

使用高频 CO₂ 激光器一次写入长周期 光纤光栅的方法

梁丽丽¹ 刘明生¹ 李燕² 李国玉² 杨康²

(¹ 河北工业大学信息工程学院, 天津 300401; ² 邯郸学院信息技术研究所, 河北 邯郸 056005)

摘要 一次写入长周期光纤光栅提高了写制的效率,解决了多次写入不重合的问题,具有重要的研究价值。经大量的实验研究发现,在适当的应力和能量辐射情况下,纤芯和包层发生有效折射率周期性调制和适当的物理形变,利用高频 CO₂ 激光器可以在普通单模光纤上一次成功写入长周期光纤光栅。实验结果表明,一次写入的长周期光纤光栅比多次写入的光栅透射谱特性好。

关键词 激光器;高频 CO₂ 激光器;长周期光纤光栅;一次写入;轴向应力;能量辐射

中图分类号 TN249 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP50.090503

Method of One-Time Writing LPFG Using High-Frequency CO₂ Laser

Liang Lili¹ Liu Mingsheng¹ Li Yan² Li Guoyu² Yang Kang²

(¹ School of Information Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)
² Institute of Information Technology, Handan College, Handan, Hebei 056005, China)

Abstract The experiment of one-time writing long period fiber grating is performed. It not only improves the efficiency of fiber writing process, but also solves the problem of multisession mismatching. So it has important research value. From the experiment, we find that effective refractive index periodical modulation and appropriate physical deformation occur in the fiber core and cladding under appropriate pressure and radiation, and the LPFG is one-time written successfully using high-frequency CO₂ laser in single-mode fiber. Experimental results show that the grating transmission spectrum features in one-time writing process are better than that in multiple writing process.

Key words lasers; high frequency CO₂ laser; long period fiber grating; one-time writing; axial stress; energy radiation

OCIS codes 050.2770;140.3510;350.2770;060.4005

1 引言

长周期光纤光栅(LPFG)具有插入损耗小、无后向反射、透射光谱带宽宽等优点,抗电磁干扰,能在高腐蚀性危险环境中工作,对外界参量例如浓度^[1]、温度^[2]、折射率^[3]、横向负载^[4]、扭曲^[5]等变化敏感,在传感和通信领域具有广泛的应用前景,因此 LPFG 越来越受到人们的重视。LPFG 与布拉格光纤光栅相比,属于透射谱光栅,纤芯基模与包层各阶模发生耦合,所以 LPFG 透射谱图在谐振波长处形成损耗峰。饶云江等^[6]提出了一种用计算机控制的高频 CO₂ 激光脉冲在普通单模光纤中写入 LPFG 的方法,该方法具有很多的优点,例如写制效率高,成本低,重复曝光容易,激光加热区域的周期性变化通过扫描振镜的偏振来实现而光纤固定不动。一次扫描引起的折射率调制较低,因此一般要经过几次重复扫描才能写入合适的 LPFG。重复扫描写入的次数越多,不重合的几率越大。所以本文提出了利用高频 CO₂ 激光器一次写入 LPFG 的方法。

收稿日期: 2013-04-14; **收到修改稿日期**: 2013-06-12; **网络出版日期**: 2013-08-20

基金项目: 河北省应用基础研究计划重点基础研究项目(13960306D)、邯郸市科学技术研究与发展计划项目(1220103080)

作者简介: 梁丽丽(1986—),女,硕士研究生,主要从事光纤光栅传感方面的研究。E-mail: liangli070118@163.com

导师简介: 刘明生(1960—),男,博士,教授,主要从事光纤光栅方面的研究。E-mail: liums601001@sina.com

2 实验装置

利用高频 CO₂ 激光脉冲写入 LPFG 的实验装置如图 1 所示。普通单模光纤一端连接宽带光源作为输入信号,一端连接光谱分析仪实时记录透射谱的变化。由计算机控制的高频 CO₂ 激光器沿横向(X)扫描光纤,然后使激光光束沿光纤轴向(Y)偏移一个光栅周期,再次扫描光纤,使得激光光束沿轴向(Y)每偏移一次就横向(X)扫描光纤一次。

