

文章编号: 0258-7025(2008)12-1959-03

一种新型光纤光栅温度补偿装置

曹彬 欧攀 贾明 贾豫东 赵利娜 张春熹

(北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 北京 100083)

摘要 光纤布拉格光栅(FBG)中心反射波长随温度变化会发生漂移,影响光纤激光器输出波长的稳定性和光纤光栅传感器精度。为消除光纤光栅中心波长温漂特性,设计了一种新型光纤光栅温度补偿装置,详细阐述了其工作原理,并理论推导了点胶位置的计算公式。这种新结构易调整光纤光栅粘结位置,从而可调整光纤光栅温度补偿有效长度。为验证结构设计和理论分析的正确性,搭建了实验系统,并对封装前后光纤光栅中心反射波长温度漂移率进行了测试。测试结果表明,在 $-30\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,封装前光纤光栅中心反射波长的温度漂移率为 $0.0095\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$,封装后中心反射波长温度漂移率仅为 $0.0002\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$,温度稳定性提高了约40倍。

关键词 光栅;光纤布拉格光栅;温度补偿;结构封装;光纤

中图分类号 TN 253

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL20083512.1959

An Innovative Temperature-Compensate Package for Fiber Bragg Grating

Cao Bin Ou Pan Jia Ming Jia Yudong Zhao Lina Zhang Chunxi

(School of Instrument Science and Opto-Electronics Engineering,

Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract The fiber Bragg grating (FBG) center wavelength shifts change with the temperature, which will affect the wavelength stabilization of fiber laser. An innovative temperature-compensate package for FBG was introduced to compensate temperature changes. The principle of the package was introduced in detail, and the bonding position of FBG was deduced in this paper. Using this new package, the bonding position of FBG could be adjusted, so that the effective length of the temperature-compensated of the FBG could be adjusted easily. A system of data acquisition was established. With and without the new package, the relationships between the reflection wavelength of FBG and temperature were tested. In the range of $-30\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, the sensitivity of the Bragg wavelength to the temperature reaches $0.0002\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ from $0.0095\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$, which is reduced more than 40 times.

Key words gratings; fiber Bragg grating; temperature compensations; packaging structure; fiber

1 引言

光纤光栅具有光纤兼容性好、插入损耗低、反射率高和成本低等优点,已广泛用于光纤激光器^[1,2]及光纤光栅传感器中^[3,4]。然而,光纤布拉格光栅(FBG)中心反射波长会随着温度变化而漂移,影响光纤激光器输出波长的稳定性和光纤光栅传感器的精度,因此,解决光纤光栅的温漂问题十分重要。近几年,国内外许多学者提出了光纤光栅温度补偿方法^[5~10],主要采用设计适当的结构封装^[5~7]和利用负热膨胀材料封装^[8,9]。文献[7]中采用了两种不

同热膨胀系数的材料进行组合可实现光纤布拉格光栅的温度补偿,这种结构使用之前必须精确计算出光纤光栅粘贴位置才能达到比较好的补偿效果,由于结构设计和计算误差,确定光栅粘贴位置比较困难,且不易调整。文献[8,9]采用负热膨胀系数材料对光纤光栅进行温度补偿,但目前国内负热膨胀系数材料研制还不成熟且进口价格较高。文献[10]利用磁场和磁致伸缩型材料对光纤光栅进行温度补偿,设计复杂且补偿效果比较低。本文设计了一种新的光纤光栅温度补偿装置,这种新结构易对光纤

收稿日期:2008-03-03;收到修改稿日期:2008-04-14

作者简介:曹彬(1982—),男,河北人,博士研究生,主要从事激光技术、光纤传感器等方面的研究。

E-mail: binbincao@sohu.com

导师简介:张春熹(1965—),男,湖南人,教授,博士生导师,主要从事光纤传感器技术、微弱信号检测与处理技术、光纤陀螺及其导航系统方面的研究。E-mail: zchunxi@hotmail.com

