

文章编号 1004-924X(2011)01-0001-09

# 双芯光纤马赫-曾德尔干涉仪的温度特性

范林勇, 江微微, 赵瑞峰, 裴丽, 简水生

(北京交通大学 光波技术研究所 全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044)

**摘要:**对适用于温度传感的双芯光纤马赫-曾德尔干涉仪进行了研究,并通过将一根单模双芯光纤熔接在两根单模光纤之间,制得了双芯光纤马赫-曾德尔干涉仪型梳状滤波器。用干涉原理分别分析了该器件传输谱的自由空间谱宽与波长、双芯光纤的长度和两纤芯间的有效折射率差的关系,实验检测了它的温度特性。结果显示,随着温度的升高,该器件的传输谱发生红移。在相同温差下,不同波长处的波长漂移值不同,短波长处波长漂移较小,长波长处波长漂移较大。在固定波长处,该器件的传输谱的波长漂移实验数据与温度变化具有较好的二次曲线关系。该器件的温度灵敏度和波长有关,不同波长处灵敏度不同;固定波长处,灵敏度与温度成正比。另外,通过对单模光纤与双芯光纤熔接处的拉锥处理,可以有效降低所制器件的插入损耗。实验制得了插入损耗约为 7 dB 的梳状滤波器,其体积小、制作容易、与光纤系统具有良好的匹配性,可应用于光纤温度传感。

**关键词:**温度传感;光纤传感;马赫-曾德尔干涉仪;双芯光纤;梳状滤波器

**中图分类号:** TN253 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111901.0001

## Temperature characteristic of in-fiber Mach-Zehnder interferometer using twin-core fiber

FAN Lin-yong, JIANG Wei-wei, ZHAO Rui-feng, PEI Li, JIAN Shui-sheng

*(Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network of the Ministry of Education, Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)*

**Abstract:** A Mach-Zehnder interferometer using a Twin-core Fiber (TCF) was researched for temperature sensing and a comb-filter based on the in-fiber Mach-Zehnder Interferometer (MZI) was fabricated by splicing a section of single mode TCF between two single mode fibers (SMFs). The Free Spectral Range (FSR) of the transmission spectrum for the device versus the wavelength, the length of TCF and the effective index difference between the two cores were analyzed and the temperature characteristic of the device was experimentally tested. The tested results indicate that the transmission spectrum of the device has a red shift and a quadratic curve with the temperature increasing. Under the same temperature difference, the wavelength shifts are different at different wavelengths and the wavelength shift at short wavelength is smaller than that at longer wavelength. The sensitivity of the de-

收稿日期: 2010-02-03; 修订日期: 2010-05-24.

基金项目: 国家 973 重点基础研究发展规划资助项目 (No. 2010CB328206); 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2008AA01Z215); 国家自然科学基金重点资助项目 (No. 60837002)

vice is different at different wavelengths, and it is proportional to the temperature at a fixed wavelength. Furthermore, the insertion loss of the device is decreased effectively by tapering the splicing regions between SMFs and TCF. Finally a device with insertion loss about 7 dB was implemented. This device is relatively small, simple, compatible and suitable for fiber optic temperature sensors.

**Key words:** temperature sensing; fiber optic sensing; Mach-Zehnder Interferometer(MZI); Twin-core Fiber(TCF); comb-filter

## 1 引 言

光纤温度传感器一般具有体积小,重量轻,不易受电磁干扰等优点。目前,光纤温度传感器主要基于光纤布拉格光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)、长周期光纤光栅(Long Period Grating, LPG)和基于干涉原理的光纤系统等<sup>[1-6]</sup>。由于 FBG 可以应用于分布式传感,因此得到了特别的关注<sup>[1-3]</sup>。然而,FBG 的温度灵敏度有限(约为 0.01 nm/°C),并且在其温度传感系统中需要加入光隔离器来防止后向反射。LPG 具有较高的温度灵敏度(约为 0.1 nm/°C),而且没有后向反射。然而,LPG 较大的弯曲敏感限制了系统的灵活性<sup>[4]</sup>。另一方面,光纤光栅在高温下一般会被擦除,因此,较难应用于高温传感。虽然目前已经有了温度高达 1 000 °C 的基于光纤光栅的温度传感器的报道,但是该光纤光栅比较脆弱,而且制作过程复杂<sup>[5]</sup>。另有研究报道已经得到了测量温度高达 1 600 °C 的基于干涉仪的光纤温度传感器,但是这种传感器需要价格昂贵的蓝宝石光纤和相对复杂的系统<sup>[6]</sup>。

