

利用线性啁啾光纤光栅补偿偏振模色散方案的研究

夏月辉,张 霞,刘开贤,黄永清,陈 雪,任晓敏

(北京邮电大学光通信中心,北京 100876)

摘 要: 本文提出一种基于线性啁啾光纤光栅补偿偏振模色散的新方案,对光纤光栅由于挤压而产生的群时延差进行了理论计算,并实验测量了一被挤压的线性啁啾光纤光栅的两偏振方向的群时延曲线,测量的结果证明这种方案切实可行。

关键词: 偏振模色散 (PMD); 光纤光栅 (FBG); 群时延差 (DGD)

中图分类号: TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 05-0759-03

A Novel Strategy to Compensate Polarization Mode Dispersion with Linear Chirped Fiber Bragg Gratings

XIA Yue-hui, ZHANG Xia, LIU Kai-xian, HUANG Yong-qing, CHENG Xue, REN Xiao-min

(Beijing University of Post and Telecommunication 66#, Beijing 100876)

Abstract: A strategy to compensate PMD with linear chirped Fiber Bragg Gratings was proposed for the first time. The DGD induced by the diametric load on a linear fiber Bragg gratings had been calculated. And the feasibility of the proposed method is confirmed through the DGD measurement of a linear fiber Bragg gratings with diametric load on it.

Key words: polarization mode dispersion (PMD); differential group delay (DGD); poicare sphere

1 引言

光纤由于制造、铺设、外界温度等因素的影响,会存在双折射,使得正交偏振方向的两光波其传输速度不一样,从而使入射脉冲展宽。这种效应就是偏振模色散,它和光纤的色度色散及非线性相比,还是比较微弱的。但随着高速长距离光纤通信系统的发展,光纤的色度色散和非线性得到了比较好的补偿,而偏振模色散带来的影响却越来越明显,如对 40Gb/s 的系统, PMD 系数为 $0.5\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 的光纤最多能传输 25 公里。偏振模色散成了发展 40Gb/s 系统的致命的杀手,其补偿技术的解决已是迫在眉睫。

对于偏振模色散的补偿,人们提出了许多方法,其中光纤器件的补偿法具有插损小、成本低、易于集成等优点,被认为是一种很有前途的补偿方法。本文首次提出了一种基于线性啁啾光纤光栅补偿偏振模色散的方案,并作了初步的实验研究,测试结果证明这种方案切实可行。

2 基本原理

对存在双折射的线性啁啾光纤光栅,由于两垂直方向的折射率不一样,其反射带内的光波,两垂直方向分量的反射位置将不一样,如图 1(a) 所示,图 1(b) 为这两垂直偏振方向光波的反射群时延曲线,可见两偏振方向的光波存在群时延差,

其具体的值可表示为^[1]:

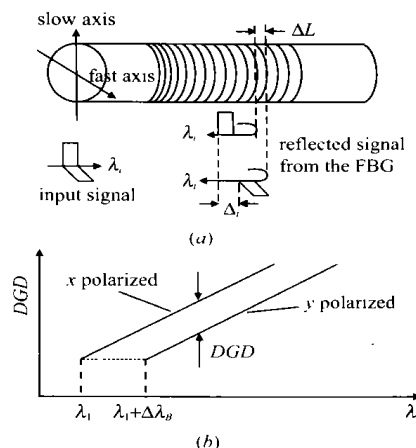


图 1 双折射线性啁啾光纤光栅产生群时延差

$$DGD(\lambda) = |D_x(\lambda) - D_y(\lambda)| = |C| \cdot B = |C| \cdot 2 \cdot n = |C| \cdot \frac{d}{n} \quad (1)$$

这里 C 为啁啾光纤光栅的色散系数, n 为双折射, d 为光栅间距,可见群时延差和双折射 n 成正比,如能对双折射量进行调节,则能对群时延差进行调谐。

假设某啁啾光纤光栅的色散为 $1000\text{ps}/\text{nm}$,反射波长为

1550 nm,有效折射率为 1.447,当 $n = 2 \times 10^{-5}$ 时, $DGD = 21.4$ ps. 由此可见,对啁啾光纤光栅,比较小的双折射将产生较大的偏振模色散.