光栅的粘结位置进行调整,从而调整光纤光栅温度补偿的有效长度。通过调整光纤光栅到最佳粘结位置,在 $-30\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内光纤光栅中心反射波长仅漂移 0.02 nm ,温度灵敏度约为补偿前的 $1/40$ 。

2 补偿原理

图1为光纤光栅温度补偿结构示意图。温度补偿机构包括相互连接且膨胀系数不同的第一膨胀组件与第二膨胀组件。第一膨胀组件材料选用具有较高热膨胀系数材料;第二膨胀组件具有长方体结构,选用低膨胀系数材料。为保证光栅封装后仍可调节光纤温度补偿有效长度,设计了光纤光栅封装有效长度调节机构。光纤光栅封装有效长度包括光栅有效补偿长度 L_f 和金属有效补偿长度 L_{metal} 。浮动调节块安装在第一膨胀组件上且为活动连接,锁紧螺钉穿过滑槽与浮动调节块连接,将浮动调节块固定在工作位置。光纤绕过浮动调节块并与浮动调节块的接触区域构成浮动连接点,调节浮动调节块在滑槽中的位置改变浮动连接点的位置,并同时调节一侧固定块可以调节金属有效补偿长度 L_{metal} 和 L_f 。浮动调节块的形状为圆柱体,同时为了增加接触面积,减小光纤的磨损,在接触区域开有V型槽。光纤光栅两端分别固定在固定块上。光纤利用胶粘贴在固定块上,同时为提高胶粘牢固性在固定块上设有开槽,并将光纤粘于开槽中。第二膨胀组件的一侧设有应力调节装置用来调节施加在光纤光栅上的预应力,并调节光纤光栅中心反射波长达到所需波长 λ_B 。

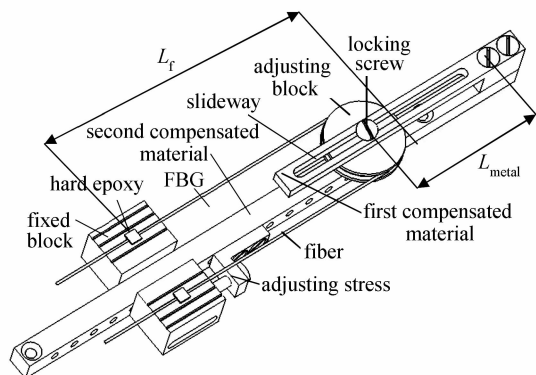


图1 光纤光栅温度补偿结构图

Fig. 1 Temperature-compensated package of FBG

温度改变产生的光纤光栅中心反射波长漂移量为

$$\Delta\lambda_1 = (\alpha_f + \xi)\Delta T\lambda_B, \quad (1)$$

式中 α_f 为光纤材料热膨胀系数; ξ 为光纤物质的热

光系数; ΔT 为温度变化量。

此外,施加在光纤光栅上的应力也会造成光纤光栅中心反射波长的改变

$$\Delta\lambda_2 = (1 - \nu_e)\epsilon\lambda_B, \quad (2)$$

式中 ν_e 为弹光系数, ϵ 为施加在光纤光栅纤心方向的应力。

为达到温度补偿效果,可令

$$\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2 = 0, \quad (3)$$

当温度变化时,由图1可以看出

$$\epsilon = \frac{2\Delta L_f}{L_f}, \quad (4)$$

式中 ΔL_f 为光栅固定有效长度 L_f 的改变量。第一膨胀组件的形变量为

$$\Delta L_f = \alpha_{\text{metal}} L_{\text{metal}} \Delta T. \quad (5)$$

式中 α_{metal} 为第一膨胀组件的热膨胀系数。

联立式可得

$$\frac{L_{\text{metal}}}{L_f} = \frac{\alpha_f + \xi}{2\alpha_{\text{metal}}(1 - \nu_e)}, \quad (6)$$

