

文章编号: 0258-7025(2006)08-1078-03

新型保偏光纤温度特性的测试方法

宁提纲, 秦曦, 裴丽, 谭中伟, 童治, 简水生

(北京交通大学光波技术研究所, 全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要 保偏光纤(PMF)在相干光通信、光纤激光器、光纤传感、光纤陀螺中应用广泛, 温度稳定性是其在实际应用中的一个十分关键的问题。理论和实验分析了保偏光纤上写入光栅的特性, 特别是全面分析了其温度特性。结果表明, 随温度升高, 偏振反射峰的间隔缩小。利用保偏光纤光栅的这一特性研究了可以高精度、方便地获得保偏光纤温度特性的新方法。测试了保偏光纤 $-40\sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度特性, 实验结果与理论分析的结果一致。

关键词 光纤光学; 保偏光纤; 光纤光栅; 双折射; 温度特性

中图分类号 TN 253 **文献标识码** A

A Novel Way to Measure the Temperature Characteristic of Polarization-Maintaining Fiber

NING Ti-gang, QIN Xi, PEI Li, TAN Zhong-wei, TONG Zhi, JIAN Shui-sheng

(Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network, Ministry of Education, Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract Polarization-maintaining fibers (PMF) are widely used in coherent optical communication systems, optical fiber sensors, optical fiber lasers, optical fiber gyros, and so on. The temperature stability is one of the key factors for the application of such fiber. In this paper, the characteristics of the fiber Bragg grating (FBG) fabricated in the PMF are analyzed by both of the theory and experiments. The results show that the higher of the temperature, the narrower of the polarization peak space. This is the theory basis of the high resolution new method to get the temperature characteristic of PMF. The experiments for the PMF at temperature range from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ are measured, and the results agree well with the theory analysis.

Key words fiber optics; polarization-maintaining fiber; fiber Bragg grating; birefringence; temperature characteristic

1 引言

保偏光纤(PMF)是一类具有重要使用价值的特种光纤^[1~5], 其主要参数是工作波长、截止波长、模场直径、数值孔径、衰减、拍长、偏振串音、偏振温度稳定性等, 其中拍长、偏振串音、偏振温度稳定性在光纤制作完成后, 主要由光纤的双折射温度特性决定。保偏光纤的双折射测量主要是压力法, 受到测试光源及其步进电机的影响, 测试复杂且精度不高^[6]。保偏光纤经常会应用在各种不同的环境中,

周围环境的变化会对保偏光纤的性能产生影响。如用于航空航天领域的光纤陀螺, 要求保偏光纤的偏振性能能够经受温度的考验。低温下光纤中产生压应力会导致光纤微弯和模式耦合, 使光纤的偏振性能恶化, 因此, 保偏光纤的偏振温度稳定性成为研究保偏光纤的重要课题^[5~7]。

利用紫外光在光纤纤芯中写入光栅可以广泛应用于光纤通信与传感中^[7~10]。写入的光栅反射波长由掩模板的周期和光纤的有效折射率决定, 在掩模板周期确定的情况下, 利用写入测定的光纤光栅

收稿日期: 2005-12-14; 收到修改稿日期: 2006-02-22

基金项目: 国家 863 计划(2004AA31G200), 国家自然科学基金(60477017), 北京市自然科学基金(4052023)和霍英东基金(91062)资助项目。

作者简介: 宁提纲(1968—), 男, 北京交通大学博士, 特聘教授, 主要从事高速光通信系统、大光纤传感、大功率包层抽运激光器方面的研究。E-mail: tgning@center.njtu.edu.cn

波长就可以知道光纤的折射率。在保偏光纤写入的光栅,由于它的高双折射,它的快慢轴对应的反射波长不同。本文利用熊猫保偏光纤(以下简称为保偏光纤)上写入光栅的特性,提出了一种新的研究保偏光纤双折射及其温度特性的方法。这种测试方法避免了压力法测试的不足,可以高精度测试保偏光纤的双折射。

2 温度对保偏光纤的影响

保偏光纤的种类较多,真正性能优良得到成熟应用的主要是应力双折射型保偏光纤,应力法产生偏振光纤的双折射可以表示为^[2,3]

$$B = C(\lambda) \frac{E}{1 + \gamma} \Delta\alpha \Delta T \epsilon, \quad (1)$$

其中 E 为光纤的杨氏模量; $C(\lambda)$ 为光弹常数,与波长有关; γ 为泊松比; $\Delta\alpha$ 为温度导致的包层膨胀因子与硅管膨胀因子的差; ΔT 为室温与纤芯软化的温度差; ϵ 为保偏光纤的椭圆度。与保偏有关的特性好坏都是保偏光纤的双折射大小决定的,从式(1)可以看出,如果保偏光纤周围温度发生变化,就会引起光纤本身的拍长($L_p = \lambda/B$)、偏振串音、偏振消光比发生变化。

