蝕刻後的 Si 鼓膜上製造 X 光光罩的金吸收體。圖 20 為吸收體製作順序的示意圖與實際成品，其步驟大致如下：

1. 在鼓膜的 Si 晶片上，濺鍍 Ti/Au 電鍍基層。Ti 為增加 Au 與 Si_3N_4 的附著性，Au 則為電鍍的基層。
2. 使用熱熔膠接合另一晶片，以確保鼓膜在後續製程上

的安全。旋塗 JSR THB-130N 負型光阻，透過 UV 微影製程，定義電鍍吸收體的圖案位置。

3. 電鍍厚度 $15\mu\text{m}$ 的金吸收體，電鍍速率為 $15\mu\text{m/hr}$ 。
4. 使用 JSR stripper THB-S2 剝除光阻。
5. 使用 KI+I+DI Water 的蝕刻溶液，蝕刻電鍍基層 Ti/Au。

2.4.4 光刻結果

本製程所使用的劑量模擬軟體為 SHADOW 與 Syli 4，可計算曝光後 SU-8 光阻吸收 X 光的劑量分佈，進而推算所需的曝光劑量、時間與濾片(filter)的選擇，設計適合的光罩結構。再搭配氧淬火(oxygen quech)處理，在氣氛的控制下，改善光刻品質，確保製程的穩定性。同時在曝光時利用石墨薄片吸收螢光，避免次效應造成的影響。

SU-8 相對於 PMMA 而言具有極佳的曝光敏感度，因此可大幅縮減曝光所需的時間約五十倍。經由光學顯微鏡配合影像處理軟體的量測也證明 SU-8 同樣具有極佳的光刻精準度，光刻側壁的傾斜角大約只有 0.06° 。在光刻側壁的表面品質方面，由原子力顯微鏡量測出來的平均粗糙度為 12.2nm (標準差微 1.3nm)，與 PMMA 之光刻品質相當接近[8]。

2.5 兆赫頻段光學量測系統

量測系統是由交通大學光電所提供，整個系統架構如圖 2.21 所示。首先鈦藍寶石雷射通過極化分光鏡(Beam splitter)分成激發光源與探測光源。激發光源通過截波器(參考頻率 1.5kHz)後經過反射鏡將光打入一外加直流偏壓的光導天線(Antenna)，此光導天線吸收雷射脈衝後會產生暫態光電流並輻射出兆赫頻段的電磁脈衝。由於經過光導天線所產生的電磁脈衝會以一定角度發散，所以利用反射式的拋物面鏡來聚焦(焦距 12cm)。經過拋物面鏡後通過薄膜分光鏡(薄膜厚度 5 μ m)聚焦於 ZnTe 晶體上。



在探測光方面，經過極化分光鏡後經過至於步進馬達上的一組直角反射鏡，此步進馬達用來延遲探測光束，推動 1mm 相當於在時域上掃描了 6.67 皮秒。這是由於兆赫頻段電磁脈衝的半寬高約 1ps，現在電子儀器的頻寬還無法量測如此快速的訊號，所以利用將空間轉換成時間度量的概念，推動步進馬達來延遲探測光的光程，藉此掃描出完整的訊號。光再經過反射鏡反射後經過一偏光鏡片以確保雷射光的偏極方向垂直於桌面。然後再經過之前提過的薄膜分光鏡。

在偵測兆赫頻段電磁脈衝方面，是利用非線性晶體 ZnTe 來偵測。其規格為高阻值的單晶晶體，長寬皆為 1cm，厚度為 0.8mm，晶向是<110>。當一兆赫頻段的電磁脈衝加在 ZnTe 時因為電光效應，

所以會改變晶體折射率。另外引入一道探測光束並利用電光調變的方法來量測穿透的探測光強度，如此便可得到兆赫頻段的電磁脈衝與探測光脈衝的相互關係訊號，此及電光取樣技術[22]。

在 ZnTe 後放置一極化分光鏡(Wollaston prism)，將經過 ZnTe 的探測光分成平行極化線偏振光與垂直極化線偏振光，然後用平衡接收器(Balanced photoreceiver)接收這兩道訊號。此接收器包含兩個光偵測器和一個訊號相減的電路，利用此平衡接收器將兩調變後的偏振正交訊號相減，如此一來不但可增加一倍的訊號，亦可降低雜訊。再將經過平衡接收器處理後的訊號接到鎖相放大器，鎖相放大器的參考頻率由激發光路上的截波器提供，目的是將非週期性的雜訊濾掉，增加訊號的訊噪比(S/N ratio)。最後由電腦推動步進馬達，讀取鎖相放大器上的訊號，一步步的掃描出完整的兆赫頻段電磁脈衝訊號。

量測的樣品則是放在兩個拋物面鏡之間。要量測的樣品很小，為了避免漏光影響了最後的量測結果，樣品最好是放置在拋物面鏡的焦點處。另外為了盡量降低漏光的影響，在樣品的前面放置一個孔徑(aperture)來侷限進入晶體的光點大小。

Item	Chemical	wt%
Solvent	Gamma butyrolactone	~25
Resin	Epon SU-8	~65
PAC	mixed triarylsulfonium/hexafluoroantimaonate salt	~10

表 2.1 SU-8 2050 之主要成分[6]



