

基于窄频分布反馈激光器和光纤光栅的 加速度传感器*

霍佃恒^{1,2}, 常军^{1,2}, 刘统玉¹, 马良柱¹, 刘小会¹

(1 山东省科学院激光研究所, 济南 250014)

(2 山东大学 信息科学与工程学院, 济南 250100)

摘要:提出了一种用窄频分布反馈半导体激光器作为光源, 光纤光栅作为传感元件的振动传感系统. 给出了这个系统的工作原理和系统组成, 设计了光纤光栅传感器的悬臂梁增敏封装形式. 通过实验测量得到了频率响应曲线和加速度响应曲线, 结果表明悬臂梁一端悬挂的质量块的质量越大, 灵敏度越高, 但共振频率也相应降低. 同时讨论了不同黏度的硅油对共振的抑制效果以及系统灵敏度与分布反馈激光器输出波长的关系.

关键词:分布反馈激光器; 光纤光栅; 加速度传感; 光纤传感

中图分类号: TN247

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)08-1906-4

0 引言

加速度传感系统在矿山开采过程中的安全检测及油气田的勘探等领域有非常重要的应用^[1]. 光纤传感系统可以实现传感和传输系统不带电, 波分复用技术很容易使光纤传感系统实现多点监测, 这些优势使光纤振动传感系统具有了重要的应用价值^[2], 也成为了研究的热点. 光纤加速度传感器按工作原理可分为相位型、强度型和波长型, 相位型一般采用光纤干涉仪结构, 因稳定性差难以实际工程应用^[3-8], 强度型传感是通过传感器的光强变化检取振动信号, 典型的有微弯型^[4]及熔融双锥型^[5-6], 波长型的工作原理是通过振动影响传感器的输出波长来进行的, 典型的是光纤光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)^[7-9]型, 但它的低成本快速动态解调方法一直难以解决.

因此, 本文提出了一种光纤光栅的低成本快速动态解调方法, 把线宽非常窄的分布反馈(Distributed Feed Back, DFB)激光器的波长置于光纤布拉格光栅的一个边带斜坡上, 当光栅受到外界加速度的作用时, 加速度通过变换装置会引起光纤光栅的反射波长变化, 通过检测光电探测器接收到的反射光强, 解调出振动或加速度信息. 这种传感方式简单、成本低灵敏度高, 有较好的应用前景.

1 系统的工作原理

图 1 是光栅反射光谱和 DFB 激光器的光谱. 将带宽很窄的 DFB 激光器作为光源, 并把 DFB 激光器的波长置于光纤布拉格光栅的一个边带上, 当外界振动作用到光栅上时, 会引起折射率变化, 从而使光栅的光谱左右移动, 其变化的频率与外界振动作用的频率相同. 相对应的, 虽然 DFB 激光器的波长是稳定的, 但在边带上的位置发生变化, 伴随着上下移动, 所以可以通过检测 DFB 激光器被光纤布拉格光栅反射回来的光强变化即可得到振动信号. 但振动的幅度不能使 DFB 激光器的波长超出边带的范围, 否则会出现倍频或失真现象. 同时光栅也会受到温度的影响而发生光谱移动, 这时可以通过调节 DFB 激光器温度的方式, 把波长调节到光栅的合适位置.

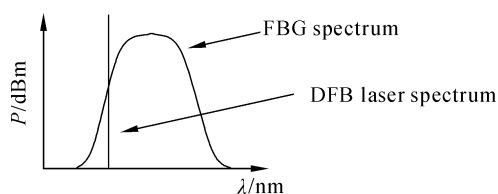


图 1 工作原理

Fig. 1 Schematic diagram of working principle

图 2 是信号解调的方案框图. 驱动电路使半导体 DFB 激光器发光, 并控制出射光的功率, 经光纤耦合后通过光环形器到达传感光栅, 光纤光栅把光反射又经光环形器后用电探测器接收并转换成电信号, 再由滤波器后输出. 温控电路可以控制 DFB 激光器的温度, 从而可以调节激光器的波长, 使其处于光栅的合适位置.

