

一种新型的光纤光栅封装装置*

俞 钢 何赛灵

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 浙江大学光及电磁波研究中心, 浙江大学光通信交叉中心, 杭州 310027)

摘 要 介绍了一种新型剪刀形封装装置, 并利用其进行了光纤布拉格光栅的温度补偿实验. 这种封装结构保持了光纤光栅体积小等优点, 同时无需给光纤光栅施加预应力; 封装后不产生啁啾, 并可与压电陶瓷结合, 扩展光纤光栅布拉格波长的调谐范围; 应变量的调节只跟金属丝有关, 与支架的材料无关, 从而大大简化了设计. 在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 温区, 温度灵敏度降低10倍以上, 达到 $0.001 \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$, 符合光纤通信要求.

关键词 光纤光栅; 封装; 温度补偿; 光纤

中图分类号 TN929.11 **文献标识码**

0 引言

光纤光栅以其特有的高波长选择性能、易与光纤耦合、插入损耗低、结构简单、体积小等优点, 其应用范围不断扩展. 但由于光纤光栅的中心反射波长会随环境温度的波动而漂移, 而且当光栅超长时, 其反射谱受温度的影响也越大, 由此引起的不精确将会导致系统性能的劣化, 阻碍了光纤光栅器件的实用化进程^[1]. 因此需要对光纤光栅的环境温度进行控制, 也就是对其进行温度补偿. 光纤光栅的温度补偿方法具体可以分为两类^[2]: 其一, 有源方式, 即由外加电路控制光栅器件所在的工作环境温度; 其二, 无源方式, 即以适当的结构与材料对光纤光栅进行封装, 通过封装材料的长度变化改变光纤光栅所受应力而使之抵消由折射率变化产生的影响, 从而达到温度补偿的效果^[2-4].

我们中心自行研制了一种剪刀型结构的光纤光栅封装装置, 使光纤光栅能够同时进行温度补偿和调谐作用.

1 基本原理

图1是封装装置的结构示意图, 包括一根光纤光栅6, 一根金属丝2, 一个与金属丝2一起水平移动的螺杆1, 一个基座4及两个V型支架5和7. 两个V型支架5, 7通过中间铰链连接起来形成剪刀型结构, 然后将光纤光栅6通过环氧树脂粘合在两个V型支架5, 7的左侧内侧面间. 接着将金属丝2一端也通过环氧树脂粘合在一个支架5右侧下端, 另一个V型支架7的短臂上装有调节螺杆1, 金属

A

丝的另一端通过环氧树脂粘合在螺杆1上. 将V型支架5的右下端与基座4通过固定键或环氧树脂粘合, 左下端自由伸缩, 粘有光纤光栅6那端的基座4上开有缺口. 先调节螺杆1, 使光纤光栅6达到所需的波长 λ_B , 当温度升高后, 光纤芯的折射率和光纤光栅的周期都将变大, 因而光纤光栅的调谐波长将向长波方向移动, 而金属丝2由于热膨胀系数比光纤大, 其膨胀量也比光纤大, 通过中间铰链连接起来的两个V型支架5, 7, 使光纤光栅6所受的应力变小, 从而补偿了光纤光栅的波长漂移, 此装置已在申请专利.

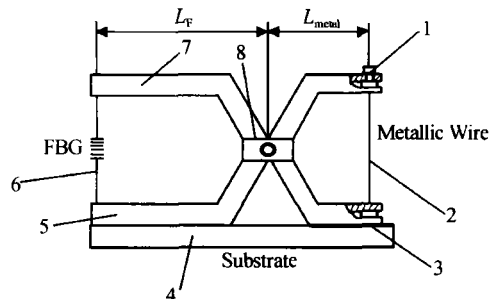


图1 FBG温度补偿结构图

Fig. 1 Structure of a FBG thermal compensating device

光纤光栅的Bragg反射波长 λ_B 可以表示为 $\lambda_B = 2 n_{\text{eff}} \Lambda$, 其中 n_{eff} 为光纤光栅传导模的有效折射率, 数值近似于纤芯材料的折射率; Λ 为光栅周期, n_{eff} 和 Λ 受外界环境影响而改变; 当温度升高时, 由于材料的热光效应, 其折射率会增加; 由于热胀冷缩效应, 光栅周期也会增长, 从而使光栅向长波方向漂移.

光栅波长漂移幅度与温度的起伏幅度成线性关系^[5]

$$(\Delta\lambda_B/\lambda_B)_{\text{Free}} = (a_f + \xi) \Delta T \quad (1)$$

式中 $\Delta\lambda_B$ 表示温度起伏造成的 λ_B 的漂移幅度; a_f 为光纤材料的热胀系数, ξ 为热光系数. 对于典型石英单模光纤而言, 热光系数为 $7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, 石英的热胀系数为 $5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ 左右^[6]; 对于 λ_B 为1550 nm

*浙江省科技计划重大项目(001101027)

Tel: 0571-87953117 Email: yu_gang@coer.zju.edu.cn

收稿日期: 2003-04-16

的光栅,由式(1)计算得温度敏感性为 0.011 nm/K 左右,确切值与光纤类型有关,ΔT 为温度变化量.