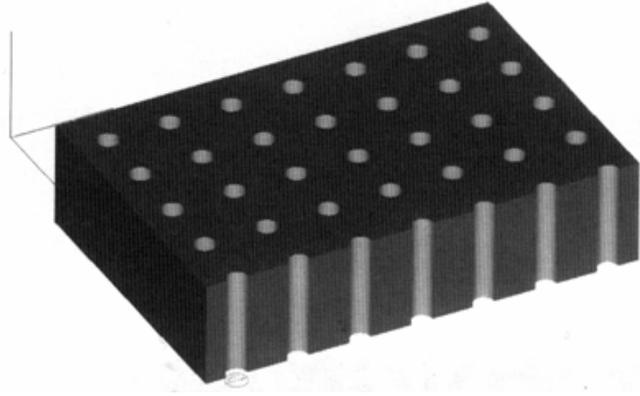


圖 2.1 典型的 2D 光子晶體週期性結構[9]

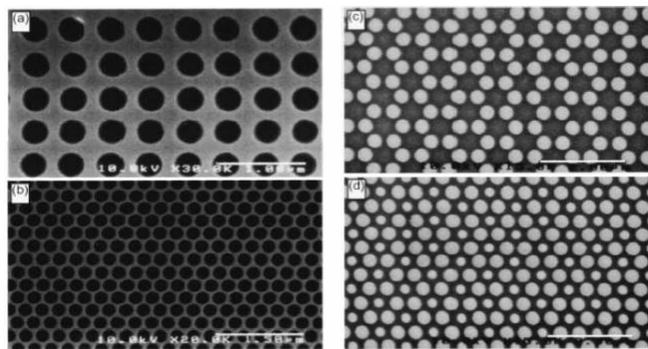


圖 2.2 應用電子束微影法製造的棒狀二維光子晶體[10]

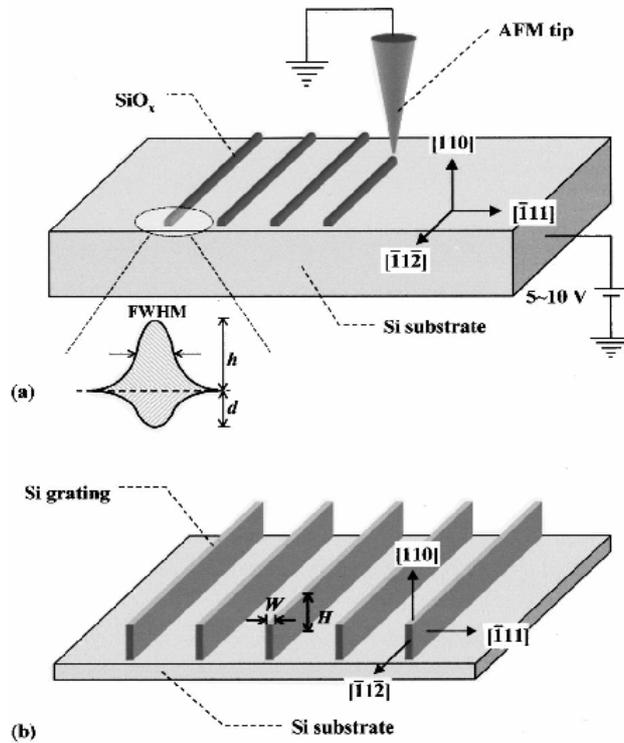


圖 2.3 應用 AFM 在 Si(110)晶面上製作微影圖形的示意圖[11]

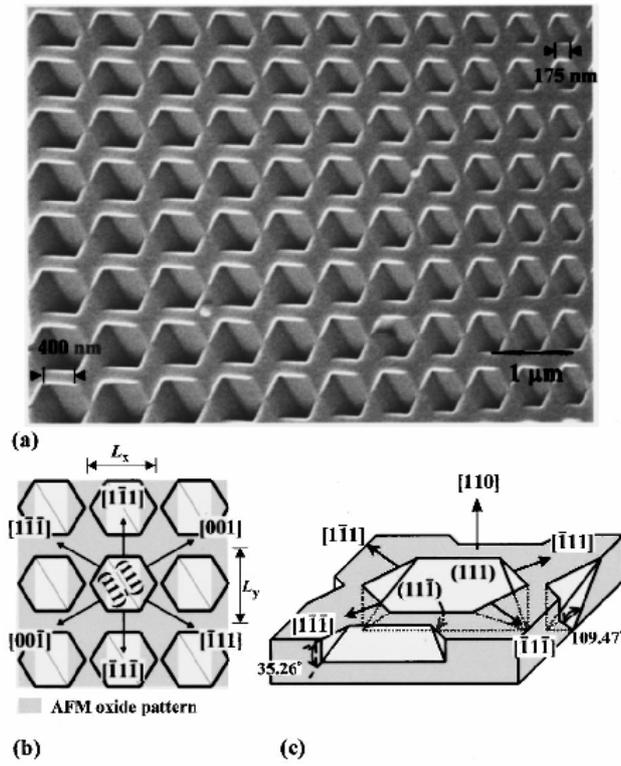


圖 2.4 AFM 微影所製作出的二維表面結構[11]