近来,有许多内嵌式光纤马赫-曾德尔干涉仪(Mach-Zehnder Interferometer, MZI)用于光纤温度传感的报导<sup>[7-12]</sup>。这种类型的光纤温度传感器主要基于两个或多个传导模式的干涉原理,在其结构中一般都有起到分束和合束作用的组成部分。这些分束与合束的组成部分可以是多模光纤(Multi Mode Fiber, MMF)<sup>[7-8]</sup>、光子晶体光纤(Photonic Crystal Fiber, PCF)<sup>[9-10]</sup>、光纤锥<sup>[11]</sup>、或用激光器在单模光纤(Single Mode Fiber, SMF)的芯子上制作出的一个微型腔<sup>[12]</sup>。参考文献<sup>[12]</sup>介绍的传感器的传感温度可达 1 100 °C。插入损耗是光纤温度传感器能否实用化的一个重要参数,但是 SMF 与 MMF 或 PCF 熔接时存在较大的熔接损耗,导致所制器件的插入损耗较大。

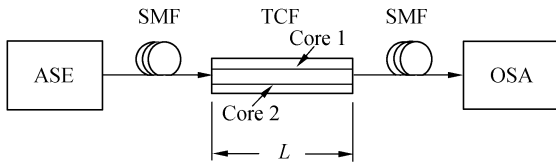
采用在 SMF 上制作出一个微型腔的方法,虽然解决了熔接的问题,但是光在微型腔中存在较大的散射损耗,仍导致所制器件的插入损耗较大(约为 15 dB)<sup>[12]</sup>。

本文通过在两根单模光纤(SMF)间熔接一段单模双芯光纤(Two-core Fiber, TCF),实验使用不同长度的 TCF 制作了多个 MZI 型梳状滤波器。分别从理论和实验上分析了该器件的梳状传输谱中相邻峰值之间波长间隔与波长、TCF 长度和两纤芯间有效折射率差的关系,实验测试分析了所制器件的温度特性。通过对该器件的 SMF 与 TCF 熔接处的拉锥处理,分析比较了所制器件在拉锥前后的插入损耗。实验证明该器件具有结构简单,制作容易,性能稳定,与光纤系统具有良好的匹配性等特点。

## 2 双芯光纤 MZI 型梳状滤波器的结构与工作原理

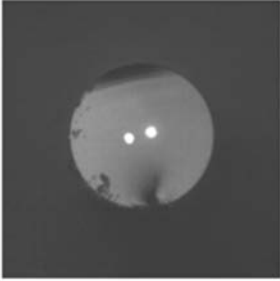
图 1(a)为基于 TCF 的全光纤 MZI 型梳状滤波器的实验结构图。将一段长度为  $L$  的自制单模 TCF 熔接在两根 SMF 之间,构成 MZI; TCF 中的两个芯子组成该 MZI 的两个干涉臂。该梳状滤波器集成在一段光纤上,结构紧凑,体积较小。采用掺铒光纤放大器(Er-doped Fiber Amplifier, EDFA)的自发辐射(Amplified Spontaneous Emission, ASE)作为宽带光源,并从一根 SMF 输入,用光谱分析仪(Optical Spectral Analysis, OSA)监测另一根 SMF 的输出光信号。

实验中所使用的 TCF 的横截面的放大图如图 1(b)所示,两个折射率不同的纤芯对称分布在光纤中。该 TCF 的外径约为 125  $\mu\text{m}$ , TCF 的一个纤芯掺了铒离子,另一个纤芯为普通芯子,于是两个纤芯之间存在一定的折射率差。两个纤芯的直径均约为 4  $\mu\text{m}$ ,纤芯距约为 20  $\mu\text{m}$ 。当一个宽



(a) 器件结构图

(a) Schematic diagram of device



(b) TCF 横截面放大图

(b) Micrograph of cross section of TCF

图 1 双芯光纤 MZI 型梳状滤波器

Fig. 1 Comb-filter based on MZI using a TCF

带光信号从该器件一端的 SMF 中输入时,在该 SMF 与 TCF 的熔接点处,SMF 中的光部分耦合到 TCF 的两个纤芯中,并分别在 TCF 的两个纤芯中传输;在 TCF 与 SMF 的另一个熔接点,TCF 中两个纤芯的光又部分耦合到 SMF 中,并发生干涉。该干涉现象主要是由于 TCF 中两个纤芯间传导的光存在一定的有效光程差所引起的。在该结构中,虽然 TCF 的两个纤芯的长度相等,即为使用的 TCF 的长度,但是该 TCF 的两个纤芯间的折射率差引起了两个纤芯间的有效折射率差,使两个纤芯中传导的光产生了有效光程差,从而在该器件的输出端得到梳状传输谱。由于 TCF 纤芯距达到  $20\ \mu\text{m}$ ,且两个纤芯间存在着折射率差,故可以忽略两纤芯之间的模式耦合。

本文中基于 TCF 的 MZI 的输出端的总光强  $I_{\text{total}}$  为:

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi, \quad (1)$$

其中,  $I_1$ ,  $I_2$  和  $\phi$  分别为 TCF 中两个纤芯的光强和相移差。

$$\phi = 2\pi(L_1 n_1 - L_2 n_2) / \lambda, \quad (2)$$

其中,  $\lambda$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $L_1$  和  $L_2$  分别为光信号在真空中的波长,TCF 中两个纤芯的有效折射率和 MZI 两个干涉臂的长度。由于两个干涉臂的长度相

