

侧面研磨光纤 Bragg 光栅的外部折射率敏感特性研究*

沈 乐 郑史烈 章献民**

(浙江大学信息与电子工程学系, 杭州 310027)

摘 要 光纤 Bragg 光栅对外界折射率的变化不灵敏, 无法直接作为气体、液体等的敏感元件。侧面研磨的光纤 Bragg 光栅, 一侧包层减小至几微米, 其辐射场可通过包层透射到被传感物质, 因而被传感物质的折射率的变化可以改变光纤的有效折射率, 从而使光栅的 Bragg 波长产生位移。实验中利用不同浓度的 NaCl 溶液来改变光纤光栅的外部折射率, Bragg 中心波长的偏移量和浓度近似为线性关系。同时, 透射功率的变化量和浓度也近似为线性关系。

关键词 光电子学与激光技术; 光纤传感; 光纤 Bragg 光栅; 侧面研磨

中图分类号 TN253 **文献标识码** A

0 引言

近年来, 光纤光栅在光纤通信和光纤传感领域得到了广泛的应用, 成为这两个领域内的重要器件^[1]。光纤 Bragg 光栅被用于应力、温度和其他物理量的传感^[2~4], 但光纤 Bragg 光栅对外界接触物质折射率的变化并不敏感, 不会引起中心波长的偏移, 因而无法直接将其作为气体和液体浓度(折射率)的传感元件, 而必须结合中间敏感物质的使用, 将浓度变化转化为应力变化^[5]。长周期光纤光栅虽然对外界折射率敏感^[6], 但由于其透射谱不稳定, 测量精度不高。对光纤进行侧面研磨已有较多的研究, 并应用于光纤传感, 如 Muhammad 将其作为测量气体浓度的传感器件^[7], 其原理是外界折射率的变化引起光损耗的变化。

本文将光纤 Bragg 光栅侧面研磨, 结合了侧面研磨光纤和光纤 Bragg 光栅的特性, 以波长变化和功率变化同时作为传感度量, 由于波长检测对光功率涨落不敏感, 相对于只以功率变化作为传感度量的传感器件, 具有更高的传感精度和准确性。本文利用不同 NaCl 浓度对侧面研磨光纤 Bragg 光栅外部折射率敏感特性进行了实验检测。

1 原理

光纤 Bragg 光栅是通过改变光纤折射率使其呈周期性分布而形成的。它是纤芯内前向和后向传播模式的耦合, 其耦合方程为

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

式中 λ 是光栅的 Bragg 波长, Λ 是 Bragg 光栅的周期, n_{eff} 是光纤的有效折射率。

光纤经侧面研磨后, 横截面成 D 型。在普通 Bragg 光栅中, 包层内传播的倏逝场很快衰减, 无法到达包层边界。研磨后, D 型 Bragg 光栅一侧的包层厚度大为减小(一般为几微米), 倏逝场可以通过包层透射出来。当直接接触包层的物质的折射率发生变化, 就会引起纤芯有效折射率的改变, 从而引起光栅中心波长的改变。其原理可用式(2)表示

$$\Delta\lambda_{\text{Bragg}} = 2\Delta n_{\text{eff}}\Lambda \quad (2)$$

光纤 Bragg 光栅导模的有效折射率与归一化频率 V 有关。未研磨时, V 和光纤参数之间的关系为

$$V = \frac{\pi d}{\lambda} \sqrt{n_{\text{co}}^2 - n_{\text{cl}}^2} \quad (3)$$

式中, d 为纤芯半径, n_{co} 和 n_{cl} 分别为光纤 Bragg 光栅的纤芯折射率和包层折射率, λ 为自由空间波长。

研磨后, 研磨处的折射率被外界接触物质的折射率 n_{ex} 取代。此时归一化功率 V_{ex} 变为

$$V_{\text{ex}} = \frac{\pi d}{\lambda} \sqrt{n_{\text{co}}^2 - n_{\text{ex}}^2} \quad (4)$$

可见, 外界折射率的存在改变归一化频率 V , 从而改变导模的有效折射率。这使得不同折射率的外界存在时, 光纤光栅的中心波长发生改变。

而且, 根据有限包层半径 Bragg 光栅的理论分析结果^[8], 在特定范围内, 研磨掉的包层厚度越多, D 型 Bragg 光栅受外界接触物质影响就越大。该影响随着研磨程度的增加而增加。同时, 光功率会随着研磨程度的增加而逐渐减小。

2 实验和分析

Cordaro^[9]曾提出制作侧面研磨单模光纤的方法。制作侧面研磨光纤 Bragg 光栅的方法和制作侧

*教育部科学技术研究重点项目(No. 99066)资助

** Tel: 0571-87952054 Email: zhangxm@zju.edu.cn

收稿日期: 2004-05-08

面研磨光纤相同,将光纤中 Bragg 光栅所在位置的一侧包层厚度研磨至几微米而成,其侧面呈现D形. 图 1 为实验装置图,将光栅固定在基片上,通过伺服电机控制研磨纸进行研磨. 实验中,采用进口的光纤研磨砂纸逐道进行. 在研磨的同时,实时监控光栅的透射功率变化来控制研磨的程度,最终可制成 D 型 Bragg 光栅.