* 中国高技术研究发展计划(2006AA06Z207)、十一、五科技支撑课题(2006BAK04B02)和山东省自然科学基金(2006ZRC01022)资助

Tel: 0531-88799236

Email: huodianheng@126.com

收稿日期: 2007-07-17

修回日期: 2008-09-09

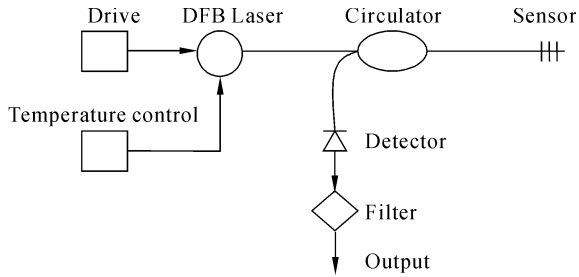


图 2 解调方案框
Fig. 2 Diagram for demodulation

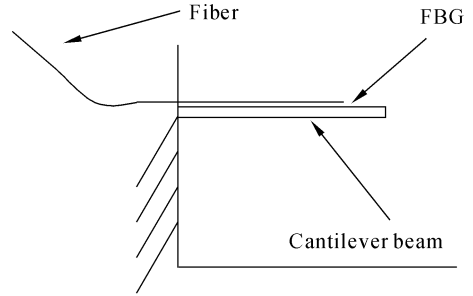


图 3 传感器结构
Fig. 3 Packaging scheme of the sensor

2 实验与结果

将光栅粘贴到等强度悬臂梁上做成传感器(如图 3),光栅的中心波长为 1 546. 76 nm,DFB 激光器的波长为 1 546. 599 nm,线宽为 3M. 把传感器固定到型号为 4808 的 B&K 振动台上测试,光电探测得到的信号经 1 kHz 的六阶 Butterworth 低通滤波器滤波后输出. 图 4 是 B&K 振动台的监测信号和传感器的输出信号,图 5 是在 18 Hz、1 m/s² 下传感器的响应. 传感器的频率响应如图 5(a),从图中可以看出,悬臂梁结构存在共振频率,共振点 106 Hz.

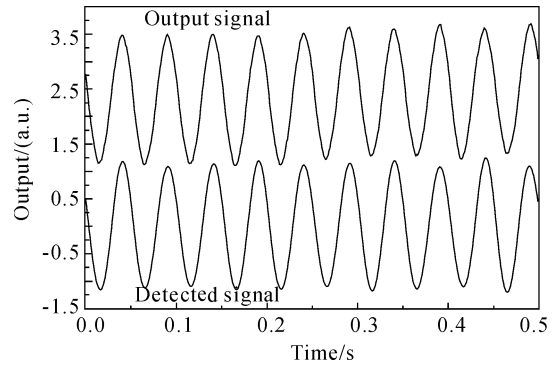
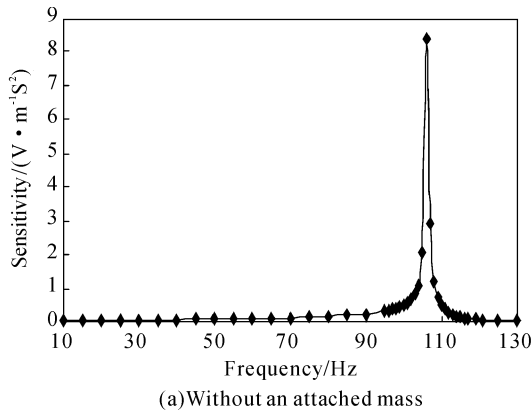
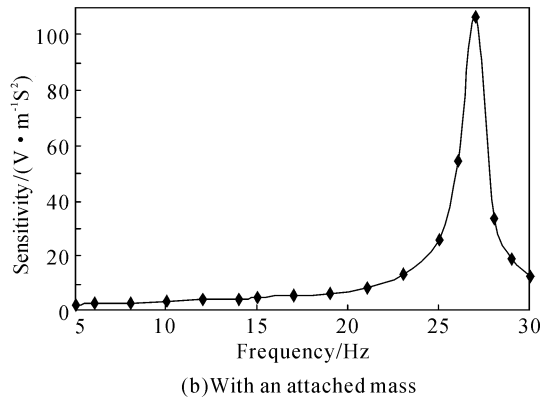


图 4 传感器的输出
Fig. 4 Output of the sensor



(a) Without an attached mass



(b) With an attached mass

图 5 未加和加重量块时传感器的频率响应
Fig. 5 Frequency response of the sensor without and with attached mass

为了能够使灵敏度更高,在悬臂梁的末端加上一个重量为 15. 87 g 的质量块,图 5(b)是传感器在 50 mm/s² 时的频率响应,可以看出在灵敏度提高的同时,共振频率也在降低,此时的共振点移到了 27 Hz. 不同频率下的加速度响应如图 6,从图中可以看出,单一频率下传感器对加速度的响应有非常好的线性度,灵敏度因频率的不同而受到影响,且同一频率下灵敏度的值也不完全相同,但具有一定的线性.

