

应力对长周期光纤光栅特性的影响

姜捷¹,李丽^{1*},孔瑜洁²,李国玉¹

(1.邯郸学院 信息工程学院,河北 邯郸 056005; 2.华中科技大学 武汉光电国家实验室,武汉 430074)

摘要:长周期光纤光栅的刻写、使用都需要在一定的应力下进行,通过实验详细分析了应力对长周期光纤光栅刻写时、刻写后 2 个阶段谐振波中心波长、衰减深度等特性的影响。实验结果表明:应力对谐振波中心波长无影响,对谐振波衰减深度影响较大,并且对长周期光纤光栅不同阶段性能的影响不同。刻写时,40 g 砝码提供的应力可以刻写出特性优良的长周期光纤光栅;刻写后,继续增加应力可以进一步提升长周期光纤光栅的性能。

关键词:长周期光纤光栅;逐点写入法;应力;高频二氧化碳激光器;谐振波

中图分类号:TN253 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-5561(2020)11-0011-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.11.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of stress on the properties of long period fiber grating

JIANG Jie¹, LI Li^{1*}, KONG Yujie², LI Guoyu¹

(1. Faculty of Information Engineering, Handan College, Handan Hebei 056005, China;

2. Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The long period fiber grating must be written and used under stress. In this paper, the effects of stress on the central wavelength and attenuation depth of resonance wave during and after writing of the long period fiber grating are analyzed in detail by experimental method. It is found in the experiment that the stress has no influence on the central wavelength of the resonant wave, but has a greater influence on the attenuation depth of the resonant wave, and the influence of the stress on the performance of the long period fiber grating at different stages is different. When writing, the stress provided by 40 g weights can be used to write long period fiber grating with good characteristics and the performance of the long period fiber grating can be further improved by increasing the stress after writing.

Key words: long period fiber grating; point-by-point write method; stress; high frequency carbon dioxide laser; resonant wave

0 引言

近年来,为提高长周期光纤光栅的传感灵敏度,并实现多参量同时传感,学者们围绕材料涂覆光栅^[1-5]、特殊结构长周期光纤光栅^[3-6]、长周期光纤光栅的色散拐点^[7-8]和模式转换^[9]等方面开展了大量研究。性能优良的长周期光纤光栅能更好地进行传感,对于逐点写入法刻写长周期光纤光栅,刻写时一定的预应力是必

须的,刻写后进行传感应用时也需要在一定的应力下进行封装使用。因此,研究应力大小对长周期光纤光栅谐振波特性的影响是十分必要的,不仅能够高效率地刻写出特性良好的长周期光纤光栅,而且在传感应用中能够获得更清晰的观察窗口和更精细的变化感知。本文采用实验分析的方法,通过改变应力的大小,从逐点写入法刻写长周期光纤光栅时和刻写后 2 个阶段对长周期光纤光栅谐振波衰减深度、中心波长等特性进行分析。

1 应力对刻写时的长周期光纤光栅特性的影响实验

本文通过实验首先研究应力对刻写时长周期光纤光栅特性的影响,实验装置如图 1 所示。宽带光源为光路提供光源,光路中一段单模光纤剥去涂覆层,

收稿日期:2020-07-16。

基金项目:河北省高等学校科学技术研究项目(QN2020533)资助;邯郸学院重点项目(2018105)资助。

作者简介:姜捷(1983—),男,硕士,讲师。现就职于河北省邯郸学院,主要从事光纤通信、光纤传感等方面的研究工作,在 OTN、光器件和光纤传感方面有扎实的基础。

*通信作者:李丽(E-mail: leely1213@126.com)。



两端添加一定的应力(实验中通过悬挂不同质量的砝码来提供应力)后固定在三维调节支架上,光谱分析仪位于光路末端用来观察透射谱的谐振波波形。实验装置的主要工作是通过电脑预设 40 列固定间隔周期结构并控制高频二氧化碳激光器在光纤上曝光出长周期光纤光栅。图 2 为光谱分析仪导出的长周期光纤光栅光谱演变图;光谱 A 是未刻写长周期光纤光栅时光源的光谱图;光谱 B 为高频二氧化碳激光器刻写长周期光纤光栅后,光源经过该光栅作用后的透射谱;光谱 C 为刻写长周期光纤光栅前后光源透射谱的功率衰减变化曲线。从图 2 可以看出,刻写光栅后的透射谱相较于光源产生了明显的谐振波凹陷。