通过(6)式可知,只要调整好 L_{metal} 和 L_f 之间关系,就可精确补偿由温度变化引起的光纤光栅中心反射波长漂移。

3 实验结果及分析

实验原理图如图2所示,宽谱光源光谱范围为 $1520\sim 1570\text{ nm}$,光纤光栅中心反射波长为 1530 nm ;光谱仪为Agilent86142B,分辨率为 0.06 nm ; 2×2 耦合器的其中一端置入折射率匹配液中防止产生自激振荡,耦合器耦合之比为 $50:50$;第一膨胀组件材料为硬铝,膨胀系数 α_{metal} 为 $23.6\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;第二膨胀组件材料为高温超低膨胀合金,膨胀系数为 $0.2\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。对未经过封装的光纤光栅进行温度测试可得 $\alpha_f + \xi = 5.88\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。代入(6)式计算可得 $L_{\text{metal}}/L_f = 0.16$,实验中取 L_f

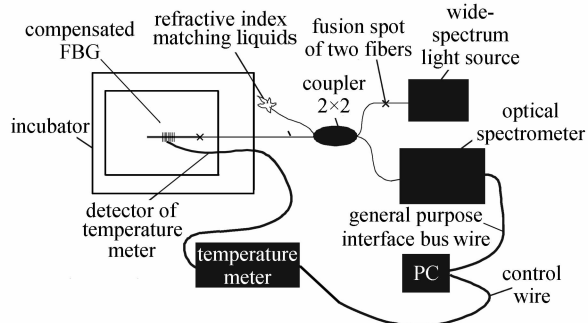


图2 实验原理图(粗线为电气连接,细线为光纤连接)

Fig. 2 Schematic of the experiment. The bold lines are electric lines and the thin lines are optical fibers

= 100 mm, $L_{\text{metal}} = 16$ mm, 调整浮动调节块到工作位置。

实验中光谱仪和温度计分别通过通用接口总线 (GPIB) 和串口线同 PC 机相联, 同时采集光纤光栅中心波长光谱和温度, 减小误差。把 L_f 和 L_{metal} 固定到相应位置, 并通过应力调节装置细微调整位置误差, 经过反复实验找到光纤光栅温度补偿的最佳位置。

图 3 为 FBG 封装前后在 10 °C 和 70 °C 时的反射谱。图 4 为封装前后光纤光栅中心反射波长随温度的变化对比, 封装前当温度从 -30 °C 变化到 70 °C 时, 波长从 1528.75 nm 变化到 1529.70 nm, 平均约为 0.0095 nm/°C。封装时对光纤光栅施加一定预应力, 温度从 -30 °C 变化到 70 °C 时, 波长从 1530.40 nm 变化到 1530.42 nm, 平均为 0.0002 nm/°C, 且封装后光纤光栅中心反射波长随温度变化灵敏度下降了 40 倍, 具有良好的温度补偿效果, 且封装结构对光纤光栅输出光谱形状没有影响。

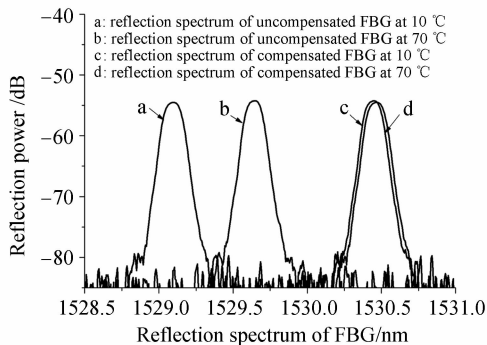


图 3 补偿前后 FBG 的反射谱

Fig. 3 Variations of reflectance spectrum versus temperature for uncompensated and compensated fiber Bragg gratings

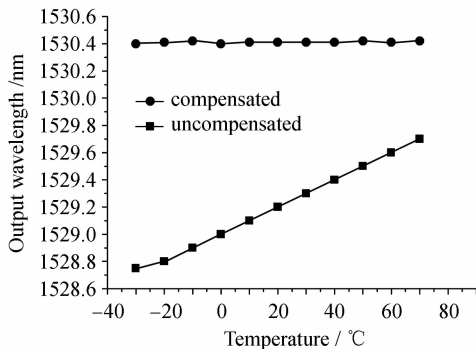


图 4 补偿前后 FBG 中心波长的温度特性曲线

Fig. 4 Graph illustrating the variations of wavelength versus temperature for uncompensated and compensated fiber Bragg gratings

