

# 腐蚀后的新型长周期光纤光栅特性研究\*

胡爱姿 饶云江 聂知理 牛永昌

(重庆大学光电工程学院, 重庆 400044)

**摘要** 报道了高频 CO<sub>2</sub> 激光脉冲写入的长周期光纤光栅的腐蚀特性, 即 LPFG 的谐振波长随腐蚀时间的变化线性地向长波方向漂移, 而其谐振峰幅值变化却很小. 首次对腐蚀后的长周期光纤光栅的基础特性进行了研究, 发现其温度、应变、扭曲特性都未发生改变, 而弯曲灵敏度比未腐蚀时的要小. 从而得出了可用腐蚀来调整长周期光纤光栅谐振波长而不改变其特性的结论.

**关键词** 光纤无源器件; 光纤传感器; 高频 CO<sub>2</sub> 激光器; 长周期光纤光栅

**中图分类号** TN253 **文献标识码** A

## 0 引言

光纤光栅是近些年飞速发展起来的一种新型光纤无源器件. 近年来, 随着光栅理论研究和写入的完善和成熟, 周期为几十到几百微米的长周期光纤光栅(Long Period Fiber Grating—LPFG)得到了人们越来越广泛的重视<sup>[1]</sup>. 由于 LPFG 具有附加损耗小、无后向反射、不受电磁干扰、全兼容于光纤等优点, 已在光纤通信及传感领域中得到了广泛的应用, 如带阻滤波, 增益平坦, 温度、应力和折射率传感以及传感解调等<sup>[2,3]</sup>, 因此, 对 LPFG 的特性进行研究具有重要意义. 在长周期光纤光栅(LPFG)制作过程中, 由于制作工艺的局限, 一般不能完全精确的做出所需谐振波长处的长周期光纤光栅, 所以寻找一种可以精确控制谐振波长的方法具有重要的实用意义. 关于紫外光写入的长周期光纤光栅的腐蚀特性已经有相关报道<sup>[4]</sup>, 但目前还没有人对新型高频 CO<sub>2</sub> 激光脉冲写入的长周期光纤光栅<sup>[5]</sup>的腐蚀特性进行研究. 本文对这种新型的 LPFG 进行了 HF 酸腐蚀特性研究, 并应用于 LPFG 的波长微调, 该方法具有操作简单、可调范围大等特点, 使得所需特定波长长周期光纤光栅的制作效率大大提高, 例如这种方法可应用于长周期光纤光栅平坦器的制作, 从而大大降低其制作成本.

被腐蚀后的长周期光纤光栅直径会变小, 这种改变了 LPFG 物理结构的方法, 究竟对 LPFG 的特性有什么影响, 目前还没有相关工作报道. 在新型高频 CO<sub>2</sub> 激光脉冲写入的长周期光纤光栅的腐蚀特性基础上, 作者对 LPFG 经 HF 酸腐蚀后的特性(温度、应变、扭曲、弯曲)进行了研究, 并将其实验结果与腐蚀前的相应特性结果做了比较, 发现 LPFG 经

HF 酸腐蚀后除了对弯曲更不敏感外, 其它特性规律不变. 这对于运用腐蚀的方法来调谐 LPFG 的谐振波长以及其它改变 LPFG 包层直径的方法的研究和应用具有重要的实际指导意义.

## 1 新型 LPFG 的腐蚀特性实验

图 1 为本文实验所用长周期光纤光栅的透射谱图. 图 2 为 HF 酸腐蚀实验装置. 实验对象是高频 CO<sub>2</sub> 激光脉冲在单模光纤中写入的 LPFG(周期  $\Lambda = 500 \mu\text{m}$ , 周期数  $N = 60$ , 自由状态下谐振波长  $1566.9 \text{ nm}$ , 谐振峰幅值  $-15.575 \text{ dB}$ ,  $3 \text{ dB}$  带宽为  $16.8 \text{ nm}$ ). 宽带光源作为输入, 用光谱分析仪(HP86140)观察光栅透射谱. 将长周期光纤光栅放入装有 HF 酸溶液的容器内(HF 溶液的浓度为  $15\%$ ), 并在容器壁内用胶布将光纤粘牢(不宜用较大的力拉扯, 否则实验误差就大.), 以保证长周期光纤光栅在实验过程中处于绷直状态, 避免了 LPFG 弯曲带来的实验误差. 实验结果如图 3 和 4, 可以看出, 当包层半径变小时, 其中心波长将向长波方向呈线性漂移, 这样通过

