

Sagnac 滤波器的自动补偿

刘丽辉^{1,†} 陈少华² 赵启大³ 刘育梁¹ 李 芳¹

(1 中国科学院半导体研究所 集成光电子学国家重点实验室, 北京 100083)

(2 中国石油大学, 北京 102249)

(3 南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘要: 提出了对双折射光纤 Sagnac 滤波器的自动补偿方案, 将其粘贴在大热膨胀系数的基底材料上, 使双折射光纤 Sagnac 滤波器自动补偿其光谱波长对温度产生的漂移. 经过封装后双折射光纤 Sagnac 滤波器波长对温度的灵敏度降低到 $0.059\text{nm}/^\circ\text{C}$, 是未封装前的 0.04 倍. 这种方法简单可行, 并在一定程度上解决了双折射 Sagnac 滤波器温度敏感的问题, 使器件的实用化进程向前迈进了一步.

关键词: 自动补偿; Sagnac 滤波器; 高双折射光纤

EEACC: 1270

中图分类号: TN713

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)09-1663-03

1 引言

在光纤通信和光传感领域中, 涌现出多种新型结构的光纤滤波器, 如光纤 Fabry-Perot 干涉仪^[1]、Bragg 光纤光栅^[2]、光纤 Mach-Zehnder 干涉仪^[3]等器件. 但是它们在系统或网络中应用时都或多或少地存在一些缺点, 如制备工艺复杂成本较高, 安装灵活性和连续特性差等, 这都阻碍了滤波元件的应用^[4]. 目前又出现了一种新型的双折射光纤 Sagnac 环滤波元件, 它具有灵活的滤波特性, 更重要的是制作成本十分低廉^[5]. Chung 等人^[6]利用双折射光纤 Sagnac 环的滤波特性, 已经成功地将其应用到光纤传感滤波解调中. 这种双折射光纤 Sagnac 环滤波元件有望在光纤传感和通信领域中发挥其作用.

然而双折射光纤 Sagnac 环滤波器对环境温度很敏感. 未进行封装的双折射 Sagnac 环滤波器对温度的灵敏度可达 $1.47\text{nm}/^\circ\text{C}$, 严重影响了这种滤波器的实用化发展, 因此如何消除温度效应已成为急待解决的问题. 同样存在温度敏感问题的元件有光纤 Bragg 光栅、光纤陀螺仪等. 消除其温度效应的方法也不尽相同, 光纤光栅温度补偿方案主要采用负热膨胀系数材料对光栅封装, 或两种不同膨胀系数材料对光纤光栅进行管式封装等方法^[7-9]. 光纤陀螺仪的补偿方法主要采用温控法或通过软件算法实现温度补偿^[10]等多种方案. 但是尚未见到有关双折射光纤 Sagnac 环滤波器自动补偿的报道. 本文提出了对双折射光纤 Sagnac 环滤波器波长漂移的自动补偿方

案, 将双折射光纤 Sagnac 环粘贴在大热膨胀系数的基底材料, 使其对应变产生的漂移来补偿其对温度产生的漂移. 经过封装后双折射光纤 Sagnac 环滤波器的光谱波长对温度的灵敏度降低到 $0.059\text{nm}/^\circ\text{C}$, 是未封装前的 0.04 倍. 这种方法简单可行, 在一定程度上解决了双折射 Sagnac 环滤波器温度敏感问题, 使器件的实用化进程向前迈进了一步.

2 原理

双折射 Sagnac 环其基本结构如图 1 所示. 它由一个 3dB 耦合器、一段普通单模光纤、偏振控制器和一根双折射光纤组成. 初始信号光 I_0 进入 3dB 耦合器被分为两束, 分别沿顺时针和逆时针方向传播. 经环路后返回耦合器, 最后相干输出, 此方法可实现对信号光滤波的作用. 由于双折射光纤自身的旋转, 其入射端和出射端双折射光纤快轴之间的夹

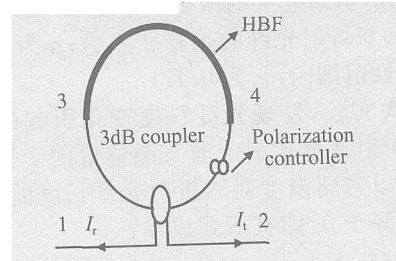


图 1 双折射光纤 Sagnac 环滤波器结构示意图

Fig. 1 Configuration of the Sagnac loop filter

角设为 θ . 入射信号光在 3dB 耦合器的 2 端会产生透射光 I_t , 同样在 1 端会产生反射光 I_r .