等,即为所用 TCF 的长度  $L$ ,于是式(2)可写成:

$$\phi = 2\pi L \Delta n / \lambda, \quad (3)$$

其中,  $\Delta n$  ( $\Delta n = n_1 - n_2$ ) 为两纤芯间的有效折射率差。

由式(1)和式(3)可知,传输谱中的峰值发生在满足下式的波长处:

$$m = L \Delta n / \lambda, \quad (4)$$

其中,  $m$  为整数。

当 TCF 的长度和纤芯间的有效折射率差一定时,使  $m$  分别取  $m$  和  $m+1$ ,可求得波长  $\lambda_m$  与波长  $\lambda_{m+1}$  两峰值波长之间的波长间隔  $\Delta\lambda$  ( $\Delta\lambda = \lambda_m - \lambda_{m+1}$ ):

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_m \lambda_{m+1}}{L \Delta n}, \quad (5)$$

由于在光纤的通信波长范围内,  $\lambda_m$  与  $\lambda_{m+1}$  相差很小,于是式(5)可以写成:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{L \Delta n}. \quad (6)$$

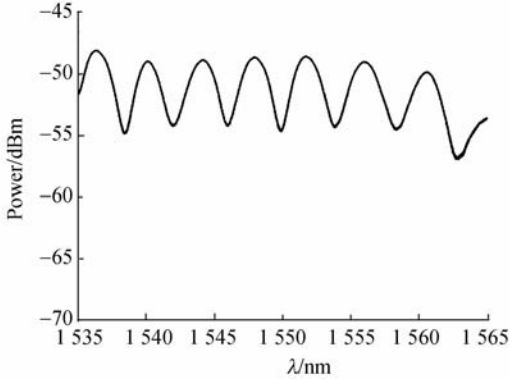
$\Delta\lambda$  为自由空间谱宽 (Free Spectral Range, FSR),即相邻峰值的波长间隔,反应了所制梳状滤波器梳状传输谱的疏密程度,  $\Delta\lambda$  越大梳状传输谱越稀,  $\Delta\lambda$  越小梳状传输谱越密。由式(6)可知,波长  $\lambda$  附近的 FSR 与波长  $\lambda$  的平方成正比,与 TCF 的长度和两纤芯间有效折射率差的乘积成反比。于是,可以采用调节 TCF 的两个纤芯间的折射率差或直径差,或 TCF 的长度等方法来得到具有不同 FSR 的梳状传输谱。

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 双芯光纤 MZI 型梳状滤波器的实验制作

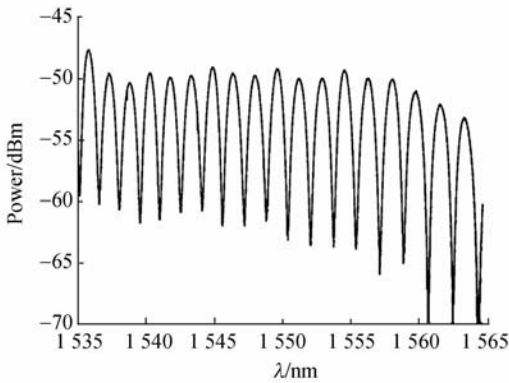
实验制作了使用不同长度 TCF 的双芯光纤 MZI 型梳状滤波器。图 2(a) 和图 2(b) 分别为 TCF 的长度为 9.3 cm 和 22.1 cm 时,EDFA 的 ASE 经过所制梳状滤波器后的传输谱。如图 2(a) 所示,当 TCF 的长度为 9.3 cm 时,在 1 535 nm, 1 550 nm 和 1 565 nm 附近,该梳状滤波器的 FSR 分别约为 3.77 nm, 3.81 nm 和 4.62 nm。如图 2(b) 所示,当 TCF 的长度为 22.1 cm 时,在 1 535 nm, 1 550 nm 和 1 565 nm 附近,该梳状滤波器的 FSR 分别约为 1.52 nm, 1.60 nm 和 1.81 nm。由实验结果可知,所制梳状滤波器的 FSR 随着波长的增大而增大。在某波长处,FSR 随着

使用的 TCF 的长度的增加而减小,这与第二部分的理论分析相符合。图 2 中所制梳状滤波器传输谱的峰值功率随波长发生变化的现象,可能是所使用的 EDFA 的 ASE 光谱的不平坦和不同波长的光从 SMF 耦合到 TCF 两个芯子中的不同光功率共同作用的结果。图 2 的光谱是用 ANDO AQ6317 OSA 以 0.01 nm 分辨率测量的结果。



(a) TCF 的长度为 9.3 cm

(a) Length of TCF in 9.3 cm



(b) TCF 的长度为 22.1 cm

(b) Length of TCF in 22.1 cm

图 2 TCF 长度不同时,所制梳状滤波器的传输谱

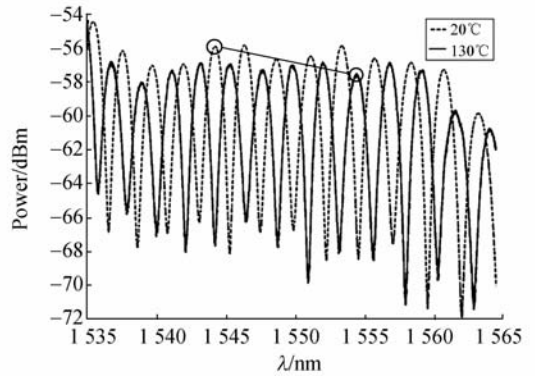
Fig. 2 Transmission spectra of fabricated comb-filters with different lengths of TCF

