

# 基于寄生干涉结构的光纤光栅传感解调装置\*

赵洪霞<sup>1</sup> 余有龙<sup>2</sup> 刘盛春<sup>2</sup>

(1 宁波高等专科学校交通运输工程系, 宁波 315012)

(2 黑龙江大学 光纤技术研究所, 哈尔滨 150080)

**摘要** 介绍一种新的基于寄生干涉结构的干涉解调方案, 它将包含应变信息的波长漂移信号变为相移信号, 借助相位计显示的相移量确定待测应变量的大小. 系统传感灵敏度的实验值为 1.58 Deg/ $\mu\epsilon$ , 在误差允许的范围内与理论值 1.61 Deg/ $\mu\epsilon$  基本吻合, 具有 0.39  $\mu\epsilon$  的分辨能力.

**关键词** 光纤光栅; 寄生干涉结构; 干涉解调

**中图分类号** TN253 **文献标识码** A

## 0 引言

随着光纤光栅 (FBG) 成栅技术的日趋完善, 它在光纤通信和传感方面的应用越来越引起人们的广泛兴趣<sup>[1-4]</sup>. 同其它传感元件相比, FBG 具有体积小、重量轻、可靠性好、抗腐蚀和电磁干扰、能在复杂的化学环境下工作等优点, 波长编码决定其传感结果免受光源功率波动及连接损耗影响, 且易于进行网络化分布式感测. 然而结构简单、分辨率高、价格低廉的解调方案是其实用化面临的关键技术之一. 已提出的解调方案有: 滤波法<sup>[5,6]</sup>、成像光谱法<sup>[7]</sup>、干涉法<sup>[8-12]</sup>等, 其中基于非平衡扫描迈克耳逊干涉技术的解调方案<sup>[8]</sup>具较高的分辨率, 但其结构及端镜粘贴工艺相对复杂, 且价格昂贵. 本文提出一种基于寄生干涉结构的干涉解调方案, 此方案中 FBG 既用于传感, 又作为干涉仪的反射镜, 全光纤光路设计简单, 插入损耗小, 价格低廉, 具有很强的实用性.

## 1 原理

图 1 中, 掺铒光纤放大自发辐射源 (ASE) 发出的光波经隔离器 (ISO) 射入干涉结构中, 经 3 dB 耦合器之后的两光波传至起传感作用的 FBG 时, 布喇格波长的光波将被反射, 其它波长的光波将透过光栅, 因此, 对布喇格波长的光波来说此结构为 Michelson 干涉装置, 而对其它波长来说此结构为 Sagnac 干涉装置, 所以这是一种寄生干涉结构. 光沿环路传输时, 无论顺时针方向还是逆时针方向传

播, 其光程相等, 相差为  $\pi$ <sup>[13]</sup>, 为相消干涉, 因此可不考虑 Sagnac 干涉场, 探测器接收到的交变信号为 Michelson 干涉的结果.

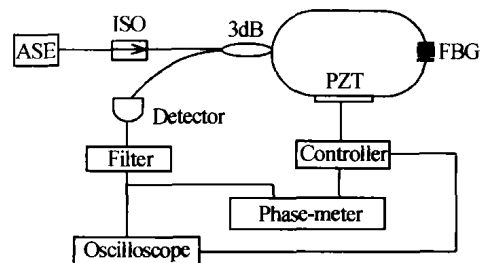


图 1 寄生干涉解调装置原理

Fig. 1 Diagram of the parasitic interferometric demodulation scheme

温度不变时, 应变使传感光栅的布喇格波长发生漂移, 相对漂移量为<sup>[14]</sup>

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1 - Pe)\epsilon_x \quad (1)$$

式中  $Pe$  为有效弹光系数,  $\epsilon_x$  为轴向应变,  $\lambda_B$  为传感光栅的布喇格反射波长. 对 Michelson 干涉来说, 若两臂间臂长差为  $L$ , 它引起的相位差  $\phi$  为

$$\phi = \frac{4\pi nL}{\lambda_B}$$

式中  $n$  为纤芯折射率, 等式两边微分得到

$$\Delta\phi = -\frac{4n\pi L \Delta\lambda_B}{\lambda_B^2} \quad (2)$$

联立式(1)和式(2)得

$$\epsilon_x = -\frac{\lambda_B}{4\pi nL(1 - Pe)}\Delta\phi \quad (3)$$

可见观测相移可判断待测应变变化的程度.

