

Bragg 波长精确调控的光纤光栅刻写方法与实验

张天华, 赵 鸿, 朱 辰, 李 尧, 张 昆, 张利明, 王雄飞, 张浩彬, 郝金坪
(固体激光技术重点实验室, 北京 100015)

摘要:利用光纤布拉格光栅(FBG)的轴向应力特性,用同一块相位模板,刻写了 Bragg 波长分别为 1072.955 nm, 1071.516 nm, 1070.917 nm, 1069.863 nm, 1068.298 nm 的五支光纤光栅。而后对实验数据进行数据拟合得到拉力与刻写出的光纤光栅中心波长之间的关系。得到的实验拟合曲线与理论曲线十分相近。本文方法具有实现简单、设计灵活和成本低的优点,有很好的应用价值。

关键词:光纤光学;光纤光栅;Bragg 波长;FBG 刻写方法

中图分类号:TN253 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.03.014

Research on control the Bragg wavelength in writing FBG by controlling the axial stretch applied on fiber

ZHANG Tian-hua, ZHAO Hong, ZHU Chen, LI Yao, ZHANG Kun, ZHANG Li-ming
WANG Xiong-fei, ZHANG Hao-bin, HAO Jin-ping
(National Key Laboratory of Solid State Laser Technology, Beijing 100015, China)

Abstract: According to the axial stress characteristics of fiber Bragg gratings, fiber Bragg gratings with different Bragg-wavelength are written based on a uniform phase mask. Bragg-wavelengths are 1072.955 nm, 1071.516 nm, 1070.917 nm, 1069.863 nm, 1068.298 nm respectively. The relationship between tension and the centre wavelength of fiber gratings is achieved by fitting experiment datum, the experimental fitting curve with theoretical curve is very similar. This method has the advantages of simple implementation, flexible wavelength design and low-cost fabrication, and it has a good application value.

Key words: fiber optics; FBG; Bragg-wavelength; methods of FBG writing

1 引言

在光纤通信和传感系统以及光纤激光器的许多应用中,光纤布拉格光栅已被确认为是其中至关重要的器件,与其他“竞争”技术相比,光纤光栅具有全光纤结构、低插入损耗、高反射损耗或消光比,以及潜在的低成本优势。而光纤光栅的最突出特点在于它能够灵活的实现所需的光谱特性,通过调整变化光纤光栅的物理参数,包括折射率变化量、光栅长度、切趾、周期啾啾、条纹排布等^[1-2]。

光纤光栅的这些重要特性的实现,很大程度上取决于光纤光栅刻写技术。而目前发展最成熟,应用最广泛的光纤光栅刻写方法无疑便是掩模板法。

本文提出了轴向拉力控制实现中心波长精确调控的光纤光栅刻写方法,在相位掩模板法刻写光纤光栅的基础上实现光纤光栅 Bragg 波长在 0 ~ 4.657 nm 范围内连续可控的光纤光栅刻写。

2 原理分析

根据光纤光栅的模式耦合理论^[3-4],光纤光栅的 Bragg 波长 λ_B 可以表示为:

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad (1)$$

作者简介:张天华(1988-),男,硕士研究生,主要从事光纤激光器与光纤器件等方面研究。E-mail: zhangth@tju.edu.cn
收稿日期:2013-10-22;修订日期:2013-10-29

其中, n_{eff} 为基模的在纤芯传输的有效折射率; Λ 为光纤光栅的周期。光栅周期 Λ 的变化和有效折射率 n_{eff} 也产生变化。应力引起的光纤光栅中心波长漂移 $\Delta\lambda_B$ 可以表示为^[5]:

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Delta\Lambda + 2\Delta n_{\text{eff}}\Lambda \quad (2)$$

假设光纤光栅所受轴向力的变化量为 F , 那么 F 引起光纤轴向应变为:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S} \quad (3)$$

其中, E 为光纤的杨氏模量; $S = \pi r^2$ 为光纤的横截面积。

应力以及弹光效应引起 n_{eff} 的变化量 Δn_{eff} 可以表示为:

$$\Delta n_{\text{eff}} = -\frac{1}{2}n_{\text{eff}}^3 [P_{12} - \nu(P_{11} + P_{12})] \varepsilon = -P_e \varepsilon \quad (4)$$

其中, P_{11} 和 P_{12} 为弹光系数; ν 为泊松系数; ε 为轴向应变。

由上式可以得到到应力对光纤光栅中心波长漂移总的影响为:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(1 - P_e)\varepsilon = \lambda_B(1 - P_e)\frac{1}{E} \cdot \frac{F}{\pi r^2} \quad (5)$$

