

文章编号: 0258-7025(2004)09-1103-04

保偏光纤长周期光栅特性的研究

周赢武, 高侃, 黄锐, 耿建新, 方祖捷

(中国科学院上海光学精密机械研究所信息光学实验室, 上海 201800)

摘要 报道了写于熊猫光纤上的长周期光栅特性的实验研究结果。测得了对应于熊猫光纤两个轴的长周期光栅谐振峰的温度和应变响应系数。结果表明, 在所研究的温度和应变测量范围内, 温度和应变响应曲线具有良好的线性。快、慢轴谐振峰的温度响应系数及应变响应系数具有相反的符号。还研究了该熊猫光纤长周期光栅的金属化特性, 结果表明, 在所测量的范围内, 谐振峰的波长随所加的功率线性增加, 而谐振峰损耗量的变化小于 0.3 dB。基于平板波导耦合理论, 对实验中观察到的现象给出了定性的解释。

关键词 光电子学; 长周期光纤光栅; 温度; 应变; 金属化

中图分类号 TN 253 **文献标识码** A

Study on the Characteristics of Long Period Grating in Polarization Maintaining Fiber

ZHOU Ying-wu, GAO Kan, HUANG Rui, GENG Jian-xin, FANG Zu-jie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract In this paper, the characteristics of long-period Bragg grating written on panda fiber are presented. Both the strain and temperature responses show a good linear characteristics at the strain range and temperature range investigated. The temperature-tuning characteristics of the long period grating (LPG) by using a thin film metal coating on the nude surface of the fiber as a heater are also demonstrated. In the range of 0~150 mA, the response curve of the LPG has good linearity with the square of the current, while the loss change is less than 0.3 dB.

Key words optoelectronics; long-period optical fiber grating; temperature; strain; metal coating

1 引言

由于保偏光纤本身结构的特殊性, 使得在保偏光纤上所写的光栅具有其独特的特性。保偏光纤本身具有双折射, 即光纤中快轴和慢轴存在着一定的折射率差, 因此, 在保偏光纤上一次写入光纤光栅, 就可得到等效意义上的两个光栅^[1], 它们的谐振波长由于各自所在轴的折射率不同而不同。在已有为数不多的保偏光纤光栅的研究报道表明保偏光纤光栅具有许多特殊的用途。O. Deparis 等^[2]指出, 写于熊猫光纤上的光栅可以用于制作波长可选择主动锁模掺铒光纤激光器; B. Ortega 等^[3]的研究结果表明, 保偏光纤长周期光栅可作为高性能起偏器; 而 S. Lee 等^[4]则提出, 可以利用写于保偏光纤上的非

线性啁啾光栅补偿偏振模色散。

到目前为止, 还没有关于保偏光纤长周期光栅的可调谐特性的报道。本文将从实验上研究写于熊猫光纤上的长周期光栅的温度和应变响应特性。

2 实验及结果

2.1 光纤光栅的制作

熊猫光纤在载氢室载氢一周后, 利用振幅掩模法写入长周期光栅, 所用的振幅掩模板周期为 400 μm , 光源为 193 nm 紫外准分子激光器。将光纤光栅写好后放入温度为 160 $^{\circ}\text{C}$ 的退火室退火 24 h, 以消除光纤中残余的氢及由紫外辐照引起的缺陷。

图 1 所示为一根长 6 cm 光栅的透射谱。当所

收稿日期: 2003-05-28; 收到修改稿日期: 2003-07-02

作者简介: 周赢武(1968—), 男, 中国科学院上海光学精密机械研究所博士研究生, 福州大学电子系讲师, 主要从事光通信系统的偏振效应及光纤光栅的应用研究。E-mail: ywzhou1073@sina.com

