

文章编号: 0253-2239(2003)06-0677-3

# 光纤光栅的温度补偿\*

黄勇林 李 杰 开桂云 杨翔鹏 刘志国 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

**摘要:** 提出了一种简单、小型的光纤光栅温度补偿器件, 将光纤光栅粘贴在具有负热膨胀系数的材料上, 实现了光纤光栅的温度补偿。该器件在  $-20\sim 44\text{ }^\circ\text{C}$  温度范围内光栅波长变化  $0.08\text{ nm}$ , 是未补偿光纤光栅的  $1/8$ 。

**关键词:** 光纤光栅; 温度补偿; 负热膨胀系数; 波分复用

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A

## 1 引 言

自从 1989 年 Meltz 等用紫外写入技术成功制备出光纤布拉格光栅(FBG)以来, 光纤光栅以其插入损耗低, 隔离度大, 与偏振无关, 波长、带宽可灵活调节且易与光纤连接等特性在光电子领域以及光纤通信波分复用(WDM)系统中已获得广泛应用。例如光纤激光器、掺铒光纤放大器(EDFA)、光分插复用器、色散补偿器等等。在密集波分复用系统中, 光信号通道波长间隔比较窄, 如  $0.8\text{ nm}$ , 甚至更小。因此用光纤光栅作光分插复用器来上下光信号时, 要求器件具有高的波长精确度和高的稳定性。但光纤光栅波长随温度的变化而发生漂移, 在温度变化  $100\text{ }^\circ\text{C}$  时光栅中心反射波长变化约  $1\text{ nm}$ , 无疑这会严重地影响其在波分复用系统中的应用, 为此人们提出了多种光纤光栅的温度补偿方案。文献[1,2]中提出了利用两种具有不同热膨胀系数的材料实现光纤光栅温度补偿组件, 文献[1]中补偿后在  $-30\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$  温度范围内光栅中心波长漂移仅  $0.07\text{ nm}/100\text{ }^\circ\text{C}$ , 文献[2]中补偿后在  $-20\sim 40\text{ }^\circ\text{C}$  温度范围内波长变化  $0.12\text{ nm}$ 。但利用这种方法需对光栅施加预应力而且要精确选取两种材料的长度, 在实验中较难控制。

本文将光栅粘贴在具有负热膨胀系数材料上, 实现了光纤光栅的温度补偿。在  $-20\sim 44\text{ }^\circ\text{C}$  温度范围内光栅中心波长漂移  $0.08\text{ nm}$ , 是未补偿光栅的  $1/8$ 。由于该结构简单, 温度稳定性好, 在激光稳频和波分

复用光分插复用器中具有潜在的应用价值。

## 2 光纤光栅温度补偿原理

均匀光纤布拉格光栅的中心反射波长  $\lambda_B$  可表示为

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

式中  $\Lambda$  为光栅的周期,  $n_{\text{eff}}$  为光纤的有效折射率,  $\Lambda$  和  $n_{\text{eff}}$  均受外界环境影响而发生变化。由于温度和应力变化都将引起  $\Lambda$  和  $n_{\text{eff}}$  的改变, 因此光栅对温度和应力都是敏感的。

研究表明, 温度和应变引起的光纤光栅波长移动可表示为<sup>[3]</sup>

$$\Delta\lambda_B/\lambda_B = (\alpha_s + \zeta_s)\Delta T + (1 - P_e)\epsilon_{ax}, \quad (2)$$

式中  $\alpha_s = \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT}$  为光纤的热膨胀系数, 它描述光栅

的栅距随温度的变化;  $\zeta_s = \frac{1}{n_{\text{eff}}} \frac{dn_{\text{eff}}}{dT}$  为光纤的热光系数, 它描述光纤的折射率随温度的变化;  $P_e$  为有效弹光系数, 它与弹光效应有关;  $\epsilon_{ax}$  光纤光栅的轴向应变。对石英光纤而言  $P_e$  约为  $0.22$ ,  $\alpha_s$  约为  $0.5 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\zeta_s$  约为  $7 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 。(2) 式说明, 温度和应变引起光栅波长的变化是线性的, 可以通过改变合适的而且与温度变化相反的应变对温度引起的波长漂移进行补偿。

当将光纤光栅粘贴或埋置于弹性衬底材料中时, 如果光栅没有预应力, 则光栅轴向产生的应变  $\epsilon_{ax}$  是通过衬底的形变和热膨胀产生的。若用  $\alpha$  表示衬底材料的热膨胀系数, 则此时光栅的温度与应变响应为<sup>[4]</sup>

