

光纤光栅毛细钢管封装工艺及其传感特性研究

张燕君,王海宝,陈泽贵,毕卫红
(燕山大学信息科学与工程学院,河北 秦皇岛 066004)

摘要:提出了一种光纤光栅的毛细钢管封装工艺,并通过材料力学多功能实验台和恒温箱对其应变与温度传感特性进行了研究。与裸光纤光栅的测试结果比较表明,毛细钢管封装工艺基本不改变光纤光栅的应变传感特性,但是温度灵敏度系数提高了约2.7倍,且线性度、重复性良好,为光纤光栅在温度测量领域的应用提供了一个很好的封装方法。

关键词:光纤光栅;封装工艺;应变传感;温度传感

中图分类号:TP212.14 **文献标识码:**A

Study on FBG Sensor's Steel Capillary Packaging Technique and Sensing Properties

ZHANG Yan-jun, WANG Hai-bao, CHEN Ze-gui, BI Wei-hong
(Institute of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: The steel capillary packaging technique for fiber Bragg grating (FBG) sensor was developed in consideration of bare optical fiber being fragility, and the strain and temperature characteristics of the packaged FBG sensors were experimentally and theoretically studied on material mechanics multifunctional experimental platform and in constant temperature box. Compared with the experimental results of the bare FBG, the strain sensing property of the FBG sensor packaged by the steel capillary is nearly the same as that of the bare FBG, however the temperature sensing ability of the packaged FBG sensor is improved and the temperature sensitivity coefficient is 2.93 times larger than that of the bare FBG. And the linearity and repetition is very well. We offer a nice packaging method for FBG which used in temperature measure field.

Key words: fiber Bragg grating; packaging technique; strain sensing; temperature sensing

1 引言

光纤传感器是一种新型传感器,跟传统传感器相比,具有耐高温、耐腐蚀、抗电磁干扰、体积小和灵活方便等优点。光纤光栅(FBG)传感器除了具有一般光纤传感器的优点之外,还具有FBG波长编码的特性^[1],它使FBG抗于扰能力强,易于组网复用,实现准分布式测量,可以运用在恶劣环境的场合,是传统传感器的理想替代品^[2]。但裸FBG非常脆弱,容易折断,直接将其作为传感器在工程实际中遇到了布设工艺的大难题,因此,针对需要解决的问题研究实用的光纤光栅的封装工艺意义重大。

已报道的封装方法有:①聚合物封装法^[3];②半金属管封装法^[4];③钢片封装法^[5]。本文研究光纤光栅的毛细钢管封装工艺,并通过材料力学多功能实验台和恒温箱对其应变与温度传感特性进行研究。

2 FBG 传感原理

FBG 传感以其反射波长随外界参量的变化而

作者简介:张燕君(1973-)女,博士,副教授,主要研究方向为现代传感器技术及信号处理。

收稿日期:2008-07-14;修订日期:2008-10-22

改变为基础。产生模式耦合,根据光纤耦合模理论,当满足匹配条件时,光栅的布拉格波长为:

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

式中, n_{eff} 为光纤传播模式的有效折射率; Λ 为光栅周期。当宽带光源在FBG中传输时,满足布拉格条件的光波 λ_B 被反射,其余波长的光波被透射。 n_{eff} 和 Λ 都受外界环境影响,当温度、应力等参量发生变化时,将会导致 n_{eff} 和 Λ 的变化,从而导致 λ_B 的变化,有:

$$\Delta\lambda_B = 2\Delta n_{\text{eff}}\Lambda + 2\Delta n_{\text{eff}}\Delta\Lambda \quad (2)$$

忽略其他参量的影响,仅考虑外界轴向应力 ε_z 和温度 T 对FBG的影响,此时引起的 λ_B 的相对变化为:

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (\alpha_f + \xi)\Delta T + (1 - P_e)\Delta\varepsilon_z \quad (3)$$

式中, $\alpha_f = \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT}$ 为光纤的热膨胀系数; $\xi = \frac{1}{n} \frac{dn}{dT}$ 为

光纤材料的热光系数; $P_e = -\frac{1}{n} \frac{dn}{d\varepsilon_z}$ 为光纤材料的弹光系数。一般情况下,在1550nm窗口,中心波长的温度系数约为10.3pm/°C,应变系数为1.209pm/ $\mu\varepsilon$ 。但是,由于采用的光纤不同、写入光栅的工艺不同以及退火工艺的差别,不同光纤光栅的传感灵敏度会有差异,尤其光纤光栅经过封装后,封装材料会极大地改变光纤光栅的传感特性,因此光纤光栅必须经过标定才能用作实际测量。

