

# 温度不灵敏光纤光栅

刘永红 阮迎澜\* 江山\* 刘水华\* 方罗珍\* 黄德修

(华中理工大学光电子工程系 武汉 430074 \*邮电部武汉邮电科学院固体器件所 武汉 430074)

**提要** 提出了一种小型的实现温度补偿的光纤光栅组件,该组件包括两种具有不同热膨胀系数的物质。通过改变加在光纤光栅上的应变可以补偿温度变化引起的光栅布喇格波长的漂移。该组件在 $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,波长变化仅有 $0.12\text{ nm}$ ,是未补偿光纤光栅的 $1/6$ 。

**关键词** 光通信,光纤光栅,温度补偿

## 1 引言

光纤光栅是光通信系统中的重要的无源器件,具有广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。窄线宽的光纤光栅可以用作激光器的外腔反射镜实现窄带单频输出,还可以用来制作高密度波分复用器件。但光纤光栅的谐振波长随温度的变化而发生漂移,在温度由 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 时光栅中心反射波长变化约 $1\text{ nm}$ ,严重地影响了其在激光稳频和波分复用方面的应用。改善光纤光栅的温度特性成为一个亟待解决的关键技术。

光纤光栅的中心反射波长不仅受温度的影响,而且与加在光纤上的应变有关。且二者引起的波长的变化是线性的。这预示着对光纤光栅施加一定的与温度作用相反的应变可以补偿由温度引起的光纤光栅反射波长的变化。温度不灵敏光纤光栅就是基于这一思想设计的。下面将对其设计原理及结构加以详细阐述。

## 2 温度不灵敏光纤光栅的设计原理

### 2.1 应变补偿温度特性原理

光纤光栅的中心反射波长 $\lambda_B$ 可表示为

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

其中 $\Lambda$ 为光栅周期, $\overline{n_{\text{eff}}}$ 为光栅区的平均有效折射率。 $\Lambda, \overline{n_{\text{eff}}}$ 受外界环境的影响而改变。温度对波长的影响来源于热光效应引起的光纤折射率的改变及热膨胀效应对光栅周期的改变,石英的热光系数和热膨胀系数分别为 $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 和 $5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 左右,温度引起的总的波长相对变化约为 $7.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ,确切值与光纤的类型有关,对我们所用的光纤光栅,该值为 $8.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

在一定的温度下,波长随应变的变化主要是由于应变引起的光栅周期的变化,由应变-光

效应引起的折射率的变化较小,且与周期改变引起的波长变化相反。我们所研究的高光敏光纤,由一个微应变引起的波长的相对变化约为  $7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ,且在光纤允许的 1% 的应变范围内近似是线性的。

由以上讨论,可以把光栅的相对波长变化表示为

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = (\alpha_f + \xi)\Delta T + (1 - p_e)\Delta\varepsilon \quad (2)$$

其中,  $\xi = \frac{1}{n} \frac{dn}{dt}$ ,  $p_e = -\frac{1}{n} \frac{dn}{d\varepsilon}$ ,  $\alpha_f = \frac{1}{L} \frac{dL}{dt}$ 。 $\alpha_f$  为光纤的热膨胀系数,  $\xi$  为光纤物质的热-光系数,  $\Delta\varepsilon$  为光纤的应变,  $p_e$  为光弹系数。

要实现温度不灵敏,需

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}/\Delta T = (\alpha_f + \xi) + (1 - p_e)\Delta\varepsilon/\Delta T = 0 \quad (3)$$

$$\text{即} \quad \Delta\varepsilon = \frac{\alpha_f + \xi}{p_e - 1}\Delta T \quad (4)$$

由(4)式,可以确定为抵消温度引起的光栅反射波长的漂移应在光纤上施加的应变,进而对温度不灵敏光纤的结构进行设计。

## 2.2 温度补偿结构的设计

用两种具有不同热膨胀系数的物质可以对光纤光栅的温度特性进行补偿。常用的物质有不锈钢( $1.7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ )或铝( $2.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ),硅或钢( $5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ )。首先拉伸光纤对其施加一定的预应变,随温度的增加,逐渐减少作用在光纤上的应变,从而补偿温度引起的折射率的增加,稳定光栅中心反射波长。文献[2,3]提出了基于该原理的不同的温度补偿的光纤光栅结构,文献[3]中补偿后光栅的中心反射波长稳定性在  $-10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$  范围,是原来的 13 倍,在  $-30^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$  范围则为 5 倍。