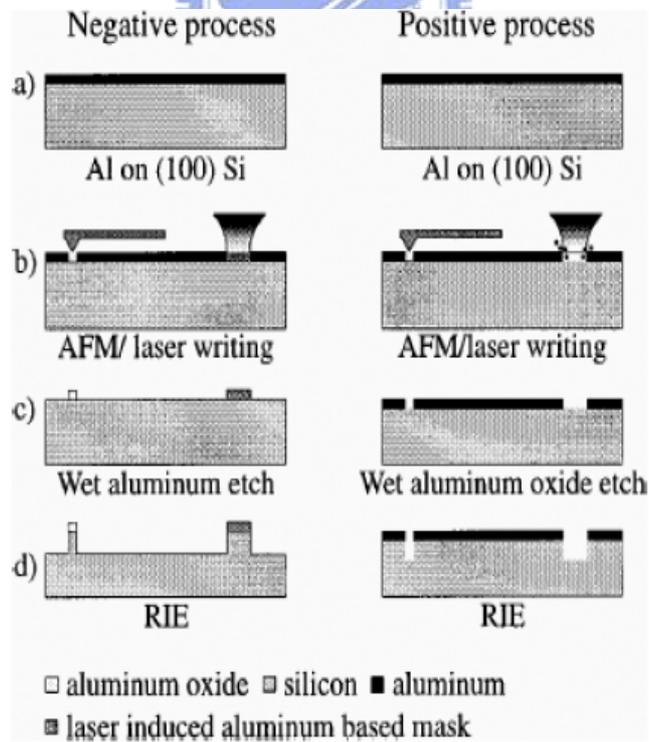


圖 2.5 使用 AFM 與雷射在表面對正、負光阻微影的示意圖[12]

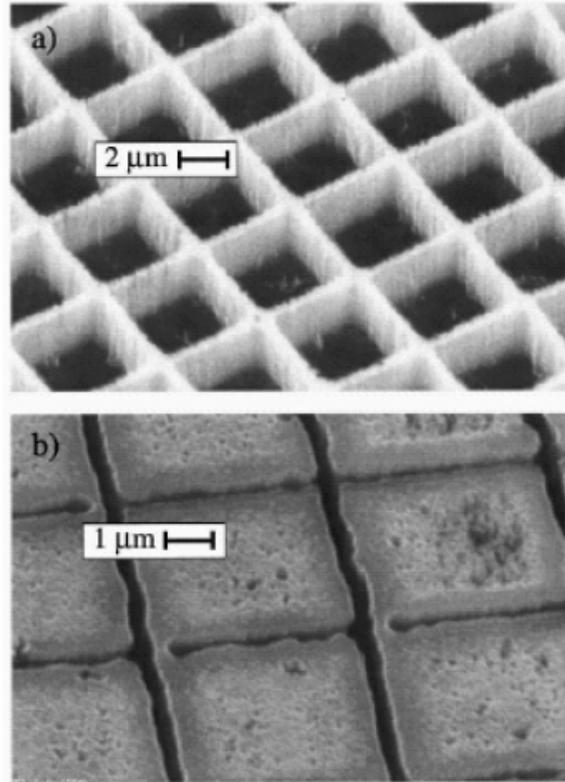


圖2.6 雷射直寫微影法所得到的結果[12]

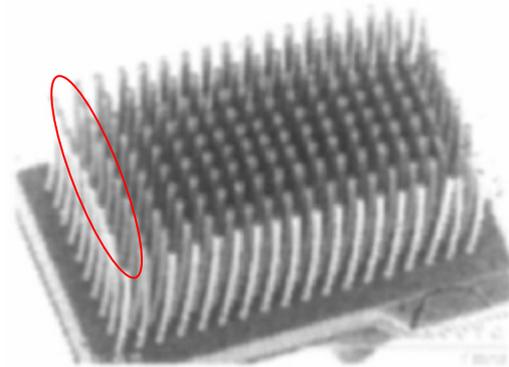


圖2.7 應用 μ SL製程所得的兆赫波段二維光子晶體[4]

