

长周期保偏光纤光栅的偏振特性研究*

莫秋菊¹ 饶云江^{1,2} 冉曾令² 朱涛^{1,2}

(1 重庆大学光电工程学院, 重庆 400030)

(2 成都电子科技大学通信与信息工程学院, 成都 610015)

摘要 用高频 CO₂ 激光脉冲写入法在熊猫保偏光纤上写入长周期光纤光栅, 并对其偏振特性进行了全面的试验研究. 试验结果表明, 在输入椭圆偏振光偏振角度 0 到 2 π 的变化范围内, 高频 CO₂ 激光脉冲写入法在熊猫保偏光纤上写入的长周期光纤光栅谐振峰幅值会随着入射椭圆偏振光偏振角度的改变发生以 π 为周期的周期性变化, 并且相邻两谐振峰幅值变化趋势相反, 相位差为 π . 在相同偏振角度下将两谐振峰幅值相减, 其差值呈近似于锯齿波的周期性变化, 周期也为 π . 在没有发生模式干扰的情况下, 谐振峰波长几乎没有发生漂移. 基于模式耦合理论, 文中还对所观察到的试验现象进行了定性的理论解释.

关键词 导波光纤光学; 光纤传感; 长周期光纤光栅; 保偏光纤光栅; 偏振特性

中图分类号 TN253 **文献标识码** A

0 引言

随着光纤通信与光纤传感技术的不断发展, 长周期光纤光栅^[1~3] (LPFG) 作为一种独特的光纤通信与传感器件获得了很大的发展, LPFG 也已经在许多领域中得到应用. 目前的 LPFG 已经不再局限于在普通单模光纤上制作, 为了满足一些特殊场合的需要, 人们开始探索在特种光纤上如在用于传输偏振光的保偏光纤上制作 LPFG^[4~6]. 由于保偏光纤本身对输入偏振光具有偏振保持功能, 使得在保偏光纤上制作的 LPFG 也与在普通单模光纤上制作的 LPFG 性质有所不同. 目前关于在保偏光纤上制作 LPFG 的报道已经有不少, 但其制作方法主要是紫外光写入法, 且对写入的 LPFG 的偏振特性并没有进行全面的试验研究. 本文将报道用高频 CO₂ 激光脉冲写入法在熊猫保偏光纤上写入的 LPFG, 并在输入椭圆偏振光偏振角度 0~2 π 的变化范围内对其各个谐振峰幅值及波长的变化规律作了全面的试验研究.

1 试验及结果

试验所用的光纤为中国电子科技集团第 46 研究所生产的熊猫保偏光纤, 拍长为 3.3 mm. 试验选取了两种周期的 LPFG: 一种周期为拍长的 1/3, 即 1.1 mm, 另一种周期为拍长的 2/3, 即 2.2 mm. 图 1 为试验装置图, 宽带 ASE 光源发出的光先送入偏振控制器, 偏振控制器为美国汇普公司生产的 8168A 型偏振控制器. 经过偏振控制器出来的光为

椭圆偏振光, 将此椭圆偏振光直接送入高频 CO₂ 激光脉冲写入法在熊猫保偏光纤上写入的 LPFG, 最后直接接入光谱仪. 光谱仪为美国安捷伦公司生产的 86142B 型光谱仪. 在试验过程中, 为了避免外