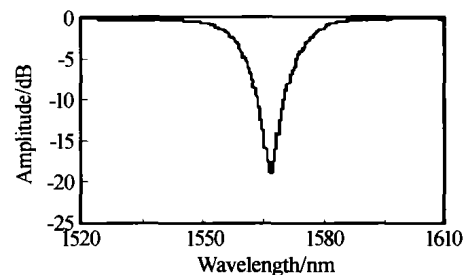


图 1 长周期光纤光栅透射谱图  
Fig. 1 The spectrum of the LPFG

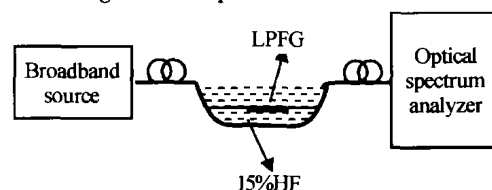


图 2 长周期光纤光栅 HF 酸腐蚀实验装置图  
Fig. 2 Experimental set-up for etching test of the LPFG

\*国家杰出青年科学基金资助(60025515)

Tel: 023-65105543 Email: aizi\_hu@163.com

收稿日期: 2003-07-11

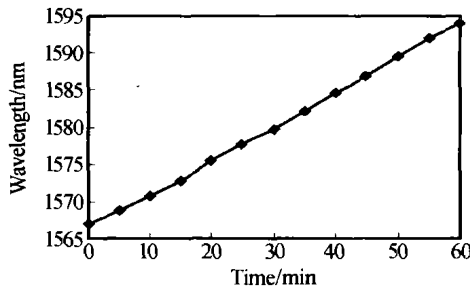


图3 LPFG 的谐振波长随腐蚀时间的变化曲线  
Fig. 3 Relationship between resonant wavelength of the LPFG and etching time

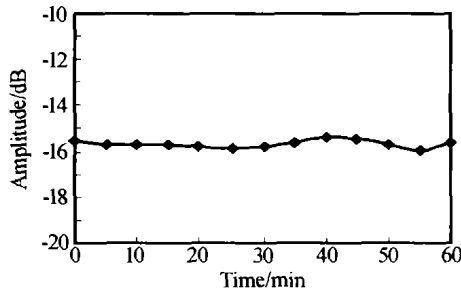


图4 LPFG 的谐振峰幅值随腐蚀时间的变化曲线  
Fig. 4 Relationship between resonant peak amplitude of the LPFG and etching time

精确控制腐蚀时间就能精确确定 LPFG 的谐振中心波长。

## 2 腐蚀后的 LPFG 温度特性实验

实验装置如图 5, 将腐蚀后的 LPFG (谐振波长为 1568.8 nm, 谐振峰幅值为 -7.28 dB) 放入恒温箱中, 用一小重物使 LPFG 从恒温箱的载物台上垂直悬挂下来 (避免在实验过程中弯曲带来误差)。以宽带光源作为输入, 用光谱分析仪 (HP86140) 观察光栅透射谱。将实验结果与腐蚀前的温度实验结果进行比较, 得到如图 6 和 7 的比较结果。从图中可

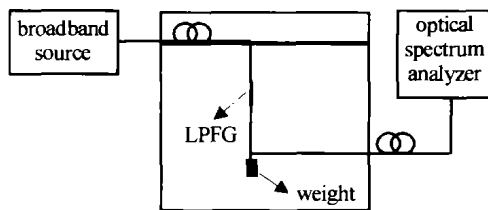


图5 温度实验装置  
Fig. 5 Experimental set-up for temperature test

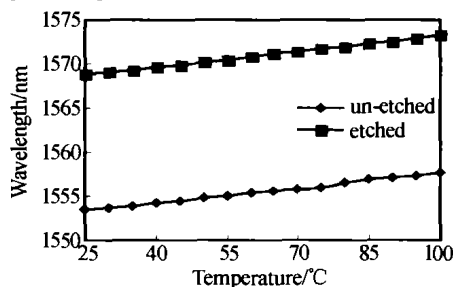


图6 腐蚀前后 LPFG 谐振波长随温度变化对比图  
Fig. 6 Comparison of temperature characteristics of resonant wavelength between un-etched and etched cases