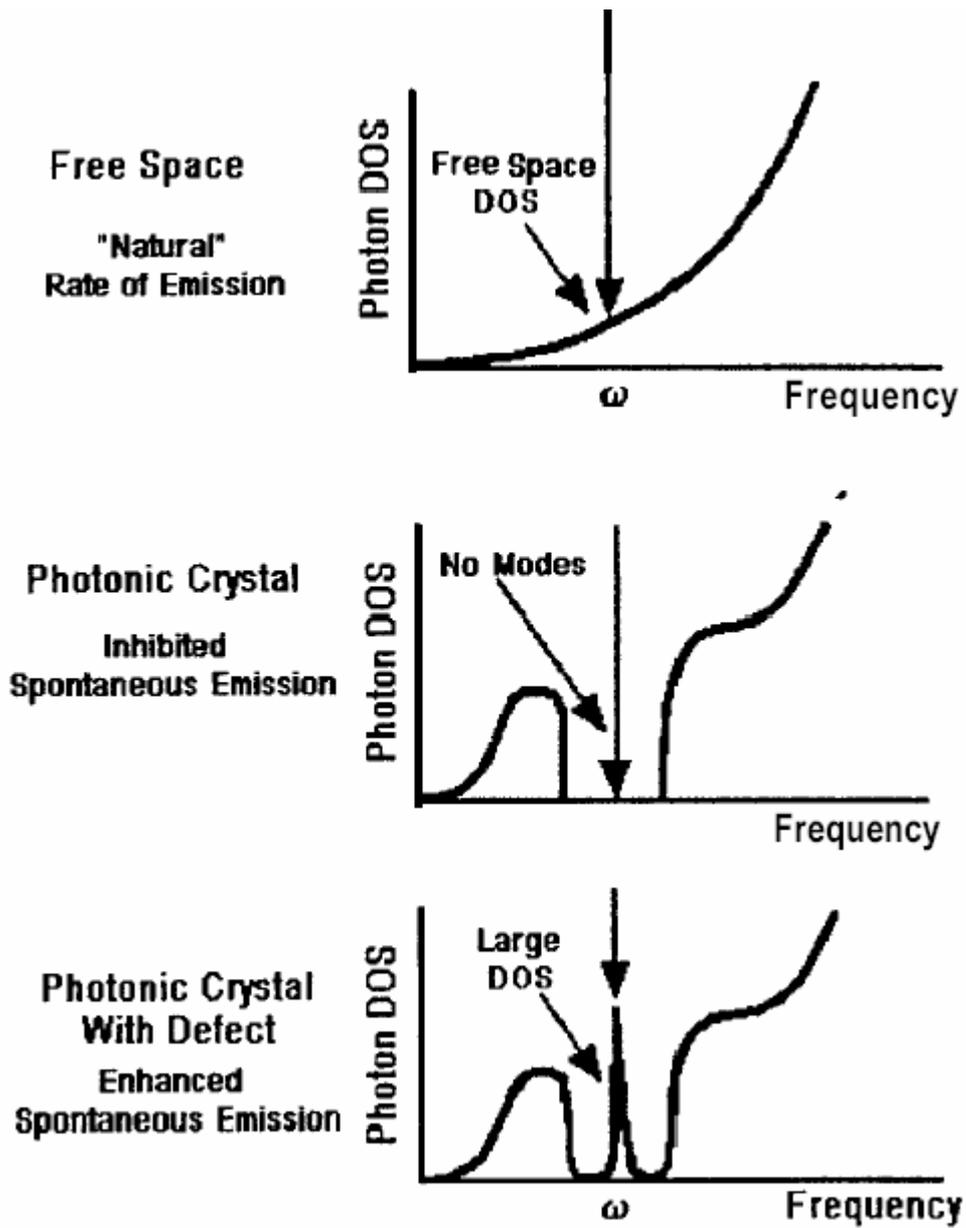
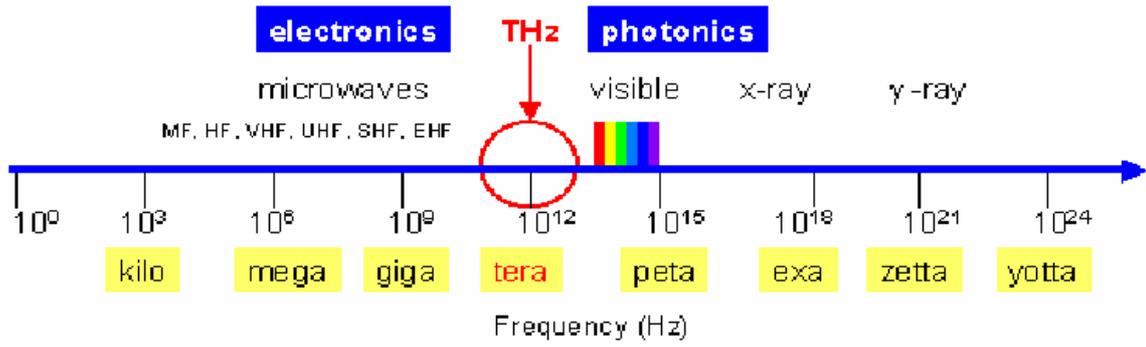


圖2.8 由上至下分別為自由空間光子晶體與摻了雜質之光子晶體中的態密度分布[13]



1 THz = 1 ps = 300 μm = 33 cm⁻¹ = 4.1 meV = 47.6 °K

圖2.9 THz波段在頻譜上的範圍[15]

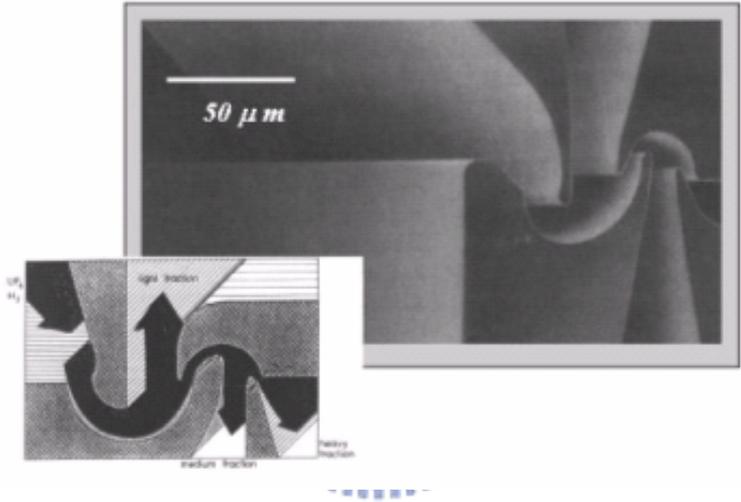
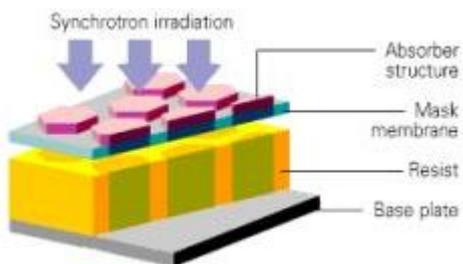


圖 2.10 銣同位素分離結構[19]