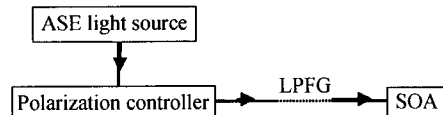


图 1 试验装置
Fig. 1 Experimental setup

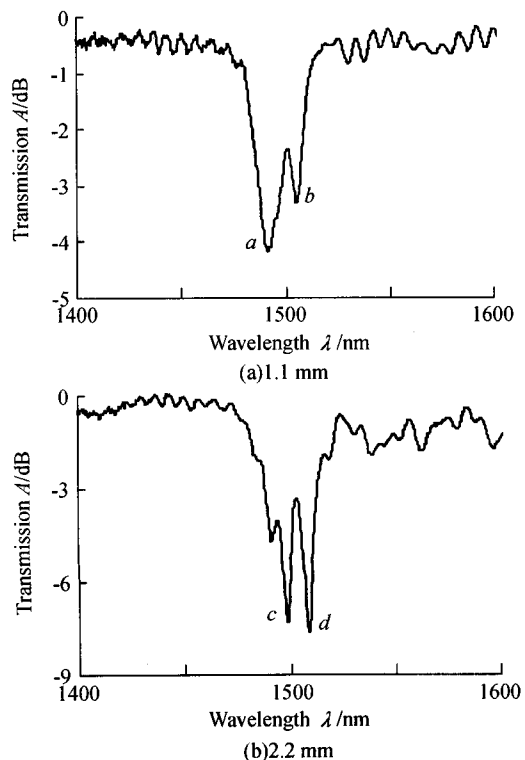


图 2 入射非偏振光分别为 1.1 mm 和 2.2 mm 时周期光栅谱图
Fig. 2 Spectra of LPFG with 1.1 mm and 2.2 mm period when the incident light is not polarized

*教育部重点基金(104210)、重庆市自然科学基金(8415)资助

Tel: 028-83206811 Email: moqiuju@sohu.com

收稿日期: 2005-09-05

界环境如空气流动引起试验光路的扰动,需将 LPFG 绷直后,将整个光路用胶布固定于试验台上. 图 2(a), (b) 分别为 1.1 mm 与 2.2 mm 周期的 LPFG 在入射非偏振光时的谱图,图中所标注的 a 、 b 、 c 、 d 四个谐振峰为试验所观察的谐振峰,其中 a 、 b 谐振峰是周期为 1.1 mm 光栅的谐振峰, c 、 d 谐振峰是周期为 2.2 mm 光栅的谐振峰.

试验先观察 1.1 mm 周期的光栅谐振峰变化情况. 将 1.1 mm 周期的光栅连入光路中,改变偏振控制器的起偏角度,使从偏振控制器出来的椭圆偏振光偏振角度也随之改变,在光谱仪上观察 LPFG 谐振峰幅值与波长的变化情况并记录数据. 从偏振控制器出来的偏振光偏振角度变化范围为 0° 到 360° ,每隔 10° 分别记录一次谐振峰 a 、 b 的幅值与谐振波长变化情况. 在试验中观察到谐振峰 a 的幅值与波长均随着偏振光偏振角度的改变而发生周期性变化,而谐振峰 b 仅幅值变化,波长没有发生漂移. 图 3 为谐振峰 a 、 b 幅值与偏振角度变化关系图,图 4 为谐振峰 a 波长漂移与偏振角度变化关系图.

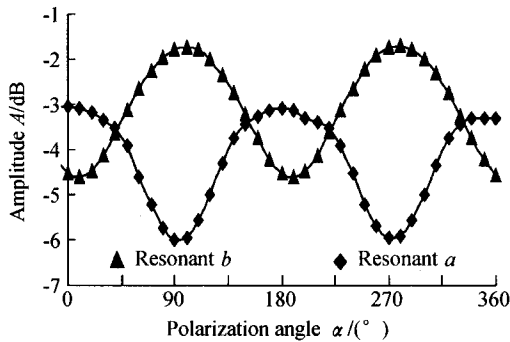


图 3 谐振峰 a 、 b 幅值与偏振光角度关系
Fig. 3 Relationship between resonant amplitude of a , b and polarization angles

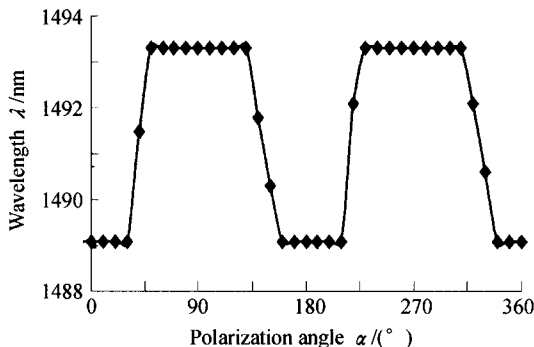


图 4 谐振峰 a 波长与偏振光角度关系
Fig. 4 Relationship between resonant wavelength of a and polarization angles

