

光纤光栅双折射效应的实验研究*

张霞¹ 黄永清² 任晓敏²

(1 北京邮电大学理学院,北京 100876)

(2 北京邮电大学光通信中心,北京 100876)

摘要 本文对均匀光纤光栅和线性啁啾光纤光栅的双折射效应分别进行了实验研究. 利用压电陶瓷的压电效应实施对均匀光纤光栅和线性啁啾光纤光栅的侧向挤压,使之产生双折射,通过改变施加在压电陶瓷上的电压值,可以实现对光纤光栅双折射大小的控制. 侧向挤压线性啁啾光纤光栅可以补偿光纤通信系统中的偏振模色散.

关键词 双折射;均匀光纤光栅;线性啁啾光纤光栅;偏振模色散

中图分类号 TN929

文献标识码 A

0 引言

光纤布喇格光栅(Fiber Bragg Grating)是利用驻波和侧写技术^[1],改变光纤波导介质中的折射率使其呈周期分布而形成的. 周期变化的折射率使得光栅对某特定波长的光具有高反射性,而其它波长可自由通过光栅,反射中心波长称为布喇格(Bragg)波长. 随着波分复用(WDM)系统的迅猛发展,光纤光栅由于其基于光纤、插入损耗小、波长易于调谐以及价格便宜等优点,成为光纤通信系统的关键器件之一^[2,3]. 布喇格波长随轴向应变以及温度等环境参数变化是线性关系,所以光纤光栅在传感器领域中也广泛应用^[4].

人们对光纤光栅在轴向应变(拉伸或压缩)下的光谱响应进行了较深入的研究,相比之下,对于光纤光栅在侧向挤压下的双折射效应研究甚少^[5,6]. R. B. Wagreich 等人对均匀光纤光栅反射谱的变化进行了实验研究,结果表明:均匀光纤光栅在横向挤压作用下其反射光谱会分裂成双峰^[5]. 手动机械控制双折射大小的方法限制了光纤光栅双折射的进一步实际应用. 本文利用压电陶瓷的压电效应实施对光纤光栅的侧向挤压,使其产生双折射,对均匀光纤光栅的反射谱以及线性啁啾光纤光栅的反射时延曲线变化进行了实验研究,得到了与理论分析基本一致的实验结果.

1 理论

对光纤光栅施加横向的、沿光纤长度方向均匀分布的应力作用时,会引起波导结构和折射率的改变,因而会产生双折射,如图1所示. 应力和有效折

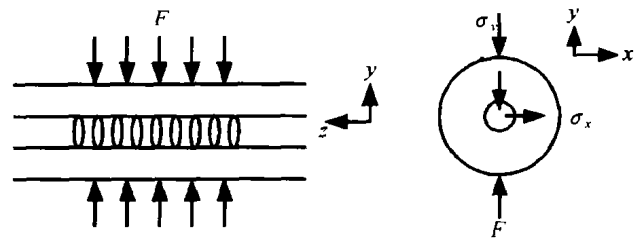


图1 挤压时的光纤光栅

Fig. 1 Pressed FBG

射率变化值之间的关系为^[7]

$$(\Delta n_{eff})_x = -\frac{n_0^3}{2E} \{ (p_{11} - 2\nu p_{12}) \sigma_x + [(1 - \nu) p_{12} - \nu p_{11}] (\sigma_y + \sigma_z) \} \quad (1a)$$

$$(\Delta n_{eff})_y = -\frac{n_0^3}{2E} \{ (p_{11} - 2\nu p_{12}) \sigma_y + [(1 - \nu) p_{12} - \nu p_{11}] (\sigma_x + \sigma_z) \} \quad (1b)$$

式中, E 和 ν 分别为光纤的杨氏模量(Young's modulus)和泊松系数(Poisson's coefficient), x 和 y 分别为光纤横截面的主轴方向, σ_x 和 σ_y 为 x 和 y 方向的应力大小. 光纤光栅的长度远远大于包层的直径,此时光纤光栅的形变可以简化为平面形变问题,满足 $\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$.

光纤光栅的布喇格波长满足^[8]

$$\lambda = 2n_{eff}\Lambda \quad (2)$$

式中, Λ 是光栅的周期, n_{eff} 是导模的有效折射率.

由于光纤光栅两正交方向的有效折射率变化不同,所以均匀光纤光栅的反射谱有别于无侧向挤压时的反射谱. 线性啁啾光纤光栅的光栅周期 Λ 是线性变化的,反射带内不同频率的光波将在光栅的不同位置反射. 当光纤光栅存在双折射时,相同频率的光在两个正交方向上的反射位置存在差异,结果造成反射时延曲线不同.

