

文章编号 : 0253-2239(2002)08-1004-04

# 在保偏光纤上制作光纤光栅的应用研究

夏 历 李翎辉 殷玉 冯 佳 毛 晋 陈向飞 谢世钟

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要: 提出一种在保偏光纤上计算光纤拍长的方法,即在保偏光纤上制作光纤光栅,利用光纤光栅的特性可以方便地求得光纤的拍长。同时,发现在保偏光纤上写入光纤光栅,其过程等效于在两个主轴上分别写入了一个光纤光栅,并且这两个光栅对于光的偏振态具有选择性,它们分别作用的偏振态是相互正交的。利用此特性,可以得到偏振消光比较高的偏振分束器。

关键词: 光纤通信;光纤光栅;双折射;拍长

中图分类号: TN25 文献标识码: A

## 1 引 言

随着世界范围建设信息高速公路热潮的兴起,光纤通信系统作为其骨干网得到了十分迅速的发展。目前光纤通信系统对信息传送的大容量、高速度、长距离等特性的要求越来越迫切,从而对传输信息的载体——光纤及各种高性能光纤器件的需求也越来越迫切<sup>[1]</sup>。其中对用于传输偏振光的偏振保持光纤,即保偏光纤的特性研究已引起了国内外的广泛关注,其研究方向之一就是这种光纤线双折射的测量。对于高双折射光纤来讲,它的轴向折射率是不均匀的,而且两个主轴间的折射率差基本不随光纤长度变化。通常测试两主轴折射率差的方法有:通过观测纵轴方向的瑞利散射光强弱或通过顺序截断光纤同时在光纤出射端测定偏光度等,但是这些方法所需装置都比较复杂,一般均要用到起偏器、检偏器等,而且测试精度不高。

本文采用一种新的测试保偏光纤双折射的方法,是在保偏光纤上一次写入布拉格光纤光栅,利用保偏光纤中固有的双折射,即光纤中快轴和慢轴存在着一定的折射率差,就可得到等效意义上的两个光栅,它们的中心波长由于各处所在轴的初始折射率不同而不同。通过测量这两个光栅中心波长的间隔,利用光纤光栅的基本原理,能够非常方便地得到所用保偏光纤的快慢轴折射率差值,计算出该光纤的拍长。另外,我们还发现对于任一光栅中心波长的光,其反射光与透射光具有不同的偏振方向,利用

这种特性,可以得到一个偏振消光比较高的偏振分束器。

## 2 利用光栅测试保偏光纤拍长的原理

如图 1 所示,保偏光纤本身存在一个由快慢轴构成的坐标系  $x-y$ ,而当紫外光从光纤外部以  $\theta$  角入射时,引起的光纤折射率改变构成另一个坐标系  $x'-y'$ 。由紫外曝光带来的双折射会对保偏光纤本身的快慢轴方向引入一个旋转角度  $\phi$ <sup>[2]</sup>

$$\tan 2\phi = \frac{\delta\Delta\epsilon \sin 2\theta}{\Delta\epsilon + \delta\Delta\epsilon \cos 2\theta}, \quad (1)$$

其中  $\delta\Delta\epsilon = \Delta\epsilon_x - \Delta\epsilon_y$ ,为紫外曝光带来的两个方向上的介电常数的差,  $\Delta\epsilon = \epsilon_x - \epsilon_y$  为两个主轴方向上固有介电常数的差。当由紫外曝光引入的双折射远远小于固有双折射时,有<sup>[3]</sup>

$$2\phi = \frac{\delta\Delta\epsilon}{\Delta\epsilon} \sin 2\theta \approx 0. \quad (2)$$

多次实验验证的结果都与(2)式一致,因此可

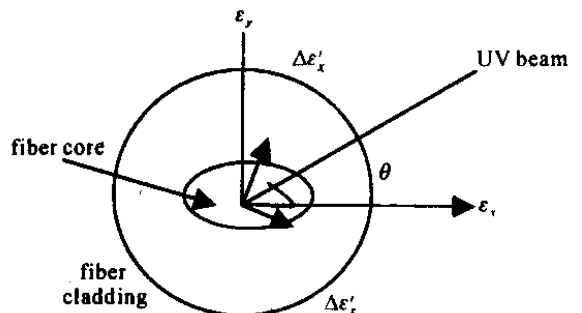


Fig. 1 Schematic illustration of writing the fiber gratings on the birefringent fiber using UV exposure