† 通信作者. Email: liulihui@red.semi.ac.cn

经过计算可以得到 3dB 耦合器 2 端的透射光强 I_t 为： $I_t = PP^* = |t|^2 I_0$ ， I_0 是入射光强，因此透射率函数为^[11]：

$$|t|^2 = I_t / I_0 = \left[\cos \frac{L}{\lambda} n \sin \right]^2 \quad (1)$$

其中 L 为双折射光纤的长度； n 为双折射光纤快慢轴的折射率差； λ 为光波长； θ 是双折射光纤所转过的角度； $n = |n_{fast} - n_{slow}|$ 。

由(1)式可知，其透射波长与双折射光纤长度 L 、折射率差 n 有关。当温度升高时，双折射光纤截面膨胀，使得双折射光纤的折射率差发生了变化，透射光谱将向短波方向漂移。若同时使双折射光纤受到应力拉长，恰好导致其截面的收缩，将使滤波器的光谱向长波漂移。这样可以去除因温度升高引起透射波长的漂移。因此，只需使用热膨胀系数大于光纤的正温度系数材料作为双折射光纤的粘贴基底，便可以实现波长漂移的自动补偿。

补偿前后，得到下式：

$$nL = (n + \Delta n)(L + \Delta L) \quad (3)$$

其中 Δn 为光纤纤芯折射率差的微小变量； ΔL 为光纤长度的微小变量。忽略二阶小量 $\Delta n \Delta L$ 可得：

$$\Delta n / n + \Delta L / L = 0 \quad (4)$$

假设双折射光纤的折射率差 n 只与光纤的横截面积 S 、光纤长度 L 的变化量有关，即有：

$$n = n(S(T), L(T)) \quad (5)$$

n 对温度求导数可得：

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\Delta n)}{\partial T} &= \frac{\partial(\Delta n)}{\partial S} \times \frac{dS}{dT} + \frac{\partial(\Delta n)}{\partial L} \times \frac{dL}{dT} \\ &= \frac{\partial(\Delta n)}{\partial S} (2r \frac{dr}{dT} + 2r \frac{\partial r}{\partial L} \times \frac{dL}{dT}) \\ &= \frac{\partial(\Delta n)}{\partial S} 2S(\alpha_r + (\beta/\mu) \alpha_b) \end{aligned} \quad (6)$$

式中 r 为双折射光纤的横截面半径； α_b 、 α_r 分别表示基底材料和双折射光纤的热膨胀系数； μ 为光纤的泊松比，在弹性范围内，它为 0.171。

经多次实验，发现光纤长度变化引起的波长漂移量只有折射率变化引起波长漂移量的十分之一左右，因此可以忽略温度对双折射光纤长度的影响。补偿后(6)式等于 0。即有下式成立：

$$\alpha_b = \alpha_r / \mu \quad (7)$$

一般 α_r 为 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ 量级，所以基底材料的热膨胀系数为 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ 。通过温度补偿可以降低光纤 Sagnac 滤波器对外界温度的灵敏度。

3 实验结果与讨论

将双折射光纤部分粘贴在聚甲基丙烯酸甲酯基

底下，将双折射光纤的两端固定，以避免透射光谱强度发生变化，如图 2 所示。聚甲基丙烯酸甲酯材料具有较大的热膨胀系数。在常温范围内，经实验测得其线热膨胀系数约为 $1.03 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 。并将粘贴好的

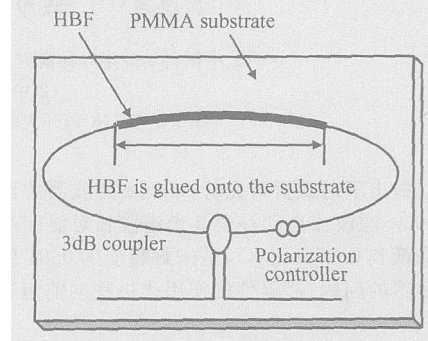


图 2 双折射光纤 Sagnac 滤波器温度补偿示意图

Fig. 2 Scheme of temperature-compensated Sagnac loop filter

Sagnac 环滤波器置于 HC-101 K 型温控箱中，进行温度实验，测得补偿后 Sagnac 环滤波器的温度透射光谱如图 3 所示。当环境温度为 16 时，其透射波长在 1556.24nm 处。温度升高到 38 时，透射波长向短波方向漂移至 1554.94nm 处。图 4 为封装前后的双折射光纤 Sagnac 环滤波器温度随波长漂移的情况。从图中可以明显看出，温度从 16 升高到 38 过程中，补偿后滤波器的温度灵敏度由原来的 1.47 降到 0.059nm/°C，是未封装前的 0.04 倍。这种补偿方法得到的结果，是目前我们查阅文献中最好的补偿结果。反复实验表明，补偿后 Sagnac 环滤波器的温度响应曲线具有较好的重复性。温度灵敏度与所选用 Sagnac 环滤波器的周期和初始相位无关。