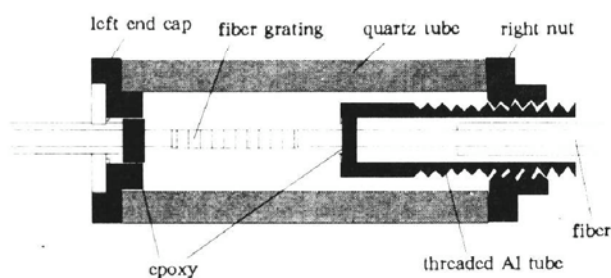


图 1 结构紧凑的光纤光栅温度补偿组件

Fig. 1 Schematic of the compact temperature-compensated fiber grating package

这里我们提出一种新的温度补偿的光纤光栅结构,如图 1。它包括一个石英管,一个左端帽,一个右螺帽及带螺纹的铝管,两种不同热膨胀系数的部分分别为石英管和铝管,为了使各部分的热传递匹配,左端帽和右螺帽也采用铝材料。待补偿光纤光栅的两端分别用环氧胶固定在左端帽和带螺纹的铝管上,石英管套在铝管之外并靠紧左端帽。旋紧右端的螺帽可以对光纤施加预张应变。随温度的升高,利用石英和铝管不同热膨胀系数使作用在光纤上的应变减少,从而

稳定光栅的反射波长。该结构具有圆柱形外观,且易小型化,与[3]中的结构相比,更加方便制作。

图 1 所示的温度补偿结构的关键参数为两固定点之间的距离  $L_3$  及石英管长度  $L_1$ ,  $L_3$  可以根据光栅的长度确定,一般略大于光栅长度。 $L_1$  的设计叙述如下。

温度变化引起的两固定点之间的长度变化为

$$\Delta L_3 = (L_1 a_1 - L_2 a_2 - a_f L_3) \Delta T$$

$$L_2 = L_1 - L_3 \quad (5)$$

$a_1, a_2, a_f$  分别为石英、铝和光纤的热膨胀系数。

由(4)和(5)可得

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{a_1 + A}{a_2 + A}$$

$$A = (p_r a_f + \xi) / (1 - p_r) \quad (6)$$

对于一般的光敏光纤,  $p_r = 0.22, a_f = 0.55 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}, \xi = 8.31 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , 计算得

$$\frac{L_3}{L_1} = 68.4\% \quad (7)$$

### 3 实验结果

实验中所用的光纤光栅是香港理工大学提供的, 光纤为氢载的单模康宁 SMF-28 光纤, 芯径为  $9 \mu\text{m}$ , 包层直径为  $125 \mu\text{m}$ 。光栅的中心反射波长为  $1545.72 \text{ nm}$  (在  $26.9^\circ\text{C}$ ), 在高低温试验箱中测试的其中心反射波长随温度的变化情况如图 2 中的曲线 1 所示, 测试所用的光谱仪型号为 Anritsu MS9001B1, 分辨率为  $0.1 \text{ nm}$ 。光纤光栅波长在  $-20 \sim 60^\circ\text{C}$  范围内变化约  $1 \text{ nm}$ 。组件中光栅两端固定点之间的距离为  $30 \text{ mm}$ , 石英管的长度为  $43.95 \text{ mm}$ , 整个器件的外径为  $5 \text{ mm}$ , 长度为  $54.5 \text{ mm}$ , 只比光栅长  $80\%$  左右。制作时, 适当拧紧右端螺帽对光纤施加预应变同时用频谱分析仪监视光栅的波长, 直到使其移动  $1 \text{ nm}$ , 然后把石英管和右螺帽用胶胶合。待胶固化后, 重新做温度实验, 测得的光栅中心反射波长随温度的变化曲线如图 2 中的曲线 2。可见温度补偿的光纤光栅器件的中心波长在  $-20 \sim 40^\circ\text{C}$  的范围内仅变化  $0.12 \text{ nm}$ , 温度稳定性是原来光纤光栅的  $6$  倍左右, 适当调整石英管和铝管的长度可以获得更好的结果。实验中我们发现在温度高于  $40^\circ\text{C}$  时, 光纤光栅的波长出现突变, 然后补偿性能明显变差, 这主要是由于我们所用的胶在高温时性能变坏, 使光纤松动的缘故。