2 实验

利用压电陶瓷的压电效应实施对光纤光栅的侧

*国家863高科技基金(No. 2001AA122041)资助课题

Tel: 010-62284004 Email: xzhang@bupt.edu.cn

收稿日期: 2003-12-10

向挤压作用,实验装置如图 2 所示. 用于挤压的部分是被抛光的钢质材料平板,为了使挤压更均匀稳定,我们添加一根与光纤光栅相同半径的支承光纤. 实验中首先调节螺钉的位置,使可移动的平板与光纤光栅尽量接触,然后固定螺钉处于锁定位置. 调节直流电压源的输出电压使压电陶瓷伸长,进而挤压光纤光栅.

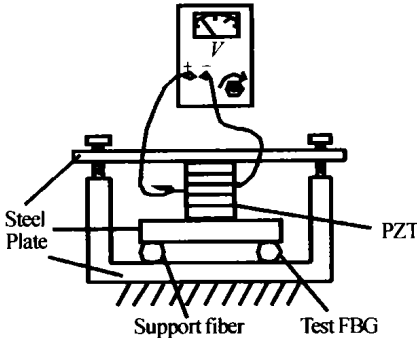


图 2 用于挤压光纤光栅的装置图
Fig. 2 Experimental setup for pressing the linearly chirped FBG

掺铒光纤放大器 (EDFA) 发出的自发辐射谱经偏振控制器进入光纤光栅,利用光谱分析仪 (OSA) 记录光纤光栅的反射光谱,如图 3 所示. 实验中采用 JDS 公司的 PR2000 型偏振控制器 (PC),包括起偏器、二分之一波片和四分之一波片三部分. 调节偏振控制器的角度,同时在输出端观察光谱分析仪记录的反射谱,记录反射波长最靠近长波长的偏振控制器位置,此时的方向对应于光纤光栅的慢轴;再将起偏器的角度旋转 90°,即反射波长最小,对应于光纤光栅的快轴.

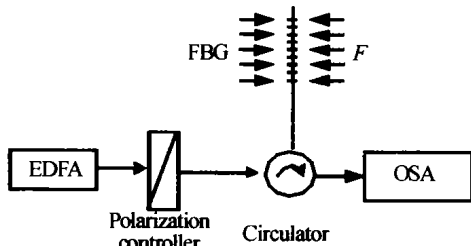


图 3 光纤光栅反射谱测量装置
Fig. 3 Measurement setup for reflection spectra of FBG

2.1 均匀光纤光栅

图 4 是对均匀光纤光栅侧向挤压时的实验测量结果. 图 4(a) 是布拉格波长与压电陶瓷上施加的电压的关系图,从左到右的反射谱曲线分别对应于初始状态、0 V 和 210 V 电压;图 4(b) 是长波长反射峰值与施加在压电陶瓷上的电压值的关系,点为实验记录数据,实线为实验数据的线性拟合曲线.

从中可以得到结论:随着电压的增加,均匀光纤光栅的反射谱分裂出两个峰值;长波长的谱峰随电压的增加线性地向长波长方向移动,而短波长的峰值几乎在原地不动. 正是因为压电陶瓷对光纤光栅的挤压作用使光纤光栅产生了双折射,反射谱才会出现双

峰结构,随着电压的增加,双折射随之线性增大.