## 2 实验结果

ASE 光源是自行研制的, 最大输出功率为 21.8 mW, 隔离器用来阻止光从干涉仪返回光源, 其插入损耗为 0.4 dB, 隔离度为 42 dB. 寄生干涉结构是由一个 3 dB 耦合器在一侧两端间接入一个 FBG 而构成的, 光栅长 1 cm, 自由状态下布喇格波

\*国家自然科学基金委员会与中国节能投资公司联合研究基金资助(批准号:60177029)、教育部科学技术研究重点项目(项目号:01038)、黑龙江省教育厅科学技术研究重大项目(项目号:10531Z010)、宁波市重点博士基金(项目号:01J201201-04)和黑龙江省教育厅03年科技项目(项目号:10531132)资助

Email: zhx - 1228@163.com

收稿日期: 2003-06-24

长、带宽及反射率分别为 1562.680 nm、0.170 nm 和 90%，光纤介质的折射率为 1.4489，光栅与耦合器间光纤的平均长度为 2.25 m， $L=3.1$  mm，图 2 为其干涉输出光谱，显然是以 FBG 的反射带宽为轮廓的调制结果。

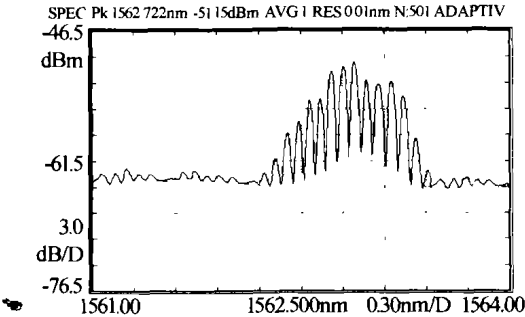


图 2 寄生干涉结构的输出光谱  
Fig. 2 Output spectrum of the parasitic interferometric configuration

为防止环境温度、光纤弯曲及振动等随机干扰等因素对相位测量的影响，干涉仪的短臂粘在压电陶瓷上，实验中压电陶瓷上加频率为 60 Hz，幅值与直流电平均为 6 V 的锯齿波信号；工作波长范围为 800 ~ 1800 nm 的探测器的增益设置为 16.5 V/mW；锯齿波信号的占空比接近 1，下降沿中的高频信号成为噪声，需滤波处理，带通滤波器的带宽设为 50 ~ 70 Hz。光栅轴向的待测应变由步长为 0.1  $\mu\text{m}$  的一维微位移器提供（应变与光栅所在光纤的长度满足等式  $\epsilon_x = \Delta l/l$ ），随着应变增大或减小，示波器上所示波形向左或向右平移，此乃应变引起的波长漂移诱使干涉输出中出现附加相移所致（图 3 所示）。

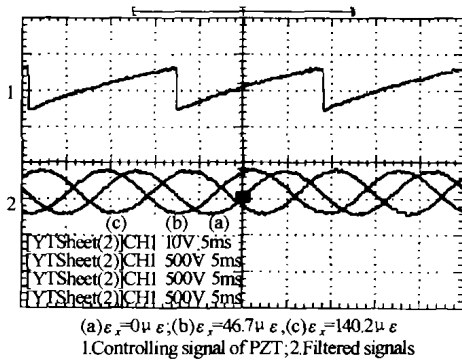


图 3 不同应变下的波形图  
Fig. 3 Characteristics of the output for different strains

实验中所用相位计的分辨率为 0.01，其响应时间和灵敏度分别选为  $1 \times 10^2$  ms 和  $1 \times 1$  V。在  $(-180, +180)$  Deg 的主值区间内，所测应变的上限为 223  $\mu\epsilon$ 。随着待测应变的变化，相移值发生相应的改变，两者实验关系呈图 4 虚线所示的明显的线性，线性拟合度高达 0.9992，曲线斜率为该装置的应变传感灵敏度。把  $Pe=0.22^{[4]}$ 、 $\lambda_B$ 、 $n$  以及  $L$  的值代入式 (3)，可画出理论曲线（图 4 中实线所示），可以看出，在误差允许的范围两者基本吻合。

引起少量误差的可能原因为：1) 引入的  $Pe$  值与所用光纤的实际值有出入；2) 压电陶瓷的磁滞及光纤的粘贴端出现弛豫。

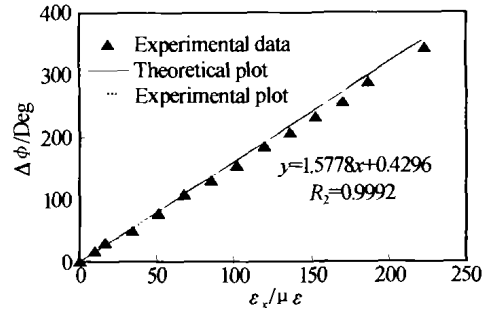


图 4  $\Delta\phi$  与  $\epsilon_x$  间关系曲线  
Fig. 4 Relationships between  $\Delta\phi$  and  $\epsilon_x$

系统传感分辨率主要取决于干涉仪两臂间光程差及相位计的读数精度。所用干涉仪和相位计对应传感系统的分辨率为 6.5 nε。要获得此量级的分辨率，光栅所在光纤的最小长度为 100 m，由于实验条件及环境干扰的影响，此值是很难实现的。实验中光栅所在光纤的长度为 25.4 cm，本装置具有 0.39  $\mu\epsilon$  的分辨能力。

