



先進雷射技術製作光子晶體結構

Advanced Laser Manufacturing Technology
for Fabrication of Photonic Crystal Structures

張天立

工研院機械所
先進製造核心技術組

羅紹維

清華大學
動力機械所
博士班

蘇志杰

工研院機械所
先進製造核心技術組

謝志璋

工研院機械所
先進製造核心技術組

賴文郎

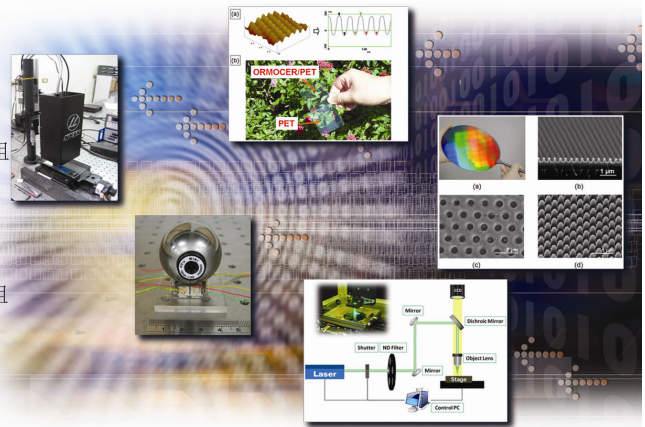
工研院機械所
先進製造核心技術組

周大鑫

工研院機械所
先進製造核心技術組
經理

林宏彝

工研院機械所
先進製造核心技術組
副組長



關鍵詞

- 先進製造 Advanced Manufacturing
- 雷射加工製程 Laser Machining Process
- 雷射干涉微影 Laser Interference Lithography
- 飛秒雷射加工 Femtosecond Laser Machining
- 光子晶體 Photonic Crystals
- 微/奈米結構 Micro/Nanostructures

摘要

光子晶體為一種週期性的介電質分佈結構，可根據其週期結構分佈方式分為一維、二維與三維。當一介電材料呈現晶格狀排列時，電磁波經過該材料介電函數產生色散，會根據其結構週期於特定波段因破壞性干涉呈現指數衰減，因而在材料內產生特定波段之光子能隙。光子晶體製程發展至今，已

能成熟應用於許多光電元件與產品上，但是受限於製程方式，目前仍以一維和二維光子晶體為主，且製作面積小。雖然傳統製程能以堆疊方式達成製作三維光子晶體之目的，但是此製程耗時、費工且結構變化多受侷限。本文介紹兩種新興先進雷射加工方式，一種為雷射干涉微影技術，能非常容易與快速製作大面積與週期性微/奈米結構之二維光子晶體，且能自然成形傳統製程難以製作之蛾眼結構；另外，使用飛秒雷射加工技術，除了能以直寫方式高精度加工任何材料，並能透過高分子材料雙光子吸收機制，以掃描方式簡單製作形狀結構極為複雜的三維光子晶體結構。

Photonic crystals are composed of periodic dielectric nanostructures including 1-dimensional, 2-dimensional and 3-dimensional structures that affect the propagation of electromagnetic waves in the same way as the periodic potential in a semiconductor crystal affect the electron motion by defining allowed and forbidden electronic energy bands. Nowadays, the



development of photonic crystals has been applied on a lot of products in the market. However, the photonic-crystal structures mainly are 1-dimensional and 2-dimensional structures due to the limit of the fabrication processes. In addition, the conventional manufacture for 3-dimensional structures of photonic crystals, its multilayer structures can be fabricated by layer-by-layer processes that cause time-consuming, long-working and the limit of the different structures. In this paper, the two kinds of laser machining techniques can be presented. One is laser interference lithography (LIL) technique that can easily and fast fabricate the large area, periodic and 2-dimensional micro/nanostructures in the photonic-crystal process. Different from the conventional processes, the LIL process is fabricated the moth-eye nanostructures with ease. On the other hand, the femtosecond laser machining technique can be used in any materials. Its behavior of non-linear photon absorption is effective to fabricate the 3-dimensional structures of photonic crystals. Hoping these laser techniques can be helpful to fabricate photonic-crystal structures and their applications.

前言

目前，隨著科技的演進與製程技術的進步，3C 產品之製造能快速與普及化，而新一代的產品爲了進一步追求更多的功能，光子晶體(Photonic Crystals)已經漸漸成爲光學元件的基本必需之結構，發展先進製造雷射加工製程(Advanced Laser Manufacturing Process)用於光子晶體結構之製造，已成爲刻不容緩且急需開發建立之技術[1-4]。最早在 1987 年，E. Yablonovitch 教授爲了開發新型雷射，減少雷射於自

發放射(Spontaneous Emission)能量的浪費，發現以光子能隙(Photonic Band Gap)結構圍繞著原子，則原子會不以自發放射的方式輻射[5]。同年，S. John 教授以電子可被有缺陷的晶體所侷限進行研究，推論光子應也可被光子的晶體所侷限[6]。過去在光子晶體研究的初期，大多數的研究都只是理論與計算，但隨著奈米科技的發展，促使光子晶體在實驗上能有突破。因此，開發先進技術製程技術於製作光子晶體結構爲商品化之重要關鍵瓶頸。