在石英光纤中, $P_{11} \approx 0.113$, $P_{12} \approx 0.252$, $\nu \approx 0.17$, 掺 Ge 纤芯的折射率约为 1.46, 可知 $P_e \approx 0.22$; F 为光纤轴向拉力; E 为光纤的杨氏模量; r 为光纤的半径。 $E \approx 72900 \text{ N/mm}^2$, $r = 65 \mu\text{m}$, 可以得到理想状态下在 1070 nm 附近轴向拉力变化量 F 与光纤光栅中心波长漂移 $\Delta\lambda_B$ 的关系^[6], 如图 1 所示。

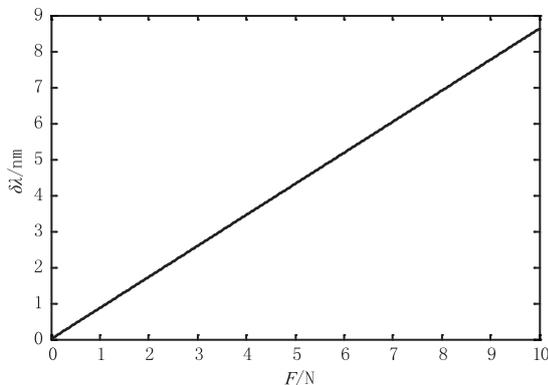


图1 拉力变化量与光栅中心波长漂移关系

3 实验结果与分析

3.1 实验装置

实验所采用的方案与设备基本上如图 2 所示。其中激光器是波长为 248 nm 的准分子激光器、平凸柱面镜、光阑、相位掩模板、电动位移平台、光纤加持

装置等。激光器发出的紫外激光经过透镜系统聚焦成细线光束, 经光阑选取区域与长度后透过相位掩模板照射在掩模板后的光纤上, 所用光纤为经过载氢处理的 10/130 双包层光纤, 光纤通过固定在电动位移台上的两个光纤夹持装置, 通过控制电动位移台来控制刻写光纤光栅的长度, 加入连接在 ASE 宽带光源上的光纤环形器用以观测光纤光栅的反射谱, 而透射谱可以直接光谱仪观测。图 2 中有一个拉力传感器, 它的作用便是用于精确控制施加在光纤上的拉力。

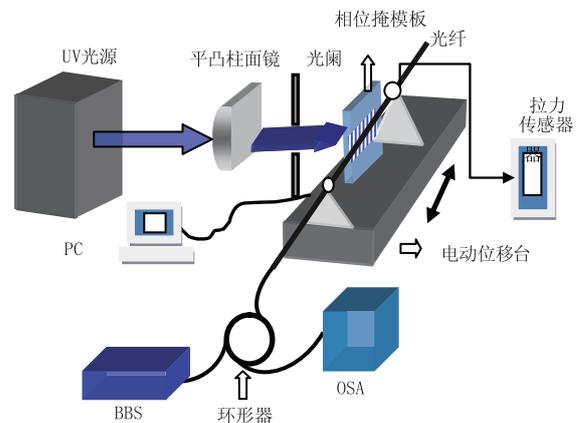


图2 实验制作方案

所用的均匀相位模板是固定不变的, 其对应的 Bragg 波长就是 $\lambda_D = \Lambda n_{\text{eff}}$ 。在制作光栅前, 给光栅轴向施加一定的拉力, 刻写上光栅后在释放拉力, 会向短波长漂移。在刻写光路不变以及相同的曝光量下, 精确控制拉力的大小就可以得到想要的中心波长。

3.2 实验结果

实验中通过拉力传感器调控在光纤上施加的轴向拉力, 刻写了中心波长分别为 1072.955 nm, 1071.516 nm, 1070.917 nm, 1069.863 nm, 1068.298 nm 的五支光纤光栅, 拉力传感器上显示的拉力值分别为 1.5 N, 2.15 N, 3.28 N, 5 N。图 3 为其中的 4 个反射谱, 从图中可以看出反射谱中心波长的漂移。

图 4 为施加在光纤上的轴向拉力与 Bragg 波长漂移量的关系图。其中实线为理论曲线, 星点为实验数据, 虚线为实验拟合曲线, 可以看出实验拟合曲线与理论曲线较为相近。实际制作的光纤光栅的 Bragg 波长漂移略大于理论值, 这主要是因为对光栅施加的拉力转化为拉力传感器所接收的拉力这一过程是有所损耗的, 另外就是拉力传感器的校准存在一定的误差。但这些因素可以归结为系统固有误差, 依靠实验数据可以得到该系统下的经验曲线, 以此方法进行实施能得到我们想要的实验结果。