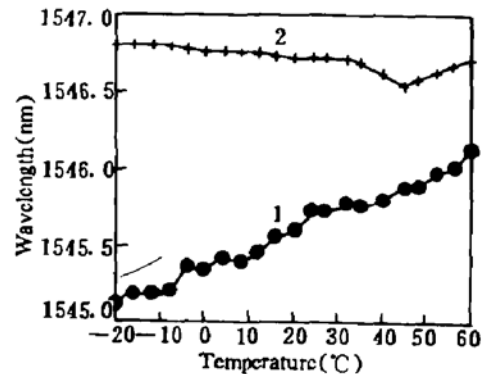


图 2 温度补偿前后光纤光栅的波长随温度的变化曲线  
(1, 补偿前, 2, 补偿后)

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

### 4 结 语

我们将对补偿结构略做改进, 并且用另一种易加工的物质来代替铝, 以期获得更好的结果。

### 参 考 文 献

- 1 I. Bennion, J. A. R. Willams, L. Zhang *et al.*. UV-written in-fiber Bragg gratings. *Opt. and Quant. Electr.*,

1996, 28 : 93~135

- 2 G. W. Yoffe, Peter A. Krug, F. Ouellette *et al.*. Temperature compensated optical fiber grating. OFC 95, Technical Digest Series. Vol. 8 : 134~135
- 3 W. W. Morey, W. L. Glomb. Incorporated Bragg fiber temperature-compensated optical waveguide devices. U. S. patent 5,042,898,1991

## A Temperature Insensitive Fiber Grating

Liu Yonghong Ruan Yinglan\* Jiang Shan\* Liu Shuihua\*

Fang Luozhen\* Huang Dexiu

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074

\*Institute of Solid State Devices, Wuhan Research Institute of Post & Telecommunications, Wuhan 430074)

**Abstract** In this paper, a compact temperature-compensated fiber grating package is proposed. The package comprises two materials with different thermal expansion coefficients. The releasing strain can compensate the temperature dependent drift of the Bragg wavelength over the range from  $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$ . The total variation in wavelength is less than 0.12 nm, 1/6 of the uncompensated fiber grating.

**Key words** optical communication, fiber grating, temperature compensation

\*\*\*\*\*

## 第七届全国光电技术与系统学术会议在大连召开

由中国光学学会光电专业委员会主办、大连理工大学承办的第七届光电技术与系统学术会议于1997年8月18~22日在辽宁省大连市召开,来自全国各地的专家、学者共170多人参加了本届会议。这次会议共录取了220多篇论文,这些论文反映了我国光电技术及系统方面的部分研究成果及动向,并由《大连理工大学学报》出版了论文集。

会议开幕式上,张以谟等四位教授作了光电技术及系统相关领域的特邀报告。继后,分四个分会场,对新的光电现象、理论及实验、激光器件、技术及系统;导波光学、光纤传感器、生物医学工程、环境科学;光学神经网络、数字图像处理、信息获取及显示技术;光电检测、跟踪及控制技术等进行了交流,约有80多篇论文在分组会上进行了学术交流。

会议期间,还同时举行了“面向21世纪的光电子技术”研讨会。会上,重庆大学黄尚廉院士作了题为“发展我国光电产业的一些思考”的专题报告,从光电产业的内涵出发,分析了世界光电产业的市场动态和我国的概况,提出了发展我国光电产业的一些思考,并希望启动一项“光电产业振兴计划”,使我国到2010年光电产品的产值能占世界市场的10%。另外,姜文汉院士对自适应光学技术的发展及其可能的应用也作了颇有吸引力的专题报告。

在同期举行的专业委员会会议上,到会的近40名光电专业委员会委员听取并讨论了专委会有关领导对前一阶段工作的介绍和今后工作的计划,并就第八届光电技术与系统学术会议的召开时间和地点进行了磋商。

(周稳观)