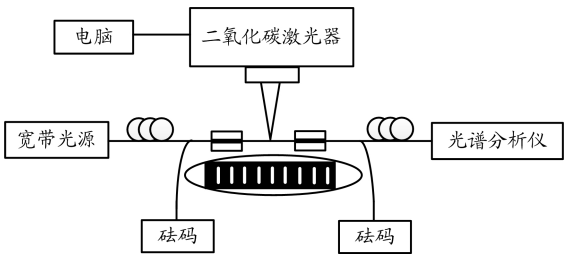


图 1 逐点写入法刻写长周期光纤光栅实验装置图

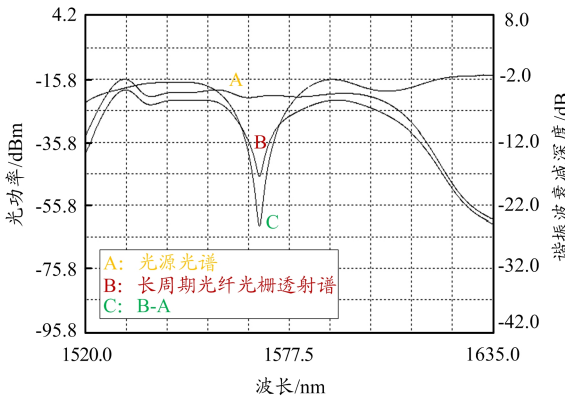


图 2 长周期光纤光栅光谱演变图

本文多次实验采用的光源、光栅周期、光栅间隔以及激光器的参数设置均相同^[9],只改变光纤两端应力的来刻写长周期光纤光栅,借助光谱分析仪观察透射谱中谐振波的衰减深度及中心波长等信息,实验结果如表 1 所示。

多次实验结果表明,刻写长周期光纤光栅时,不添加应力情况下刻写长周期光纤光栅,始终无任何谐振波特性出现。因此,本文采用二氧化碳激光器逐点写入长周期光纤光栅时添加了一定的应力。实验发现,砝码质量小于 30 g 时,刻写出的长周期光纤光栅谐振波凹陷不明显或者谐振波衰减深度不大;砝码质

表 1 不同应力下逐点写入长周期光纤光栅的谐振波特性

砝码质量/g	重复刻写/次	中心波长/nm	衰减深度/dB	带宽(3 dB)/nm	带宽(10 dB)/nm
30	3	1563.18	23.5	2.5	8.9
40	1	1543.10	26.5	1.3	2.5
50	2	1559.93	22.5	2.5	4.5
60	2	1557.51	25	4.5	4.5

量增加到 70 g 以上时,应力比较大,加上刻写过程中因局部温度过高导致光栅处开始出现断裂;添加的砝码质量在 30~60 g 区间范围内提供的应力可以成功地刻写出长周期光纤光栅。表 1 中重复刻写次数表示为获得最优性能的长周期光纤光栅,激光器在同一根光栅上重复刻写的次数;砝码质量为 30 g 时,激光器一次刻写后得到的长周期光纤光栅性能一般,重复 3 次刻写可以最大地提升光栅性能,继续增加刻写次数光栅性能开始下降,并且反复刻写也增加了光栅断裂的几率;砝码质量为 40 g 时一次刻写就可以获得最优的性能;砝码质量为 50 g 和 60 g 时,均需重复刻写 2 次。因此,当砝码质量为 40 g 时,长周期光纤光栅的谐振波凹陷最窄、衰减深度最大,并且只需要一次刻写即可成栅。