由图 3、4 可看出,谐振峰 a 、 b 的幅值均随着偏振角度的改变而发生周期性变化,变化的周期为 π . 谐振峰 a 最大变化了 2.9 dB,谐振峰 b 最大变化了 2.8 dB. 且 a 、 b 两谐振峰幅值的变化趋势是相反的,两者的相位差为 π . 在试验中观察到谐振峰 b 的

波长不随着偏振光偏振角度的改变而发生漂移,而谐振峰 a 的波长却随着偏振光偏振角度变化发生周期性漂移,漂移的周期也为 π ,在整个试验过程中最大漂移了 4.2 nm. 在同一偏振光偏振角度下将 a 、 b 两谐振峰的幅值相减,得出 a 、 b 两谐振峰幅值差与偏振角度的关系,如图 5.

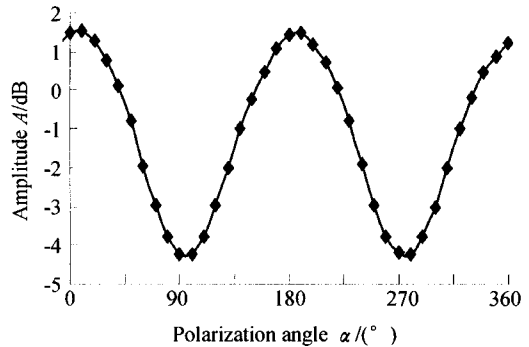


图 5 a 、 b 幅值差与偏振角度关系
Fig. 5 Relationship between amplitude differences of a , b and polarization angles

可以看出,两谐振峰幅值差也随着偏振光偏振角度的改变而发生以 π 为周期的周期性变化,在相减结果的最大值与最小值之间,两谐振峰幅值差与偏振角度基本呈线性关系.

再将周期为 2.2 mm 的光栅连入光路中,重复 1.1 mm 周期光栅的试验步骤,观察试验现象并每隔 10° 分别记录一次谐振峰 c 、 d 的幅值与波长变化情况. 在试验中可观察到,谐振峰 c 、 d 的波长基本上都没有发生漂移,而两谐振峰的幅值均随着偏振角度的改变而周期性变化,谐振峰 c 幅值最大变化了 10.1 dB,谐振峰 d 最大变化了 9.8 dB. 如图 6 为谐振峰 c 、 d 幅值与偏振光偏振角度关系图,可以看出,谐振峰 c 、 d 幅值变化的周期均为 π ,两者的变化趋势也是相反的,相位差为 π . 再将同一偏振光偏振角度下两峰的幅值相减,可得出谐振峰 c 、 d 幅值差与偏振角度的关系,如图 7. 可以看出,谐振峰 c 、 d 幅值差与偏振光偏振角度呈锯齿波关系,周期仍为 π .

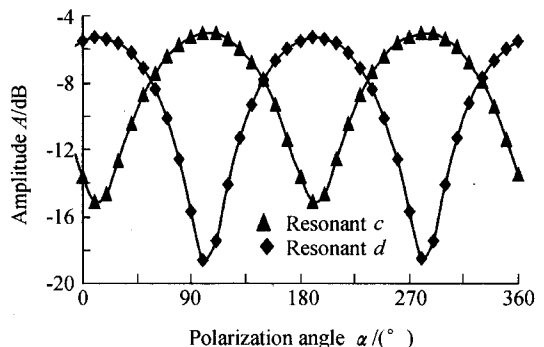


图 6 谐振峰 c 、 d 幅值与偏振光角度关系
Fig. 6 Relationship between amplitude of c , d and polarization angles