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = [\alpha_s + \zeta_s + (1 - P_e)(\alpha - \alpha_s)]\Delta T, \quad (3)$$

\* 国家自然科学基金(60077012)、天津市科委基金(013601811)资助课题。

E-mail: huangyonglin@eyou.com

收稿日期: 2002-05-27; 收到修改稿日期: 2002-07-10

从(3)式可以看出,如果 $\alpha$ 为负值, $\Delta\lambda_B/\lambda_B$ 将减小.特别地当 $\alpha$ 满足

$$\alpha = -\frac{1}{1-P_e}(P_e\alpha_s + \zeta_s)$$

时, $\Delta\lambda_B/\lambda_B = 0$ ,从而可以实现对光纤光栅的温度补偿。

### 3 实验结果

这里提出了一种光纤光栅温度补偿器件,其结构如图1所示.实验所使用的光纤光栅是自行研制的,光栅长约1.2 cm,在温度为16 °C时,其中心波长为1542.16 nm,将光栅粘贴在具有负热膨胀系数衬底材料上,由于该材料有负的温度效应,温度变化产生的形变施加在光栅上的应变足以抵消因温度变化引起波长的漂移,以达到温度补偿的目的.实验装置如图2所示,其中IMG为折射率匹配液.将光纤光栅补偿器件放入温度控制箱中,宽带光源(BBS)发出的光经3 dB耦合器入射到光栅,被光栅反射的光经3 dB耦合器,然后输入ADVANTEST Q8383 光谱分析仪(OA),其最小分辨率为0.1 nm,其读数可精确到0.001 nm,通过光谱仪测量光栅的中心波长变化。

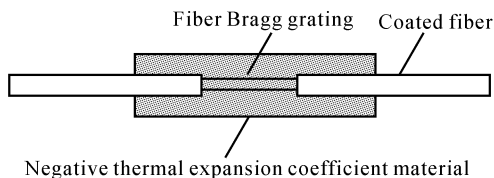


Fig. 1 Schematic of the temperature-compensation fiber grating

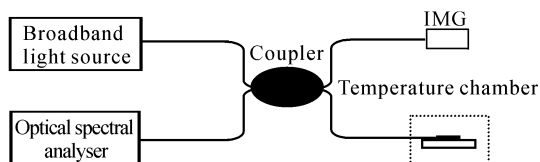


Fig. 2 The temperature compensation experimental setup for fiber Bragg grating. IMG: index matching oil

图3给出了温度补偿前后光纤光栅的波长随温度的变化曲线,曲线1对应温度补偿后的情况,温度补偿后的光纤光栅的中心波长在-20~44 °C温度范围内变化0.08 nm,曲线2对应未进行温度补偿的情况,温度补偿前光纤光栅的中心波长在-20~44 °C

范围内变化0.62 nm.可见补偿后温度稳定性是原来的约8倍左右.实验中发现,在温度较低的情况下补偿效果很好,当温度高于44 °C时,光纤光栅的波长出现突变,从而使补偿性能变差,这主要是由于所使用的胶在高温时性能变坏导致光纤光栅与衬底材料之间的粘结有所松动的缘故。

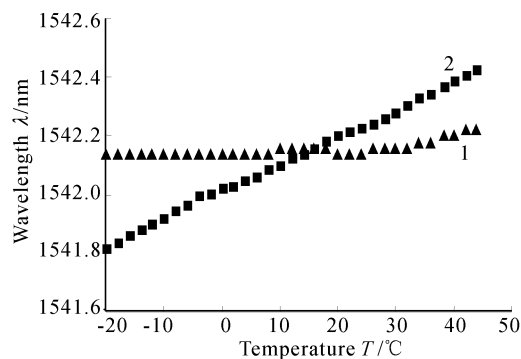


Fig. 3 Variation of Bragg wavelength with the temperature compensated (line 1) and uncompensated (line 2) grating

**结论** 由于光纤光栅对温度较为敏感,在波分复用系统中,环境温度的变化是导致光纤光栅波长不稳定的重要原因.本文将光纤光栅粘贴在具有负的热膨胀系数的材料上,用光纤的应变补偿光纤光栅的波长漂移.实验证明了利用该材料,通过改变光纤光栅的应变对温度引起的光纤光栅波长的变化进行了补偿.在-20~44 °C温度范围内光栅光栅的波长漂移0.08 nm.该温度补偿器件结构简单、体积小,可望在密集波分复用系统中得到实际应用。