此外,长周期光纤光栅中心波长与刻写长周期光纤光栅时设置的光栅间隔有关,本节刻写长周期光纤光栅实验将中心波长设置在 1550 nm 波长处,经过计算后采用固定的光栅间隔进行重复刻写实验。由表 1 可知,长周期光纤光栅的中心波长约有 13 nm 漂移,并且与刻写长周期光纤光栅时添加的应力大小无必然联系。经分析,长周期光纤光栅的中心波长之所以会有较大程度的偏移,与材料本身、人为影响等因素有关;每次刻写光栅时需要重新熔接光纤,即使使用的是同一种光纤,光纤的每一段在生产时也不可能做到完全一致;刻写时激光器聚焦位置和能量的稳定性、调整应力大小时固定的位置和人为的抖动等都可能

2 应力对刻写后的长周期光纤光栅特性的影响实验

上节得出了刻写长周期光纤光栅时所需应力的最优解,此刻刻写后的光栅经过固定封装后即可用于传感、通信等领域。本文通过实验进一步地研究刻写后的长周期光纤光栅是否能够加强纤芯模和包层模

的相互作用,使谐振波的衰减深度更大,并且在用于传感领域时能提供更清晰的观察窗口和更精细的变化感知。

刻写后的长周期光纤光栅暂时不进行封装,实验过程如下:将图 1 实验装置中固定光栅的三维调节支架向两端拉伸以增大光栅两端应力,通过光谱分析仪观察到谐振波的衰减深度会继续增大。该现象表明:对于刻写好的长周期光纤光栅,继续增大应力会对长周期光纤光栅的特性产生影响,即增加额外的应力能进一步改善长周期光纤光栅的特性。

为研究应力对刻写后的长周期光纤光栅的谐振波衰减深度、中心波长等特性的影响,本文设计并采用了新的实验方法,实验装置如图 3 所示。宽带光源为光路提供光源,将刻写后的长周期光纤光栅调整为竖直状态,上端固定,下端悬挂不同质量的砝码提供应力,光路末端连接光谱分析仪观察谐振波衰减深度、中心波长等特性的变化。实验从应力增加和应力减小 2 个方向(即每次增大或者减小 5 g 砝码的质量)来分析应力对刻写好的长周期光纤光栅特性的影响。

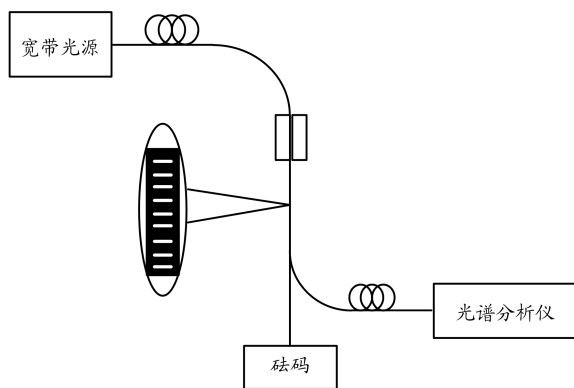
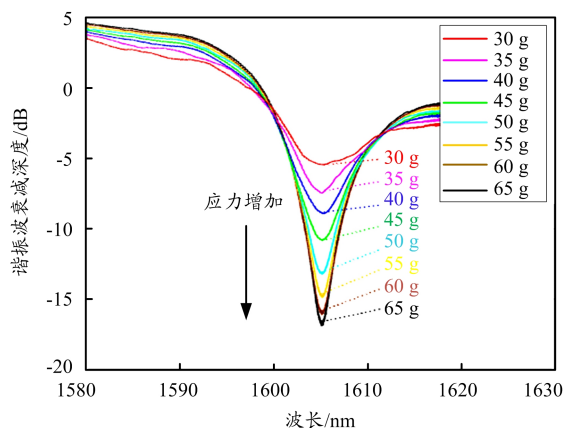
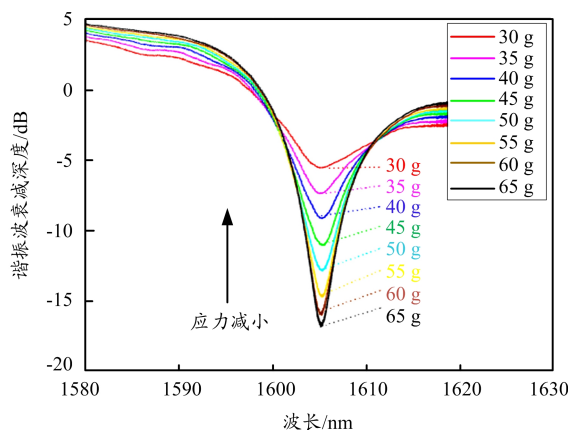