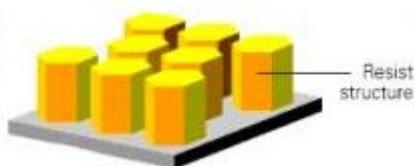
1. 光刻



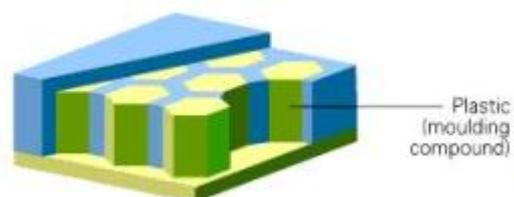
4. 金屬模仁



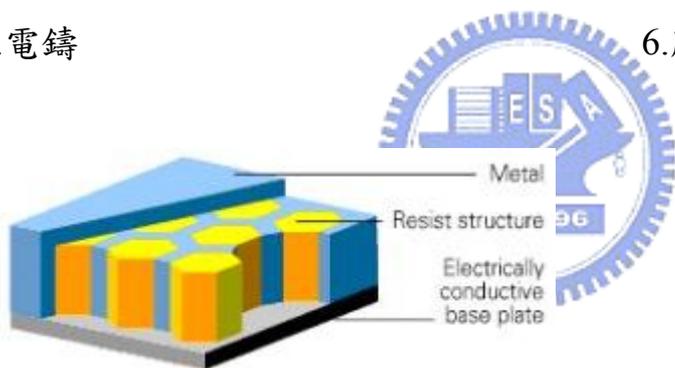
2. 顯影



5. 模造



3. 電鑄



6. 脫模



圖 2.11 深刻電鑄模造製程技術[6]

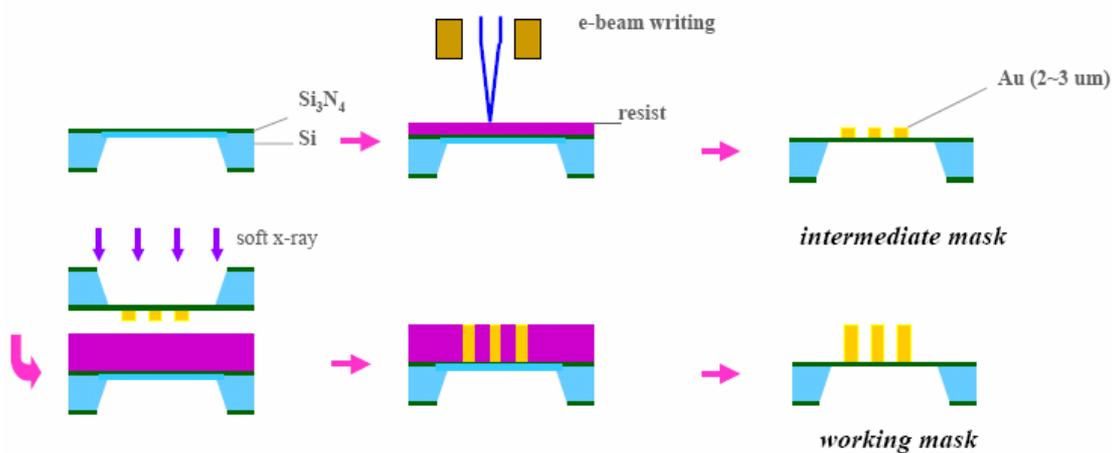


圖 2.12 傳統 X 光光罩製程圖[6]

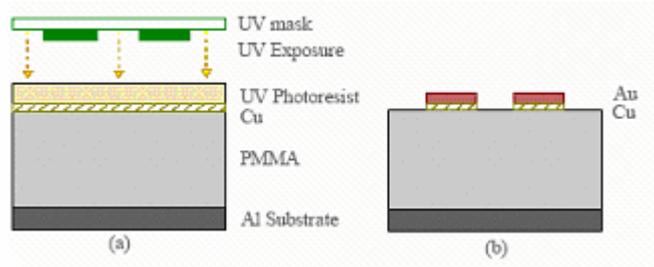


圖2.13 共型光罩製程圖[6]