### 参 考 文 献

- 1 Yoffe G W, Krug P A, Ouellette F *et al.*. Passive temperature-compensating package for optical fiber gratings. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(30):6859~6861
- 2 Liu Yonghong, Ruan Yinglan, Jiang Shan *et al.*. A temperature insensitive fiber grating. *Chinese Journal of Lasers* (中国激光), 1997, **A24**(10): 895~898 (in Chinese)
- 3 Kersey A D, Davis M A, Patrick H J *et al.*. Fiber grating sensors. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1442~1463
- 4 Liu Yunqi, Guo Zhuanyun, Zhang Ying *et al.*. Simultaneous pressure and temperature measurement with polymer-coated fiber Bragg grating. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(6):564~566

## Temperature Compensation for Fiber Bragg Gratings

Huang Yonglin Li Jie Kai Guiyun Yang Xiangpeng Liu Zhiguo Dong Xiaoyi

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

(Received 27 May 2002; revised 10 July 2002)

**Abstract:** A fiber Bragg grating is bonded on special material with a negative thermal expansion coefficient. The simple and compact temperature compensation fiber Bragg grating package is demonstrated. The total variation in wavelength over temperature range from  $-20 \sim 44$  °C is 0.08 nm, which 1/8 of the uncompensated fiber Bragg grating.

**Key words:** fiber Bragg grating; temperature compensation; negative thermal expansion coefficient; wavelength division multiplexing

\*\*\*\*\*  
(上接封四)

3.7 参考文献 参考文献应是公开出版物,以便审者、编者、读者查证。文后参考文献以 GB/T 7714-1987 顺序编码制列出,每条内容应包括:作者(或译者,论文集编者,多于3人者用等或 *et al.*),文题,期刊名(或书名,会议名),出版年、卷、期(书或会议文集应相应列出版次、出版地、出版者、出版年、会议地点时间),起止页码。专利文献需列出专利性质及专利号。引用的网上出版物必须是固定的、可一直查阅的文献。参考文献请全部译英,非英语参考文献应用原出版语言写明期刊名、书名、学位论文题目、会议文集名等。具体格式实例如下:

(1) 期刊: Yan Fengping, Yao Yi, Jian Shuisheng. Characteristics of Lyot optical fiber depolarizer. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1996, **16**(6): 848~852 (in Chinese)

(2) 专著: Jin Guofan, Li Jingzhen. *Laser Metrology* (激光测量学). Beijing: Science Press, 1998, 162~165 (in Chinese)

(3) 译著: Born M, Wolf E. *Principles of Optics* (光学原理). Yang Jiasun transl. Beijing: Science Press, 1978, 182~190 (in Chinese)

(4) 学位论文: Zhang Jing. *LD Sensor for Weak Vibration Measurement and its Application in Muscle Vibration Measurement* (LD 微振动传感器及其在肌肉震颤测量中的应用)[MS dissertation]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2000, 21~30 (in Chinese)

(5) 技术标准: National Standardization Technical Committee. GB 3100~3102-93. Quantities and Units (量和单位). Beijing: China Standard Press, 1994

3.8 资助来源 所投文章项目受到资助的,应标明资助名称及批准号。

3.9 投寄要求 为了加速期刊的电子化、网络化,加快稿件处理速度,从 2003 年 5 月 1 日起一律采用 E-mail 投稿。标明“稿件内容不涉及国家机密”、“此稿无一稿两投”、“作者排名不再随意更改”的证明文件(盖章),挂号寄往: 201800 上海 800-211 信箱光学学报编辑部(请不要交寄个人,以免延误稿件的受理时间)。稿件录用后,请提供文章的电子版。

3.10 本刊现已进入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和《万方数据数字化期刊网》等,不再另行通知作者,对版权有特殊要求者,请事先声明。

4 审稿程序 稿件收到评审费后分送两位同行评议、主编终审、择优录用;编辑部自收稿日起 4 个月内将初审意见函告作者,逾期,作者可另行处理原稿,但需告知编辑部。

5 录用与否 录用稿作者应遵照中国科协有关文件精神,支付适量版面费以聊补期刊的高额亏损。由于近年来来稿量猛增,为了缩短发表周期,请作者精炼文章内容(更不要加附录),否则,超过 4 页的文章将加收版面费。编辑部有权对录用稿件作编辑意义的增删加工。录用稿一经本刊刊登,本刊享有版权,并向作者酌付稿酬,寄送该期期刊一册和抽印本 17 份。

6 投稿及回复时,请告知作者的有效联系方式:除“姓名、通讯地址、邮政编码”外;E-mail、电话(办公室及家庭或宿舍)、手机、QQ 号等是必不可少的。并请用 E-mail 回复修改意见和修改稿(修改部分须划线)。最好注明通讯作者(作者单位相对稳定)。