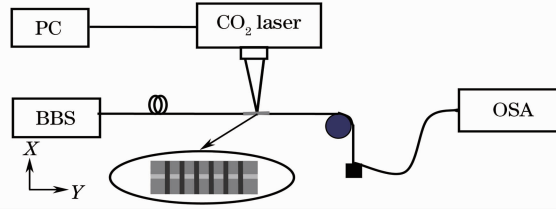


图 1 高频 CO₂ 激光脉冲写入 LPFG 的实验装置图

Fig. 1 experimental set-up for LPFG fabrication with high-frequency CO₂ laser pulse

写制光栅时为了使光纤保持轴向应力并始终处于水平直线应力状态,光纤一端固定,另一端悬挂重物,用重物的质量大小可以表征光纤所受应力的大小。通过计算机调节输出高频 CO₂ 激光脉冲的参数主要包括:频率,有效矢量步长、有效矢量步间延时和 Q 释放时间。高频 CO₂ 激光器进行写制时,将单位长度划分为许多的笔画,每个笔画弄分成许多等份。有效矢量步长代表每个笔画划分成许多等份后每份的长度,有效矢量步长太大时笔画稀疏,无深度,写制速度快;有效矢量步长太小时笔画致密,有深度,写制速度慢。有效矢量步间延时代表走每份笔画步长所需的时间,有效矢量步间延时太大时笔画致密,有深度,写制速度慢;有效矢量步间延时太小时笔画稀疏,无深度,写制速度快。Q 释放时间用于调整激光的发射能量,控制 CO₂ 激光的功率。设置激光脉冲频率为 5 kHz,有效矢量步长为 0.0015 mm,有效矢量步间延时 65 μs,用 Q 释放时间来调节辐射到光纤上的能量,Q 释放时间越大则辐射到光纤上的能量越大,反之越小。

3 实验结果与分析

设定 Q 释放时间为 40 μs,保持不变,将光纤一端悬挂的重物质量依次增大,进行 LPFG 的写制实验。其结果如表 1 所示。

表 1 悬挂重物的质量对 LPFG 写制及特性的影响

Table 1 Influence of different mass of the pensile clog on writing and characteristic of LPFG

Weight /g	Writing times	Resonant wavelength /nm	Loss peak /dB	Modulated depth /dB	3 dB bandwidth /nm
10	14	1530.3	-4.88	2.88	20
20	12	1539.1	-11.98	8.98	20
30	7	1536.1	-23.23	20	12
40	4	1529.7	-23.68	20	12
50	1	1521.9	-22.06	18	11
60	1	1526.8	-26.45	20	11
70	8	1525.7	-27.51	18	12

由表 1 可得,对于高频 CO₂ 激光器在普通单模光纤上写制 LPFG,在一定的能量辐射下,存在一个特定的光纤轴向应力范围,可以一次成功写制 LPFG。通过大量的实验研究表明,当轴向应力小于该应力时,随着应力的减少写制次数增多,当轴向应力大于该应力时,写制次数存在不确定性。轴向应力过大或者过小都影响透射谱的特性,轴向应力过小形成的损耗峰幅值小,3 dB 带宽大,轴向应力过大形成的损耗峰的衰减大。结合实验数据还可得知,一次写入的 LPFG 的透射谱特性比多次写入的光栅的透射谱性能好。

设定光纤一端悬挂的重物质量为 50 g,有效矢量步间延时为 65 μs,保持不变,改变 Q 释放时间,进行 LPFG 的写制实验,其结果如表 2 所示。

由表 2 可得,对于高频 CO₂ 激光器在普通单模光纤上写制 LPFG,当光纤的轴向应力一定时,存在一个特定的辐射能量范围,可以一次成功写制 LPFG。通过大量的实验研究表明,在光纤轴向应力一定的情况

下,当辐射能量过小时,光纤不能发生折射率调制,不能形成损耗峰;当辐射能量过大时,会增大光传输的损耗,可能出现过耦合现象,甚至使得光纤断裂。因为高频 CO_2 激光脉冲单侧写入时,激光照射部位产生大量的热量,形成局部高温区,正对激光一侧的光纤包层由于能量过高而部分发生了气化,在正对包层侧引入物理形变,由于温度过高在写制光栅时,光纤处于应力状态,所以引入物理形变的地方同时也存在熔融变形,用显微镜观察写制好的 LPFG,其结果如图 2 所示。