### 3.2 温度特性

将一个 TCF 长度为 14.7 cm 的双芯光纤 MZI 型梳状滤波器放入温控箱 (TCF 带有涂敷), 采用 EDFA 的 ASE 作为宽带光源从一端输入, 在另一端用 OSA 以 0.01 nm 分辨率监测输出信号。调节温控箱, 使温度升高到 130 °C, 并维持 1 h, 然后将温度下降到 10 °C, 并维持 1 h。经过两次这样的升降温后, 在相同的温度下, 所制器件的传输谱几乎没有发生波长漂移。分别测试所制器

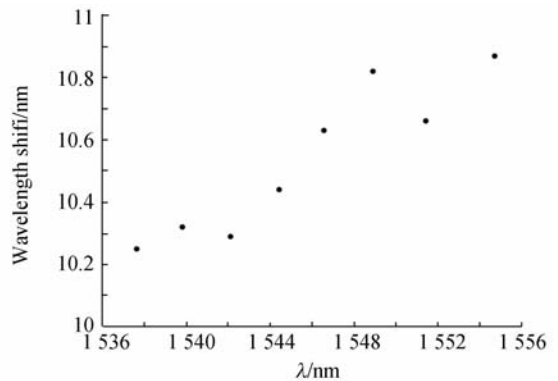
件在 20~130 °C 下的传输谱, 以 10 °C 为步长, 在每个温度下停留 10 min。

图 3(a) 为所制梳状滤波器分别在 20 °C 和 130 °C 时的传输谱。实验发现, 随着温度的升高, 所制器件的传输谱向长波长方向移动。将图 3(a) 中 20 °C 时的传输谱从 1 537 nm 到 1 555 nm 间的 8 个波峰分别命名波峰 1, 2, …, 8, 分别测试这 8 个波峰在 20~130 °C 传输谱的波长漂移。图 3(b) 为温度由 20 °C 升高到 130 °C 时, 波峰 1 到波峰 8 的波长漂移值。由图 3(b) 可知, 在相同温差下, 不同波长处波峰的波长漂移值不同, 短波长处波峰的波长漂移较小, 长波长处波峰的波长漂移较大, 这与参考文献 [12] 的公式 (2) 相一致。



(a) 不同温度下, 所制梳状滤波器的传输谱

(a) Transmission spectra of comb-filter at different temperatures



(b) 20~130 °C, 不同波长处波峰的波长漂移值

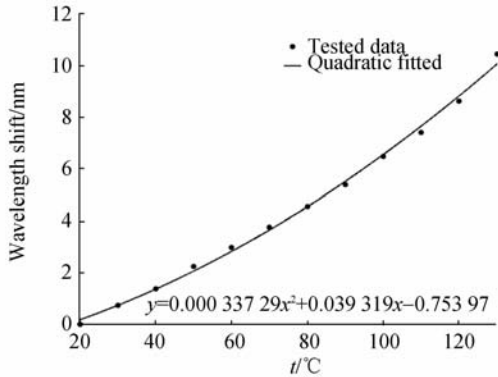
(b) Wavelength shifts at different peaks from 20 °C to 130 °C

图 3 双芯光纤梳状滤波器的温度测试图

Fig. 3 TCF comb-filter tested under different temperatures

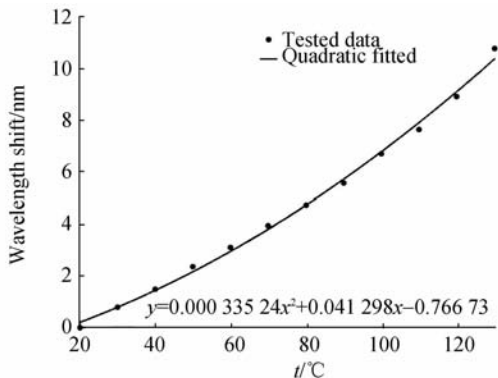
如图 3(a)所示,当温度从 20 ℃ 升高到 130 ℃ 时,所制梳状滤波器的传输谱向长波方向漂移了约 10.44 nm。当温度分别为 20 ℃ 和 130 ℃ 时,在 1 550 nm 附近所制器件相邻峰值的波长间隔分别约为 2.53 nm 和 2.17 nm。可见,随着温度的升高,在某波长附近,该器件的 FSR 减小。一方面,这可能是由于随着温度的升高,TCF 的长度变长,从而使该器件相邻峰值的波长间隔减小,其原理如本文第二部分和第三部分所论述。另一方面,这可能是由于温度变化,双芯光纤的两个芯子的折射率分别发生了变化,从而使两个纤芯间的折射率差发生了变化<sup>[13]</sup>。

