

学校编码: 10384
学号: 200430038

分类号____密级____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

高双折射光子晶体光纤的双折射特性及其应用研究

**Research of Birefringent Properties and Application on the
Highly Birefringent Photonic Crystal Fiber**

谢作生

指导教师姓名: 董小鹏 教授

专 业 名 称: 无线电物理

论文提交日期: 2008 年 4 月

论文答辩时间: 2008 年 6 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 5 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

基于光子晶体材料的基本特性与特点, 上世纪 90 年代初 Ph. St. Russell 等人提出了光子晶体光纤的概念与设计。光子晶体光纤具有许多传统光纤不具有的特性, 如无截止单模特性, 灵活的色散特性、大模式面积、非线性效应等。通过对光子晶体光纤空气孔的形状、大小和排列方式的调整, 可以得到很好的偏振保持光纤。

普通保偏光纤双折射特性的测量方法主要分为基于拍长测量的横向移动压力法、磁光调制法等等; 基于偏振色散的波长扫描法以及折射近场法。由于高双折射光子晶体光纤(HB-PCF)的高双折射结构特点, 目前其双折射特性的测量方法主要分为三类间接测量法; 第一类为波长扫描法, 第二类为扭转法, 第三类为偏振敏感的光频域反射(POFDR)测量法。

由于扭转法和偏振敏感的光频域反射测量法较为复杂, 本文通过波长扫描法, 测量了 HB-PCF 的群双折射 B_g 的波长依赖关系; 通过模式双折射 B_m 和波长的经验公式, 得到了 B_{m1} 的波长依赖关系。通过对获得的 B_g 和 B_{m1} 的比较, 本文提出对于双折射由几何效应导致的 HB-PCF, 不能简单地忽略群双折射 B_g 和模式双折射 B_m 的差别项 $\lambda \frac{dB_m(\lambda)}{d\lambda}$ 而认为群双折射等于模式双折射。本文首次采用剪断法, 直接测量得到了 HB-PCF 的模式双折射 B_{m2} 随波长的变化关系。通过 APSS 软件仿真, 本文得到了模式双折射 B_{m3} 的波长依赖关系。最后, 本文对上述三种方法获得的模式双折射 B_{m1} 、 B_{m2} 、 B_{m3} 进行了比较、分析。

本文对晶体中的双折射现象以及由双折射晶体制成的传统波片进行了介绍; 首次对采用 HB-PCF 制作的光纤波片进行了分析和测量。测量了 HB-PCF 的温度稳定性; 并在实验上从 $\frac{\lambda}{4}$ 光子晶体光纤波片获得 0.27 dB 的圆偏振光输出。

关键词: 高双折射光子晶体光纤、模式双折射、拍长测量、 $\frac{\lambda}{4}$ 光纤波片

Abstract

Concept and design of the photonic crystal fiber (PCF) was proposed by Ph. St. Russell and others in the early 1990s. Photonic crystal fiber (PCF) has many properties, such as endlessly single mode; flexible dispersive property; large mode area, etc. Highly birefringent photonic crystal fiber could be obtained through changing the shape, size and rearranging the air holes.

The birefringence of polarization maintaining fibers can be obtained by three ways: ways base on beat length measure, ways based on polarization mode dispersive and refraction near field way. The birefringence of photonic crystal fiber could be indirectly measured by three ways: wavelength sweep method, twist method and polarization-sensitive optical frequency-domain reflectometer(POFDR) method.

According to the wavelength sweep method, the wavelength independence of the group birefringence B_g is measured in this paper. And the wavelength independence of the modal birefringence B_{m1} is determined by the relation between the group birefringence and modal birefringence. Through the comparison between the B_g and B_{m1} , result is brought forward in this paper that the term $\lambda \frac{dB_m(\lambda)}{d\lambda}$ couldn't be ignored simply in the high birefringence photonic crystal fiber(HB-PCF). The wavelength independence of the modal birefringence B_{m2} is directly measured through the cut-off way by the first time. The modal birefringence B_{m3} is simulated by the Apolophotonic Software APSS. The three kinds modal birefringence are compared and the difference among them is analyzed.

Birefringent phenomenon in the crystal and the conventional waveplates which are made of it are introduced in this paper. Fiber waveplate which is made from high birefringent photonic crystal fiber has been analyzed and measured. The temperature independence of the HB-PCF is measured. And a circle polarized light with its extinction ration at 0.27dB has been obtained through this new quarter waveplate.

