

·光电器件与材料·

一种钛合金基片封装的光纤光栅应变传感器

张 权¹, 丁克勤², 李德桥¹

(1. 中北大学信息与通信工程学院, 山西 太原 030051; 2 中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

摘要:为了提高光纤光栅应变传感器的应变响应灵敏度, 提出了一种基于钛合金基片封装的光纤光栅应变传感器. 根据材料弹性模量的相关理论, 该封装采用钛合金(TC4)作为封装材料; 根据力学传递原理, 该封装采用类似杠铃状的结构设计. 这种封装能够使应变有效地传递到传感器内的光纤光栅上, 从而很好地测量应变. 通过实验得到其应变响应灵敏度、反射波长与应变的相关系数. 实验证明, 采用这种封装设计的传感器能够获得较高的应变灵敏度, 其反射波长和应变具有很好的相关性.

关键词:光纤光栅应变传感器; 应变响应灵敏度; 相关系数

中图分类号: TP212.14

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)03-0033-02

One Fiber Grating Strain Sensor Packed with Titanium Alloy Substrate

ZHANG Quan¹, DING Ke-qin², LI De-qiao¹

(1. North University of China, Communication and Information System, Taiyuan 030051, China;

2. China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: For improving the strain response sensitivity, this article proposes one fiber grating strain sensor based on titanium alloy substrate. The package uses titanium (TC4) as packaging material according to the theory of elastic modulus and uses barbell-like structure according to the transfer principle of mechanics. It obtains the strain response sensitivity and the correlation coefficient of reflection wavelength and strain. Experimental results show that the sensor which adopts this package design can obtain higher strain response sensitivity and better correlation coefficient of reflection wavelength and strain

Key words: fiber grating strain sensor; strain response sensitivity; correlation coefficient

光纤光栅传感器以抗电磁干扰、耐腐蚀、轻巧、灵敏度高、便于复用和组网等方面独特的优点, 在各领域得到了广泛的应用^[1]. FBG(fiber bragg grating 光纤布拉格光栅)是对应变敏感的器件, 可直接来测量应变, 从而间接测量应力. 对于裸光纤布喇格光栅来说, 单位轴向应力所产生的应变是确定的, 所引起的中心波长偏移是一定的, 即应变响应灵敏度是一个常量. 要想测量小的应变, 信号解调精度必须非常高, 若不采用提高灵敏度的措施, 实现起来就非常困难^[1-5]. 从封装材料以及封装工艺上着手改善

光纤光栅应变传感性能具有重要的意义. 文中提出一种基于钛合金基片封装的光纤光栅应变传感器, 通过实验研究其应变传感性能, 能够获得较好的应变响应灵敏度, 其反射光波长和应变具有很好的相关性.

1 光纤布喇格光栅应变响应原理

当宽带光在 FBG 中传输时产生模式耦合, 满足 Bragg 条件的反射光波长为^[6-7]: $\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda$ (1)

收稿日期: 2010-05-26

基金项目: 中国特种设备检测研究院基金资助项目

作者简介: 张权(1984-), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 主要研究方向为健康监测系统的光纤光栅应变传感器.

式中, n_{eff} 为导模的有效折射率; Δ 为光栅周期.

当光纤布喇格光栅受到外力作用时, 由于弹光效应及光栅周期引起光纤布喇格光栅反射波中心波长 λ_B 的偏移为

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

在轴向应力作用下, 布喇格光栅反射波中心波长相对偏移量与轴向应变之间的关系为

$$\frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B} = K_\epsilon \epsilon = (1 - p_e) \epsilon \quad (3)$$

式中, p_e 为光纤的有效弹光系数; ϵ 为光纤光栅的轴向应变. 应变灵敏度 $K_\epsilon = 1 - p_e$, $\mu\epsilon$ 表示微应变.

2 光纤光栅应变传感器的封装设计及传感特性实验分析

传感器的钛合金封装工艺如图 1 所示, 这种结构设计更容易使待测物的应变有效地传递到光纤光栅上. 将 FBG 用环氧树脂胶封装在刻有细槽的钛合金片内部, 钛合金的编号为 TC4.