图 4(a)和图 4(b)分别为在 20~130 ℃ 制备的梳状滤波器在 1 544.42 nm (波峰 4) 和 1 551.42 nm (波峰 7) (20 ℃ 传输谱的读数) 处波



(a) 1544.42 nm 处波峰

(a) Peak at 1 544.42 nm



(b) 1 551.42 nm 处波峰

(b) Peak at 1 551.42 nm

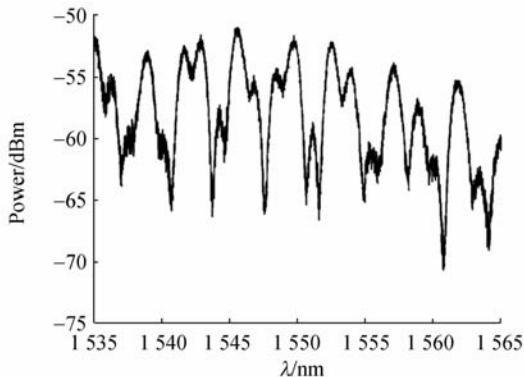
图 4 不同温度下,所制梳状滤波器传输谱不同波峰的波长变化图

Fig. 4 Wavelength shifts of different transmission peaks of comb-filter at different temperatures

峰的波长漂移值随温度的变化图和所测数据的二次拟合曲线。1 544.42 nm 处波峰的波长漂移值的二次拟合曲线为  $y = 0.00033729x^2 + 0.039319x - 0.75397$ , 如图 4(a)所示; 1 551.42 nm 处波峰的波长漂移值的二次拟合曲线为  $y = 0.00033524x^2 + 0.041298x - 0.76673$ , 如图 4(b)所示。由图 4 可知,所制器件的传输谱的波长移动实验测量数据与温度变化具有较好的二次曲线关系。由图 4 的二次拟合曲线可得,器件在 1 544.42 nm 处和 1 551.42 nm 处的温度灵敏度可以分别表达为  $z_1 = 0.0067458x + 0.039319$  和  $z_2 = 0.00067048x + 0.041298$ , 其中  $z_i$  ( $i=1$  或 2) 为温度灵敏度 (nm/℃),  $x$  为温度 (℃)。80 ℃ 时,器件在 1 544.42 nm 处和 1 551.42 nm 处的温度灵敏度分别约为 0.093 和 0.095 nm/℃。可见,所制器件在不同波长处的温度灵敏度略有不同。因此,在温度测量过程中应选择一固定波长进行测量。

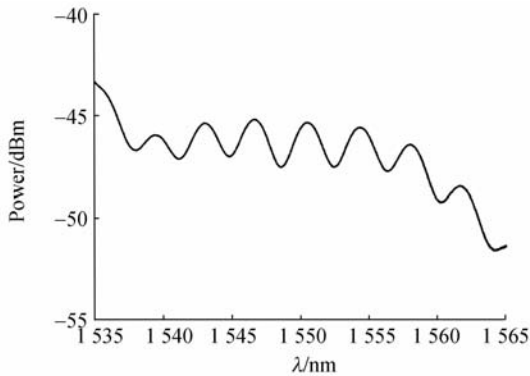
当将温度升高到 140 ℃ 时,器件的传输谱变得混乱,已不能用于温度传感,如图 5(a)所示。图 5(b)为一个将 TCF 的涂敷剥除后的梳状滤波器在室温下的传输谱,由图可见,该器件的传输谱也比较混乱。因此,图 7 所示器件传输谱的劣化可能是由于当光信号由 SMF 注入 TCF 时,在 TCF 中激发了包层模。当温度 < 140 ℃ 时,TCF 的涂敷的折射率 > TCF 包层的折射率,于是包层模几乎透射到涂敷中而被损耗;当温度 > 140 ℃ 时,TCF 的涂敷受热,折射率减小 (小于光纤包层的折射率),包层模在包层与涂敷界面发生全反射,包层模能够在包层中传输,并在 TCF 与 SMF 的熔接点处与 TCF 两个纤芯里的光发生多光束干涉。

为了制出能用于高温传感的双芯光纤 MZI, 本文重新制作了一个参数不同,拉丝时不上涂敷的 TCF。该 TCF 的包层直径约为 350 μm, 纤芯直径约为 8.4 μm, 纤芯距约为 30 μm。8.4 μm 的纤芯直径保证了该 TCF 的单模传输, 30 μm 的纤芯距保证了两个纤芯之间较小的耦合率。为了让该 TCF 能与 SMF 较好地熔接在一起, 对该