Key words: High Birefringence Photonic Crystal Fiber, Modal Birefringence, Beat length Measure, Quarter Fiber Waveplate

目 录

摘 要	I
Abstract	II
目 录	III
Contents	V
第一章 引言——光子晶体及光子晶体光纤	1
1.1 光子晶体	1
1.1.1 光子晶体的提出及其应用	1
1.1.2 光子晶体基础理论 ^[4]	2
1.2 光子晶体光纤理论及其特点、应用 ^[5, 6]	3
1.2.1 光子晶体光纤	3
1.2.2 光子晶体光纤的导光机理	4
1.2.3 光子晶体光纤的特性及应用	4
1.2.3.1 无截止单模 (Endlessly single mode) 特性	5
1.2.3.2 色散特性	5
1.2.3.3 光子晶体光纤的其他特性及应用	6
第二章 具有双折射的光子晶体光纤的基本特性	8
2.1 光纤双折射特性	8
2.1.1 表征单模光纤中双折射特性的物理量	8
2.1.2 传统偏振保持光纤的分类	9
2.2 高双折射光子晶体光纤的双折射特性与结构	10
2.2.1 高双折射光子晶体光纤的双折射特点	10
2.2.2 高双折射光子晶体光纤的设计结构	10
第三章 现有光纤双折射特性的测量方法	13
3.1 传统高双折射光纤的双折射测量方法	13
3.1.1 基于拍长测量的双折射特性测量方法	13
3.1.1.1 调制法	14
3.1.1.2 压力法	16
3.1.1.3 扭转法	17
3.1.1.4 其他的拍长测量法	19
3.1.2 偏振模色散法	19
3.1.2.1 干涉仪法	20
3.1.2.2 起偏-检偏法	21
3.2 高双折射光子晶体光纤的双折射特性的测量方法	22
3.2.1 波长扫描法	23
3.2.2 扭转法	23
3.2.3 偏振敏感的光频域反射器 (POFDR) 测量法	24

第四章 高双折射光子晶体光纤双折射特性的测量与仿真	26
4.1 高双折射光子晶体光纤 (HB-PCF) 双折射的 Sagnac 环路扫描法测量^[34]	26
4.1.1 测量原理	26
4.1.2 测量结果与讨论	28
4.2 采用剪断法测量 HBPCF 的模式双折射	32
4.2.1 剪断法测量的实验框图、步骤和实验结果	32
4.2.2 剪断法测量结果的处理方法	36
4.2.2.1 光波的偏振态	36
4.2.2.2 偏振光的三角函数表示法	38
4.2.2.3 PAX5710 偏振分析仪的简单介绍及测量值的转换	39
4.2.2.4 输出偏振态同波长的变化关系	41
4.2.2.5 剪断法测量最终结果	43
4.3 HB-PCF 双折射特性的数值分析与仿真	46
4.4 实验数据和仿真数据的对比分析	50
第五章 高双折射光子晶体光纤在 $\lambda/4$ 波片方面的应用	53
5.1 波片的现状	53
5.1.1 晶体中的双折射现象 ^[41] :	53
5.1.2 波片概念以及种类	53
5.1.3 传统波片存在的问题	55
5.2 高双折射光子晶体光纤 $\lambda/4$ 波片	55
5.2.1 高双折射光子晶体光纤的温度特性	55
5.2.1.1 实验系统与原理 ^[43]	55
5.2.1.2 实验结果与分析	56
5.2.2 高双折射光子晶体光纤在 $\lambda/4$ 波片的应用	57
5.2.2.1 HBPCF $1/4$ 波片的设计	58
5.2.2.2 HB-PCF $1/4$ 波片的实验测试	58
5.2.2.3 目前存在的问题	60
第六章 总结和展望	61
参考文献	62
致谢	65
附录一 Sagnac 环路波长扫描法测量数据	66

Contents

Abstract in Chinese -----	错误! 未定义书签。
Abstract in English -----	错误! 未定义书签。
Contents in Chinese -----	错误! 未定义书签。
Contents -----	错误! 未定义书签。
Chapter1 Preface— —Photonic Crystal and Photonic Crystal Fiber -----	错误! 未定义书签。
1.1 Photonic Crystal-----	错误! 未定义书签。
1.1.1 Development and Application of Photonic Crystal	错误! 未定义书签。
1.1.2 Basic Theory of Photonic Crystal-----	错误! 未定义书签。
1.2 Theory of Photonic Crystal Fiber and it' s Properties、Application	错误! 未定义书签。
1.2.1 Photonic Crystal Fiber-----	错误! 未定义书签。
1.2.2 Guide Light Mechanism of Photonic Crystal Fiber	错误! 未定义书签。
1.2.3 Properties and Applications of Photonic Crystal Fiber	错误! 未定义书签。
1.2.3.1 Endlessly Single Mode Property -----	错误! 未定义书签。
1.2.3.2 Dispersive Property -----	错误! 未定义书签。
1.2.3.3 Other Properties and Application of Photonic Crystal Fiber	错误! 未定义书签。
Chapter 2 Basic Property of Photonic Crystal Fiber with Birefringence -----	错误! 未定义书签。
2.1 Birefringent Properties of Fiber-----	错误! 未定义书签。
2.1.1 Physical Dimension to Describe the Birefringence Properties of Fiber	错误! 未定义书签。
2.1.2. Types of Conventional Polarization Maintaining Fiber	错误! 未定义书签。
2.2 Birefringent Properties of Highly Birefringent Photonic Crystal Fiber	错误! 未定义书签。
2.2.1 Birefringent Properties of HB-PCF-----	错误! 未定义书签。
2.2.2 Structure Design of HB-PCF-----	错误! 未定义书签。
Chapter 3 Methodes to Measure Birefringent Properties of Fibers with Birefringence -----	错误! 未定义书签。
3.1 Methodes to Measre Birefringent Properties of Conventional Birefringent Fibers	错误! 未定义书签。
3.1.1 Methodes base on Beat length Measurement	错误! 未定义书签。
3.1.1.1 Magneto optic Modulation Way -----	错误! 未定义书签。