为了消除共振,把传感器的悬臂梁浸在硅油中,图 7 显示了在无硅油时和加入黏度为 20 号和 50 号硅油时传感器的频率响应,它说明 50 号的硅油对共振的消除效果明显.

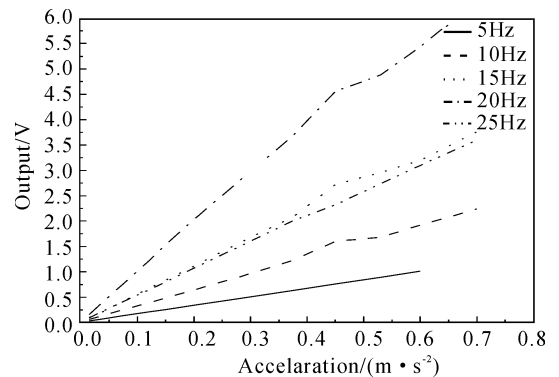


图 6 传感器在不同频率下的响应
Fig. 6 Output of the system versus acceleration frequency applied to the sensor

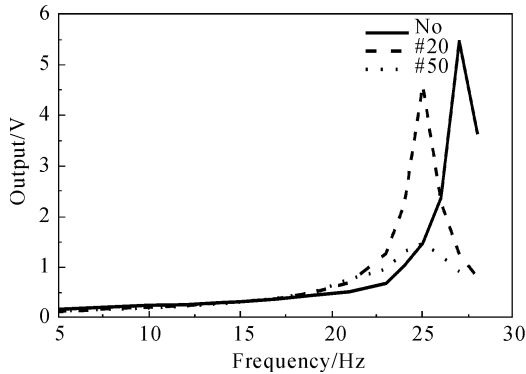


图7 不同黏度的硅油对谐振的抑制

Fig. 7 Suppression resonance by silicone oil with different viscosity

灵敏度的大小除了受质量块大小和频率的影响之外,通过试验发现,DFB激光器在光栅边带上的不同波长位置对灵敏度也有影响.本文采用的DFB激光器波长具有很好的温度特性,可以认为是线性关系,即每升高 1°C 波长增加 100 pm .根据这个特性,通过调整温控电路来调节DFB激光器的波长,从而改变DFB激光器在光栅边带上的波长位置,此时光栅反射回来的光强也会发生变化,所以可以用光电探测器的直流电压表征位置信息;如图8,横轴的电压代表激光器在光栅边带上的不同波长位置,当加速度恒定为 150 mm/s^2 ,频率为 20 Hz 时记录传感器输出并得到灵敏度值,实线是拟合出的曲线.当DFB激光器波长与光栅中心波长重合时电压值最大为 5.2 V ,而电压值在 2.65 V 时灵敏度达到最大,说明DFB激光器的波长位于光栅中心波长功率值下降 3 dB 处灵敏度最高.

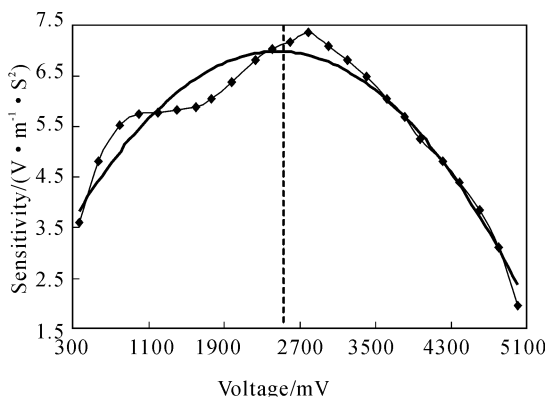


图8 工作点波长与灵敏度的关系

Fig. 8 Sensor's sensitivity and output wavelength of DFB laser

3 结论

本文提出了一种基于DFB激光器和光纤光栅检测振动信号的方法,并对传感器的频率响应和加

速度响应做出了实验研究,对影响灵敏度的因素进行了实验分析.由于光栅的边带很陡,并且DFB激光器的线宽极窄,可以得到比较高的灵敏度,另一方面光栅边带的宽度也很小,影响测量的动态范围,所以如何提高动态范围是下一步需要继续努力的一个方面,如可以通过提高信噪比或采用增益调节的办法等.通过实验得出,在传感器的封装上要得到较高的灵敏度需要增加质量块的重量,但增加了重量会使传感器的频响降低,因此,设计新型封装结构,以兼顾灵敏度和频响范围也是下一步的目标之一.