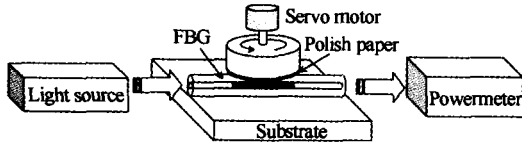


图 1 光纤 Bragg 光栅研磨装置
Fig. 1 Experimental setup for side-polishing

实验中所用光纤光栅为相位掩膜法制作. 采用上述研磨装置,将中心波长为 1547.2 nm 的普通 Bragg 光栅研磨成 D 型 Bragg 光栅. 用宽带 ASE 光源(Exfo SLS-2600)和光功率计(Agilent 8163A)进行实时监控,在 1550 nm 处其透射光功率从初始值 0.28 mW 降为 85 nW(约为初始值的 0.03%). 研磨后的 D 型 Bragg 光栅和初始光栅相比,其 3 dB 带宽略为增大,约增大 0.02 nm. 研磨后,透射峰深度为 16.4 dB,比研磨前减小了约 7 dB.

为检验 D 型 Bragg 光栅对外部折射率的敏感特性,配置了 10 种不同浓度的 NaCl 溶液. 将研磨好的 D 型 Bragg 光栅浸入纯水和不同浓度的 NaCl 溶液中,用宽带 ASE 光源和光谱分析仪(Agilent 86141B)分别测试了 D 型 Bragg 光栅透射光谱图,如图 2. 当 D 型光栅浸在纯水中时,其峰值位置为 1546.136 nm,以此为基准,当 D 型 Bragg 光栅分别浸入不同浓度的 NaCl 溶液后,其中心波长分别有不同的偏移. 不同 NaCl 浓度和相对波长偏移量之间的关系示于图 3,可见浓度变化与波长位移基本成线性关系.

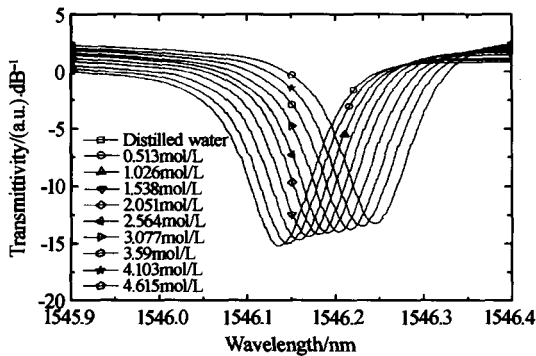


图 2 NaCl 溶液浓度对 D 型 Bragg 光栅波长的影响
Fig. 2 The effect of concentration of NaCl solution on Bragg wavelength of D-shaped FBG

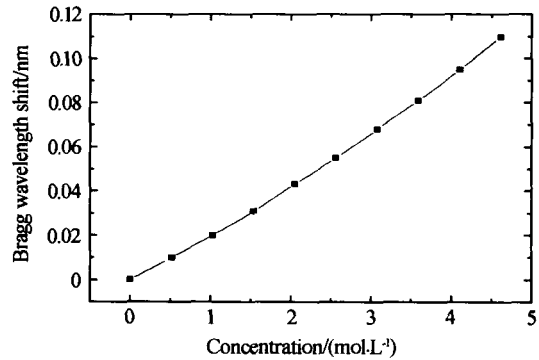


图 3 NaCl 溶液浓度和相对波长偏移量的关系
Fig. 3 The relation between concentration of NaCl solution and Bragg wavelength shift

由于外界折射率的变化,D 型 Bragg 光栅的损耗也会发生变化,图 4 为不同 NaCl 浓度与相对透射光功率变化量之间的关系. 相对功率变化量和 NaCl 浓度差的关系也近似成线性关系. 因为 NaCl 溶液折射率和浓度成正比,因此随着 NaCl 溶液浓度的减小,D 型 Bragg 光栅的中心波长随之减小,其对应的光功率也随之减小. 这基本符合有限包层半径 Bragg 光栅的理论分析结果^[8].