用的光源为线偏振光时,可以知道图中的 A,B 两峰分别对应于保偏光纤快、慢轴^[3]。A,B 两峰为同一阶包层模谐振峰,其间隔为 37 nm。

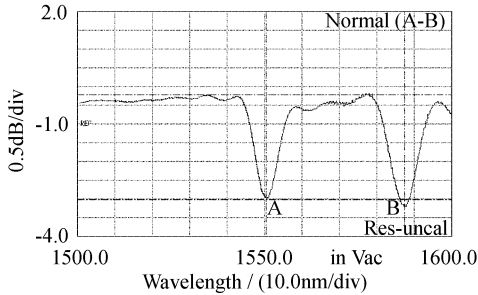


图 1 熊猫光纤长周期光栅的透射谱

Fig. 1 Transmission spectrum of the LPG written on panda fiber

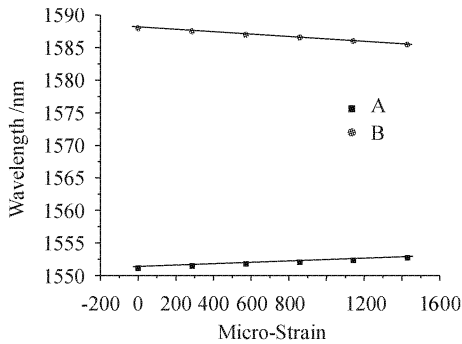


图 2 A,B 谐振峰的波长变化与轴向应变的关系

Fig. 2 Wavelength shift by strain for resonance peak A and B

2.2 温度和应变响应特性

在光纤光栅制备好后,实验测量了快、慢轴谐振峰的温度和应变响应特性。在测量温度响应特性时,光纤处于自由状态,不施加任何应力;而在测量其应变响应特性时,环境温度保持在 23℃。图 2 给出了其应变响应曲线。由图 2 可知,在 0~2500 $\mu\epsilon$ 所测试的应变范围内,快轴和慢轴的谐振峰的应变响应具有很好的线性特性。数据拟合得到快、慢轴谐振峰的应变响应系数分别为: $k_e^A = 1.1 \text{ pm}/\mu\epsilon$ 和 $k_e^B = -1.8 \text{ pm}/\mu\epsilon$ 。快、慢轴谐振峰的应变响应系数具有相反的符号。

图 3 为该光栅温度响应曲线。由图 3 可知在 0~50℃ 所测试的温度范围内,快轴和慢轴的谐振峰的温度响应具有很好的线性特性。由数据拟合的结果可知,快、慢轴谐振峰的温度响应系数分别为: $k_T^A = -46.6 \text{ pm}/\text{℃}$ 和 $k_T^B = 107 \text{ pm}/\text{℃}$ 。由此可见,快、慢轴谐振峰的温度响应系数也具有相反的符号。

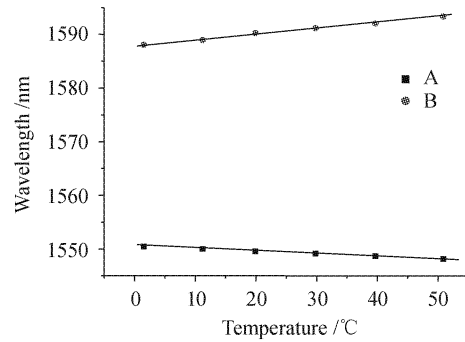


图 3 A,B 谐振峰的波长变化与温度的关系

Fig. 3 Wavelength shift by temperature for resonance peak A and B

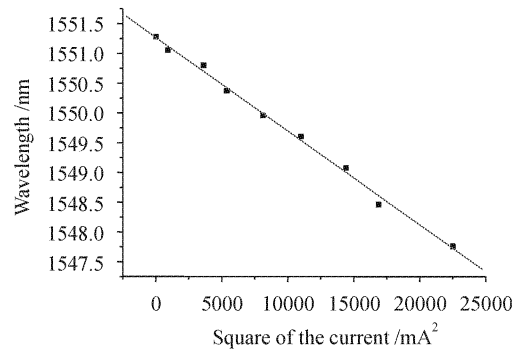


图 4 谐振峰的波长与所加的电流平方的关系

Fig. 4 Dependence of the resonance wavelength shift corresponding to the fast axis on the square of the electrical current

2.3 金属化特性

为了实现简易的温度调谐,对长周期光栅的表面作了金属化处理^[5]。在金属化时,采用 Ti,Pt 金属作为内镀层,以加强粘附强度;采用金属 Ni 作为外表层和电热材料,同时能保证良好的焊接。在金属化光纤两端引了电极后,测量了两电极间的电阻在室温下为 7.1 Ω 。对这一金属镀层施加电流,可以实现光纤光栅的温度调谐。图 4 给出了其中一个谐振峰(A)的波长随电流变化的典型关系。图中黑点为实验所得的结果,实线为线性拟合的结果。可见,在 0~150 mA 所测量的范围内,谐振峰的波长变化和所加的电流的平方之间存在着很好的线性关系,也就是说,正比于所加的电功率。由数据拟合的结果可知,电流调谐的灵敏度系数为 0.154 pm/mA^2 。按电功率计算约为 22 pm/mW ^[5]。图 5 给出了谐振峰幅度的变化量和所加电流的平方之间的关系,由图可知,在上述测量电流范围内,该谐振峰损耗值的变化量小于 0.3 dB。