3.1.1.2 Periodical Lateral Press	错误! 未定义书签。
3.1.1.3 Twist Method	错误! 未定义书签。
3.1.1.4 Other Ways to Measure Beat Length	19
3.1.2 Methodes base on Polarization Mode Dispersion Measurement	错误! 未定义书签。
3.1.2.1. Interference Way	错误! 未定义书签。
3.1.2.2 Wavelength Sweep Method	错误! 未定义书签。
3.2 Methods to Measure Birefringence of HB-PCF	错误! 未定义书签。
3.2.1 Wavelength Sweep Method	错误! 未定义书签。
3.2.2 Twist Method	错误! 未定义书签。
3.2.3 Method Using Polarization-sensitive Optical Frequency-domain Reflectometer	错误! 未定义书签。
Chapter 4 Measurement and Simulation of the HB-PCF' s Birefringent Properties	错误! 未定义书签。
4.1 Analyse and experiment of HB-PCF' s birefringent Propeties which use Sagnac loop and wavelength scanning way	错误! 未定义书签。
4.1.1 Basic Theory	错误! 未定义书签。
4.1.2 Experimental Result and Analyse	错误! 未定义书签。
4.2 Cut Off Way to Measure the HB-PCF' s Modal Birefringence	错误! 未定义书签。
4.2.1 Experimental Arrangement 、 Sequence and datat of Cut Off way	错误! 未定义书签。
4.2.2 Way to Deal with Experimental Data	错误! 未定义书签。
4.2.2.1 State of Polarization About Lightwave	错误! 未定义书签。
4.2.2.2 Trigonometric Function to Describe Polarized Light	错误! 未定义书签。
4.2.2.3 Introduction of PAX5710 Polarization Aanlyzing Instrument and Conversion of the Experimental Data	39
4.2.2.4. Wavelength Independence of Output Light' s State of Polarization	错误! 未定义书签。
4.2.2.5. Obtained Modal Birefringent Properties through Cut Off Way	错误! 未定义书签。
4.3 Numarical analyse and simulation of HB-PCF' s birefringent properties	错误! 未定义书签。
4.4 Comparision Between Experimental Resultes and Simulation Data	49
Chapter 5 Application of HB-PCF in Quarter Waveplate	53
5.1 Introduction of Waveplate	错误! 未定义书签。
5.1.1 Birefringent Phenomena in Crystal	错误! 未定义书签。
5.1.2 Concept and Classification of Conventional Waveplate	错误! 未定义书签。

5.1.3 Problems Confronted by Conventional Waveplate	错误!未定义书签。
5.2 Quarter Waveplate Maded from HB-PCF	错误!未定义书签。
5.2.1 Temperature Independence of HB-PCF	错误!未定义书签。
5.2.1.1 Experimental Arrangement and Theory	错误!未定义书签。
5.2.1.2 Experimental Result and Analysation	错误!未定义书签。
5.2.2 Application of Highly Birefringent Photonic Crystal Fiber in Quarter Waveplate	错误!未定义书签。
5.2.2.1 Structure Design of the HBPCF Quarter Waveplate	错误!未定义书签。
5.2.2.2 Experimental Measurement of HBPCF Quarter Waveplate	错误!未定义书签。
5.2.2.3 Problems Confronted by HBPCF Quarter Waveplate	错误!未定义书签。
Chapter 6 Conclusion and Prospect	错误!未定义书签。
Reference	错误!未定义书签。
Acknowledgement	错误!未定义书签。
Appendix I Expenrimental Data of Wavelength Sweep Way With Sagnac Loop	错误!未定义书签。

