

光纤光栅的双向温度/波长调谐技术研究*

张 文 陈伟民** 高 庆 张 洁 夏 哲

(重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘 要 为了对光纤布喇格光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)的中心反射波长进行双向调谐,提出了采用半导体致冷器、热敏电阻配合控制电路对 FBG 的工作温度进行双向精确控制实现温度/波长调谐的方法,讨论了温度/波长调谐的实现技术,并研制了 FBG 双向温度调谐器样品. 在 0℃、20℃、40℃环境温度条件下对调谐器进行了范围为-20℃~60℃、步进为 10℃的温度扫描测试. 实验结果表明:FBG 调谐器的中心反射波长与设定的温度有较好的线性关系,除波长外其它光栅特性基本不随调谐温度改变;调谐装置准确度优于 0.05 nm,且受环境温度变化的影响较小.

关键词 光纤布喇格光栅;双向温度调谐;组件化封装

中图分类号 TN253 **文献标识码** A

0 引言

作为波长选择器件,光纤布喇格光栅在光纤通信与光纤传感的许多领域内都有十分重要的应用,如光纤激光器^[1]、光栅分布式传感器、可调谐滤波器、波分复用网络滤波器等. FBG 的波长调谐技术是这些应用领域的关键问题,通过施加轴向应力或改变 FBG 的工作温度,均能够在一定范围内对 FBG 的中心波长进行调谐. 常用的调谐方法有机械式应力调谐和利用电阻丝或电阻膜加热 FBG 改变光栅特性的热调谐等. 前者准确度较高,但是需要附加精密的机械机构,同时也需要采取措施克服环境温度变化对系统的影响,装置结构复杂^[2];后者加工方便,简单易行,国外 Rogers J A 等人、国内南开大学等单位做过相关的研究工作. 但是热调谐方法准确度较低,且易受环境温度的影响^[3~5]. 同时,这两种方法均只能完成 FBG 长波方向的单向调谐. 使用通用的半导体光源管壳组件封装 FBG,并利用组件中的致冷器、热敏电阻配合外围电路对 FBG 的工作温度进行双向精确控制,是一种较新颖的温度/波长调谐技术,相对于传统的调谐技术,最大的优点在于能够实现 FBG 的中心波长的双向调谐,且结构简单,受环境温度影响小,有望得到较广泛的应用^[6].

1 温度/波长调谐原理

均匀光纤布喇格光栅的中心反射波长 λ_B 可表示为

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

式中 Λ 为光栅的周期, n_{eff} 为光纤的有效折射率. 温度和应力变化均能导致反射波长的变化,即光栅对温度和应力都是敏感的. 不考虑应力对 FBG 的影响,温度变化既引起光栅周期的变化,又引起光纤有效折射率的变化. 由式(1)对温度 T 求导,可得^[7]

$$d\lambda_B = 2\left(\Lambda \frac{dn_{\text{eff}}}{dT} + n_{\text{eff}} \frac{d\Lambda}{dT}\right)dT \quad (2)$$

用式(1)去除式(2),有

$$\frac{d\lambda_B}{\lambda_B} = \left(\frac{1}{n_{\text{eff}}} \frac{dn_{\text{eff}}}{dT} + \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT}\right)dT \quad (3)$$

令 $\frac{dn_{\text{eff}}}{dT} = \xi$, 即为热光系数; $\frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT} = \alpha$, 即为热膨胀系数,令温度灵敏度系数 K_T 为 $K_T = \alpha + \frac{1}{n_{\text{eff}}}\xi$, 则由式

(3)可得

$$\frac{d\lambda_B}{\lambda_B} = K_T dT \quad (4)$$

由式(4)可知,若存在 FBG 温度变化 dT ,则对应中心反射波长变化 $d\lambda_B$,且两者具有线性关系. 如能精确控制 FBG 的工作温度并在一定范围内进行温度扫描,则会引起 FBG 中心反射波长的连续变化,从而达到温度/波长双向调谐的目的.

2 双向温度/波长调谐实现

2.1 温度监测与控制

对 FBG 温度的控制由半导体致冷器完成,半导体致冷器的本质是由特殊材料制造的 PN 结,并且随结电流的方向变化交替在工作面致冷或致热. 热敏电阻向驱动电路提供致冷器的温度反馈信息,驱动电路根据预设值和温度反馈信息控制致冷器电流的方向与强度,进而实现自动的温度监测与控制. 为了保证系统调谐准确度,致冷器工作面、FBG 与热敏电阻之间需保证紧密的热耦合.