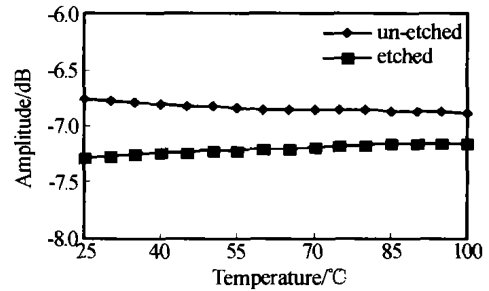


图7 腐蚀前后 LPFG 谐振峰幅值随温度变化对比图  
Fig. 7 Comparison of temperature characteristics of resonant peak amplitude between un-etched and etched cases  
可以看出, 长周期光纤光栅经 HF 酸腐蚀后, 其温度特性并未发生改变。

## 3 腐蚀后的 LPFG 应变特性实验

实验装置如图 8, 将长周期光纤光栅固定在两微动台上, 其中一微动台固定不动, 另一微动台可以微调, 用于轴向拉伸光纤光栅。将实验结果与未腐蚀情况下的应力实验结果进行比较, 得到如图 9 和 10 的比较结果。从图中可以看出, 长周期光纤光栅经 HF 酸腐蚀后, 其应力特性并未发生改变。

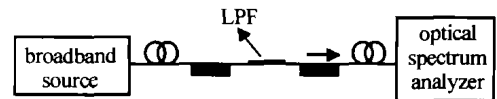


图8 应力实验装置  
Fig. 8 Experimental set-up for strain test

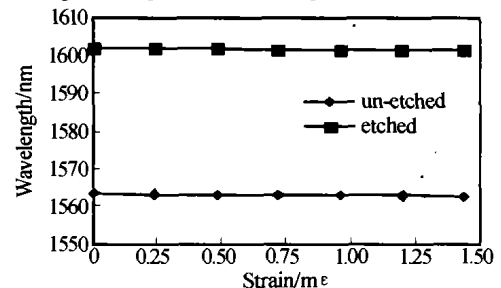


图9 腐蚀前后谐振波长随轴向应变变化对比图  
Fig. 9 Comparison of strain characteristics of resonant wavelength between un-etched and etched cases

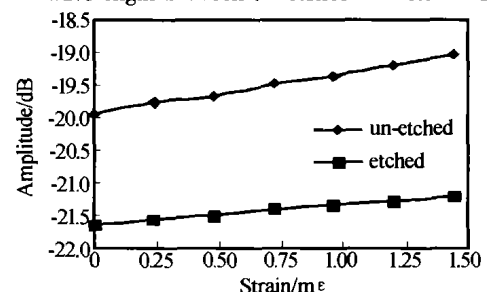


图10 腐蚀前后谐振峰幅值随轴向应变变化对比图  
Fig. 10 Comparison of strain characteristics of resonant peak amplitude between un-etched and etched cases

## 4 腐蚀后的 LPFG 扭曲特性实验

实验装置如图 11, 将腐蚀后的光栅一端固定, 另一端通过转盘旋转来扭曲。将实验结果与未腐蚀

情况下的扭曲实验结果进行比较,得到如图 12 和 13 的比较结果. 从图中可以看出,长周期光纤光栅经 HF 酸腐蚀后,其扭曲特性也未发生改变.

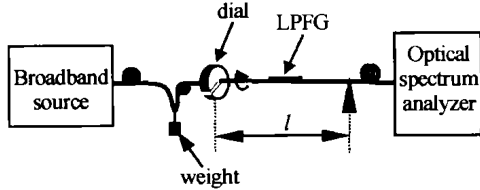


图 11 LPFG 扭曲实验装置  
Fig. 11 Experimental set-up for distortion test of the LPFG

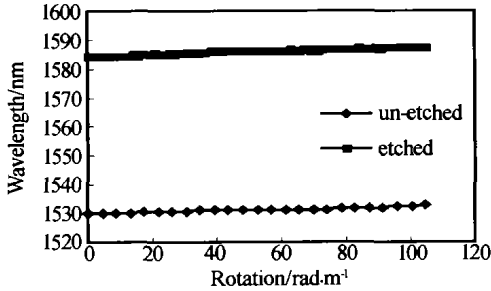


图 12 腐蚀前后谐振波长的扭曲特性对比图  
Fig. 12 Comparison of distortion characteristics of resonant wavelength between un-etched and etched cases

