

複合式單胞光子晶體光纖設計與分析

研究生：宋明哲

指導教授：楊宗哲 博士

國立交通大學 電子物理研究所

中文摘要

利用有限元素法對複合式單胞光子晶體光纖的雙折射及損失進行計算。特別針對光子晶體光纖的兩種結構探討，其結構為二氧化矽的實心纖芯與兩種尺寸大小的三角晶格空氣孔纖衣結構。藉由結構參數的適當調整，針對不同光源波長、大小空氣孔的相對孔徑比、纖衣空氣孔的等效面積與空氣孔圈數等變因計算雙折射值，進行分析其原因。同時也計算纖衣空氣孔圈數對光纖損失的影響。我們提出的光子晶體光纖，是經由纖衣引入非對稱性的排列，以獲得較高的雙折射差值，纖衣是由兩套不同直徑大小圓形空氣孔呈週期性排列的複合體，纖芯是由一個光子晶體纖衣結構中的點缺陷所構成。與先前研究者所提出的結構相較，我們的光子晶體光纖雙折射是來自於整個纖衣的貢獻。由雙折射與工作波長的相依關係計算，在正規化頻率 Λ/λ 比值為 1.1 時，雙折射可達 6×10^{-3} 。我們更進一步計算，不同纖衣空氣孔的有效面積 (A/Λ^2) 及大小空氣孔的相對孔徑比 (η) 對雙折射值的關係，在 $A=0.41 \Lambda^2$ 與 $\eta=4.5$ 條件下，光纖雙折射可達 8.7×10^{-3} 。藉由光纖不同空氣孔圈數對損失的關係探討，光纖最低損失在 7 圈空氣孔圈數下可達 5.27×10^{-5} dB/km。

The Analysis of Highly Birefringent and Low Loss Photonic Crystal Fiber with Complex Unit Cell of Circular Air Holes Cladding by Use of Finite Element Method

Student : Ming- Je Sung

Advisor : Dr. Tzong- Jer Yang

National Chiao-Tung University

Institute and Department of Electrophysics



We propose a highly birefringent and low-loss index-guiding photonic crystal fiber (PCF) with complex unit cell of circular air holes in cladding by using Finite-Element Method (FEM). It is composed of a solid silica core and a cladding with two different sizes of triangular lattice circular air holes. Numerical results show that high modal birefringence with a magnitude of the order of 10^{-3} can be easily achieved in such fibers. In this paper, the influence of the wavelengths, aspect ratio of the air hole sizes, effective area and the numbers of air hole rings upon the modal birefringence is analyzed. Furthermore, the confinement loss of the birefringent PCFs is also discussed. The maximal modal birefringence and lowest confinement loss can reach 8.7×10^{-3} and 5.27×10^{-5} dB/km at

$\lambda=1550\text{nm}$ respectively, which are better than those shown in Ref. [12] and [23]. Compare to the previous proposed PCF, our complex cladding designs have many advantages, such as high birefringence and the low confinement loss. Our simulation result is useful and provides a new concept for designing Hi-Bi and low loss PCF with good performance.



誌謝

時間飛逝，轉眼間在交大電物所兩年的碩班生涯已經過去。這兩年來，不論在待人處事與追求學問上，我都有許多的收穫。首先要感謝的是我的指導老師楊宗哲教授，感謝老師對我這些日子來的指導與照顧，老師對學生總是照顧有加，使我在學問與處事倫理上受益良多。我也要感謝清雲科技大學電子系的趙遠鳳教授，趙教授是我交大的學長，對我來說他亦師亦友，毫不保留的給予我指導與協助，且每每在我最無助徬徨的時候，拉我一把，給我最真誠的協助與建議，我對趙教授的照顧一定永遠銘記在心，在此表達我對趙教授最誠摯的感激。此外，也要感謝中國大陸浙江大學電資系的沈林放教授，他在交大訪問的半年時間，給予我許多學術指導。也感謝沈教授的學生陳達如給予我在計算上，許多建議與協助。還要感謝台灣大學物理系蔡定平教授對於計算軟體的共同合作與同意使用。

這兩年的歲月裡，我也認識了許多的好友。感謝同窗兩年的碩班同學溫壬、文謙、源根及柄均，兩年來與你們一起吃飯聊天與玩樂的日子，是我生命中最珍貴的記憶之一，因為有你們，使我這兩年在交大的生活更多彩多姿，希望我們在未來的日子裡也能保持聯絡，也祝福你們能有璀璨的未來與人生。當然也謝謝博班學長仲安、國彬、正璋與振豪這兩年來給予我許多的幫忙與生活上的討論。