4 结 论

设计了一种新的光纤光栅封装装置, 这种结构的优点在于易调整光纤光栅同封装结构的粘结点, 从而可以方便地调整光纤光栅温度补偿有效长度, 通过反复实验可精确补偿光纤光栅的温漂特性, 同时这种温度补偿结构占用体积小、结构简单、易于实现。阐述了新型光栅温度补偿结构的工作原理, 并进行了理论与实验研究。实验结果表明温度从 -30 °C 变化到 70 °C 时, 波长变化 0.02 nm, 平均为 0.0002 nm/°C。封装后光纤光栅中心反射波长随温度变化灵敏度下降约 40 倍, 具有良好的温度补偿效果。同时该结构还可以进一步改进, 如选择温度膨胀系数更精确的材料, 利用压电陶瓷作为应力调节装置实现自动闭环调节等, 以获得更好的补偿效果。

参 考 文 献

- Zhang Xin, Chen Wei, Liu Yu *et al.*. Single longitudinal mode fiber laser with multiple ring cavities and its frequency stabilization [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(1):50~54
张欣, 陈伟, 刘宇等. 单纵模多环形腔掺铒光纤激光器及其稳定性[J]. *中国激光*, 2007, **34**(1):50~54
- Wu Bo, Liu Yongzhi, Zhang Qianshu *et al.*. High efficient narrow linewidth fiber laser based on fiber grating Fabry-Perot cavity [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(3):350~353
伍波, 刘永智, 张谦述等. 基于光纤光栅法布里-珀罗腔的高效窄线宽光纤激光器[J]. *中国激光*, 2007, **34**(3):350~353
- Li Hongnan, Zhou Guangdong, Ren Liang. Strain transfer model of fiber sensors under non-axial stress [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5):787~793
李宏南, 周广东, 任亮. 非轴向力下埋入式光纤传感器应变传递分析[J]. *光学学报*, 2007, **27**(5):787~793
- Wentao Zhang, Lihui Liu, Fang Li *et al.*. Fiber Bragg grating pressure sensor with enhanced sensitivity [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(9):507~508
- G. W. Yoffe, Peter A. Krug, F. Ouellette *et al.*. Passive temperature-compensating package for optical fiber gratings [J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(30):6859~6861
- Huang Shan, Zhao Huafeng, Yu Tao *et al.*. Bridge structure for FBG temperature compensation [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2003, **24**(6):439~440
黄山, 赵华凤, 俞涛等. 光纤光栅温度补偿桥式结构[J]. *半导体光电*, 2003, **24**(6):439~440
- Yu Gang, He Sailing. A new package technique for fiber gratings [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(3):291~293
俞钢, 何赛灵. 一种新型的光纤光栅封装装置[J]. *光子学报*, 2004, **33**(3):291~293
- T. Iwashima, A. Inoue, M. Shifgematsu *et al.*. Temperature compensation technique for fiber Bragg gratings using liquid crystalline polymer tubes [J]. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(5):417~419
- Huang Yonglin, Li Jie, Kai Guiyun *et al.*. Temperature compensation for fiber Bragg gratings [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(6):677~679
黄勇林, 李杰, 桂桂云等. 光纤光栅的温度补偿[J]. *光学学报*, 2003, **23**(6):677~679
- Yi Benshun, Hu Ruimin, B. C. B. Chu *et al.*. Temperature compensation techniques for fiber Bragg gratings tuned by magnetostrictive transducers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(12):1085~1088
易本顺, 胡瑞敏, 朱子碧等. 磁致伸缩调制型光纤 Bragg 光栅的温度补偿方法[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(12):1085~1088