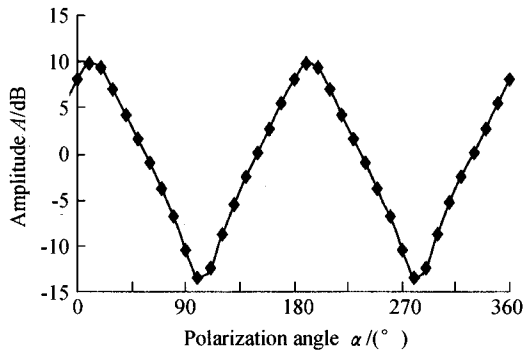


图7 c, d 幅值差与偏振光角度关系

Fig.7 Relationship between amplitude differences of c, d and polarization angles

在相减结果的最大值与最小值之间,两谐振峰幅值差与偏振光偏振角度呈非常好的线性关系.

2 理论分析

试验中观察到的都是混合模式 HE_{12} 与基模 HE_{11} 的耦合. 对于保偏长周期光纤光栅, 由于双折射效应使得模场分裂为 X 偏振模和 Y 偏振模, 分别对应于光纤模场的慢、快轴, 峰 a, c 和峰 b, d 分别对应于 Y 偏振模和 X 偏振模. 由长周期光纤光栅的谐振峰波长公式为

$$\lambda = (n_{x,y}^{\text{core}} - n_{x,y}^{\text{clad}}) \Lambda \quad (1)$$

可以看到, 由于偏振对应的模折射率差的不同, 从而使两个线偏振模的谐振波长不一致.

谐振峰的幅值大小主要取决于横向模式耦合系数, 用 K_{kj}^i 来表示 j 阶和 k 阶模的横向模式耦合系数, 其表达式为

$$K_{kj}^i(z) = \frac{\omega}{4} \iint_{-\infty}^{\infty} dx dy \Delta \epsilon(x, y, z) e_{ki}^*(x, y) e_{ji}^*(x, y) \quad (2)$$

式中 $\Delta \epsilon$ 表示介电常量的变化, e_{ji}^* 和 e_{ki} 分别表示 j 阶和 k 阶模的横向模场分量, * 表示共扼, x, y 分别表示在 X 和 Y 方向上的偏振.

横向耦合系数取决于两个模式在两个线偏振模方向上对应的分量的强度以及它们的重合度, 当输入椭圆偏振光时, 由于椭圆偏振光可以分解为 X 和 Y 方向上的两个线偏振分量, 并且由于椭圆偏振光偏振角度的改变, 使得输入椭圆偏振光在两个线偏振方向上的强度以及在重合区域所占的比例发生改变, 从而使两个线偏振模对应的耦合效率发生改变.

当偏振角度改变 180° 时, 由于椭圆偏振光在各个线偏振方向上的强度关于原点对称, 偏振分量的幅度在 X, Y 方向上又出现大小相同的值, 所以耦合效率的改变周期为 π , 两个偏振模的耦合系数以 π 为周期变化, 光栅谐振峰幅值的变化周期也为 π . 另外, 从耦合的偏振相关性上看, 峰峰周围变化较缓, 峰谷变化较尖锐, 这是由偏振分量强度本身变化的

趋势引起的.

另外, 对于周期为 1.1 mm 的 LPFG, 快轴模式即 Y 方向对应的谐振峰的谐振波长随着偏振角度的改变成周期性漂移, 可能是两个偏振模的交叉干扰引起的.

从图 5 和图 7 可以看到, 两个峰的差值在相减结果的最大值与最小值之间基本成线性, 而图 5 中图形的线性度相对较差, 这也可能是由于两个偏振模的交叉干扰引起的.