以得出光栅的中心波长是由两个快慢轴上的固有折射率来决定的。

均匀光纤布拉格光栅具有严格均匀的周期性折射率调制,它的布拉格共振波长  $\lambda_B = 2\Delta n_{\text{eff}}$ ,其中,  $\Delta$  为光栅的周期,  $n_{\text{eff}}$  为光纤中传播模式的有效折射率。因此对于在保偏光纤上不同轴上写入的两个光栅<sup>41</sup>,其中心波长差为

$$\Delta\lambda = 2\Delta\Delta n, \quad (3)$$

其中  $\Delta n = n_x - n_y$ 。在已知写入光栅相位模板周期  $\Delta$  的前提下,根据得到的中心波长差  $\Delta\lambda$  可以方便地得到保偏光纤快慢轴间的折射率差  $\Delta n$ 。再由

$$B = n_x - n_y$$

及拍长

$$L_b = \lambda/B, \quad (4)$$

可计算出此保偏光纤在特定波长处的拍长大小,其中  $B$  为双折射光纤的归一化双折射量,在数值上与  $\Delta n$  相等。

### 3 实验结果及分析

在实验中对保偏光纤写入了  $2\Delta = 1.071 \mu\text{m}$  光纤光栅。其写入过程如图 2、图 3 所示,可以看出,当曝光刚开始时,由于折射率改变很小,光栅的长度很短,因此得到的光栅反射谱带很宽,掩盖了两个光栅之间中心波长的差别,如图 2 所示,但随着曝光时间的增加,光栅制作长度增加,光栅的反射率也在增加,而且带宽变窄,可以很明显地看到光栅的反射谱已经分裂了,它是由两个光栅叠加构成的,有两个中心波长,它们之间的波长间隔是  $0.41 \text{ nm}$ ,如图 3 所示。制作光栅的相位模板的周期是确定的,  $2\Delta = 1.071 \mu\text{m}$ ,代入到(3)式中可以算得

$$B = \Delta n = n_x - n_y = \frac{\Delta\lambda}{2\Delta} = 3.83 \times 10^{-4},$$

由(4)式可得,在  $\lambda = 1550 \text{ nm}$  处,此保偏光纤的拍长  $L_b = \lambda/B = 4.0 \text{ mm}$ 。

为了验证这种方法的可行性,利用偏振模色散测试仪测试保偏光纤的偏振模色散时延来间接得到拍长  $L_b$  的大小。

$$\tau_{\text{DCD}} = \frac{d\beta_x}{d\omega} - \frac{d\beta_y}{d\omega} = \frac{d\Delta\beta}{d\omega} \approx \frac{1}{f_c L_b} = \frac{\lambda}{c L_b}, \quad (5)$$

其中  $\tau_{\text{DCD}}$  为单位长度微分群时延,  $\beta$  为光波传播常数,  $\omega$  为光波频率,  $f_c$  为测量所用光波的中心频率,  $\lambda$  为光载波的波长,  $c$  为真空中的光速。通过 EXFO FTB-300 偏振模测试仪测得半米长此保偏光纤偏振模色散时延的大小为  $\tau_{\text{DCD}} = 0.77 \text{ ps}$ 。计算后得到