近年來先進雷射製造技術是結合光電、機械、物理與電控等科學與技術整合成的新技術，其包括了雷射干涉微影技術(Laser Interference Lithography Technique)與飛秒雷射加工技術(Femtosecond Laser Machining Technique)。針對週期性(Periodic)與非週期性(Non-periodic)微米與奈米級結構之光子晶體，可以製作出光學模擬計算的結構，相較於鍍膜法、微影堆疊法和自組裝堆疊法等製程技術，先進雷射製造技術爲無光罩能量束加工製程(Maskless Energy Machining Process)，其加工製程較簡易，對於大面積加工製程極具助益。隨著全球科技的迅速進步，發展先進雷射製造技術結合奈米轉印技術(Nanoimprint Technique)，藉由先進雷射製作光子晶體奈米轉印之母模仁，再利用奈米轉印製程達產品之量產，以高解析度與低成本方式有效製作光子晶體結構。

傳統製程製作光子晶體

在光子晶體製作技術有許種製程方式，但基本上仍以較爲傳統之製程爲基礎發展，以下面幾種常用製程方法：

一、多層鍍膜法

傳統鍍膜發展至今，已是十分成熟之技術，鍍



膜一直為製作光學元件必備之重要技術。為了提高反射率或穿透率，光電元件幾乎都需要在表面鍍上介電材料。目前多應用於光學鏡組表面鍍層、積體電路與微機電製程、產品表面防護以及其他先進製造技術等。光子晶體設計主要藉由分析入射光之波長與晶格常數之能帶結構之關係，而利用鍍膜方法，主要便是設計不同膜厚以因應不同產品之需求，一般鍍膜層控制可從數奈米至數十微米，其能應用之波長範圍非常廣泛。也由於鍍膜法只能多層式向上堆疊，故一般只能實現一維光子晶體。在多層鍍膜時，可以依據不同之鍍膜材料，使入射光源經過不同折射率，藉此達到抗反射、高反射和帶通濾波等光學應用。

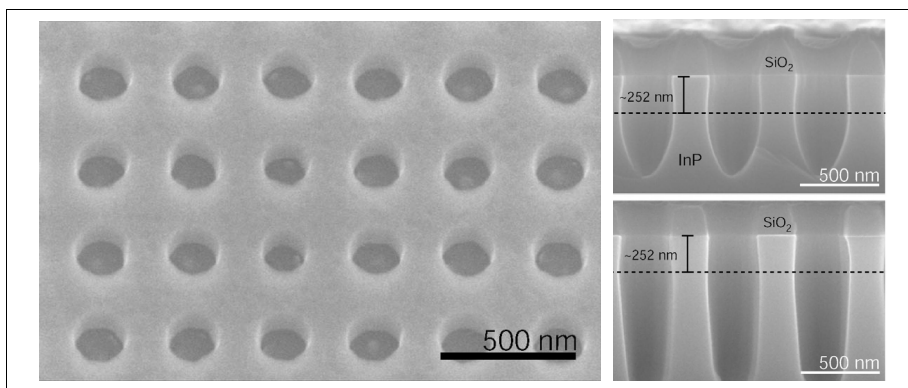
二、微影堆疊法

一、二維光子晶體之製作，是以半導體微奈米製程，由於製程技術發展較為成熟，只需針對所需求設計光罩結構圖案，搭配一般黃光微影、電子束微影、蝕刻與轉印等步驟，便能達到光子晶體基本

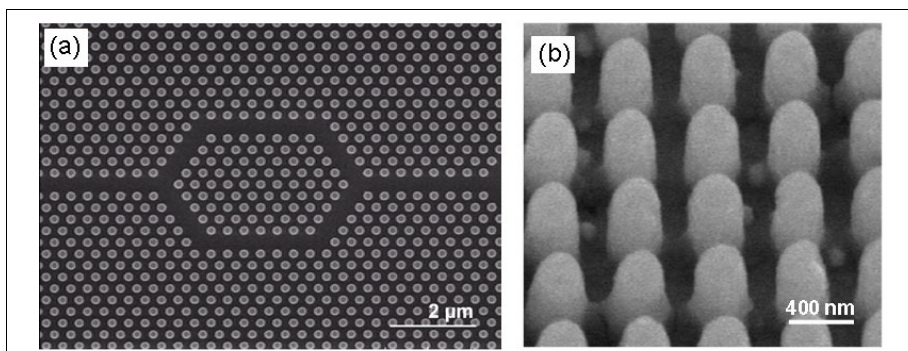
週期性結構，如圖一[7]所示。過去本研發團隊製作光子晶體結構，如圖二[8]都採用微影製程的方式。目前，以光微影或奈米轉印的方式製作能達到結構尺度之製程，因受限於光學繞射與材料特性等影響，其極限大約在 200 nm 左右，配合浸潤式曝光或其它改良法制作結構，則能達到 100 nm 以下之高解析度，如圖三所示[9]。若要以光微影法製作三維光子晶體，則必須使用多層堆疊方式達成，而不管使用光微影法，如圖四(a)[10]或者 UV 曝光轉印的方式，如圖四(b)[11]等不同方式，多層堆疊製程皆需要繁複的步驟，且結構尺寸會受限於堆疊方式，一般其週期極限約在 500 nm 左右。

三、自組裝堆疊法

在三維光子晶體製程方式中，以奈米顆粒或奈米線自組裝法為最簡單且快速製作之製程方式。自組裝法(Self-Assembly)為一種分子間，藉由表面自由能(Surface Free Energy)的方式，在不受外力介入之



圖一
光子晶體結構(左)
與其剖面圖(右)[7]



圖二
光波導(左)與控制曝光劑量
(右)之光子晶體結構[8]



更完整的內容

請參考紙本【機械工業雜誌】318期・98年9月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011