*国家自然科学基金重点项目资助 (No. 50135030)

** Tel: 023-65111847 Email: wmchen@cqu.edu.cn

收稿日期: 2004-04-05

图 1 是 FBG 温度监测控制系统框图. 对应的驱动电路需完成三个功能: 通过热敏电阻的反馈信号控制致冷器工作, 达到温度稳定或按指定规律变化; 通过测量另一热敏电阻的阻值, 精确读出致冷器工作面的温度, 得到与设定值的误差; 具有自我保护功能, 在过压、过流等不正常状态出现时防止电路、致冷器及热敏电阻损坏.

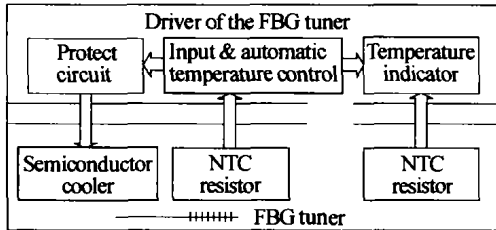


图 1 FBG 温度监测控制系统
Fig. 1 FBG temperature control system

从通用性角度考虑, 使用内置致冷器、热敏电阻的半导体光源管壳封装光纤布喇格光栅, 形成一个完整的 FBG 调谐器组件; 另外, 考虑到 FBG 的温度灵敏度 K_T 较小(一般约为 $5.20 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 左右), 在封装过程中引入金属化方法在 FBG 表面镀膜, 以求提高 FBG 的温度灵敏度^[8].

2.2 FBG 组件化技术

调谐器组件采用的 FBG 长度约为 5 mm, 反射率大于 90%, 反射带宽小于 0.2 nm, 在自由状态下环境温度为 20°C 时中心波长为 1549.9 nm. 采用了双列直插的半导体光源管壳组件对 FBG 进行封装. 考虑到温度增敏以及气密封装的需要, 封装过程中通过真空蒸发镀膜的方法在 FBG 及尾纤与管壳的结合处生成厚度约 2 的铜质金属薄膜, 并通过电镀加厚到 10 μm . 另外加工了 4 mm × 6 mm × 2 mm 铜质导热座, 上有直径约 300 μm 的微孔, 起到承放 FBG 及导热作用. FBG 调谐器的结构如图 2.

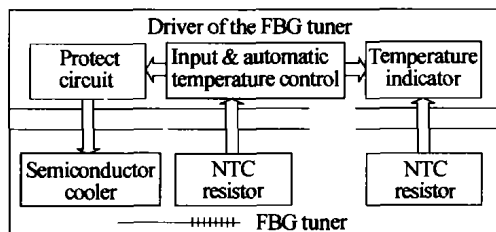


图 2 FBG 调谐器结构
Fig. 2 Structure of the FBG tuner

先将铜质导热座经表面处理使用金属焊料焊接在致冷器上, 再将 FBG 涂覆稀释的导热硅脂, 对准并置于导热座微孔内. 尾纤与管壳的结合处通过锡焊方式密封. 组装好的器件在 80°C 温度下放置 5 小时以消除组装耦合应力, 最后在充氮气的操作箱内以平滚焊的方式对端盖进行气密性封装, 实测漏气率小于 $6 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$. 封装前后 FBG 的中

心波长没有变化. 图 3 是研制的 FBG 调谐器实物照片.

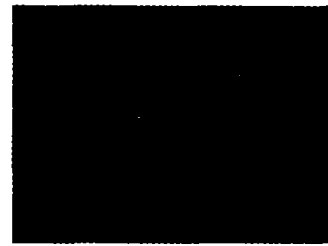


图 3 研制的 FBG 调谐器
Fig. 3 FBG tuner

3 实验与讨论

为验证 FBG 调谐器的性能, 搭建了如图 4 所示的试验装置. 由宽带光源的出射光经光耦合器到待测 FBG, FBG 的反射光再经光耦合器由 ANDO AQ6317B 光谱分析仪接收. 在 0°C、20°C、40°C 环境温度条件下以 -20°C ~ 60°C 为温度调谐区间内进行步进为 10°C 的温度/波长调谐, 步进周期为 2 min, 温度/波长调谐实验结果如图 5~图 8.