### 3 结论

利用寄生干涉结构成功地对微应变进行了监测，系统传感灵敏度的实验值为 1.58 Deg/ $\mu\epsilon$  与理论值 1.61 Deg/ $\mu\epsilon$  基本吻合，且系统具有 0.39  $\mu\epsilon$  的分辨能力。该系统设计简单，体积小，成本低，分辨率高，可广泛应用于桥梁、建筑、海洋石油平台、油田及航空、大坝等工程的健康监测。但由于 FBG 对环境温度较为敏感，实际应用中应采取措施提高器件的工作稳定性。

### 参考文献

- 1 Volanthen M, Geiger H, Cole M J, et al. Measurement of arbitrary strain profiles within fiber gratings. *Electron Lett*, 1996, 23(11): 1028 ~ 1029
- 2 Xu M G, Geiger H, Dakin J P. Fiber grating pressure sensor with enhanced sensitivity using a glass-bubble housing. *Electron Lett*, 1996, 32(2): 128 ~ 129
- 3 Bhatia V, Vengsarkar A M. Optical fiber long-period grating sensors. *Opt Lett*, 1996, 21(9): 692 ~ 694
- 4 江毅, 陈伟民, 扬礼成, 等. FBG 用于应变/温度传感初探. *传感技术学报*, 1997, 10(3): 43 ~ 47  
Jiang Y, Chen W M, Yang L C. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 1997, 10(3): 43 ~ 47
- 5 Kersey A D, Berkoff T, Morey W W. Multiplexed Bragg grating strain-sensor system with a fiber Fabry-perot wavelength filter. *Opt Lett*, 1993, 8(16): 1370 ~ 1372
- 6 Jackson D A, Ribeiro A B L, Reekie L, et al. Simple multiplexing scheme for a fiber-optic grating sensor network. *Opt Lett*, 1993, 18(14): 192 ~ 194

- 7 Hu Y, Chen S, Zhang L, *et al.* Multiplexing Bragg grating using combined wavelength and spatial division techniques with digital resolution enhancement. *Electron Lett*, 1977, **33** (23): 1973 ~ 1975
- 8 余有龙, 潭华耀, 锤永康, 等. 基于干涉解调技术的 FBG 传感系统. *光学学报*, 2001, **21**(8): 987 ~ 989  
Yu Y L, Tam H Y, Chung Y K, *et al.* *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(8): 987 ~ 989
- 9 Kersey A D, Berkoff T A, Morey W W. Fiber optic Bragg grating strain sensor with drift-compensated high-resolution interferometric wavelength-shift detection. *Opt Lett*, 1993, **8** (1): 72 ~ 74
- 10 Ohn M M, Huang S Y, Measures R M, *et al.* Arbitrary strain profile measurement within fiber gratings using interferometric Fourier transform technique. *Electron Lett*, 1997, **33**(14): 1242 ~ 1243
- 11 Flavin D A, McBride R, Jones J D C. Short optical path scan interferometric interrogation of a fiber Bragg grating embedded in a composite. *Electron Lett*, 1997, **33**(4): 319 ~ 320
- 12 Brady G, Kalli K, Webb D J, *et al.* Simultaneous interrogation of interferometric and Bragg grating sensors. *Opt Lett*, 1995, **20**(11): 1340 ~ 1342
- 13 陈华, 王道刚, 严震. 熔锥型光纤反射器. *上海大学学报*, 2000, **6**(2): 177 ~ 179  
Chen H, Wang D G, Yan Z. *Journal of Shanghai University*, 2000, **6**(2): 177 ~ 179
- 14 Ball G A, Morey W W. Continuously tunable single-mode erbium fiber laser. *Opt Lett*, 1992, **17**(6): 420 ~ 422

## A Fiber Bragg Grating Sensor Demodulation Scheme Based on a Parasitic Interference Configuration

Zhao Hongxia, Yu Youlong, Liu Shengchun

1 *Communications and Transport Engineering*, Ningbo College, Ningbo 315012

2 *Research Institute of Fiber Optics*, Heilongjiang University, Harbin 150080

Received date: 2003-06-24

**Abstract** A fiber Bragg grating sensor demodulation system based on a parasitic interference scheme is reported. Measuring the phase-shift of the signal with a phase-meter can demodulate the strain. The sensing sensitivity of this scheme, which is with a resolution of  $0.39 \mu\epsilon$ , was demonstrated to be  $1.58 \text{ Deg}/\mu\epsilon$ , experimentally. It basically matches the prospected value of  $1.61 \text{ Deg}/\mu\epsilon$ .

**Keywords** Fiber Bragg grating; Parasitic interference configuration; Interferometric demodulation



**Zhao Hongxia** was born in 1970 in Heilongjiang Province. She received her Bachelor degree and Master degree in Heilongjiang University. Her research interests include fiber laser, fiber amplifier and fiber sensor system.