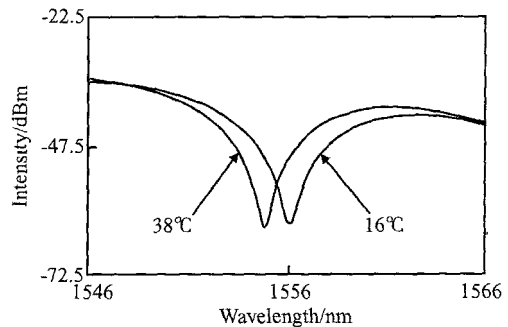


图 3 不同温度时 Sagnac 环滤波器的透射光谱

Fig. 3 Spectra of Sagnac loop filter with different temperatures

4 结论

双折射光纤 Sagnac 环滤波器作为滤波元件因

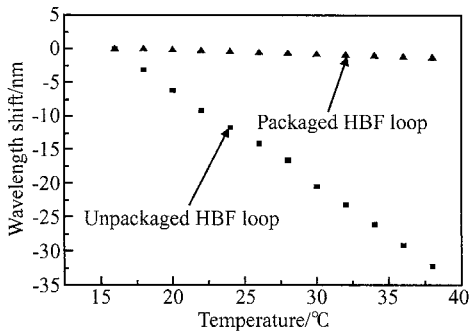


图 4 不同温度下的 Sagnac 环滤波器波长漂移

Fig. 4 Wavelength shift of Sagnac loop filter with different temperatures

其制作成本低廉,在光纤传感和通信领域中具有十分广阔的应用前景.但是温度稳定性问题一直困扰着双折射光纤 Sagnac 环滤波器的应用.本文提出了一种新颖的波长自动补偿的封装方法,将其粘贴于大热膨胀系数的基底材料上,使双折射光纤 Sagnac 环滤波器对应变产生的光谱波长漂移补偿其对温度产生的漂移.经过封装后双折射光纤 Sagnac 环滤波器光谱波长对温度的灵敏度降低到 0.059nm/°,是未封装前的 0.04 倍.这样有效地提高了双折射光纤 Sagnac 环滤波器的稳定程度,使器件的实用化进程向前迈进了一步.

参考文献

[1] Chung W H, Tam H Y, Demokan M S, et al. Wavelength and power monitoring of DWDM systems using scanning F-P filter calibrated with a F-P laser. *Opt Commun*, 2002, 210(3~6): 219

[2] Qian Jingren, Liang Ming. Analysis of the fiber Bragg grating sagnac loops and the optical envelope bandpass filter. *Chinese Journal of Lasers*, 2003, 30(2): 159 (in Chinese) [钱景仁, 梁明. 光纤光栅 Sagnac 环特性及包络带通滤波器的研究. *中国激光*, 2003, 30(2): 159]

[3] Ahn J T, Lee H K, Jeon M Y, et al. Continuously tunable multi-wavelength transmission filter based on a stabilized fibre-optic interferometer. *Opt Commun*, 1999, 165(1~3): 33

[4] Libatique N J C, Jain R K. A broadly tunable wavelength-selectable WDM source using a fiber Sagnac loop filter. *IEEE Photonics Technol Lett*, 2001, 13(12): 1283

[5] Dong X P, Li S P, Chiang K S, et al. Multiwavelength erbium-doped fibre laser based on a high-birefringence fibre loop mirror. *Electron Lett*, 2000, 36(19): 1609

[6] Chung S, Kim J, Yu B A, et al. A fiber Bragg grating sensor demodulation technique using a polarization maintaining fiber loop mirror. *IEEE Photonics Technol Lett*, 2001, 13(12): 1343

[7] Ouellette P A. Broadband and WDM dispersion compensation using chirped sampled fiber Bragg gratings. *Electron Lett*, 1995, 31(11): 899

[8] Yoffe G W, Krug P A, Ouellette F, et al. Passive temperature-compensation package for optical fiber gratings. *Appl Opt*, 1995, 34(30): 6859

[9] Iwashima T, Inoue A, Shifgematsu M, et al. Temperature compensation technique for fiber Bragg gratings using liquid crystalline polymer tubes. *Electron Lett*, 1997, 33(5): 417

[10] Luo Chao, Sun Feng, Liu Guangzhe. Bias temperature compensation for fiber optic gyro based on BP neural network. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2005, 25(2): 104 (in Chinese) [罗超, 孙枫, 刘广哲. 基于 BP 神经网络的光纤陀螺零偏温度补偿. *弹箭与制导学报*, 2005, 25(2): 104]

[11] Liu Lihui, Zhao Qida, Zhou Guang, et al. Study on characteristics of two high-birefringence fiber loops filter. *Acta Optica Sinica*, 2004, 24(9): 1185 (in Chinese) [刘丽辉, 赵启大, 周广, 等. 双折射光纤环形镜滤波器特性研究. *光学学报*, 2004, 24(9): 1185]

Study on the Automatic Compensation of a Sagnac Loop Filter

Liu Lihui^{1,†}, Chen Shaohua², Zhao Qida³, Liu Yuliang¹, and Li Fang¹

(1 State Key Laboratory of Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

(2 China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

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

Abstract: We present a novel automatic compensation method in which a Sagnac loop filter is fixed to a material with a large thermal expansion constant. Its temperature sensitivity can reach 0.059nm/°, which is as 0.04 times as that of an uncompensated Sagnac loop filter. This method benefits the practicality of Sagnac loop filters to a certain extent.

Key words: automatic compensation; Sagnac loop filter; high birefringence filter

EEACC: 1270

Article ID: 0253-4177(2006)09-1663-03

†Corresponding author. Email: liulihui@red.semi.ac.cn