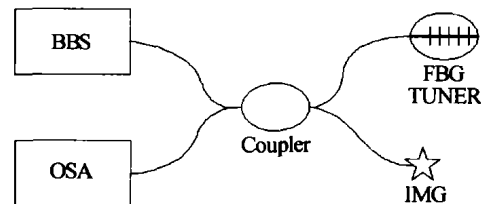


图 4 调谐试验装置
Fig. 4 Experimental setup for double-direction wavelength tuning

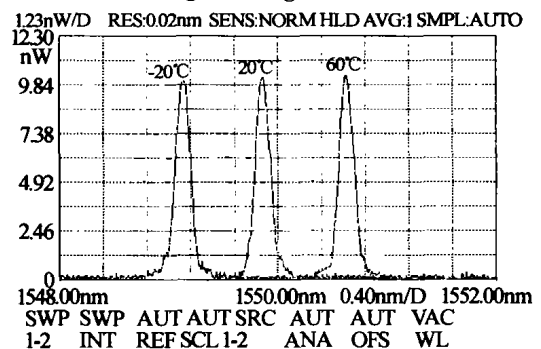


图 5 FBG 反射谱随调谐温度的变化
Fig. 5 Variation of the reflection spectra of the FBG for tuning temperature

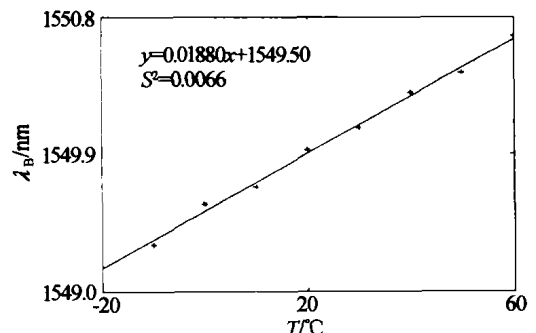


图 6 环境温度 0°C 时的调谐温度/波长关系
Fig. 6 Relationship between tuning temperature and the center wavelength at 0°C

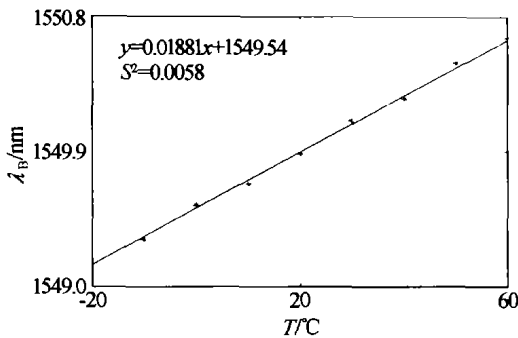


图7 环境温度 20°C 时的调谐温度/波长关系

Fig. 7 Relationship between tuning temperature and the center wavelength at 20°C

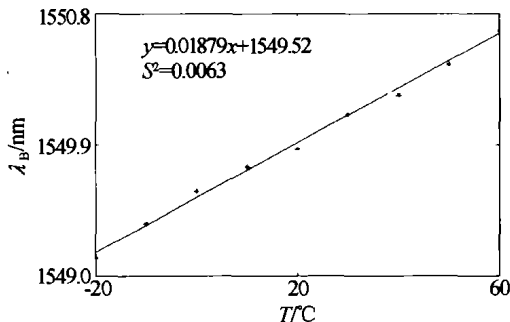


图8 环境温度 40°C 时的调谐温度/波长关系

Fig. 8 Relationship between tuning temperature and the center wavelength at 40°C

图5反映了在温度/波长调谐过程中光谱分析仪记录的FBG反射谱的变动,除了中心波长外,其它光栅特性基本没有改变;图6~图8给出了环境温度为0°C、20°C、40°C时FBG调谐器中心波长与调谐温度之间的关系.由实验结果可以得到:

1)对FBG调谐器以-20°C~60°C为温度调谐区间进行扫描,相对于环境温度20°C时调谐器中心波长,获得了不小于±0.75 nm的双向波长调谐范围;

2)对中心波长与调谐温度关系进行了线性拟合,表明中心波长与调谐温度之间具有较好的线性,在环境温度为0°C、20°C、40°C时调谐准确度均达到0.03 nm.

3)在环境温度为0°C、20°C、40°C时,线性拟合的误差平方和分别为0.0066、0.0058、0.0063,可以认为在这个范围内装置准确度基本不受环境温度变化的影响.

由于组件中各部分的热容量较大,另外组件与FBG的热平衡的建立也需要一定的时间,因此,装置温度响应速率大致在0.5°C/s左右;限于通用管壳组件的结构,装置无法对FBG的透射光进行监测.目前正在进行这方面相关的优化与改进工作.