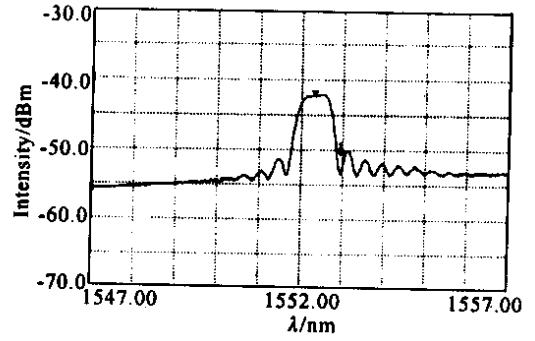


Fig. 2 The beginning spectrum

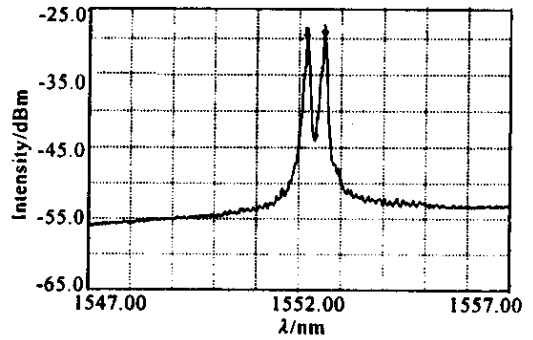


Fig. 3 The ending spectrum

相应拍长  $L_b = 3.4 \text{ mm}$ 。

考虑到在上述方法使用中加入了光纤连接器等额外器件的影响,结果表明,通过在保偏光纤上制作光栅,所测得的双折射大小与拍长和实际值在一定测量误差范围内吻合得很好。

针对中心波长位于  $1552.02 \text{ nm}$  的光纤光栅,可利用可调谐激光源输出  $1552.02 \text{ nm}$  的线偏振光来测量光纤光栅反射光的偏振消光比,实验装置如图 4 所示。

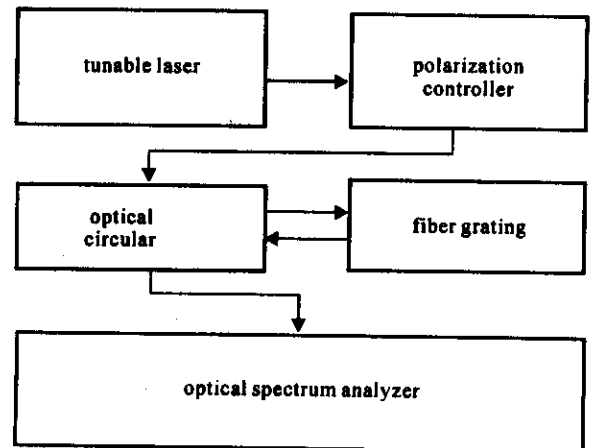


Fig. 4 Schematic of measuring the polarization extinction ratio of reflection light from fiber grating