在实验中发现,所镀的金属膜均匀与否直接影

响测量的结果。当金属膜不均匀时,在通电后,就会导致光纤光栅的不同部分受热不均匀,光栅将出现“啁啾”现象,会给测量结果带来误差。因此,在镀金属膜时必须解决膜的均匀性问题。

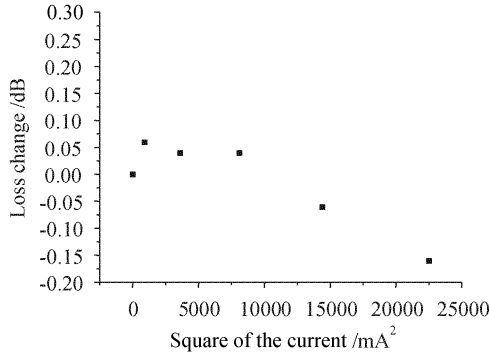


图 5 谐振峰损耗量的变化与所加电流平方的关系

Fig. 5 Dependence of the loss change of the resonance wavelength corresponding to the fast axis on the square of the electrical current

3 讨论

对于保偏光纤长周期光栅,相应于其快、慢轴谐振峰应满足如下相位匹配条件

$$\lambda_p = [n_{core}(\lambda) - n_{clad}(\lambda)]\Lambda \quad (1)$$

谐振峰波长随外界温度及轴向应力的漂移可用下式来表示^[6]

$$\frac{1}{\lambda_p} \frac{\partial \lambda_p}{\partial T} = \gamma(\alpha + \kappa) \quad (2)$$

$$\frac{1}{\lambda_p} \frac{\partial \lambda_p}{\partial \epsilon} = \gamma(1 + \mu) \quad (3)$$

式中 κ 为描述光纤的折射率随温度变化的参数, μ 为描述光纤的折射率随轴向应力变化的参数, α 为光纤的热膨胀系数, γ 为色散因子,它满足如下关系

$$\gamma = \left[1 - \Delta \left(\frac{\partial n_{core}}{\partial \lambda} - \frac{\partial n_{clad}}{\partial \lambda} \right) \right]^{-1} \quad (4)$$

色散因子 γ 的正负决定了长周期光纤光栅受到外界温度变化及轴向应变影响时,谐振峰的漂移方向。对于普通的单模光纤,色散因子 γ 可以通过理论推导获得。而对于高双折射光纤(如熊猫保偏光纤),至今还未见关于色散因子 γ 理论和实验的研究报道。

为解释上述实验现象,考虑如图 6 所示的熊猫光纤的结构和简化模型。由于在制作熊猫保偏光纤时,在纤芯两侧产生的应力区中,所掺杂的 B_2O_3 的浓度高达 20 mol-%, 因此,在 x 方向产生的应力区与光纤的包层之间就有较大的折射率差。而在 y 方向不存在折射率差,如图 6(a) 所示。这样可以将熊猫保偏光纤看成类平板波导结构。在平板波导中,存在 TE 模和 TM 模,如图 6(b) 所示。由于奇次模的场分布对于纤芯来说是一个奇函数,因此只有偶次模能与纤芯的 HE_{11} 模产生耦合作用。由平板波导的本征方程可知^[7], TE 模的有效折射率比 TM 模的有效折射率大,这意味着 TE 模对应于慢的包层模。从图 6 可以看出慢的包层模可以和纤芯的 HE_{11y} 模发生耦合,这对应于熊猫保偏光纤的快轴。基于同样的原因,快的包层模将与纤芯的 HE_{11x} 模发生耦合。图 6(c) 给出了不同模式的有效折射率随外界温度及轴向应力变化的关系,同时也给出了纤芯模和包层模之间可能产生的耦合情形。由参考文献 [8] 可知,随着温度的升高,保偏光纤的双折射效应将减弱,而随着轴向应力的增加,保偏光纤的双折射效应将增强。这样就会使色散因子 γ 的符号产生变化。因此,当温度升高或轴向应力增大时,对应于保偏光纤的快、慢轴的长周期光栅的谐振峰就会向相反的方向漂移,这正是实验中所观测到的现象。