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 引言——光子晶体及光子晶体光纤

基于光子禁带理论,光子晶体的理论于上世纪 80 年代末期被提出^[1, 2]。作为二维的光子晶体,光子晶体光纤由于其独特的结构特点,具有许多传统光纤不具有的特点^[3]。

1.1 光子晶体

1.1.1 光子晶体的提出及其应用

基于光子带隙的性质, E. Yablonovitch 和 S. John^[1, 2]于 1987 年各自提出了光子晶体的概念。在光子晶体中,由于在一维、二维或三维空间中折射率的周期性分布,能够使得在其间传播的光子形成禁带结构,即产生光子禁带 (photonic bandgap, PBG)。光子晶体主要是在带隙结构中引入缺陷,造成破坏周期结构的局部区域,使光子带隙形成缺陷能级。具有一定频率(能量)的光才能在这个缺陷区域存在和传播。在这个区域以外的介质中,该能量的光子是被禁止的。对此,经典的解释是光在晶体内部发生并经过多次反射后最终被吸收了;量子的观点是:在带隙内的光子是不能发射的,因为它不存在该光子的量子态。

光子晶体同传统的半导体材料,如硅、砷化镓等相比,后者在于从分子或原子尺度内改变物质的化学结构,从而完成对光的发射、吸收、传播和调制。光子晶体是在光波长的尺度内对物质进行物理结构的改造,使该物质能够控制光子的行为。电子的运动规律可以用薛定谔方程描述,光子的运动规律则可以用麦克斯韦方程描述。

我们可以将光子晶体分为一维、二维和三维结构。多层介质薄膜是一维光子晶体,厚度是光波长量级的两种不同折射率材料的周期结构形成光子带隙,多层介质膜外面的空气则是对这种带隙的缺陷,一定频率的光不能在带隙中传播形成高反射率。本文所提的光子晶体光纤,则是典型的二维光子晶体^[4]。蛋白石,则是自然界存在的三维光子晶体结构。下面图 1 是一维、二维和三维结构光子晶体的结构。

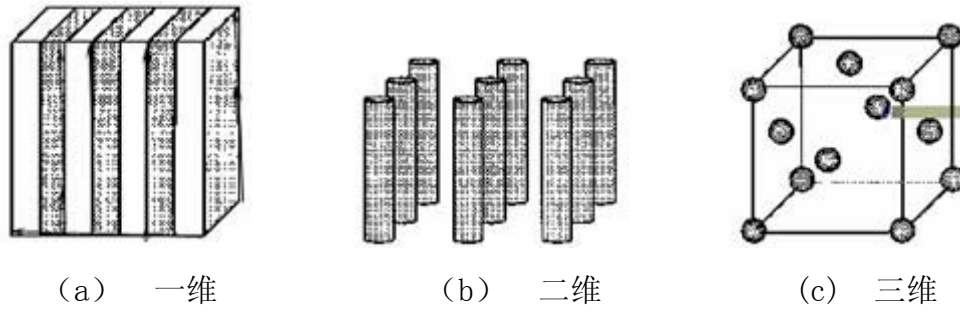


图 1 光子晶体的结构

1.1.2 光子晶体基础理论^[4]

从电磁场理论知道，在介电系数 $\epsilon(r)$ 呈空间周期性分布的介质中，频率为 ω 的单色电磁波（光波）的传播，服从麦克斯韦（Maxwell）方程组。在麦克斯韦（Maxwell）方程组中，设 $\mu=1$ （电介质为非磁性介质）并消去 H ，得到关于电场 E 的方程：

$$\nabla^2 E(r) + \frac{\omega^2 \epsilon}{c^2} E(r) = 0 \quad (1.1)$$

如果介电常数是周期性变化的，则有 $\epsilon(r) = \epsilon(r + Rn)$ ；这里， Rn 为任意光学晶格的晶格矢量。另外，我们可以将介质的介电常数写为两部分之和 $\epsilon(r) = \epsilon_b + \epsilon_a(r)$ ； ϵ_b 是背景（基质）的介电常数， $\epsilon_a(r)$ 是晶格介质（散射体）的介电常数。 ϵ_b 也可以是整个介质的平均介电常数（等效介质的介电常数），而此时 $\epsilon_a(r)$ 则是整个散射体相对于等效介质的介电常数。于是，我们得到：

$$\left\{ -\nabla^2 + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 [-\epsilon_a(r)] \right\} E(r) = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \epsilon_b E(r) \quad (1.2)$$

这是一个矢量方程，但可以化为标量方程：

$$\left\{ -\nabla^2 + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 [-\epsilon_a(r)] \right\} \Phi(r) = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \epsilon_b \Phi(r) \quad (1.3)$$

而电子的德布罗意（de Broglie）波所遵从的方程为：

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库