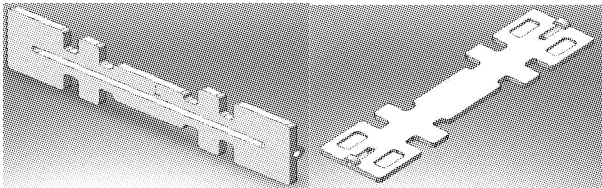


图 1 钛合金基片

实验中, 将封装好的 FBG 传感器(中心波长 λ_B 为 1 549.99 nm) 安装于门式起重机梁的下部, 同时在附近的等强度位置布设一裸光纤光栅 (λ_B 为 1 543.90 nm) 和一高精度的应变计. 通过实验平台控制使传感器所在位置应变发生相应的变化, 实验装置如图 2 所示.

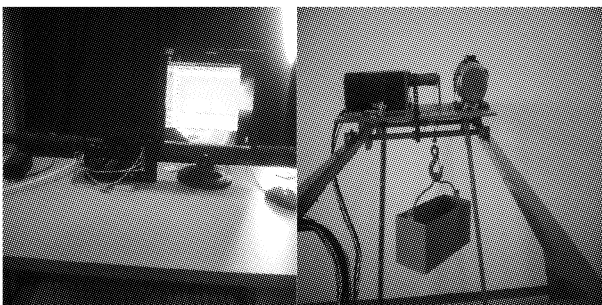


图 2 实验装置图

通过软件读取某些时刻反射波长值以及此时应变计的值, 经过线性拟合得到的波长应变曲线如图 3 所示

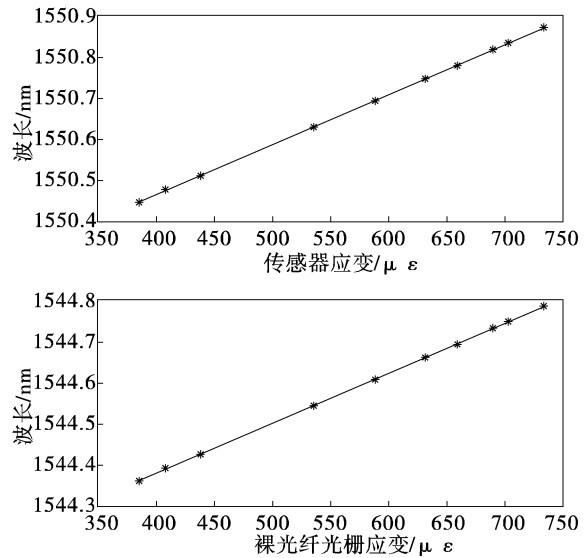


图 3 波长和应变拟合图

用 matlab 拟合直线的斜率为 1.211 2 $\text{pm}/\mu\epsilon$, 由式(3)得到传感器应变响应灵敏度 K_ϵ 为 $7.814 \times 10^{-7}/\mu\epsilon$, 反射波长和应变的相关系数为 0.999 6.

通过实验结果分析, 这种封装设计的传感器可以得到较好的应变响应灵敏度, 反射波长和应变有很好的相关性, 接近于裸光纤光栅的相关系数 1.000 0.

3 光纤光栅应变传感器的应用

这种传感器可用于大型起重机械、长输管道、锅炉压力容器、大型游乐设施等特种设备的健康监测系统. 下面给出用于油气管道的健康检测系统方案, 如图 4.

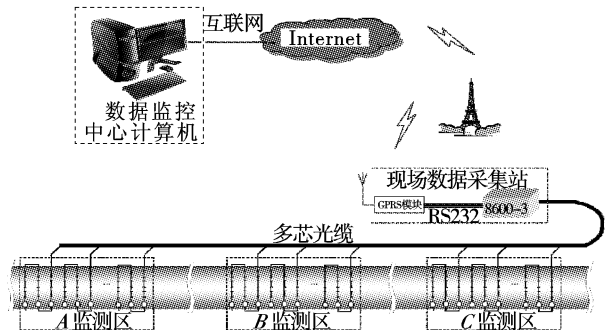


图 4 油气管道健康监测方案图

具体监测方式如下: 将光纤光栅应变传感器和温度传感器可通过串联方式接入传输用多芯光缆

(下转第 49 页)

数量,如高速比较器、宽带运放、精密电阻等,使得制作加工过程变得简单方便;此外极大地减少了模拟部件,尽可能多地采用成熟的数字电路模块(如 $\Sigma-\Delta$ ADC结构),使得CMOS化更加容易,从而尽可能地提升器件性能。