参考文献

- [1] ZENG Nan, SHI Chun-zheng, ZHANG Min, *et al.* A 3-component fiber optic accelometer for well logging [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2005, **16**(8):901-905.
曾楠, 施纯峥, 张敏, 等. 一种可用于油藏监测的3分量光纤加速度传感器[J]. *光子学报*, 2005, **16**(8):901-905.
- [2] CHANG Jun, MA Liang-zhu, LIU Tong-yu, *et al.* Fiber optic vibration sensor based on over-coupled fused coupler [C]. *SPIE*, 2007, **6595**: (2):65954C.1-65954C.6.
- [3] PENG Bao-jing, LIAO Mao, LIAO Yan-biao, *et al.* Study on measuring sensitivity on fiber-optic hydrophone [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(9):1324-1327.
彭保进, 廖茂, 廖延彪, 等. 光纤水听器灵敏度测试研究[J]. *光子学报*, 2005, **34**(9):1324-1327.
- [4] LEE B. Review of the present status of optical fiber sensors [J]. *Optical Fiber Technology*, 2003, **9**:57-79.
- [5] CHEN R, FERNANDO G F, BUTLER T, *et al.* A novel ultrasound fibre optic sensor based on a fused-tapered optical fibre coupler [J]. *Meas Sci Technol*, 2004, **15**:1490-1495.
- [6] CHANG Jun, WANG Qing-pu, ZHANG Xing-yu, *et al.* Single-end fiber optic vibration sensor based on over-coupled fused coupler [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2006, **17**(Suppl):109-110.
常军, 王青圃, 张行愚, 等. 过度耦合熔融双锥型单端光纤振动传感器[J]. *光子学报*, 2006, **17**(增):109-110.
- [7] KERSEY D A, DAVIS M A, PATRICK H J, *et al.* Fiber grating sensors [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1997, **15**(8):1442-1463.
- [8] WANG Ze-feng, HUANG Lei, LUO Hong, *et al.* Pseudo working-point control detection scheme for interferometric fiber-optic hydrophone [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(1):39-41.
王泽峰, 黄磊, 罗洪, 等. 干涉型光纤水听器伪工作点控制检测方法[J]. *光子学报*, 2008, **37**(1):39-41.
- [9] SUN Ru-jiao, SUN Li-min, SUN Zhi. Design research of fiber Bragg grating accelerometer [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(1):63-67.
孙汝蛟, 孙利民, 孙智, 等. 一种新型光纤布喇格光栅振动传感器研究[J]. *光子学报*, 2007, **36**(1):63-67.

Demodulation Fiber Bragg Grating Acceleration Sensor by DFB Laser

HUO Dian-heng^{1,2}, CHANG Jun^{1,2}, LIU Tong-yu¹, MA Liang-zhu¹, LIU Xiao-hui¹

(1 *LASER Institute, Shandong Academy of Science, Jinan 250014, China*)

(2 *School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China*)

Abstract: A FBG accelerometer as a sensor of oscillation system demodulated by DFB laser is demonstrated. The working principle and system constitution are presented. The cantilever packaging scheme is also designed to enhance the sensitivity of the FBG sensor. The sensor's response to frequency and acceleration is measured by experiment. It is shown that the heavier the mass which attached to the cantilever is, the higher sensitivity of the sensor will be, but this will result in the lower resonate frequency. Relationship between resonance suppression and viscosity of silicone oil given and discussion about the sensor's sensitivity and wavelength of DFB laser is carried out.

Key words: DFB laser; Fiber Bragg grating; Accelerometer; Fiber sensor



HUO Dian-heng graduated from Anhui University of Science and Technology in 2003. Now he works at Laser institute, Shandong Academy of Science as an engineer. His research intetests focus on fiber optic sensors and interrogation technologies.