4 结论

通过对FBG温度调谐的原理、控制方法、工艺

以及实验结果的分析讨论,可以得到以下结论:

1)实验装置能够进行双向波长调谐,调谐准确度达到0.03 nm,且调谐准确度基本不受环境温度变化的影响;

2)使用光源管壳组件封装FBG,并使用组件中的致冷器、热敏电阻配合外围电路进行温度调谐的方法在原理和工艺上是可行的;

3)在封装过程中引入FBG金属化镀膜工艺,可以提高FBG的温度灵敏度系数至 $1.21 \times 10^{-5}/\text{°C}$ 左右,扩大调谐装置的应用范围;

4)装置结构简单,成本较低,可以部分取代传统的应力调谐及热调谐装置;如能对FBG、管壳组件及外围控制电路进行进一步优化以得到较高的温度响应速率和更大的波长调谐范围,则可能获得更广阔的应用空间.

参考文献

- 赵洪霞,柳春郁,余有龙,等.一种结构新颖波长间距可调谐的光纤激光器.光子学报,2003,32(4):392~394
Zhao H X, Liu C Y, Yu Y L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(4): 392~394
- 王天枢,郭玉彬,白冰,等.用超磁致伸缩调谐光纤光栅的光分/插复用器.光子学报,2002,32(9):1106~1109
Wang T S, Guo Y B, Bai B, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 32(9): 1106~1109
- Rogers J A, Eggleton B J, Pedrazzani J R, et al. Distributed on-fiber thin film heaters for Bragg gratings with adjustable chirp. *Appl Phys Lett*, 1999, 74(21): 3131~3133
- 俞钢,何赛灵.一种新型的光纤光栅封装装置.光子学报,2004,33(3):291~293
Yu G, He S L. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(3): 291~293
- 杨石泉,蒙红云,董新永,等.一种简单的光纤光栅电调谐方法.光子学报,2002,31(7):907~911
Yang S Q, Meng H Y, Dong X Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(7): 907~911
- 伊小素,肖文,魏铁钧.大功率、宽光谱超辐射发光管的温度稳定性研究.光子学报,2004,33(1):1367~1369
Yi X S, Xiao W, Wei T J. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(1): 1367~1369
- 周智,武湛君,田石柱,等.光纤布喇格光栅温度传感特性的研究.压电与声光,2002,24(6):430~433
Zhou Z, Wu Z J, Tian S Z, et al. *Piezoelectric & Acousto-optics*, 2002, 24(6): 430~433
- Liu Yunqi, Guo Zhuanyun, Liu Zhiguo, et al. Fiber grating sensor with enhanced pressure and temperature sensitivity. *Chin Phys Lett*, 2000, 17(2): 115~116

Wavelength Tuned Fiber Bragg Grating Based on Double-direction Temperature Control

Zhang Wen, Chen Weimin, Gao Qing, Zhang Jie, Xia Zhe
Optoelectronic Engineering College, Chongqing University, Chongqing 400030

Received date: 2004-04-05

Abstract The Fiber Bragg Grating (FBG) is very important in the applications of fiber communication and fiber sensor nowadays. The key technique of such applications is the wavelength tuning of FBG. Hence many tuning methods are put forward and worked practicably now, but they still meet disadvantages of complicated structure, lower accuracy and so on. Therefore, FBG encapsulated with sealed shell groupware of semiconductor light source is introduced in this paper. It also put forward the method of completing double direction temperature tuning of FBG, with semiconductor cooler and negative temperature coefficient resistance (NTC) cooperated with peripheral circuit. A sealed sample of FBG with metal shell is designed and manufactured. The structure of the sample is very simple. In addition many temperature experiments are carried on at different environmental temperature of 0°C, 20°C, 40°C. The tuning range of FBG temperature is from -20°C to 60°C with a 10°C step. These experiments demonstrate that the center wavelength is linear with the temperature, and the center wavelength tuning range of the FBG sample is up to 1.5 nm. The experiments also show that the accuracy of the device is better than 0.05 nm and the tuning result has little influence with the change of environmental temperature.

Keywords Fiber Bragg grating; Double-direction Temperature tuning; Groupware encapsulation



Zhang Wen was born in 1979 in Shandong Province. He received the Bachelor degree from Optoelectronic Engineering College in Chongqing University. Now he is a master candidate of the same institute. His interests of research are fiber Bragg grating sensors and fiber Fabry-Perot sensors.