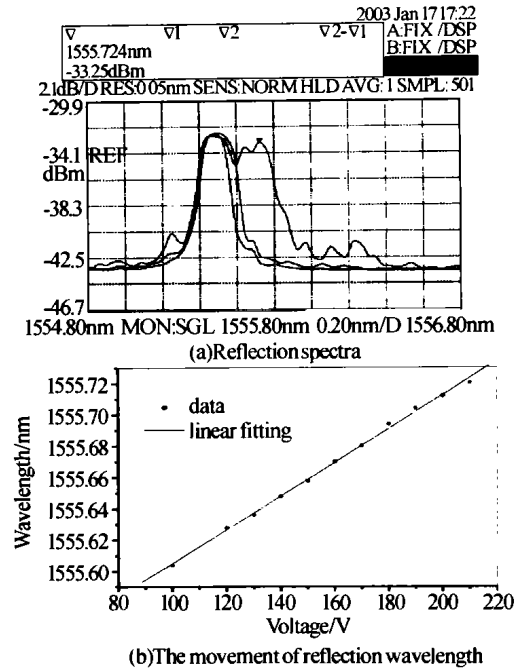


图 4 均匀光纤光栅反射谱的变化图
Fig. 4 Experimental results of uniform FBG under compression

2.2 线性啁啾光纤光栅

利用网络分析仪分别测量线性啁啾光纤光栅快轴和慢轴的反射时延曲线. 施加在压电陶瓷上的电压为 250 V 时,快轴和慢轴的反射时延曲线如图 5 所示. 从图中可以看出:互相正交偏振方向的反射时延曲线分裂为独立的、近乎平行的两条线. 改变电压至 130 V,再次测量快轴和慢轴的反射时延曲线,因为不同电压下快轴的时延曲线几乎没有差别,所以我们只在图 5 中标出慢轴的时延曲线. 电压 $V = 130$ V 时,慢轴的反射时延曲线位于 $V = 250$ V 快慢轴时延曲线之间. 为了清楚地看到由于挤压导致的时延曲线变化,我们对其进行了线性拟合,如图 5 中实线所示. 计算得到不同电压时线性啁啾光纤光栅产生的平均时延差大小分别为: $V = 130$ V 时, $\Delta\tau_1 = 15$ ps; $V = 250$ V 时, $\Delta\tau_2 = 50$ ps.

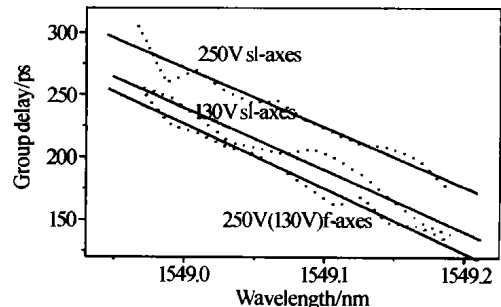


图 5 130 V 和 250 V 电压时线性啁啾光纤光栅的时延曲线
Fig. 5 Schematic illustration of the experimental group delay line of linearly chirped fiber Bragg grating

3 讨论

本文对均匀光纤光栅和线性啁啾光纤光栅的双

折射效应进行了实验研究,双折射的大小可以通过改变压电陶瓷的施加电压来控制,实验结果和理论预期基本符合.线性啁啾光纤光栅的反射时延曲线平行分离意味着:光纤光栅作为无源光纤器件本身引入了偏振模色散(PMD),如果它的快轴恰好与光纤链路的慢轴重合,则系统总的偏振模色散为零,也就是说,线性啁啾光纤光栅可以用来补偿偏振模色散,并且补偿量是可以调谐的.

参考文献

- Hill K O, Fuji Y, Johnson D C, *et al.* Photosensitivity in optical waveguide: Application to reflection filter fabrication. *Appl Phys Lett*, 1978, **32**(10): 647
- 姜莉,张东生,袁树忠,等.长周期光纤光栅光谱控制及其在 EDFA 增益平坦中的应用.光子学报,2004, **33**(7): 810 ~ 813
Jiang L, Zhang D S, Yuan S Z, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(7): 810 ~ 813
- 张霞,夏月辉,黄永清,等.有限包层半径光纤 Bragg 光栅的理论研究.光子学报,2003, **32**(2): 222 ~ 224
Zhang X, Xia Y H, Huang Y Q, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(2): 222 ~ 224
- 刘波,董峥嵘,曾剑,等.一种利用啁啾光栅反射滤波的光纤光栅传感解调方法.光子学报,2004, **33**(1): 57 ~ 60
Liu B, Dong Z R, Zeng J, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 57 ~ 60
- Wagreich R B, Atia W A, Singh H, *et al.* Effects of diametric load on fiber Bragg gratings fabricated in low birefringent fiber. *Electronics Letters*, 1996, **32**(13): 1223 ~ 1224
- Matos C J S, Torres P, Valente L C G, *et al.* Fiber Bragg grating (FBG) characterization and shaping by local pressure. *J of Lightwave Technology*, 2001, **19**(8): 1206 ~ 1210
- Gafsi R, El-Sherif M A. Analysis of induced-birefringence effects on fiber Bragg gratings. *Optical Fiber Technology*, 2000, **6**: 299 ~ 323
- Erdogan T. Fiber grating spectra. *J Lightwave Technol*, 1997, **15**(8): 1277 ~ 1294

Experimental Researches on Birefringence of Fiber Bragg Grating

Zhang Xia¹, Huang Yongqing², Ren Xiaomin²

¹ School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876

² Optical Communication Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876

Received date: 2003-12-10

Abstract The birefringence effects on uniform fiber Bragg grating (FBG) and linearly chirped FBG under lateral compression was experimentally investigated, respectively. The birefringence on uniform and linearly chirped FBG induced by pressure of piezoelectric ceramic (PZT). The induced-birefringence of the FBG can be accurately controlled through tuning the voltage applied on PZT. Polarization mode dispersion (PMD) can be compensated using linearly chirped FBG.

Keywords Birefringence; Uniform FBG; Linearly chirped FBG; PMD



Zhang Xia was born in 1973. She received Ph. D. from Beijing University of Posts and Telecommunications in 2003. Her research interests are in the areas of optical communication, fiber gratings, and compensation of polarization mode dispersion.