图 3 应力影响长周期光纤光栅特性实验装置图

图 4 为添加不同应力(砝码质量)时长周期光纤光栅的光谱处理叠加之后得到的谐振波衰减深度随应力变化光谱图。悬挂质量在 30~65 g 的变化区间内。从图 4(a)可以看出,悬挂质量增加(去程)时,光栅两端应力线性增大,谐振波衰减深度增大;从图 4(b)可以看出,悬挂质量减小(回程)时,光栅两端应力线性减小,谐振波衰减深度减小。因此,谐振波的衰减深度随着应力的变化而变化,并且在 65 g 时达到最大值,且图 4(a)与图 4(b)非常接近,说明谐振波衰减深度随应力变化的重复性非常好。经过多次实验,在刻写后的长周期光纤光栅两端继续增加应力,相比刻写时的谐振波衰减深度至少能增加 10 dB 左右,可以进一步



(a) 应力增加时谐振波衰减深度变化图



(b) 应力减小时谐振波衰减深度变化图

图 4 谐振波衰减深度随应力(砝码质量)变化光谱图

提升长周期光纤光栅的性能,使得长周期光纤光栅应用于传感等领域时具有更清晰的观察窗口和更精细的变化感知。此外,不同应力下长周期光纤光栅的中心波长较为稳定(本节实验刻写光栅时光栅周期与上节不同,中心波长设置在 1600 nm 左右):悬挂质量在 30~65 g 的变化区间内,悬挂质量减小时中心波长漂移为 0.17 nm,悬挂质量增大时中心波长漂移为 0.03 nm,谐振波中心波长对应应力变化几乎不敏感。由此可见,应力大小对谐振波中心波长影响较小,但是对谐振波衰减深度影响较大。

从图 4 还可以看出,应力与谐振波衰减深度的变化较规律。本文对去程和回程的数据进行谷值拟合,在 30~60 g 区间内长周期光纤光栅的谐振波衰减深度近似为线性,得到拟合直线如图 5 所示。根据文献[10]可知, $\varepsilon = mg/sE$,其中 m 是砝码质量, g 是重力加速度, E 为弹性模量(约 72 GPa), s 为所用光纤横截面积,进一步计算得到 333 $\mu\varepsilon$ (30 g)~666 $\mu\varepsilon$ (60 g) 区间内谐振波衰减深度随应力变化的灵敏度为 0.03 dB/ $\mu\varepsilon$ 。

