

光纤布拉格光栅辅助失配耦合器型上下话路 滤波器的实验制作

范林勇^{1,2} 李 坚^{1,2,3} 江微微^{1,2} 刘志明^{1,2} 郑晶晶^{1,2} 简水生^{1,2}

¹ 北京交通大学光波技术研究所, 北京 100044
² 北京交通大学全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044
³ 铁道科学研究院通信信号研究所, 北京 100081

摘要 全光纤上下话路滤波器是光纤通信系统中的重要器件。光纤布拉格辅助失配耦合器型上下话路滤波器是非干涉型的, 易于制作, 并且稳定。采用波长为 248 nm 的紫外光在由标准单模光纤和自制的高掺锗光敏光纤熔融拉锥制作的 2×2 光纤耦合器上写入光纤光栅, 实现了全光纤多端口上下话路滤波器。实验中获得了最大反射率约为 20 dB, 带宽约为 2 nm 的上下话路滤波器。实验分析表明在耦合器耦合区的均匀部分写入一定长度的啁啾布拉格光栅, 或在耦合区的不均匀部分写入一定长度的均匀布拉格光栅, 均可获得峰值反射率较高和带宽较大的光纤布拉格辅助失配耦合器型上下话路滤波器。

关键词 光纤通信; 上下话路滤波器; 光纤布拉格光栅; 耦合器

中图分类号 TN929.11 OCIS 060.2330 060.3735 文献标识码 A

Experimental Fabrication of Bragg Grating-Assisted Mismatched Coupler for Add/Drop Filters

Fan Linyong^{1,2} Li Jian^{1,2,3} Jiang Weiwei^{1,2} Liu Zhiming^{1,2} Zheng Jingjing^{1,2} Jian Shuisheng^{1,2}

¹ Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 10044, China
² Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network, Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China
³ Signal & Communication Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China

Abstract All-fiber add/drop filters are the key components in fiber communication systems. The Bragg grating assisted mismatched coupler for add/drop filter is not interferometric, easy to fabricate and works stable. The filter is based on 248 nm ultraviolet-written Bragg grating in 2×2 coupler fused with a standard single mode fiber and a self-made high germanium doped photosensitive fiber. The filter with maximum reflectivity about 20 dB, bandwidth about 2 nm is obtained. Filters with big maximum reflectivity and long bandwidth can be obtained by writing chirped Bragg grating on the uniform region of the coupler or writing Bragg grating on the non-uniform region of the coupler.

Key words optical fiber communication; add/drop filter; fiber Bragg grating; coupler

收稿日期: 2009-08-02; 收到修改稿日期: 2009-10-22

基金项目: 国家自然科学基金(60771008)和北京市自然科学基金(4082024)资助课题。

作者简介: 范林勇(1984—), 男, 博士研究生, 主要从事光通信器件与技术等方面的研究。E-mail: skillfan@163.com

导师简介: 简水生(1929—), 男, 教授, 中国科学院院士, 博士生导师, 主要从事光纤通信、光纤传感、光纤有源无源器件、光纤网络等方面的研究。E-mail: ssjian@bjtu.edu.cn

1 引言

全光纤上下话路滤波器是波分复用(WDM)系统中的一种关键器件,也是降低成本,推广光纤到户光网络的突破口。在光纤耦合器的耦合区写入光栅制作的上下话路滤波器,将耦合器的多端口特性和光栅的波长选择特性结合在一起,具有结构紧凑、插入损耗小、费用低等优点。1996年,L. Dong等^[1]用研磨法制成了耦合波长 $\lambda = 1538 \text{ nm}$,耦合比为80%的光纤布拉格光栅(FBG)辅助耦合器型上下话路滤波器。1998年,A. S. Kewitsch等^[2]用熔融拉锥法制成了这种器件。他们将光栅倾斜写入耦合区,倾角为 4° 。器件的插入损耗约0.1 dB,在 $\lambda = 1547 \text{ nm}$ 处发生最大耦合,耦合效率约98%。并以偏振光作为输入信号,测得器件的响应与偏振无关。2006年,董小伟等^[3]用非对称熔锥法制成了这种器件。器件的下话路中心波长为 1555.825 nm ,插入损耗和通路损耗分别为6.6 dB和2.7 dB。基于光栅耦合器的上下话路滤波器一般有反射型、破坏型和辅助型三种类型。其中,前两种都属于干涉型,对光栅写入位置敏感,对耦合器及其光栅写入时的控制精度要求很高;后一种为辅助型,即光纤布拉格光栅辅助失配耦合器型,属于非干涉型,对光栅的写入位置不敏感,易于制作,并且性能稳定^[4]。

