

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

晶體(如半導體)中的電子由於受到晶格的週期性位勢(periodic potential)散射，部份波段會因破壞性干涉而形成能隙(energy gap)，導致電子的色散關係(dispersion relation)呈帶狀分佈，此即眾所周知的電子能帶結構(electronic band structures)[1]。而相對於電子在半導體晶體的特性，光子也有類似的特性。在 1987 年 E. Yablonovitch[2]及 S. John[3]不約而同的指出：當光子在一介電常數成週期變化的材料中，則光子相當於電子處於周期性的位能結構中，電磁波經介電函數散射後，某些波段的電磁波強度會因為破壞性干涉而呈指數衰減，無法在系統內傳遞，相當於在頻譜上形成能隙，於是色散關係也具有帶狀結構，此即所謂的光子能帶結構(photonic band structures)。具有光子能帶結構的介電物質，就稱為光能隙系統(photonic band-gap system，簡稱 PBG 系統)，或簡稱光子晶體(photonic crystals)。

和電子一樣，光在光子晶體中也會被排列週期、空間結構和介質的介電常數來控制。因此不需要改變物質的內在化學結構即可達到改變光的行為的目的。而藉由在光子晶體中製造點缺陷或線缺陷，可以濾出特定波長的光，讓光子晶體有了多方面的應用。例如，可用來抑

制自發輻射，提高發光二極體(LED)的發光效率；或製成光波導，提供光在狹小區域內進行極大角度的轉彎以及光子晶體光纖(photonic crystal fiber, PCF)等等。

兆赫(THz)頻段(10^{12} Hz，波長約 $300\mu\text{m}$)位於可見光與微波之間，跟許多領域都有密切的關係。兆赫頻段恰好是分子震盪所分列出來的能階大小，因此可以用來了解分子的構造。又因為兆赫頻段電磁輻射的能量約數個meV，對人體的傷害遠低於X-ray，故可以用來檢定細胞組織是否發生變化。因此兆赫頻段輻射在物理、化學及醫學上都有探討及應用的空間。我們可以設計適合兆赫頻段的光子晶體作為特定波長的濾鏡、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重要的應用。

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的尺寸約為光訊號在材料內波長的四分之一，所以就大部分光電應用波段來說，其尺寸大約在一百奈米左右。而對於兆赫頻段的光子晶體來說，其晶格常數約在一百 μm 左右，結構尺寸大約為數十 μm 且深寬比約 20(厚度約 1mm)的高深寬比結構。但是目前各種製造二微光子晶體的技術，如電子束微影(EBL)、原子力顯微術微影(AFM lithography)等的加工尺寸都是在奈米等級。 μSL (microstereo-lithography)技術[4]雖然加工尺寸及深

寬比可以達到要求，但是其精度不佳，因此不適用於製造兆赫波段的光子晶體。

而應用具有短波長、高穿透力的 X 光作為光刻光源的 X 光深刻技術(DXL, Deep X-ray Lithography)可製造出高解析、高精度以及高深寬比的精密微結構，因此非常適用於兆赫波段光子晶體的製造。在 X 光深刻製程中最常用的光阻為 PMMA，此光阻可提供相當大的深寬比同時具有次微米級的解析力與極優異的加工表面品質。但是在製造二維光子晶體如此高深寬比的結構時，PMMA 所顯現出來的附著性極為不佳[5]；而且 PMMA 的感光度極低，雖然藉由多次曝光與共型光罩方式可縮短約一半的曝光與顯影時間，但是所需曝光時間仍超過十小時[6]。

前人研究發現，普遍應用於微機電製程的 SU-8 對於 X 光曝光的敏感度為 PMMA 的百倍以上[7]。前人的初步研究也顯示[8]，透過適當的光阻製程，X 光深刻 SU-8 光阻的結果，表現出相當不錯的加工品質。因此，本研究嘗試利用 X 光深刻 SU-8 光阻技術來製造兆赫頻段的光子晶體，透過進一步的 X 光深刻技術研發，建立一個高品質、高效率的微加工技術平台，提供未來其他相關可能應用的基礎。

1.2 研究目的

本研究的目的，主要是藉由高感度、高對比的 SU-8 光阻材料，研發一個高效率、高良率、高品質的超深 X 光光刻技術平台，用以製作兆赫頻段二維光子晶體元件。實驗中同時也配合理論計算，製作一個高通濾波器(high pass filter)，並藉由光學量測檢驗該加工技術的適用性。本研究的成果，除了可支援兆赫光子晶體的先進研究外，也可用於微系統技術，從事微機械、微流體、微致動器與微波元件的應用研究。