3 光纤光栅毛细钢管封装工艺

光纤光栅的毛细钢管封装工艺如图1所示,即将光纤光栅用改性丙烯酸酯封装在外径1.2mm、内径0.9mm、长40mm的毛细钢管内,钢质为不锈钢。封装时,先将钢管套在附近的传输光纤上,然后将改性丙烯酸酯直线涂在实验平板上,高度要大于2mm,将光纤光栅平直放入改性丙烯酸酯中间,然后用镊子夹住毛细钢管将其推向光纤光栅,并力图保证光纤光栅位于毛细钢管的轴线上,而且使光栅处于管的正中部位。这样保证管内充满密实,并减小形成气泡的可能性。然后半小时后将封装好的光纤光栅放入烘箱进一步烘干、固化。

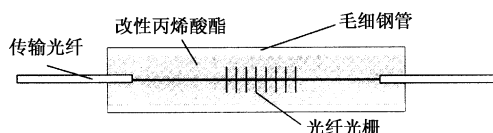


图1 光纤光栅毛细钢管封装示意图

4 毛细钢管封装光纤光栅的传感特性

4.1 毛细钢管封装光纤光栅的温度传感特性及其重复性

将毛细钢管封装光纤光栅放入恒温箱中,使其贴近恒温箱的温度传感器的传感头,以减小因恒温箱温度控制不准带来的误差。由于室内温度高于20°C,而恒温箱的分辨率为10°C,所以从30°C开始分别对封装前后的光纤光栅的温度特性进行测量,结果如图2所示。

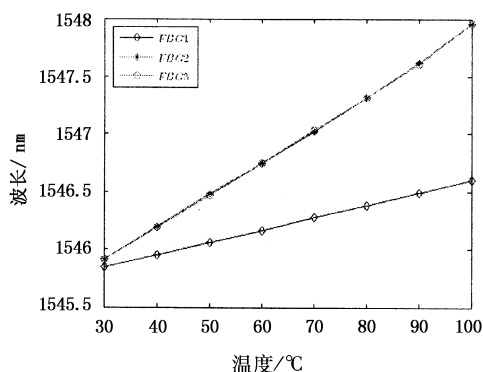


图2 封装前、后光纤光栅波长与温度变化关系

图2中,FBG1为封装前光纤光栅波长与温度变化关系曲线;FBG2为封装后光纤光栅波长与温度变化关系曲线;FBG3为封装后光纤光栅波长与温度重复性曲线。从温度实验得到的波长与温度变化关系曲线可以看出,毛细钢管封装光纤光栅温度传感的线性度、重复性良好,温度灵敏度为28.9pm/°C,而裸光纤光栅温度传感的灵敏度为10.7pm/°C。可见毛细钢管封装光纤光栅温度传感灵敏度较裸光纤光栅提高了2.7倍。这是由于封装后的总膨胀系数为:

$$\alpha = \alpha_f + \alpha_c \quad (4)$$

其中, $\alpha_c = \frac{d\varepsilon}{dT}$,所以, $\frac{d\lambda}{dT} = \frac{\partial\lambda}{\partial T} + \frac{\partial\lambda}{\partial\varepsilon}\alpha_c$,将其代入式(3)得到:

$$\frac{1}{\lambda} \frac{d\lambda}{dT} = \xi + (1 - P_e)\alpha + P_e\alpha_f \quad (5)$$

可见,封装光纤光栅的温度灵敏度系数大大超过裸光纤光栅的原因是毛细钢管的膨胀系数远远大于主要成分是SiO₂的光纤,在温度变化过程中,管式封装的光纤光栅与毛细钢管之间形成拉力,从而提高了它的温度灵敏度系数。

(下转第66页)

6 结论

本文首先分析相位相关技术能够稳健地处理只存在平移情况下的电子稳像问题;然后讨论同时存在旋转和缩放的电子稳像,先将图像由直角坐标表示转换为对数极坐标表示,然后再利用相位相关技术得到缩放和旋转参数进而提出一种能够解决同时存在缩放、旋转和平移变换问题的电子稳像新算法。算法经实验证明,经过旋转和平移补偿后的视频与原始视频相比有明显的改善,稳像效果是令人满意的。在稳像算法的全局运动估计部分,采用了取图像子块求平均策略,在克服局部运动对全局运动参数影响的同时,减少了计算量。运动滤波部分基于自适应均值滤波技术,数据存储量小。采用运算能力强大的专用硬件(如DM642)可以实现实时稳像,在视频侦察系统、无人机等领域有很好的应用前景。

参考文献:

[1] C Morimoto, R Chellappa. Fast electronic digital image

stabilization for off-road navigation [J]. Real-Time Imaging, 1996, (2): 285 - 296.