在如图 4 所示的实验装置中,调节偏振控制器,

改变输入光学循环器的线偏振光的偏振方向,在光谱分析仪上可以得到接收功率谱密度的一个极大值和一个极小值。在光谱分析仪上测量到的反射接收谱如图 5~图 7 所示。

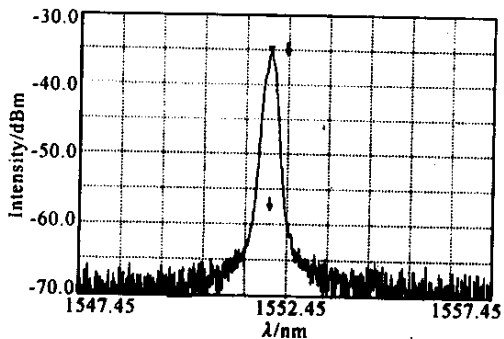


Fig.5 The max condition of receiving light power density

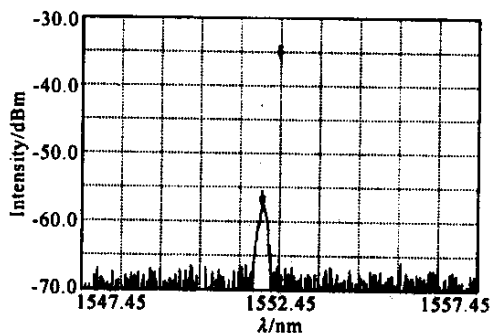


Fig.6 The min condition of receiving light power density

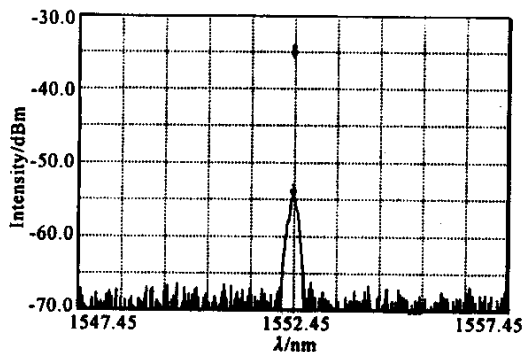


Fig.7 The reflection spectrum under the condition of

Fig.5 only changing the input light wavelength

从图 5~图 7 可以看出,当可调激光器输出在 1552.02 nm 波长处时,调节偏振控制器使输入光偏振方向位于保偏光纤的一个主轴方向上时,反射光的偏振消光比有 21.91 dB。而且可调激光器输出在 1552.02 nm 波长处,调节偏振控制器,使反射光的接收功率谱密度为极大值时,不再改变偏振状态,

只改变可调谐激光器输出波长到 1552.44 nm 处,可得到此偏振态反射光的接收功率谱密度的极小值。这也就是说明两个中心波长分别位于 1552.02 nm 及 1552.44 nm 的两个光纤光栅分别作用于两个互相正交的偏振态的光。

小结 对于高双折射光纤来讲,它的横向折射率是不均匀的,而且两个主轴间的折射率差基本不随光纤长度的改变而变化。在此文中采用在保偏光纤上截取一小段光纤制作光纤光栅进行测量分析的方法,能够方便准确地得到保偏光纤的双折射大小及拍长。在保偏光纤上制作短周期的布拉格光栅,其波长随温度漂移特性和在普通单模光纤上制作的光纤光栅相差不大,但是,由于两个反射峰值波长是同时随温度而变化且变化趋势相同,其间距基本保持不变,所以在一定温度范围内这种测试拍长的方法得到的结果是很稳定的。

另外,通过这种制作方法发现在保偏光纤上一次写入光纤光栅的过程实际上等效于两个主轴上分别写入一个光纤光栅,并且这两个光纤光栅对于光的偏振态具有选择性,它们分别作用的偏振态是相互正交的。利用这种特性,可以制作出偏振消光比较高的偏振分束器。

在保偏光纤上写入光纤光栅的另一个用途是可以在上面写入非线性啁啾来补偿偏振色散(PMD),再加上全光纤器件,制作简便,易于和各种器件相集成等。在保偏光纤上写入光纤光栅现在正日益成为研究光栅写入的重点。

## 参 考 文 献

- [1] Hill K O, Meltz G. Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1263~1276
- [2] Wysocki P F, Justin B, Espindola R P *et al.*. Broad-band erbium-doped fiber amplifier flattened beyond 40 nm using long-period grating filter. *Photonics Technology Letters*, 1997, **9**(10):1343~1345
- [3] Kikuchi K, Okoshi T. Wavelength-sweeping technique for measuring the beat length of linearly birefringent optical fibers. *Opt. Lett.*, 1983, **8**(2):122~123
- [4] Hill K O, Bilodeau F, Malo B *et al.*. Birefringent photosensitivity in monomode optical fibre: application to external writing of rocking filters. *Electron. Lett.*, 1991, **27**(1):1548~1550

## Study of Writing Fiber Bragg Grating into Birefringent Fiber

Xia Li Li Xuhui Yin Yuzhe Feng Jia Mao Jin Chen Xiangfei Xie Shizhong  
( *Department of Electronic Engineering of Tsinghua University , Beijing 100084* )  
( Received 10 September 2001 ; revised 2 November 2001 )

**Abstract :** A method of writing fiber Bragg grating into the birefringent fiber is presented. The beat length of the birefringent fiber is easily obtained. It is found that there are actually two gratings respectively written on the axes of the birefringent fiber. These two gratings act selectivity on the polarization states and these two polarization states are vertical to each other. A better polarization splitting device can be made by using this character.

**Key words :** optical fiber communication ; fiber grating ; birefringence ; beat length