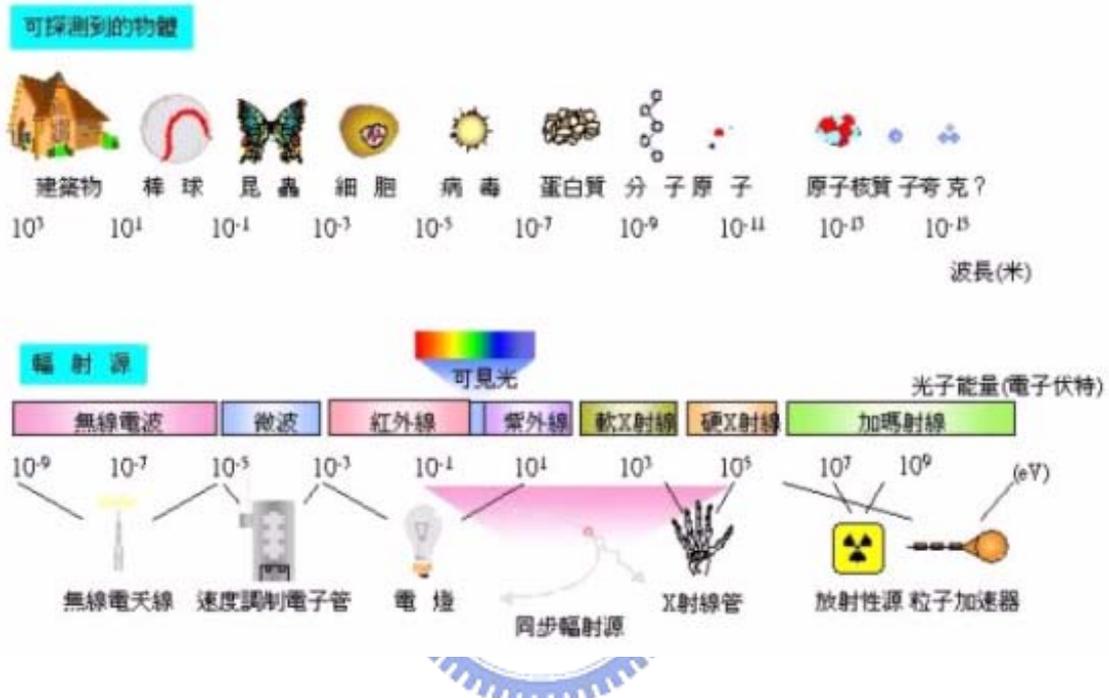


圖 2.14 同步輻射涵蓋的波長範圍[6]

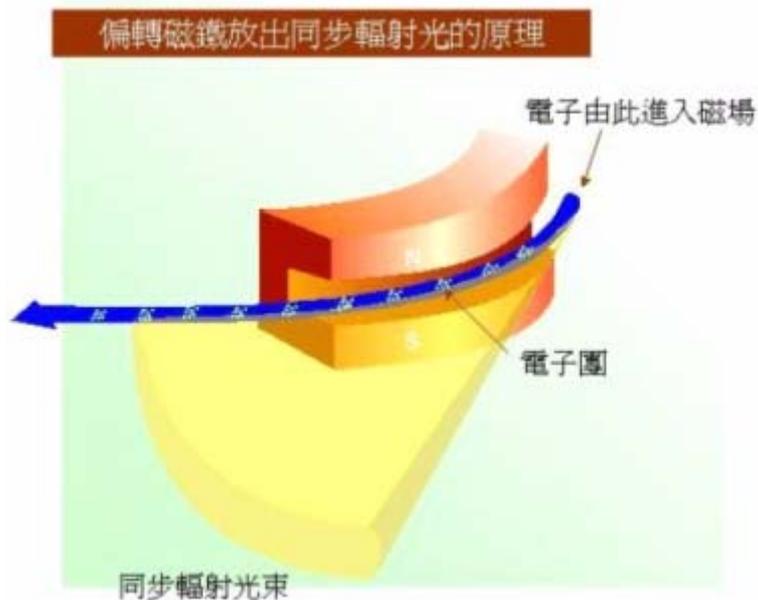


圖2.15 同步輻射產生的機制[6]

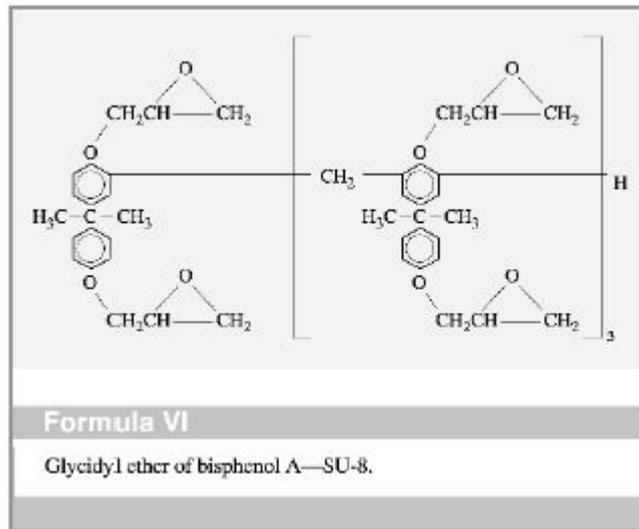


圖2.16 SU-8光阻的分子組合結構圖[6]

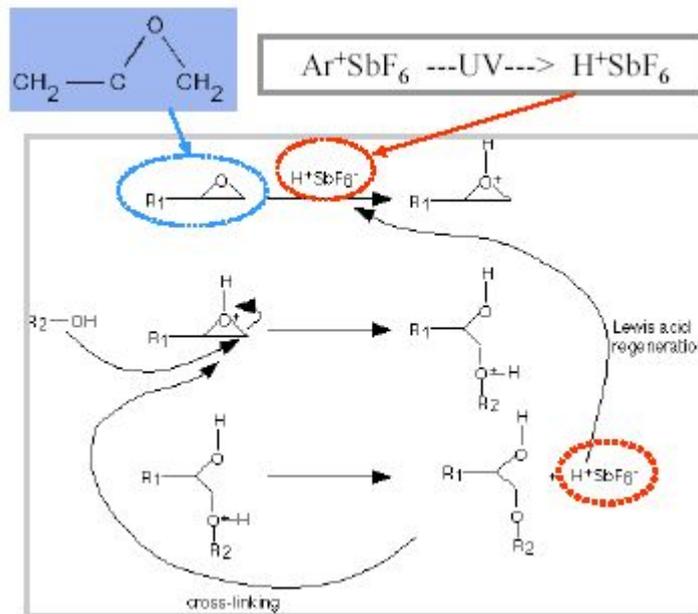


圖 2.17 SU-8 光阻之反應機制[6]