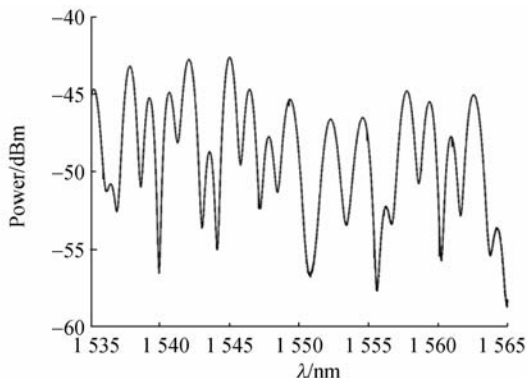
(a) 140 °C 下, 双芯光纤带有涂敷时

(a) TCF with coating at 140 °C



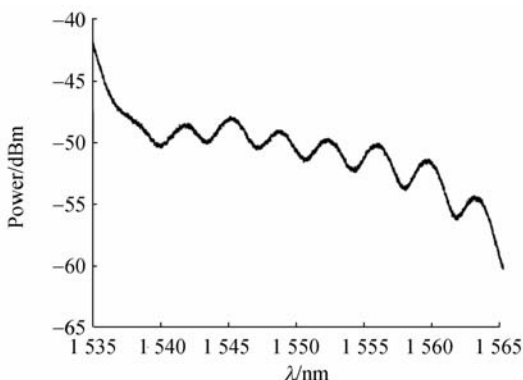
(a) 器件在 20 °C

(a) At 20 °C



(b) 室温下, 双芯光纤剥除涂敷后

(b) TCF without coating at room temperature



(b) 器件在 170 °C

(b) At 170 °C

图 5 双芯光纤梳状滤波器的传输谱

Fig. 5 Transmission spectra of TCF comb-fiber

图 6 使用新制双芯光纤的 MZI 型梳状滤波器的传输谱

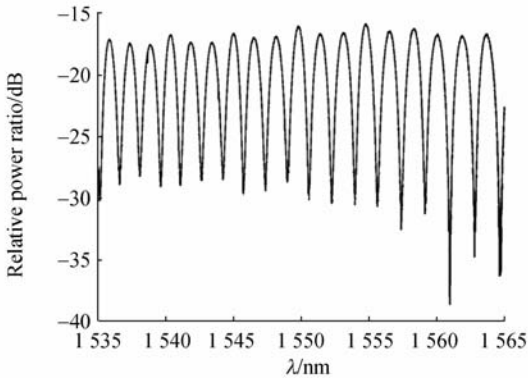
Fig. 6 Transmission spectra of comb-filter based on

MZI using new TCF

TCF 熔融拉锥。拉锥后锥区束腰处的包层直径约为  $125\ \mu\text{m}$ , 纤芯直径约为  $2.8\ \mu\text{m}$ , 纤芯距约为  $10\ \mu\text{m}$ 。将拉锥后的 TCF 应用于上述结构的 MZI 中, 并分别测试所制器件在  $20\ ^\circ\text{C}$  和  $170\ ^\circ\text{C}$  时的传输谱, 如图 6 所示。由图 6(b) 可见, 该器件在  $170\ ^\circ\text{C}$  时仍然具有较好的梳状传输谱。这可能是由于在 SMF 与 TCF 的熔接处, 该 TCF 锥区束腰处的纤芯距较小, TCF 中几乎没有激发出包层模, 从而不会产生多光束干涉的缘故。因此, 该梳状滤波器在不同温度下都能保持较好的梳状传输谱。由此可见, 该 TCF 可以应用于较高温度的传感。与图 6(a) 相比, 图 6(b) 中的曲线有一点抖动, 这是由于温控箱在高温工作下的振动引起的。由于温控箱最高温度只能达到  $180\ ^\circ\text{C}$ , 暂时未能进行更高温度的测量。

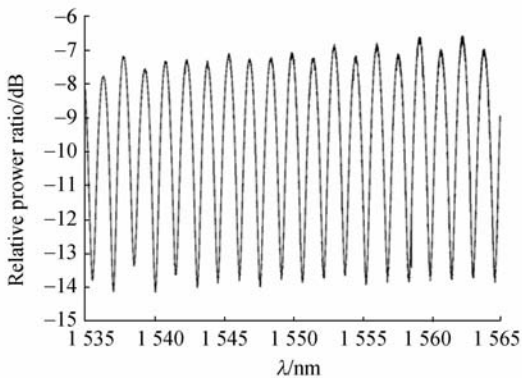
### 3.3 插入损耗

图 7(a) 为图 2(b) 所示梳状滤波器的传输谱减去 EDFA 的 ASE 谱之后的相对传输谱。由图 7 可见, 该器件的插入损耗约为  $17\ \text{dB}$ 。较高的插入损耗主要是由于 TCF 与 SMF 熔接时, 熔接点处 TCF 的两个纤芯与 SMF 的纤芯间的偏离和 TCF 的纤芯与 SMF 的纤芯的模式失配造成的。在 TCF 与 SMF 的熔接处进行熔融拉锥, 可以有效降低 TCF 与 SMF 的熔接损耗<sup>[14-15]</sup>。于是, 采用商用光纤熔接机的拉锥功能分别对这种双芯光纤 MZI 型梳状滤波器的两个 TCF 与 SMF 的熔接点进行拉锥处理, 重新制作了一双芯光纤 MZI 型梳状滤波器, 并对其进行上述拉锥处理。图 7(b) 为拉锥处理后, 将所制器件的传输谱减去 ASE 谱得到的相对传输谱。由图 7(b) 可见, 所制器件的插入损耗约为  $7\ \text{dB}$ 。实验表明, 对 TCF