3 结论

在输入椭圆偏振光偏振角度 0 到 2π 的变化范围内, 高频 CO_2 激光脉冲写入法在熊猫保偏光纤上写入的 LPFG 谐振峰幅值会随着入射椭圆偏振光偏振角度的改变发生以 π 为周期的周期性变化, 相邻两谐振峰幅值的变化趋势相反, 相位差为 π . 在相同偏振角度下其幅值差呈近似于锯齿波的周期性变化, 周期也为 π . 两峰的差值在最大值与最小值之间与偏振角度成线性关系, 这个特性将为电流测量等传感领域提供应用前景. 由法拉第效应可知, 电流的变化可以使保偏光纤内传播的偏振光偏振态旋转变, 而偏振态的旋转变又可以由本文中的保偏光纤光栅谐振峰幅值大小变化即光强变化表现出来, 且保偏光纤光栅两相邻谐振峰幅值差与偏振角度呈线性规律变化, 这将为强度解调提供方便.

参考文献

- 1 李景义, 饶云江, 牛永昌, 等. 基于新型长周期光纤光栅的低成本应变传感系统. 光子学报, 2005, **34**(3): 431~433
Li J Y, Rao Y J, Niu Y C, et al. Acta Photonica Sinica, 2005, **34**(3): 431~433
- 2 李景义, 饶云江, 牛永昌, 等. 高频 CO_2 激光脉冲写入的相移长周期光纤光栅. 光子学报, 2005, **34**(1): 38~40
Li J Y, Rao Y J, Niu Y C, et al. Acta Photonica Sinica, 2005, **34**(1): 38~40
- 3 胡爱雯, 饶云江, 聂知理, 等. 腐蚀后的新型长周期光纤光栅特性研究. 光子学报, 2004, **33**(8): 916~919
Hu A Z, Rao Y J, Nie Z L, et al. Acta Photonica Sinica, 2004, **33**(8): 916~919
- 4 Kurkov A S, Douay M, Duhem O, et al. Long-period fiber grating as a wavelength selective polarization element. Electronics Letters, 1997, **33**(7): 616~617
- 5 周赢武, 高侃, 黄锐, 等. 保偏光纤长周期光栅特性的研究. 中国激光, 2004, **31**(9): 1103~1106
Zhou Y W, Gao K, Huang R, et al. Chinese Journal of Lasers, 2004, **31**(9): 1103~1106
- 6 夏历, 李栩辉, 殷玉哲, 等. 在保偏光纤上制作光纤光栅的应用研究. 光学学报, 2002, **22**(8): 1004~1007
Xia L, Li Y H, Yin Y Z, et al. Acta Optica Sinica, 2002, **22**(8): 1004~1007

Study of Polarization Characteristic of Long-Period Fiber Grating Written in Polarization Maintaining Fiber

Mo Qiuju¹, Rao Yunjiang^{1,2}, Ran Zengling², Zhu Tao^{1,2}

1 Department of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030

2 School of Communication and Information Engineering, University of Electronics Science & Technology of China, Chengdu 610015

Received date: 2005-09-05

Abstract Long-period fiber grating (LPFG) written by high frequency CO₂ laser pulses in panda polarization maintaining fiber was proposed, and its polarization characteristic was generally studied by experiments. The experiment results show that the resonant amplitude of LPFG changes periodically with a period of π when the polarization angle of incident elliptical polarization light varies from 0 to 2π . The amplitude change directions of two adjacent resonants were opposite with a phase difference of π and the amplitude difference of them in the same incident polarization angle varied periodically as a zigzag wave also with a period of π . The resonant wavelengths of LPFG hardly varied when there was no mode disturbs. Based on mode couple theory, the experiment results were explained qualitatively in this paper.

Keywords Guided wave and fiber optics; Optical fiber sensors; Long-period fiber gratings; Polarization fiber gratings; Polarization characteristic



Mo Qiuju was born on August 13, 1982, in Guangxi, China. She receive her Bachelor's degree from Department of Optics and Electronics Engineering of Chongqing University in 2003. Now she is a master student of optics and electronics department of Chongqing University. Her specialty is optics engineering and her current research interests concentrate primarily on long period fiber grating sensors.