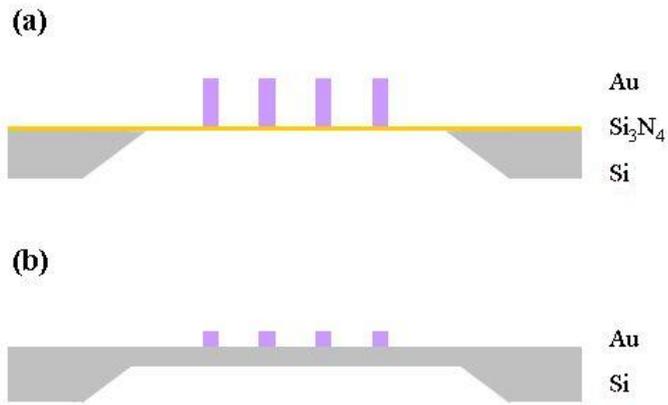


圖2.18 傳統與新式X-ray光罩在結構上比較之示意圖[8]

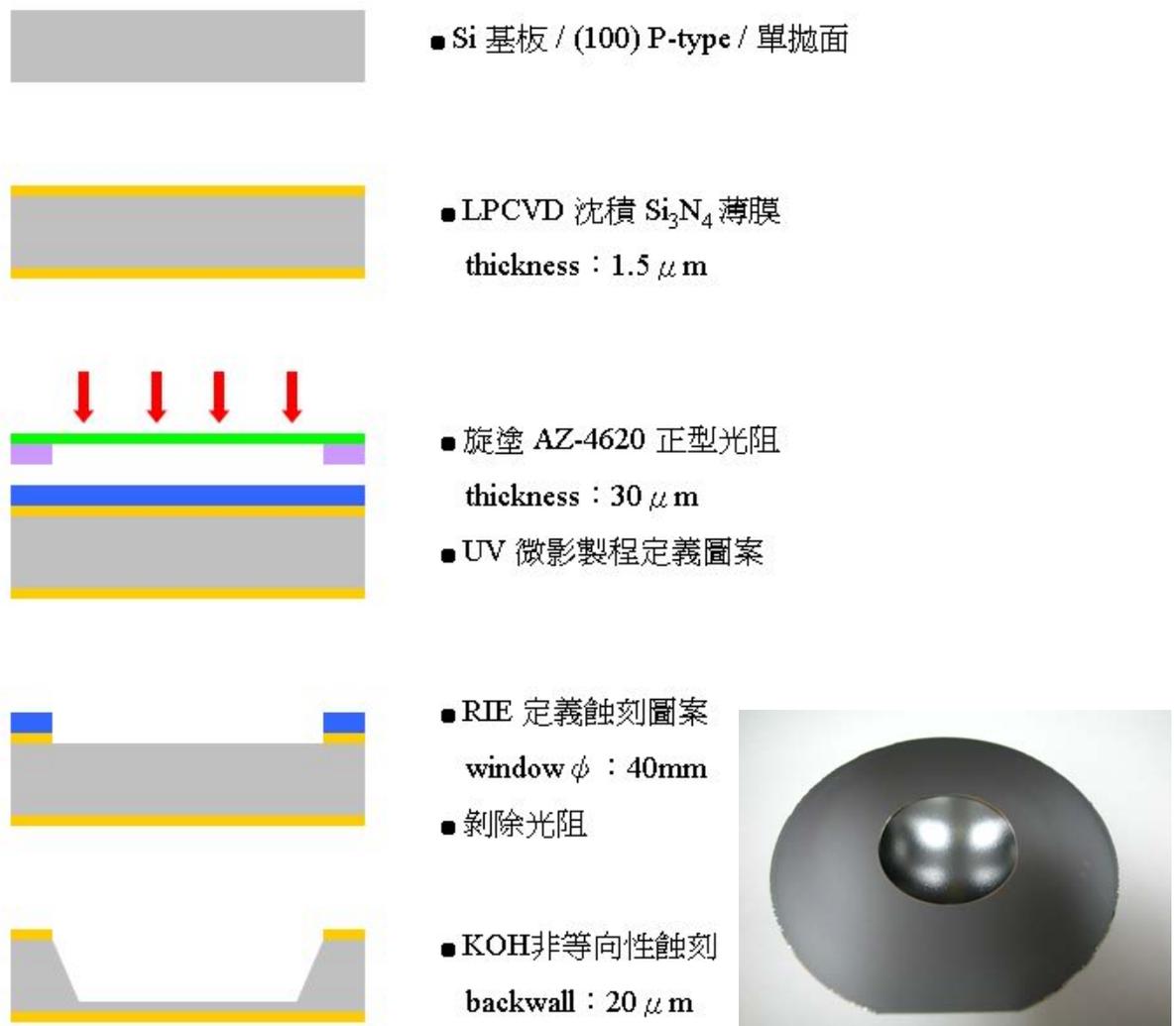
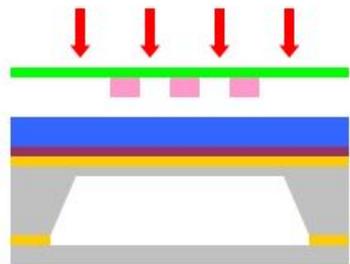


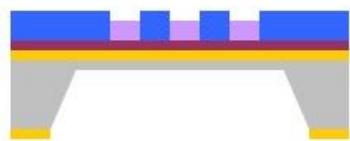
圖 2.19 鼓膜製作程序之示意圖與實際成品(鼓膜 Si~20μm)[8]