3 结 论

不同技术相互渗透,扬长避短,开发出适合各种应用场合,能满足不同需求的A/D转换器,将是模拟/数字转换技术的未来发展趋势;高性能、低功耗、结构简单的新型A/D转换器将是今后数据转换器发展的重点。

参考文献

- [1] 史艳琼.常见的几种A/D转换技术的分析[J].淮南师范学院学报,2005,3(7):33-35.
- [2] 房慧龙.A-D转换技术及其发展[J].中国西部科技,2007:81-83.
- [3] 黄伟,严利人,周卫.高性能及新颖性A/D转换器技术综述[J].微电子学,2008,38(6):805-810.
- [4] 陈树毅,马琪.A/D转换技术及其发展趋势[J].杭州电子科技大学学报,2006,26(6):57-61.
- [5] 阎石.数字电子技术基础[M].4版.北京:高等教育出版社,1998.

(上接第34页)

(16芯)中,其中,每一芯串联3个断面的传感器(包括9支应变计、3支温度计);通过传输光缆将光栅的波长信息传给光纤光栅解调仪,光纤光栅解调仪将采集到的光信号转变为电信号传输给GSM外置解调仪通过无线网络发送给数据中心,通过监测软件进行数据处理,对现场的管道受力情况进行实时在线监测。

4 结 论

选择钛合金作为传感器封装基底材料并采用这种类似杠铃的结构设计,能够使应变有效地传递到传感器,获得较好的应变响应灵敏度.在这种封装设计下,光纤光栅应变传感器的反射波长和应变具有很好的相关性.因此,这种光纤光栅应变传感器的封装设计在实际中具有很好的应用前景。

参考文献

- [1] 傅海威.光纤布喇格光栅应力增敏理论研究[J].激光

- 技术,2005,29(2).
- [2] SPIRIN V V, SHLYAGIN M G, MIRIDONOV S V, et al. Fiber Bragg grating for petroleum hydrocarbon leak detection [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2000, 32: 497-503.
- [3] MAASKANTR, ALAVIE T, MEASURES RM, et al. Fiber-optic Bragg grating sensors for bridge monitoring [J]. Cement and Concrete Composites, 1997, 19(1): 21-33.
- [4] ECKEW, LATKA L, WILLSCH R, et al. Optical fiber Bragg grating strain sensor network for X-38 spacecraft health monitoring [J]. Proc SPIE, 2000, 4185: 888-891.
- [5] 李宏男,任亮.结构健康监测光纤光栅传感技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2008:59-145.
- [6] 饶云江.光纤光栅传感原理及应用[M].北京:科学出版社,2006:161-164.
- [7] 吴家龙.弹性力学[M].上海:同济大学出版社,1993:175-184.

- [6] 程闪峰,张洁.低功耗33MHz采样频率10比特流水线结构的模数转换器[J].复旦大学学报(自然科学版),2001,40(3):335-341.
- [7] 毕查德.拉扎维.模拟CMOS集成电路设计[M].西安:西安交通大学出版社,2003:330-359.
- [8] 陈震初.发展我国数据转换电路的几点建议[J].微电子学,1998,28(4):233-235.
- [9] 高天光.模数转换器应用技术[M].北京:科学出版社,2001.
- [10] 李素芬,李刚,孙景发.模数转换技术及其发展[J].电子技术应用,2002,28(4):72-75.
- [11] Lewis S H. 10b 20MS/s analog-to-digital converter[J]. IEEE Solid-Stage Circuits, 2005, 7(12): 351-358.
- [12] Conroy C S G, Cline DW, Gray Paul R. An 8-bit 85MS/s parallel pipeline A/D converter in 1-mm CMOS[J]. IEEE Solid-Stage Circuits, 1993, 28(4): 447-454.
- [13] Behzad Razavi, Wooley Bruce A. A 12-b 5-Msample/s Two-Step CMOS A/D Converter[J]. IEEE Solid-Stage Circuits, 1992, 27(12): 1667-1678.
- [14] Nuzzo P, De Bernardinis F. Efficient Calibration through Statistical Behavioral Modeling of a High-Speed Low-Power ADC [J]. Microelectronics and Electronics, 2006, 50(16): 297-300.