光纤中掺杂的成分影响保偏光纤的膨胀因子,设 m 为 GeO_2 或 B_2O_3 的物质的量浓度,那么掺硼或掺锗光纤的膨胀因子可以表示为^[2]

$$\Delta\alpha = (5.6 + 1.04m) \times 10^{-7} \text{ deg}^{-1}. \quad (2)$$

以 20 °C 温度下保偏光纤的双折射值为参考(以 20 °C 的值与其他温度下测得的双折射作差),对保偏光纤的双折射在 -40 ~ 130 °C 之间的温度特性进行了计算和测量,如图 1。计算采用的光纤杨氏模量为 7.75×10^9 ,光弹常数为 -3.5×10^{-11} ,与波长有关,但在这里,研究的光波长带宽很窄,可以认为

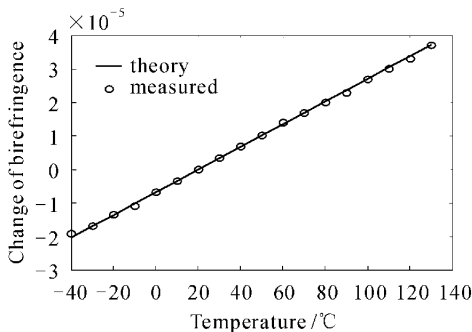


图 1 熊猫保偏光纤的温度影响理论与实验

Fig. 1 Theoretical and experimental change of Panda PMF's birefringence at different temperature

是常数; GeO_2 在光纤中的物质的量含量为 13%;熊猫保偏光纤的椭圆度取为 1,光源波长为 1554.4 nm。双折射的测量采用偏振万用表。

3 保偏光栅测保偏光纤双折射原理

光纤写入光栅的波长(λ_B)由光纤的有效群折射率 n_{eff} 与掩模板的周期(Λ) 决定,即^[8]

$$\lambda_B = n_{\text{eff}} \Lambda, \quad (3)$$

对于保偏光纤,其快慢轴对应的有效折射率不同,为了研究方便,设快慢轴分别为 x 轴, y 轴;对 x 轴, y 轴掩模板的周期相同,那么保偏光纤上写入的光栅反射的中心波长在 x 轴和 y 轴是不同的,它们之间反射的波长差由保偏光纤的双折射决定。保偏光纤写入光栅的反射波长差可以表示为

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B^y - \lambda_B^x = n_{\text{eff}}^y \Lambda - n_{\text{eff}}^x \Lambda, \quad (4)$$

由此可以计算出所用的保偏光纤的双折射为

$$\Delta n_B = (\lambda_B^y - \lambda_B^x) / \Lambda, \quad (5)$$

从式(3)~(5)可以知道,如果测量得到在保偏光纤上写入光栅的反射波长,就可以得出保偏光纤的双折射值;并且由于利用掩模板,相当于把双折射放大了,测量的精度大大提高。

为了写入光栅更加容易,保偏光纤事先经过 140×10^2 kPa 的高纯氢气在室温下处理 4 周。采用相位掩模紫外曝光法写入光栅,紫外光源为 TureLaser 的 BraggStar 200,紫外光能量为 10 mJ,写入用的紫外光频率为 25 Hz,相位掩模板的周期为 1068 nm,使用的保偏光纤相对折射率剖面如图 2,图 3 为保偏光纤上写入光栅的反射谱,从图 3(b) 可以推算出写入光栅用的保偏光纤双折射为 3.48×10^{-4} 。

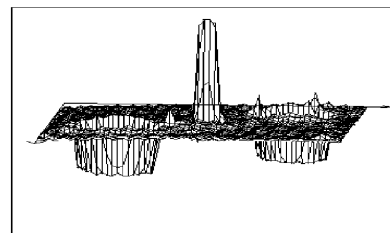


图 2 保偏光纤的三维相对折射率剖面

Fig. 2 Relative 3D index of PMF

把均匀掩模板写入的保偏光纤光栅先经过 150 °C 退火 6 h(如果仅用于测定保偏光纤的参数,写入光栅的保偏光纤不需要氢载,可以省略氢载和退火的程序)。测试用的温度控制系统(德国

WEISS WT180), 温度控制范围为-40~180 °C, 控制精度为0.1 °C. 在测试光栅任意温度点的特性之

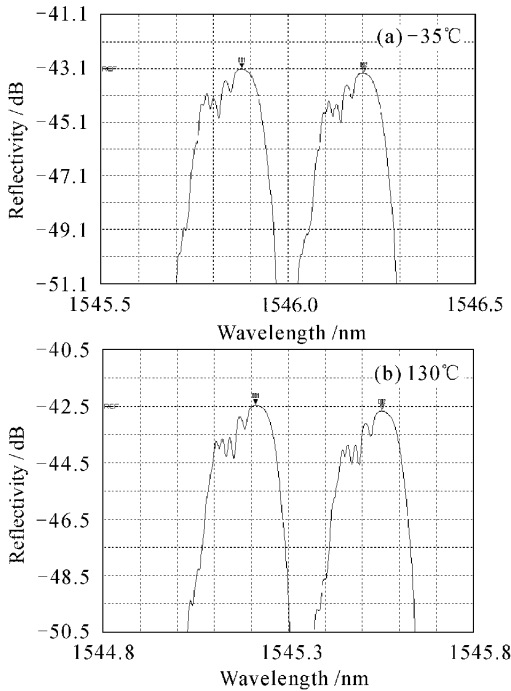


图3 保偏光纤光栅不同温度下的反射谱
Fig. 3 Reflective spectra of PMF gratings at different temperatures