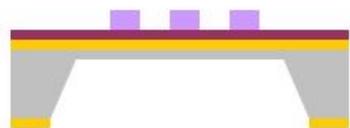
- 濺鍍 Ti/Au 電鍍基層
Ti : 20nm
Au : 50nm



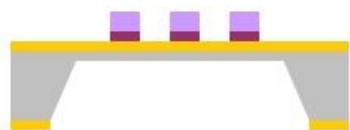
- 晶片接合
- 旋塗 JSR THB-130N 負型光阻
thickness : 20 μ m
- UV 微影製程定義圖案



- 電鍍Au
thickness : 15 μ m



- 剝除光阻



- 蝕刻Ti/Au電鍍基層

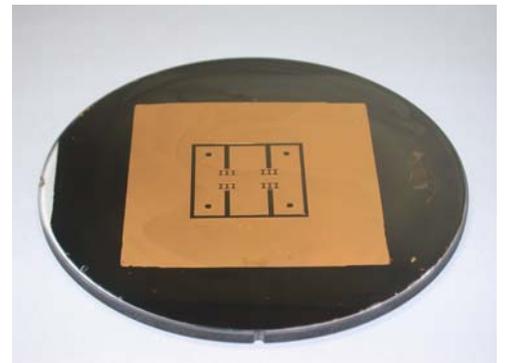


圖2.20 吸收體製作程序之示意圖與實際成品(吸收體Au~15 μ m)[8]

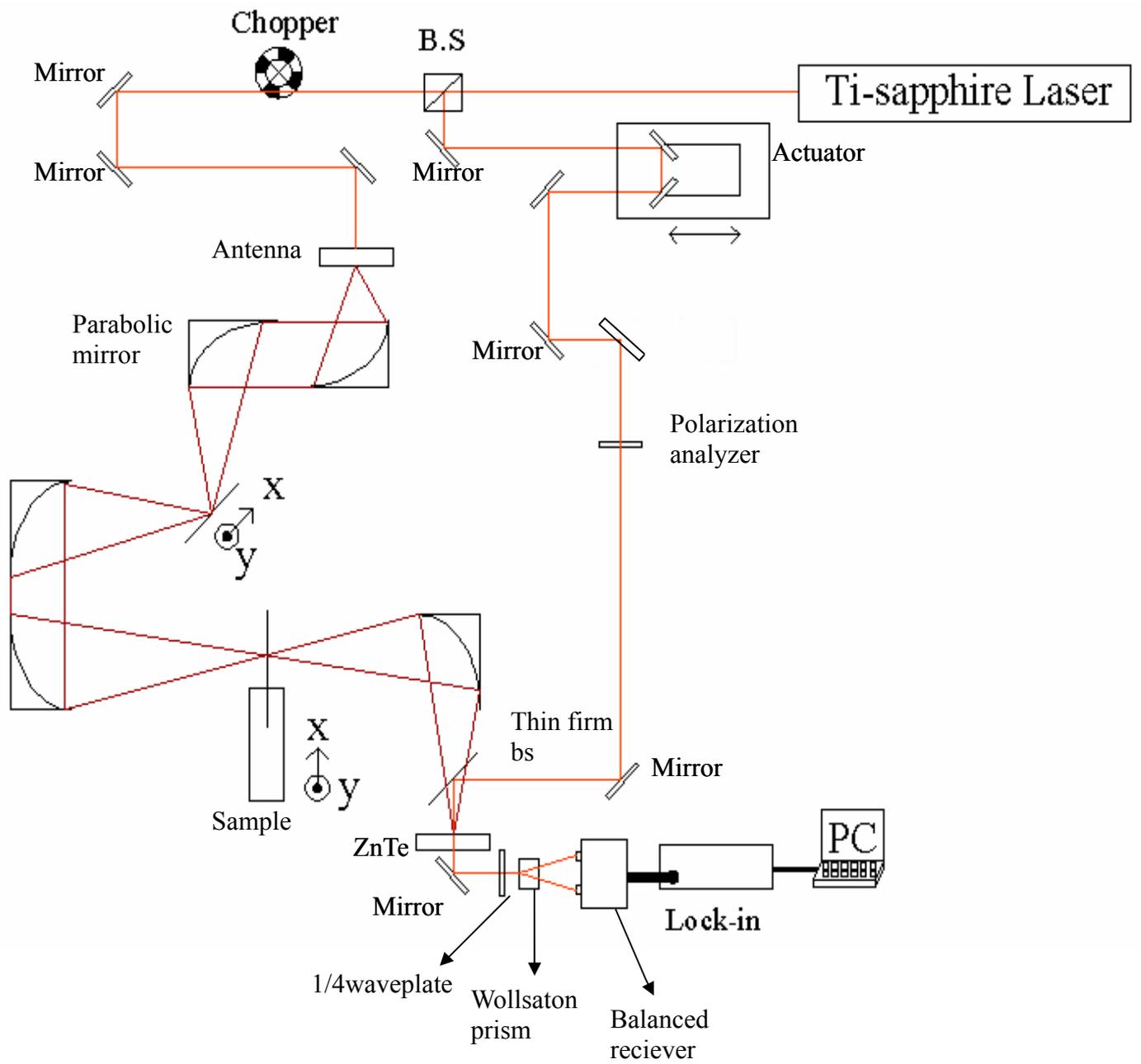


圖2.21 兆赫頻段光學量測系統[22]