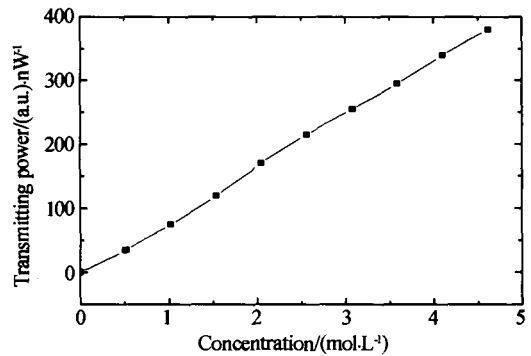


图 4 NaCl 浓度溶液和相对功率变化量的关系
Fig. 4 The relation between concentration of NaCl solution and transmitting power

D 型光纤传感器^[7]只能以功率变化作为传感度量,精度不高. 而 D 型 Bragg 光栅提供了波长变化和功率变化两种检测手段,可将两者结合起来作为传感度量,可以提高测量的精确度,使测量结果更为可靠.

4 结论

通过研磨法制成的 D 型布喇格光栅,能感知外界物质的折射率变化. NaCl 浓度传感实验表明,当直接接触包层的物质的折射率发生变化,就会引起光栅中心波长的变化. 实验中,NaCl 溶液的浓度和相对波长偏移量近似成线性关系.

参考文献

- 1 从军,陈旭明,章献民. 啁啾双光栅群时延特性. 光子学报, 2004, **33**(3): 299~302
Cong J, Chen X M, Zhang X M. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(3): 299~302
- 2 Zhang Weigang, Dong Xiaoyi, Zhao Qida, *et al.* FBG-type sensor for simultaneous of force and temperature based on bilateral cantilever beam. *IEEE Photon Technol Lett*, 2001, **13**(4): 1340~1342
- 3 Jung Jaehoon, Nam Hui, Lee Byoung-ho, *et al.* Fiber Bragg grating temperature sensor with controllable sensitivity. *Applied Optics*, 1999, **38**(13): 2752~2754
- 4 郭团, 乔学光, 贾振安, 等. 基于光纤 Bragg 光栅反射波带宽展宽的的压力传感研究. 光子学报, 2004, **33**(3): 288~290
Guo T, Qiao X G, Jia Z A, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(3): 288~290
- 5 Cong Jun, Zhang Xianmin, Chen Kangsheng, *et al.* Fiber optic Bragg grating sensor based on hydrogels for measuring salinity. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2002, **87**(3): 487~490
- 6 Patrick J H, Kersey A D, Bucholtz F. Analysis of the response of long period fiber gratings to external index of refraction. *J Lightwave Technol*, 1998, **16**(9): 1606~1612
- 7 Muhammad F A, Stewart G. D-shaped optical fiber design for methane gas sensing. *Electro Lett*, 1992, **28**(13): 1205~1206
- 8 张霞, 夏月辉, 黄永清, 等. 有限包层半径光纤 Bragg 光栅的理论研究. 光子学报, 2003, **32**(2): 222~224
Zhang X, Xia Y H, Huang Y Q, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(2): 222~224
- 9 Cordaro M H, Rode D L, Barry T S, *et al.* Precision fabrication of D-shaped single-mode optical fibers by In Situ Monitoring. *J Lightwave Technol*, 1994, **12**(9): 1524~1531

The response of side-polished FBG to external refractive index

Shen Le, Zheng Shilie, Zhang Xianmin

Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Received date: 2004-05-08

Abstract Fiber Bragg grating (FBG) cannot be directly used as gas or liquids sensors, because it is not sensitive to external refractive index. By side-polished, the cladding layer of one side of FBG can be reduced to several micrometers. The radiation field can reach the external medium. When the external refractive index changes, the effective refractive index of fiber changes and the center wavelength of D-shaped FBG shifts accordingly. In the experiment, the NaCl solution with different concentration is used to change the external refractive index of FBG. The center wavelength of D-shaped FBG shifts when the concentration of NaCl solution changes. The relationship between the offset of wavelength and the concentration of NaCl solution is approximately linear. In addition, the relationship between the transmitting power and the concentration of NaCl solution is also approximately linear.

Keywords Optoelectronics and laser technology; Fiber sensor; Fiber Bragg Grating; Side-polished fiber



Shen Le was born in Zhejiang, China. He received his B. S. degree in July 2001 from Department of Electrical Engineering, Zhejiang University, and received his M. S. degree in March 2004 from Department of Information & Electronic Engineering, Zhejiang University. His research interests include optical fiber sensors and optical communication.