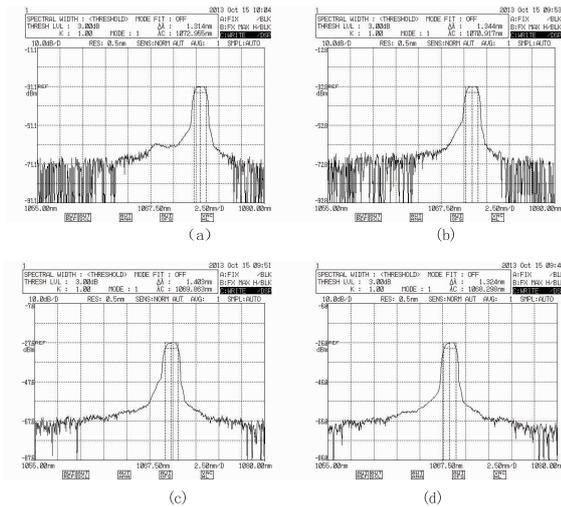


图3 实验制作的光纤光栅反射谱

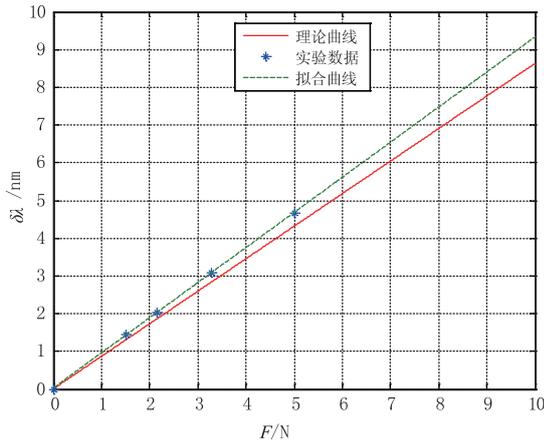


图4 轴向拉力与 Bragg 波长漂移的关系

4 结论

利用轴向应力对光纤光栅刻写的的影响特性,在同一块相位掩模板下刻写了反射谱中心波长分别为 1072.955 nm、1071.516 nm、1070.917 nm、1069.863 nm、1068.298 nm 的五支光纤光栅。拉力传感器的巧妙应用让实验进入到了精确控制状态,

另外,我们知道,即使我们设计的 Bragg 波长是能与相位掩模板板相对应的,根据模式耦合理论^[4],在不同的折射率调制深度下 Bragg 波长依然会有一定的长波漂移。因此本文所用的方法对与大多数均匀光纤光栅的刻写都是很有用,而且操作方便简单。

参考文献:

[1] Du Yong, Dong Xiaopeng. Tunable narrow linewidth fiber laser with two FBG-FPs [J]. Laser & Infrared, 2013, 43 (2) :159 – 162. (in Chinese)
杜勇,董小鹏. 双光纤光栅法 - 珀腔可调谐窄线宽激光器[J]. 激光与红外, 2013, 43(2) :159 – 162.

[2] C R Giles. Lightwave applications of fiber Bragg gratings [J]. Lightwave Technology, 1997, 18(8) :1391 – 1440.

[3] IvanP Kaminow, Li Tingye. Optical fiber telecommunications IV-A: components [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2006, 10: 387 – 458. (in Chinese)
甘民乐 (IvanP. Kaminow), 厉鼎毅. 光纤通信(卷 A): 器件篇[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2006, 10: 387 – 458.

[4] Liao Yanbiao. Fiber optics [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000, 3:38 – 43. (in Chinese)
廖延彪. 光纤光学[M]. 北京:清华大学出版社, 2000, 3:38 – 43.

[5] Du Wei Chong, Zheng Jiancheng. Simple method for determining Bragg wavelength shifts of fiber gratings [J]. SPIE. ,1996, 16(1) :1636 – 1639. (in Chinese)
杜卫冲,郑建成. 一种测定光纤光栅布拉格反射波长位移的简单方法 [J]. 光学学报, 1996, 16 (1) : 1636 – 1639.

[6] K O Hill, G Meltz. Fiber grating technology overview [J]. Light Tech. ,1997, 15: 1263.