我们知道,如果光纤受到不均匀的应力作用,将会产生双折射,其水平和竖直方向的有效折射率的变化随应力作用的关系为^[2]:

$$(n_{\text{eff}})_x(x, y, z) = -\frac{(n_{\text{eff}})^3}{2E} \times \{ (p_{11} - 2\nu p_{12}) \epsilon_x(x, y, z) + [(1 - \nu)p_{12} - \nu p_{11}] \epsilon_y(x, y, z) + \epsilon_z(x, y, z) \} \quad (2a)$$

$$(n_{\text{eff}})_y(x, y, z) = -\frac{(n_{\text{eff}})^3}{2E} \times \{ (p_{11} - 2\nu p_{12}) \epsilon_y(x, y, z) + [(1 - \nu)p_{12} - \nu p_{11}] \epsilon_x(x, y, z) + \epsilon_z(x, y, z) \} \quad (2b)$$

其中 E 为杨氏模量, P 为光弹性系数, x 、 y 和 z 为三个方向受到的应力, ν 为泊松比,水平和竖直方向的双折射为:

$$n = (n_{\text{eff}})_x - (n_{\text{eff}})_y \quad (3)$$

由此,我们提出对线性啁啾光纤光栅进行侧向挤压的方法来产生应力双折射,通过改变压力的大小来调整啁啾光纤光栅双折射的大小.

假设光纤光栅受侧向挤压的长度为 L ,光纤直径为 D ,挤压的作用力为 F ,则光纤横截面上受到的应力 ϵ_{xx} 和 ϵ_{yy} 为^[3]

$$\epsilon_{xx} = (2F) / (\pi LD), \quad \epsilon_{yy} = -(6F) / (\pi LD) \quad (4)$$

由此而产生的双折射的大小为

$$n_x - n_y = -\frac{1}{2} n^3 (p_{11} - p_{12}) (\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}) \quad (5)$$

$$\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy} = \frac{1}{E} \frac{8F}{\pi LD} (1 + \nu) \quad (6)$$

如果我们取 $L = 11$ cm, $E = 7.0 \times 10^9$, $D = 125 \mu\text{m}$, $\nu = 0.19$,

$p_{11} = 0.113$, $p_{12} = 0.252$, 得到

$$n_x - n_y = -\frac{1}{2} n^3 (p_{11} - p_{12}) (\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}) = 6.67 \times 10^{-7} F \quad (7)$$

通过计算,100 N 的压力能产生约 71 ps 的时延.

3 实验研究

实验装置如图 2 所示. 线性啁啾光纤光栅和一相同直径的支撑光纤被均匀地压在两抛光的铝平面之间, 杠杆重量约 50g, 尺寸 $l_1 = 60$ mm, $l_2 = 120$ mm, 砝码盘重量 250g, 通过改变加在砝码盘中的砝码重量, 来改变加在啁啾光纤光栅上的侧向压力, 从而改变啁啾光纤光栅的双折射. 然后分别测量了

两垂直偏振方向光的群时延曲线.

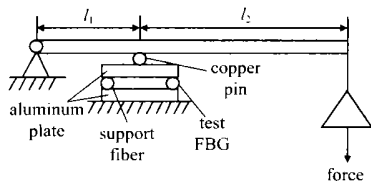


图 2 侧向挤压光纤光栅的装置图

图 3(a) 是所加砝码为 2kg 时测出的水平和竖直方向偏振光的群时延曲线, 图 3(b) 是所加砝码为 4kg 时测出的水平和竖直方向偏振光的群时延曲线, 可以看到, 这两个方向的群时延曲线出现了明显的移动, 对一固定波长, 此两方向的群时延之差就是 DGD . 由于侧向挤压光栅的两表面的不平整性以及所施加的压力不均匀性, 光纤光栅径向尺寸随长度方向

也可能有微小的变化, 测量出的水平和竖直方向偏振光群时延曲线的移动并不是图 1(b) 那样的理想, 但可以看出明显的移动, 并且 DGD 随侧向压力的增大而增大.

图 4 是波长区间 1549.35 - 1549.55 nm 的群时延曲线, 我们对其线性拟合, 得到在 $F = 2$ kg 时群时延差约为 50ps, 在 $F = 4$ kg 时群时延差约为 75 - 100ps. 可见, 在这段波长区间 1549.35 - 1549.55 nm, 由于侧向压力而产生了较大的随侧向压力而变化的群时延差, 利用这种方法完全有可能用来进行偏振模色散的动态补偿.