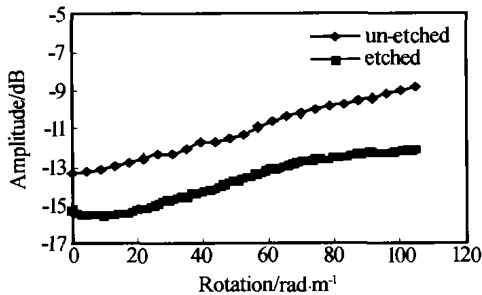


图 13 腐蚀前后损耗峰幅值的扭曲特性对比图  
Fig. 13 Comparison of distortion characteristics of resonant peak amplitude between un-etched and etched cases

### 5 腐蚀后的 LPFG 弯曲特性实验

如图 14,该装置为弯曲实验装置. 我们分别对未腐蚀的 LPFG、腐蚀了 1 小时后的 LPFG 以及腐蚀了 2 h 候后的 LPFG 进行了弯曲特性实验研究. 因为新型高频 CO<sub>2</sub> 激光脉冲写入的长周期光纤光栅对弯曲在圆周上表现出不同的灵敏度<sup>[6]</sup>,所以在实验过程中,我们对同一根 LPFG 在圆周的各个方向以相同的弯曲量进行实验研究,从而保证实验结果的准确性. 实验结果如图 15 和 16. 从图中可以看出,腐蚀前后,长周期光纤光栅在圆周方向上的弯曲特性没有发生变化,但随着腐蚀时间的加长,LPFG

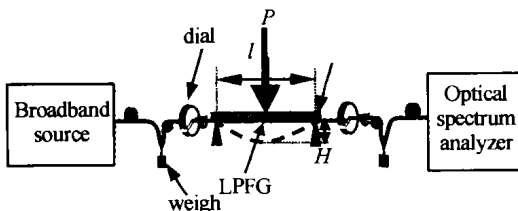


图 14 LPFG 弯曲实验装置  
Fig. 14 Experimental set-up for bend test of the LPFG

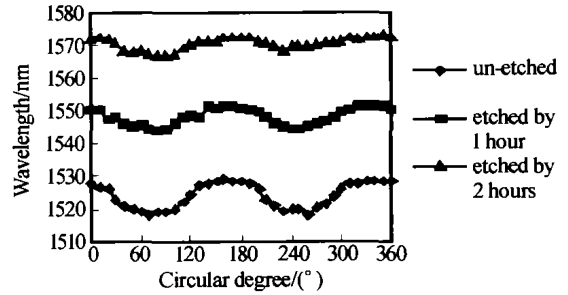


图 15 腐蚀前后 LPFG 谐振波长的弯曲特性对比图  
Fig. 15 Comparison of bending characteristics of resonant wavelength between un-etched and etched cases

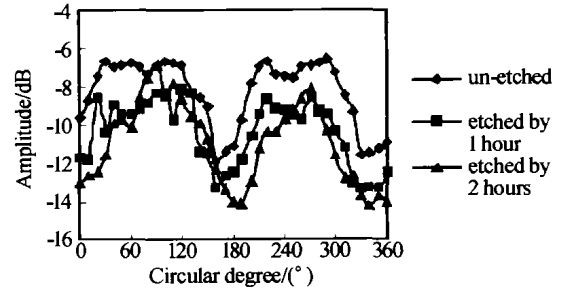


图 16 腐蚀前后 LPFG 损耗峰幅值的弯曲特性对比图  
Fig. 16 Comparison of bending characteristics of resonant peak amplitude between un-etched and etched cases  
对弯曲越来越不敏感.