光纤光栅还具有应变特性,即光纤光栅的中心波长随应力的变化特性.这种变化的机理一方面是由于光栅介质受应力作用而引起折射率的变化,这种现象称为弹光效应;另一方面介质受应力作用其微观质点将发生位移,亦即改变了光栅的周期,总的的作用结果,使光栅的中心波长漂移.漂移幅度与应变也呈线性关系^[7]

$$(\Delta\lambda_B/\lambda_B)_{\text{axial-strain}} = (1 - P_e)\Delta\varepsilon_{\text{axis}} \quad (2)$$

式(2)中 Δλ_B 表示应变引起的 λ_B 的漂移幅度;P_e 是光弹性常数,Δε_{axis} 为应变幅度.对于典型的石英单模光纤,P_e = 0.22,当 λ_B = 1550 nm 时,光栅的应变敏感性为 1.28 nm/N.

为达到温度补偿效果,应使 (Δλ_B/λ_B)_{Free} + (Δλ_B/λ_B)_{axial-strain} = 0,或者写成}

$$(1 - P_e)\Delta\varepsilon_{\text{axis}} + (\alpha_f + \xi)\Delta T = 0 \quad (3)$$

当温度变化时,由图 1 可以看出本封装装置中应变幅度关系为

$$L_f\Delta\varepsilon_{\text{axis}} = L_{\text{metal}}\alpha_{\text{metal}}\Delta T \quad (4)$$

联立式(3)和(4)可以得到

$$\frac{L_{\text{metal}}}{L_f} = \frac{1}{\alpha_{\text{metal}}} \frac{\xi + \alpha_f}{1 - P_e} \quad (5)$$

所以只要调节 L_{metal} 和 L_f 的比值,使得满足式(5),我们就可以使得光栅的温度漂移为零.

2 实验和结果

实验采用的 FBG 是由上海紫珊光电技术有限公司生产,3 dB 中心波长 1550.105 nm,3 dB 带宽 0.159 nm,反射率 95%,光栅长度 2 mm,光谱仪为 Agilent 86142B,支架 5,7 的材料是 45 号钢,金属丝为铝丝.经过计算 (α_f + ξ) = 8.85 × 10⁻⁶ (1/°C), (1 - P_e) = 0.78, α_{metal} = 24 × 10⁻⁶ (1/°C), L_f = 40 mm, L_{metal} = 18.8 mm.

图 2 为封装前后的布喇格波长变化对比,封装前,当温度从 -30°C 升到 80°C,波长从 1549.605 nm 变化到 1550.761 nm,平均 0.011 nm/°C;封装后,波长在升温前后变化 0.11 nm,平均 0.001 nm/°C,灵敏度降低了 10 倍左右,达到了良好的温度补偿效应,符合光纤通信要求.但在 40°C 到 50°C 温区有一定的波动,有可能是支架不够灵活造成的,如果在材料和工艺上再进一步提高,相信我们可以得到更高的精度效果.这个封装装置可以自我调节,使 Bragg 波长不发生漂移,同时,也可以通过调节螺丝进行人工调谐,选择 Bragg 波长;通过调节螺丝,无需在光栅封装前施加一定应力以达到所要求的 Bragg 波

长,舍弃了光栅的预应力系统,给加工制作提供了很大便利.在基座加一个凹槽,使光纤自由地通过底座,使光纤光栅本身悬空设置,可保证在光纤光栅被拉伸时光纤光栅内部应力均匀,不会产生光栅啁啾.同时,还可以在金属丝一侧增加压电陶瓷,从而增大调谐范围,如图 3. 基本的工艺流程如图 4.

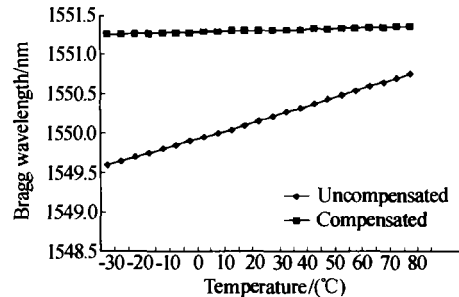


图 2 封装前后布喇格波长变化

Fig. 2 Variation in Bragg wavelength with temperature in the temperature-compensating package