(a) SMF 与 TCF 的熔接处未经过拉锥处理

(a) Splicing regions between SMF and TCF werenot tapered



(b) SMF 与 TCF 的熔接处经过拉锥处理

(b) Splicing regions between SMF and TCF were tapered

图 7 所制梳状滤波器的相对传输谱

Fig. 7 Relative transmission spectra of fabricated comb-filters

与 SMF 的熔接点的拉锥处理可以有效降低所制器件的插入损耗,进一步优化拉锥参数还可能进一步降低所制器件的插入损耗,这些还有待于进一步的研究。此外,还可以通过优化 TCF 的结构设计,在光纤熔接机上选择合适的熔接时间、熔接电流参数<sup>[16]</sup>来降低插入损耗。TCF 与 SMF 的熔接区域可以通过加涂覆来增加熔接强度。

## 4 结 论

通过将一根单模双芯光纤熔接在两根单模光纤之间,实验制得了双芯光纤马赫-曾德尔干涉仪型梳状滤波器。从理论和实验上分析了该器件的梳状传输谱与波长、所用 TCF 的长度和两纤芯折射率差的关系。最后,实验分析了所制器件的温度特性和插入损耗。实验表明,在该器件的梳状传输谱中,FSR 与波长的平方成正比,与 TCF 的长度和两个纤芯间的有效折射率差的乘积成反比。随着温度的升高,所制器件的传输谱向长波方向移动。相同温差下,不同波长处的波长漂移值不同,短波长处波长漂移较小,长波长处波长漂移较大。该器件传输谱的波长漂移实验测量数据与温度变化具有较好的二次曲线关系,灵敏度与温度成正比。通过对该器件的 TCF 与 SMF 的熔接点的拉锥处理,可以有效降低所制器件的插入损耗。实验制得了插入损耗约为 7 dB 的器件,与拉锥前相比(17 dB),插入损耗降低约 10 dB。该器件体积小、结构简单、制作容易、与光纤系统具有良好的匹配性,可以应用于光纤温度传感。

## 参考文献:

- [1] KOO K P, KERSEY A D. Bragg grating-based laser sensor systems with interferometric interrogation and wavelength division multiplexing[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1995,13(7):1243-1249.
- [2] BALL G A, MOREY W W, CHEO P K. Single- and multipoint fiber-laser sensors[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993,5(2):267-270.
- [3] 郭明金,姜德生,袁宏才. 两种封装的光纤光栅温度传感器的低温特性[J]. *光学精密工程*, 2007,15(3):326-330.
- [4] BHATIA V, VENGSARKAR A M. Optical fiber long-period grating sensors[J]. *Opt. Lett.*, 1996, 21(9):692-694.
- [5] LOWDER T L, SMITH K H, IPSON B L, et al.. High-temperature sensing using surface relief fiber Bragg gratings[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005,17(9):1926-1928.
- [6] ZHU Y, HUANG Z, SHEN F, et al.. Sapphire-

GUO M J, JIANG D SH, YUAN H C. Low temperature properties of fiber Bragg grating temperature sensors with two package methods[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(3):326-330. (in Chinese)

- fiber-based white-light interferometric sensor for high-temperature measurements [J]. *Opt. Lett.*, 2005,30(7):711-713.
- [7] NGUYEN L V, HWANG D, MOON S, *et al.*. High temperature fiber sensor with high sensitivity based on core diameter mismatch [J]. *Opt. Express*, 2008,16(15):11369-11375.
- [8] 张滢, 张建中, 刘志海, 等. 具有波长标定功能的多模光纤温度传感器 [J]. *光学学报*, 2009,29(2):327-330.  
ZHANG Y, ZHANG J ZH, LIU ZH H, *et al.*. Multimode fiber based temperature sensor with the capability of wavelength encoding [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009,29(2):327-330. (in Chinese)
- [9] CHOI H Y, KIM M J, LEE B H. All-fiber Mach-Zehnder type interferometers formed in photonic crystal fiber [J]. *Opt. Express*, 2007,15(9):5711-5720.
- [10] 李学金, 于永芹, 洪学明, 等. 基于液体填充的光子晶体光纤温度传感特性分析 [J]. *中国激光*, 2009,36(5):1140-1144.  
LI X J, YU Y Q, HONG X M, *et al.*. Analysis on temperature sensing properties of photonic crystal fiber based on liquid filling [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009,36(5):1140-1144. (in Chinese)
- [11] LU P, MEN L, SOOLEY K, *et al.*. Tapered fiber Mach-Zehnder interferometer for simultaneous measurement of refractive index and temperature [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2009,94(13):131110-1-3.
- [12] WANG Y, LI Y, LIAO C, *et al.*. High-temperature sensing using miniaturized fiber in-line Mach-Zehnder interferometer [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2010,22(1):39-41.
- [13] MIYAMOTO M, KIKUCHI Y, YAMAUCHI R, *et al.*. Fabrication and temperature sensing characteristics of a new dual-core single-mode fiber sensor [C]. *Optical Fiber Communication Conference (OFC) 1983 OSA Technical Digest Series*, 1983: paper TuB2.
- [14] YUAN L, LIU Z, YANG J, *et al.*. Bitapered fiber coupling characteristics between single-mode single-core fiber and single-mode multicore fiber [J]. *Appl. Opt.*, 2008,47(18):3307-3312.
- [15] 朱晓亮, 苑立波, 刘志海, 等. 单芯光纤与双芯光纤的耦合方法与耦合机制 [J]. *中国激光*, 2009,36(4):913-917.  
ZHU X L, YUAN L B, LIU ZH H, *et al.*. Coupling approach and mechanism of single-core and twin-core fiber [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009,36(4):913-917. (in Chinese)
- [16] LI Q, LIN C H, TSENG P Y, *et al.*. Demonstration of high extinction ratio modal interference in a two-mode fiber and its applications for all-fiber comb filter and high-temperature sensor [J]. *Opt. Commun.*, 2005,250(2):280-285.