### 6 结论

本文对新型高频 CO<sub>2</sub> 激光脉冲写入的长周期光纤光栅的腐蚀特性进行了实验研究,实验结果表明 LPFG 的谐振波长随着时间的推移向长波方向线性漂移,而其谐振峰幅值的变化很小. 另外,还对该新型 LPFG 腐蚀后的温度、应变、扭曲、弯曲特性进行了实验研究,发现其温度、应变、扭曲、弯曲特性和未腐蚀情况下的相应特性规律一致<sup>[7]</sup>,但腐蚀后的 LPFG 的谐振波长对弯曲的灵敏度随着腐蚀时间的加长而减小. 根据实验结果,可以看出通过腐蚀的方法来调谐(向长波方向调谐) LPFG 的谐振波长基本不影响它的基础特性,甚至在实际应用中,具有更好的特性——弯曲更不敏感. 所以用腐蚀的方法来调谐 LPFG 的谐振波长是实用可行的,可用于制作长周期光纤光栅增益均衡器<sup>[8,9]</sup>等.

#### 参考文献

- 1 Vengsarkar A M, Lemaire P J, Judkins J B, et al. Long-Period fiber gratings as band-rejection filters. *J Lightwave Technol*, 1996, 14(1): 58 ~ 65
- 2 Liu Y, Zhang L, Bennion I. Fibre optic load sensors with high transverse strain sensitivity based on long-period gratings in B/Ge co-doped fibre. *Electron Lett*, 1999, 35(8): 661 ~ 662
- 3 江建, 饶云江, 牛永昌, 等. 应用 LPFG/EFPI 集成式光纤传感器实现温度及应变的同时测量. *光子学报*, 2003, 32(9): 1063 ~ 1066
- Jiang J, Rao Y J, Niu Y C, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(9): 1063 ~ 1066

- 4 Vasiliev S A, Dianov E M, Varelas D, *et al.* Postfabrication resonance peak positioning of long-period cladding-mode-coupled gratings. *Optics Letters*, 1996, **21**(22):1830 ~ 1831
- 5 Rao Y J, Wang Y P, Ran Z L, *et al.* Characteristics of novel long-period fiber gratings written by focused high-frequency CO<sub>2</sub> laser pulses. *Proc SPIE*, 2001, **4581**:328
- 6 王义平, 饶云江, 等. 对弯曲不敏感的长周期光纤光栅传感器. *光子学报*, 2002, **31**(6):727  
Wang Y P, Rao Y J, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(6):727
- 7 王义平, 饶云江, 等. 高频高频 CO<sub>2</sub> 激光脉冲写入的长周期光纤光栅传感器的特性研究. *物理学报*, 2003, **52**(6):1434 ~ 1435
- 8 Wang Yiping, Rao Yunjiang, Ran Zengling, *et al.* A novel tunable Gain equalizers based on a long-period fiber grating written by high-frequency CO<sub>2</sub> laser pulses. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2003, **15**(2):251 ~ 253
- 9 Rao Yunjiang, Zhu Tao, Ran Zengling, *et al.* An all-fibre dynamic gain equalizer based on a novel long-period fiber grating written by high-frequency CO<sub>2</sub> laser pulses. *Chinese Physical Letters*, 2002, **19**(12):1822 ~ 1824

## Characteristics of the Etched Long-period Fiber Gratings

Hu Aizi, Rao Yunjiang, Nie Zhili, Niu Yongchang

*Department of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044*

Received date:2002-07-11

**Abstract** Etching characteristics of the LPFGs written by high-frequency CO<sub>2</sub> laser pulses are demonstrated. The experimental results show that the resonant wavelength of the LPFGs shifts linearly with the etching time, while the resonant peak amplitude varies little. Furthermore, the basic characteristics of etched LPFGs are demonstrated for the first time. It came out that the characteristics of temperature, strain and distortion change nothing between un-etched and etched cases except that the bending characteristics become less sensitive. So that a conclusion was drawn that such a etching method could be used to adjust the resonant wavelength of the LPFG but not change its characteristics.

**Keywords** Optical fiber passive components; Optical fiber sensors; High-frequency CO<sub>2</sub> laser; Long-period fiber gratings



**Hu Aizi** was born on March 10, 1979 in Jiangxi, China. She received her bachelor degree from the Department of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, in 2001. Now she is a master candidate at the Department of Optoelectronic Engineering, Chongqing University. Her current research interests concentrate primarily on long period fiber gratings and the applications of LPFGs to fiber-optic sensing and optical fiber communication.