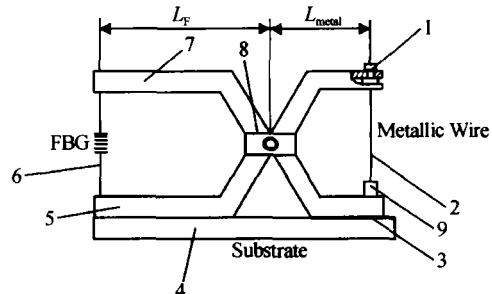


图 3 压电陶瓷式 FBG 温度补偿结构图

Fig. 3 Structure of a FBG thermal compensating device with piezoelectric ceramic

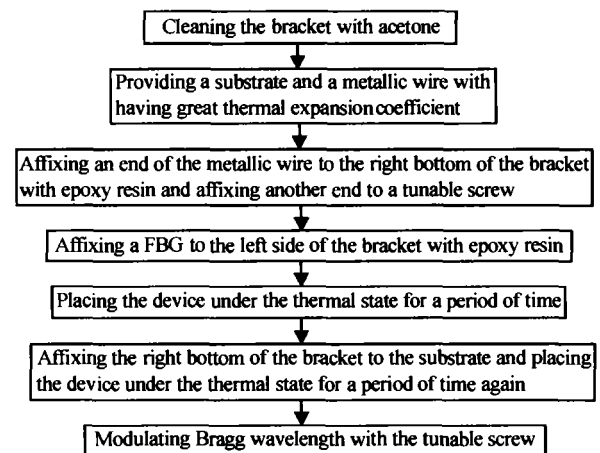


图 4 封装的基本工艺流程

Fig. 4 Basic manufacturing process for package

3 结论

文介绍了一种无需预应力的剪刀型支架封装装置.在 -30°C ~ 80°C 温区内,温度灵敏度降低 10 倍以上,达到 0.001 nm/°C,符合光纤通信要求,由于应变量的调节只跟金属丝有关,而与支架的材料无关,所以大大简化了设计结构简单;同时可以使光纤光栅本身悬空设置,可保证在光纤光栅被拉伸时光

纤光栅内部应力均匀,不会产生光栅啁啾.但是,这种温度补偿封装的光纤光栅的长期可靠性问题(材料蠕变效应)有待进一步研究.在装置中,我们利用的是拉应力,而利用弯曲应力、压应力等进行封装、设计新结构、探索新的封装材料的研究仍在继续进行.

感谢符建博士的讨论和帮助.

参考文献

- 1 秦子雄,杜卫冲,廖常俊,等. 光纤光栅技术的进展及色散补偿. 半导体光电,1998,19(3):150~166
Qin Z X, Du W C, Liao C J, et al. *Semiconductor Optoelectronics*, 1998,19(3):150~166
- 2 唐仁杰. 光纤光栅的温度补偿技术. 光纤通信技术,1997,10(5):32~35
Tang R J. *Optical Communications Technology*, 1997, 10(5):32~35
- 3 Morey, Glomb W W, Walter L. Incorporated Bragg filter temperature compensated optical waveguide device. US Patent, G02b, 5042898
- 4 Lemaire, Shevchuk P J, John G. Fiber grating package. US Patent, G02b, 5841920
- 5 蒋英,宠翠珠,陈根祥,等. 光纤光栅 Bragg 波长随温度和应力的变化特性及其补偿. 光通信研究,1999,(1):55~57
Jiang Y, Pang C Z, Cheng G X, et al. *Study on Optical Communications*, 1999,(1):55~57
- 6 钱颖,黄石峰,柏葆华,等. 光纤光栅封装技术. 长春邮电学院学报,2002,18(2):27~31
Qian Y, Huang S F, Bai B H, et al. *Journal of Changchun Post and Telecommunication Institute*,2002,18(2):27~31
- 7 Lo YuLung, Kuo ChihPing. Packaging a fiber Bragg grating without preloading in a simple athermal bimaterial device. *IEEE Transactions on Advanced Packaging*,2002,1(25):50~54

A New Package Technique for Fiber Gratings

Yu Gang ,He Sailing

State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Centre for Optical and Electromagnetic Research, Joint Laboratory of Optical Communications of Zhejiang University, Hangzhou 310027

Received date:2003-04-16

Abstract A forficiform packaging of fiber gratings is introduced. The new packaging method keeps the compact form of a fiber grating and does not require any pre-loading stress. In the range of -30°C to 80°C , the sensitivity of the Bragg wavelength to the temperature is reduced more than 10 times and reaches $0.001\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$. The range of tuning for the Bragg wavelength can be expanded by adding a piece of piezoelectric ceramic.

Keywords Fiber Bragg grating; Packaging; Temperature compensations; Optical fibers



Yu Gang was born in 1977. He received the Bachelor degree at Department of Energy Engineering, Zhejiang University, in 1999. Currently he is pursuing his Master degree and his research activities are in packaging, fabrications of FBG and optical network.