4 结论与展望

本文首次提出了一种侧向挤压线性啁啾光纤光栅来产生可变群时延差的新方案, 通过初步实验, 测量到侧向挤压使两垂直方向的群时延曲线发生了明显的移动, 并随侧向挤压力的大小而变化. 实际上, 光纤中两偏振方向反射位置相差 1cm 时就能产生约 100ps 的群时延差, 因此对于偏振模色散的补偿, 光纤光栅的长度为 2 - 3cm 就足够了. 此外, 对比较短的光纤光栅, 更容易得到均

匀的侧向挤压. 因此通过改进侧向挤压装置、以及适当调整光纤光栅的参数, 将会得到更理想的结果. 利用这种性质可以

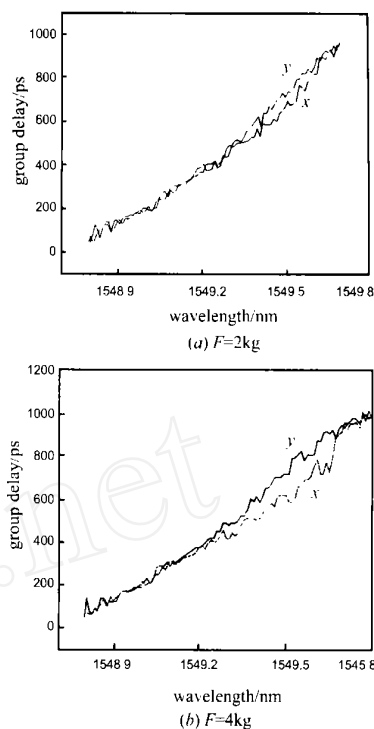


图 3 两偏振方向的群时延曲线

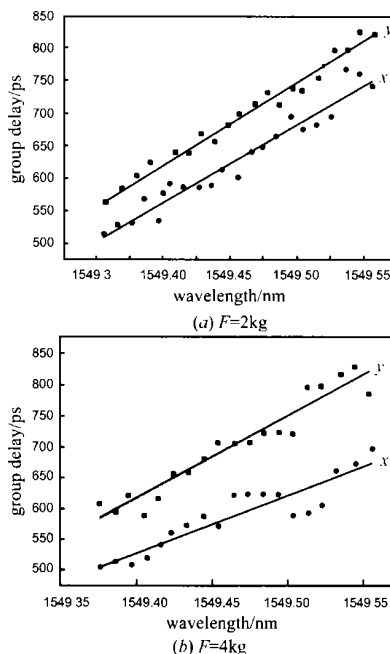


图 4 局部范围内两偏振方向的群时延曲线

成群时延可变的偏振模色散补偿器. 和非线性啁啾光纤光栅补偿器相比, 有其特有的优点, 如简化了光纤光栅的写入, 操作简单等, 此方法将是一种很有前途的补偿方案.

本实验用的啁啾光纤光栅由上海紫栅光电技术有限公司提供, 在此表示感谢.

参考文献:

- [1] M Schiano, G Zaffiro. Polarization mode dispersion in chirped fiber gratings [A]. ECOC98 [C]. Madrid, Spain, 403 - 404.
- [2] Rachid Gafsi, Mahmoud A El-Sherif. Analysis of Induced-Birefringence Effects on Fiber Bragg Gratings [J]. Optical Fiber Technology 2000, 6: 299 - 323.
- [3] R B Wagreich, et al. Effects of diametric load on fiber Bragg gratings fabricated in low birefringent fiber [J]. Electron. Lett. 1996, 32 (13): 1223 - 1224.

作者简介:



夏月辉 男, 1969 年生于湖南安化, 北京邮电大学博士生, 1996 年获北京师范大学硕士学位, 目前主要从事偏振模色散和光通信网络中关键技术的研究.



张霞 女, 1973 出生于河北省沧州, 2000 年获北京师范大学理学硕士学位, 现为北京邮电大学在读博士生, 主要从事偏振模色散及光纤光栅器件的研究.

www.cnki.net