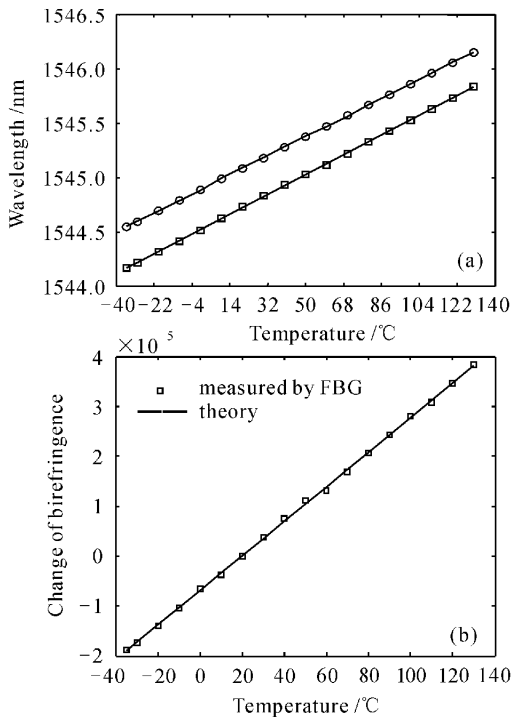


图4 保偏光纤光栅波长(a)和双折射(b)与温度的关系
Fig. 4 Relation of PMF wavelength (a) and birefringence (b) versus temperature

前, 光栅都被放置在该温度点保持2 h以上, 以保证温度分布的均匀, 图4为保偏光纤光栅温度特性测试结果. 图4(a)为保偏光纤光栅反射波长与温度的关系, “□”和“○”为测试值, 直线为拟合线; 图4(b)为保偏光纤的快慢轴20 °C时的折射率作各自的参考(其变化值为20 °C的值减其他温度下的值), 在不同温度下, 保偏光纤快慢轴的折射率变化差, 其中折射率的计算采用了式(4). 利用保偏光纤光栅的温度特性得到保偏光纤双折射特性与实验计算得到保偏光纤双折射特性基本一致.

4 结 论

利用保偏光纤上写入光栅可以测定其双折射, 保偏光纤光栅的温度特性可以很好地反映其双折射特性, 从而可以简单方便地研究保偏光纤的拍长、偏振串音、偏振温度稳定性.

参 考 文 献

- 1 D. N. Payne, A. J. Barlow, J. J. R. Hansen. Development of low- and high-birefringence optical fibers [J]. *J. Quantum Electron.*, 1982, **QE-18**(4):477~488
- 2 Rongfeng Guan, Xueli Wang, Xuefang Wang *et al.*. Finite element analysis on stress-induced birefringence of polarization-maintaining optical fiber [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(1):42~45
- 3 J. Noda, K. Okamoto, Y. Sasaki. Polarization-maintaining fibers and their applications [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1986, **LT-4**(8):1071~1089
- 4 Kyung Jun Han, Yong Wook Lee, Jaeho Kwon *et al.*. Simultaneous measurement of strain and temperature incorporating a long-period fiber grating inscribed on a polarization-maintaining fiber [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(9):2114~2116
- 5 Miroslav Chomat. Efficient suppression of thermally induced nonreciprocity in fiber-optic Sagnac interferometers with novel double-layer winding [J]. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(13):2289~2291
- 6 Lin Min, Huang Jianjun, Gu Xiaozhong. The automatic testing for beat length of fiber [J]. *Journal of Shenzhen University (Science & Engineering)*, 1998, **15**(2~3):60~64
林敏, 黄建军, 古晓忠. 自动测量保偏光纤拍长的实验研究 [J]. *深圳大学学报(理工版)*, 1998, **15**(2~3):60~64
- 7 K. Killian, M. Burmenko, W. Hollinger. High performance fiber optic gyroscope with noise reduction [C]. *SPIE*, 1994, **2292**:255~263
- 8 C. R. Giles. Lightwave applications of fiber Bragg gratings [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1391~1404
- 9 Ning Tigang, Fu Yongjun, Tan Zhongwei *et al.*. Study on delay characteristics of cascaded chirped FBGs [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(1):77~80
宁提纲, 傅永军, 谭中伟等. 光纤光栅级联时延特性的研究 [J]. *中国激光*, 2004, **31**(1):77~80
- 10 He Wei, Xu Xiandong, Jiang Desheng. High-sensitivity fiber Bragg grating temperature sensor with polymer jacket and its low-temperature characteristic [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(10):1316~1319
何伟, 徐先东, 姜德生. 聚合物封装的高灵敏度光纤光栅温度传感器及其低温特性 [J]. *光学学报*, 2004, **24**(10):1316~1319