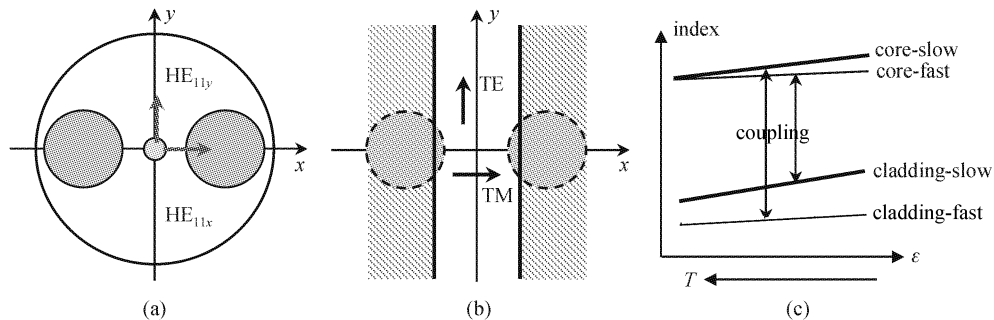


图 6 熊猫光纤的结构示意图

(a) 纤芯模; (b) 包层模; (c) 纤芯模与包层模间的耦合

Fig. 6 Schematic diagrams of a panda fiber

(a) for the core modes; (b) for the cladding modes; (c) coupling between the core modes and cladding modes

4 结 论

研究了写于熊猫光纤上的长周期光栅的温度和应变响应特性。实验结果表明,在 $0\sim 1500\ \mu\epsilon$ 所测试的应变范围内,相应于保偏光纤快轴和慢轴的谐振峰的应变响应具有很好的线性特性,响应系数分别为: $k_e^A = 1.1\ \text{pm}/\mu\epsilon$ 和 $k_e^B = -1.8\ \text{pm}/\mu\epsilon$;而在 $0\sim 50\ ^\circ\text{C}$ 的温度范围内,快轴和慢轴谐振峰的温度响应也具有很好的线性特性,响应系数分别为: $k_T^A = -46.6\ \text{pm}/^\circ\text{C}$ 和 $k_T^B = 107\ \text{pm}/^\circ\text{C}$ 。还研究了该熊猫光纤长周期光栅的金属化特性,结果表明,在 $0\sim 150\ \text{mA}$ 的测量范围内,谐振峰的波长变化和所加的电流的平方之间存在着很好的线性关系,调谐效率的典型值为 $22\ \text{pm}/\text{mW}$ 。在这一调谐范围内,谐振峰幅度的变化小于 $0.3\ \text{dB}$ 。将熊猫光纤的包层模用一个平板波导作为近似,对实验中观察到的对应于快轴和慢轴谐振峰的不同调谐行为,给出了定性的解释。

参 考 文 献

- 1 Xia Li, Li Xuhui, Yin Yuzhe *et al.*. Study of writing fiber Bragg grating into birefringent fiber [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(8):1004~1007
夏 历,李翔辉,殷玉喆等. 在保偏光纤上制作光纤光栅的应用研究[J]. *光学学报*, 2002, **22**(8):1004~1007
- 2 O. Deparis, R. Kiyari, S. A. Vasiliev *et al.*. Polarization-maintaining fiber Bragg gratings for wavelength selection in actively mode-locked Er-doped fiber lasers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(4):284~286
- 3 B. Ortega, L. Dong, W. F. Liu *et al.*. High-performance optical fiber polarizers based on long-period gratings in birefringent optical fibers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(10):1370~1372
- 4 S. Lee, R. Khosravani, J. Peng *et al.*. Adjustable compensation of polarization mode dispersion using a high-birefringence nonlinearly chirped fiber Bragg grating [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(10):1277~1279
- 5 Geng Jianxi, Li Lin, Zhao Ling *et al.*. Temperature tunability of metallized fiber Bragg gratings [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(8):735~738
耿建新,李 琳,赵 岭等. 金属化光纤光栅的温度调谐[J]. *中国激光*, 2003, **30**(8):735~738
- 6 A. D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick *et al.*. Fiber grating sensors [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1442~1463
- 7 H. C. Casey, Jr., M. B. Panish. *Heterostructure Lasers* [M]. Chapter II, New York: Academic Press, 1978
- 8 Pak L. Chu, Rowland A. Sammut. Analytical method for calculation of stresses and material birefringence in polarization-maintaining optical fiber [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1984, **LT-2**(5):650~662