表 2 Q 释放时间对 LPFG 写制及特性的影响

Table 2 Influence of different Q release times on writing and characteristics of LPFG

Q release time / μs	Writing times	Resonant wavelength /nm	Loss peak /dB	Modulated depth /dB	3 dB bandwidth /nm
30	30	none	none	none	none
35	18	1524.3	-26.71	23	11
40	1	1522.7	-27.48	27	9
45	1	1534.2	-25.48	22	11
50	2	1532.9	-9.68	7	15
55	5	none (transmission spectrum lower significantly)	None	none	none
60	1	none (transmission spectrum lower significantly)	none	none	none
65	1	none(optical fiber broken)	none	none	none

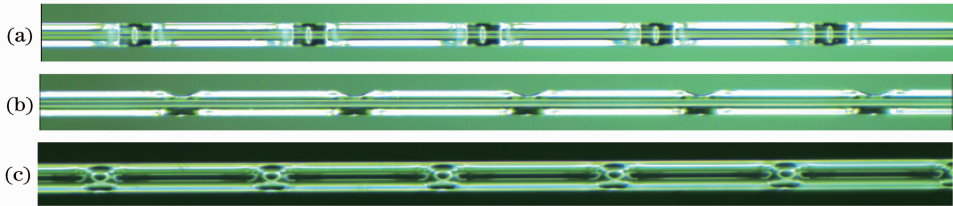


图 2 LPFG 的显微图片。(a) 正面;(b) 侧面;(c) 反面

Fig. 2 Micrograph of LPFG. (a) front; (b) flank; (c) back

4 结 论

由实验结果可知,在适当的应力和适当的能量辐射情况下可以一次成功写入 LPFG。纤芯和包层有效折射率的周期调制和适当的物理形变使得一次写制的 LPFG 比多次写制的 LPFG 透射谱性能好。一次写入 LPFG 不存在多次扫面是否重合的问题,且效率高,具有较高的实用价值。写制参数的设置应根据高频 CO_2 激光器性能参数而定,具体写制设备的参数设置标准有待进一步的研究。

参 考 文 献

- Gu Zheng, Zhang Jiangtao. Metal-coated long-period fiber grating liquid sensor based on dual-peak resonance[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(3): 0305003.
顾 铮, 张江涛. 基于双峰谐振效应的镀金属长周期光纤光栅液体浓度传感器[J]. 光学学报, 2011, 31(3): 0305003.
- Guan Shouhua, Zheng Jianzhou, Yu Qingxu. High temperature sensing characteristics of long-period fiber gratings[J]. J Shenyang University of Technology, 2008, 30(5): 559-563.
关寿华, 郑建洲, 于清旭. 长周期光纤光栅温度传感特性[J]. 沈阳工业大学学报, 2008, 30(5): 559-563.
- Liu Hongyue, Liang Dakai, Zengjie, et al.. Long period fiber grating refractive index sensitivity-based reinforcing rebar corrosion sensor in concrete[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(8): 0806009.
刘宏月, 梁大开, 曾 捷, 等. 基于长周期光纤光栅折射率敏感特性的混凝土结构钢筋锈蚀监测[J]. 光学学报, 2011, 31(8): 0806009.
- Zeng Xiangkai, Rao Yunjiang, Liang Kuai. Characteristic analysis of LPFG resonance wavelength shift owing to transverse load[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(1): 0106002.
曾祥楷, 饶云江, 梁 快. 长周期光纤光栅谐振波长的横向负载特性分析[J]. 光学学报, 2011, 31(1): 0106002.
- Guan Shouhua, Yu Qingxu, Zheng Jianzhou. Study on torsion characteristics of a new-type long-period fiber grating[J]. Chinese J Lasers, 2010, 37(8): 1996-2000.
关寿华, 于清旭, 郑建洲. 一种新型长周期光纤光栅扭曲特性的研究[J]. 中国激光, 2010, 37(8): 1996-2000.
- Yun-Jiang Rao, Yi Ping Wang, Zeng Ling Ran, et al.. Novel fiberoptic sensors based on long period fiber gratings written by high frequency CO_2 laser pulses[J]. Lightwave Technology, 2003, 21(5): 1320-1327.