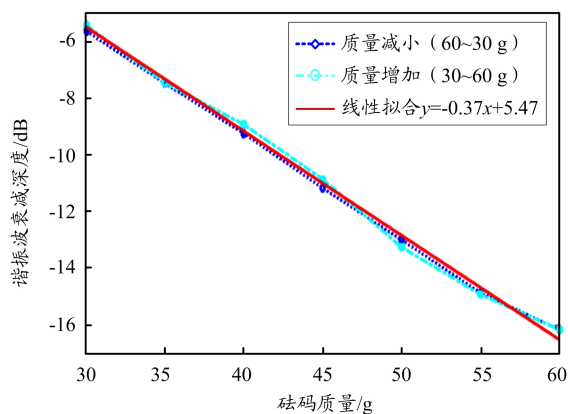


图5 谷值拟合图

本节实验验证了适当增加应力可以进一步提升长周期光纤光栅的特性,并且不会改变长周期光纤光栅的中心波长。此外,通过实验也发现谐振波衰减深度对应力敏感且呈线性变化,可以利用该特性实现对应力或者应变的传感。利用应力的改变对长周期光纤光栅谐振波中心波长几乎无影响的特性,课题后续的研究将围绕应力(谐振波强度敏感)与其它物理量(谐振波中心波长敏感)的双参量甚至多参量交叉传感开展。

3 结束语

本文围绕应力对长周期光纤光栅特性的影响,通过实验分析了应力对刻写长周期光纤光栅时、刻写长周期光纤光栅后2个阶段谐振波中心波长和衰减深度的影响。应力对长周期光纤光栅谐振波衰减深度的影响如下:刻写时,对应力要求严格,添加40 g质量(约0.4 N)时长周期光纤光栅一次写入效果好,且谐振波衰减深度最大;刻写后的长周期光纤光栅继续增加应力,可以改善衰减深度10 dB以上。另外,应力对刻写时、刻写后的长周期光纤光栅谐振波中心波长均无影

响,利用不同应力下谐振波衰减深度可调的特性和中心波长对应力不敏感的特性,对后续开展双参量传感、增益平坦等光纤传感和通信领域的应用研究具有重要意义。

参考文献:

- [1] 王金豆,葛海波,李彩虹,等. 倾斜长周期光纤光栅的折射率传感特性[J]. 光通信技术, 2020, 44(4): 23–25.
- [2] DONG X, XIE Z, ZHOU C. Temperature sensitivity enhancement of platinum nanoparticle-coated long period fiber gratings fabricated by femtosecond laser[J]. Applied Optics, 2017, 56(23): 6549–6553.
- [3] ZHANG Y, ZHANG W, CHEN L. Concave-lens-like long-period fiber grating bidirectional high-sensitivity bending sensor [J]. Optics Letters, 2017, 42(19): 3892–3895.
- [4] ZHENG S. Long-period fiber grating moisture sensor with nano-structured coatings for structural health monitoring [J]. Structural Health Monitoring, 2015, 14(2): 148–157.
- [5] BANDYOPADHYAY, SANKHYABRATA, BASUMALLICK, et al. Design of turn around point long period fiber grating sensor with Au-nanoparticle self-monolayer [J]. Optics and Laser Technology, 2018, 102: 254–261.
- [6] WANG R, TANG M, FU S. Spatially arrayed long period gratings in multicore fiber by programmable electrical arc discharge[J]. IEEE Photonics Journal, 2016. DOI: 10.1109/JPHOT.2016.2639499.
- [7] SHU X, ZHANG L, IAN B. Sensitivity characteristics of long-period fiber gratings[J]. Journal of Lightwave Technology, 2002, 20(2): 255–266.
- [8] CELSO C, PAULO C, IGNACIO D V. Arc-Induced Long-Period Fiber Gratings in the Dispersion Turning Points [J]. Journal of Lightwave Technology, 2016, 34(19): 4584–4590.
- [9] JIANG J, LI L, LI G. Research on fabrication method of high stability long period fiber grating [C]//18th International Conference on Optical Communications and Networks, Aug. 5–8, 2019, Huangshan, China. Huangshan: IEEE, 2019. DOI:10.1109/ICOCN.2019.8934700.
- [10] GAO R, LU D, CHENG J. Self-referenced antiresonant reflecting guidance mechanism for directional bending sensing with low temperature and strain crosstalk[J]. Optics Express, 2017, 25(15): 18081–18091.