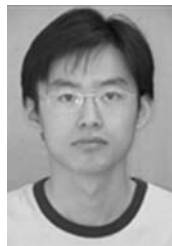
#### 作者简介:



范林勇(1984—),男,福建寿宁人,博士研究生,2006年于北京交通大学获得学士学位,主要从事光纤通信器件与技术的研究。E-mail: skillfan@163.com



江微微(1982—),女,黑龙江佳木斯人,博士研究生,2006年于北京交通大学获得学士学位,主要从事光纤通信器件与技术的研究。E-mail: 06111009@bjtu.edu.cn



**赵瑞峰**(1986—),男,山东潍坊人,博士研究生,2007年于北京交通大学获得学士学位,主要从事光纤通信器件与技术的研究。E-mail: 07111027@bjtu.edu.cn



**简水生**(1929—),男,江西萍乡人,教授,中国科学院院士,博士生导师,1953年毕业于北京铁道学院,1960年于莫斯科电信工程学院获得硕士学位,主要从事光纤通信、光纤传感、光纤器件、光纤网络等方面的研究。E-mail: ssjian@bjtu.edu.cn



**裴丽**(1970—),女,山西人,教授,博士生导师,1992年、1995年、2002年于北京交通大学分别获得学士、硕士、博士学位,主要从事光通信、光传感、光网络、ROF等方面的研究。E-mail: lipei@bjtu.edu.cn

## 第九届全国信息获取与处理学术会议征文通知

由中国仪器仪表学会主办,沈阳市仪器仪表与自动化学会与相关高等院校联合承办的全国信息获取与处理学术年会,从2003年至2010年分别在沈阳(沈阳工业大学)、大连(大连交通大学)、金华(浙江师范大学)、贵阳(贵州大学)、秦皇岛(燕山大学)、焦作(河南理工大学)、桂林(桂林理工大学)、威海(哈尔滨工业大学)连续举办了八届。全国信息获取与处理学术会议由于投稿地域分布广泛,会议学术气氛浓厚,组织规范,在相关院校及广大作者和热心朋友的共同努力下,已经成为国内仪器仪表领域具有重要影响的学术会议。

第九届全国信息获取与处理学术会议将由中国仪器仪表学会主办,沈阳市仪器仪表与自动化学会、沈阳工业大学、丹东市科学技术协会联合承办,并于2011年8月6日在辽宁省丹东市召开。

本次会议的主题为(1)视觉检测技术及其应用,(2)教学实验仪器开发与应用,会议相关事宜如下:

### 1 征文范围

(1)视觉检测系统硬件技术,包括光源、滤光片、镜头、图像传感器或成像机构、图像采集与处理电路、图像传输电路、视觉检测系统等。

(2)视觉检测系统软件技术,包括成像机构标定,图像预处理(增强、滤波、恢复、重建、裁剪、定位、分割等),目标图像检测,目标图像识别及其应用。

(3)目标成像技术,包括微波成像,可见光成像,红外成像,X射线成像,CT成像, $\gamma$ 射线成像,声波成像,超声波成像,磁共振成像,电容成像等。

(4)其它测量技术,包括各种电量、非电量测量方法,测量装置,传感器等。

(5)教学实验仪器、装置的开发,各种实验仪器在教学中的应用。

### 2 重要信息

本次会议录用论文将刊登在《仪器仪表学报》2011年增刊上。

本次会议将继续评选优秀论文,由中国仪器仪表学会颁发优秀论文证书。

本次会议一律网上投稿,详情请见本次会议网址。

论文投稿截止日期:2011年4月1日。

### 3 联系方式

会议网址:<http://www.meeting.org.cn>

联系电话:024-25496417(传真)

联系人:魏秋敏

通信地址:沈阳经济技术开发区沈辽西路111号662信箱 沈阳市仪器仪表与自动化学会(110870)

电子信箱:syias@126.com(有关会议论文投稿等信息的咨询)