[2] S B Balakirsky, R Chellappa. Performance characterization of image stabilization algorithms [J]. Real-Time Imaging, 1996, 2(5): 297 - 313.

[3] S Erturk. Digital image stabilization with sub-image phase correlation based global motion estimation [J]. IEEE Trans. Consumer Electronics, 2003, 49(4): 1320 - 1325.

[4] A verbuch A, Keller Y. FFT based image registration [C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2002: 3608 - 3611.

[5] Chen Q, Dfrise M, Deconinck F. Symmetric phase-only matched filtering of Fourier-mellin transform for image registration and recognition [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(12): 1156 - 1168.

[6] Zhong P, Yu Q Y, Jing. Motion estimation and motion compensation based on matching technology of feature point [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2004, 15(1): 73 - 77. (in Chinese)

(上接第54页)

4.2 毛细钢管封装光纤光栅的应变传感特性

光纤光栅的应变传感特性可能会因为封装材料的应变传递原因而改变。本文通过材料力学多功能实验台对毛细管封装光纤光栅的应变传感特性进行了研究。将与封装所用光纤材料相同的裸光纤光栅用改性丙烯酸酯贴在实验台上,改变应力大小,测得波长与应变关系曲线如图3中的FBG1。将毛细钢管封装光纤光栅用改性丙烯酸酯贴在实验台上,改变应力大小,测得波长与应变关系曲线如图3中的FBG2。

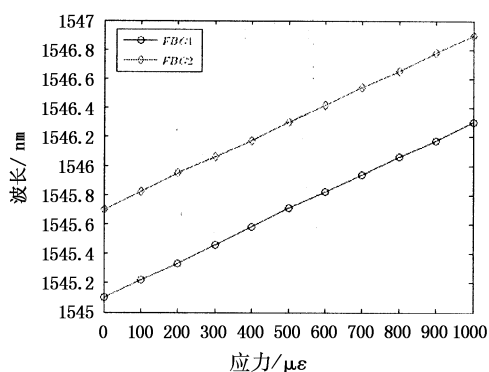


图3 裸光纤光栅及封装后光纤光栅波长与应力变化关系

从应力实验得到的波长与应力变化关系曲线可以看出,毛细钢管封装光纤光栅应变传感的线性度良好,应力灵敏度为 $1.2\text{pm}/\mu\epsilon$,而裸光纤光栅应变

传感的灵敏度为 $1.2\text{pm}/\mu\epsilon$ 。可见毛细钢管封装光纤光栅应变传感灵敏度较裸光纤光栅没有改变。

5 结论

在相同实验条件下,比较裸光纤光栅与毛细钢管封装光纤光栅传感灵敏度,得到结论:文中选择的封装工艺在不改变光纤光栅应变传感灵敏度的同时将其温度灵敏度提高了2.93倍,且重复性良好,为光纤光栅在温度测量领域的应用提供了一个很好的封装方法。

参考文献:

[1] Byoung-ho Lee. Review of the present status of optical fiber sensors [J]. Optical Fiber Technology, 2003, 9: 57 - 79.

[2] Qin Wei, Liao Y B, Zhang Z P, et al. Optical waveguide sensor; principle and technology [M] Beijing: Science Publishing Company, 1998: 217 - 218. (in Chinese)

[3] 张伟刚,周广,梁龙彬,等. 混合聚合物光纤光栅封装元件的温敏实验 [J]. 光子学报, 2001, 30(8): 1003 - 1005.

[4] 王跃,张伟刚,杨翔鹏,等. 光纤布拉格光栅的半金属管封装及挠度实验研究 [J]. 传感技术学报, 2002, 9(3): 203 - 207.

[5] 赵雪峰,田石柱,周智,等. 刚性封装光纤光栅监测混凝土应变实验研究 [J]. 光电子·激光, 2003, 14(2): 171 - 174.