最後，我要感謝從小到大照顧我的父母與奶奶，一路走上毫無怨言的支持我，如果沒有你們的疼愛，也沒有今日的我，每每在我最沮喪與難過的時候，給我最溫暖的鼓勵，讓我有克服任何困難的勇氣。我也將我今天的小小成就獻給我在天之靈的爺爺，希望他能看到小時讓他費盡苦心照顧的孫子，如今要邁向另一段嶄新的人生。我也感謝我的弟弟明修從小至今與我的陪伴，總是對我尊敬有加，且與我分享許多生活上的感觸。

最後我真心的感謝所有曾經幫助過我的人，我會一定會繼續努力下去，才不負你們的期望。謝謝。

宋明哲 2007.8.7 于交通大學

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	IV
目錄	V
表目錄	VII
圖目錄	VIII
第一章 序論	1
1.1 前言	1
1.2 光子晶體簡介	1
1.3 光子晶體的缺陷	3
1.4 光子晶體發展與應用	5
1.5 光子晶體數值模擬	5
1.6 研究動機與目的	6
第二章 光子晶體理論與光子晶體光纖	8
2.1 光子晶體的基礎理論	8
2.2 週期性介電分佈	14
2.3 布洛赫原理	15
2.4 光子晶體光纖	17

第三章 有限元素法-----	23
3.1 有限元素法簡介-----	23
3.2 二維有限元素法之區域離散化-----	23
3.3 單元插值-----	25
3.4 有限元素法之光子晶體計算-----	27
3.5 Berenger 的 PML 完美匹配層-----	30
第四章 雙折射光子晶體光纖模擬結果與分析-----	34
4.1 雙折射光子晶體光纖設計-----	34
4.2 雙折射光子晶體光纖場形探討-----	36
4.3 光纖雙折射與工作波長相依關係探討-----	37
4.4 光纖雙折射穩定性與纖衣空氣孔圈數相依關係探討-----	38
4.5 光纖雙折射與纖衣空氣孔有效面積相依關係探討-----	39
4.6 光纖損失與纖衣空氣孔圈數相依關係探討-----	41
4.7 ComsolMultiphysics 3.2b 模擬光子晶體光纖方法說明---	43
第五章 結論-----	54
參考文獻-----	55

表目錄

表 3-1 紀錄相對應節點編碼-----25

表 3-2 紀錄相對應邊編碼-----25



圖目錄

圖 1-1	自然界中的光子晶體	2
圖 1-2	三個不同維度的光子晶體	3
圖 1-3	光子晶體	4
圖 1-4	光子晶體各種相關應用	5
圖 2-1	正方晶格光子晶體頻帶結構	9
圖 2-2	三角晶格光子晶體頻帶結構	9
圖 2-3	由布拉格堆疊形成的一維光子晶體結構	10
圖 2-4	堆疊五個週期後的穿透頻譜與能帶圖	11
圖 2-5	二維光子晶體圖例	12
圖 2-6	傳統光纖與光子晶體光纖的導光機制	18
圖 3-1	不相連的兩個元素其相鄰三角形切割單元的節點編碼	24
圖 3-2	兩個相鄰三角形單元要求連續，相對應節點需重新編碼	24
圖 3-3	不相連的兩個元素其相鄰三角形切割單元的邊編碼	24
圖 3-4	相鄰三角形切割單元要求連續，相對應邊作重新編碼	24
圖 3-5	典型的三角形切割單元	25
圖 3-6	PML 介面	31
圖 4-1	Type 1 PCF	35

圖 4-2 Type 1 PCF	-----	35
圖 4-3 Previous PCF	-----	35
圖 4-4 Type 1 PCF 場形	-----	37
圖 4-5 Type 2 PCF 場形	-----	37
圖 4-6 雙折射與工作波長相依關係	-----	38
圖 4-7 雙折射與纖覆空氣圈圈數相依關係	-----	39
圖 4-8 雙折射與纖覆空氣孔有效面積相依關係	-----	40
圖 4-9 雙折射與纖衣空氣孔有效面積及 η 相依關係	-----	41
圖 4-10 光纖損失與纖覆空氣孔圈數相依關係	-----	43