本文实验研究了光纤布拉格光栅辅助失配耦合器型上下话路滤波器的制作,实验研究了将均匀的光纤布拉格光栅分别写在失配耦合器的耦合区的均匀部分和非均匀部分,对上下话路滤波器的性能的影响。

2 器件的工作原理

光纤布拉格光栅辅助失配耦合器型上下话路滤波器的基本结构如图1所示。首先用两根差异较大的光纤制成不匹配耦合器,然后在耦合区中的一个纤芯上写入光纤布拉格光栅。由于两纤芯失配,在无光栅区,两纤芯之间的耦合作用十分小,主要起传导光功率的作用。在光栅区,由于单芯写入光栅,实现了正反向基模的功率转化。如图1所示,在端口1输入光信号,根据布拉格光栅的作用建立耦合,满足如下条件的信号 λ_{12} 将从端口4输出,

$${}^1\beta_{01}(\lambda_{12}) + {}^2\beta_{01}(\lambda_{12}) = K = 2\pi/\Lambda, \quad (1)$$

式中 ${}^1\beta_{01}$ 和 ${}^2\beta_{01}$ 分别为纤芯1和纤芯2中 LP_{01} 模的传输常数, λ_{12} 为光栅耦合器的反射波长, K 为光栅的波数, Λ 为光栅的周期。除了波长为 λ_{12} 的信号外,其他波长的信号继续在纤芯1中传输,并从端口2输出。于是,该滤波器实现了下话路的功能。当在端口3输入波长为 λ_{12} 的信号时,该信号将与纤芯1中的信号一同从端口2输出,于是实现了上话路的功能^[1]。端口1~4分别用作输入端口、输出端口、上话路端口和下话路端口。

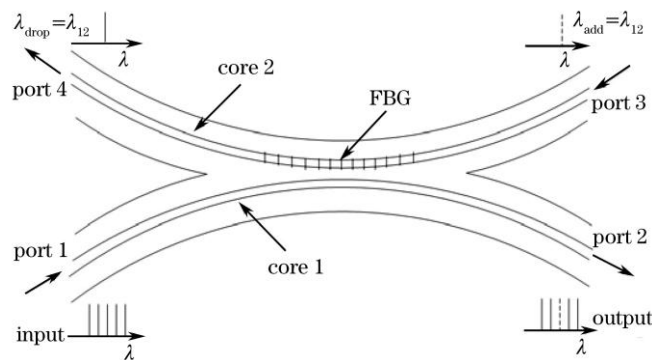


图1 光纤布拉格光栅辅助失配型上下话路滤波器示意图
Fig.1 Configuration of the Bragg grating assisted mismatched coupler for add/drop filter

根据光波导理论^[5],若两根不同的纤芯间距足够大,波导中总的模场可以近似认为两根独立光纤各自

的 LP_{01} 模的线性叠加。在耦合器的耦合区，总的模场可以表示为

$$\Psi_{01}(x, y) = b_1 {}^1\Psi_{01}(x, y) \exp[i({}^1\omega_{01}t - {}^1\beta_{01}z)] + b_2 {}^2\Psi_{01}(x, y) \exp[i({}^2\omega_{01}t + {}^2\beta_{01}z)], \quad (2)$$

式中 $b_1, b_2, {}^1\omega_{01}, {}^2\omega_{01}$ 分别为 LP_{01} 模在纤芯 1 和纤芯 2 中的幅值和频率, ${}^1\Psi_{01}(x, y)$ 和 ${}^2\Psi_{01}(x, y)$ 分别为 LP_{01} 模在纤芯 1 和纤芯 2 中的归一化模式场, 且满足

$$\iint_{\infty} {}^1\Psi_{01}(x, y) {}^1\Psi_{01}(x, y) dx dy = 1, \quad \iint_{\infty} {}^2\Psi_{01}(x, y) {}^2\Psi_{01}(x, y) dx dy = 1. \quad (3)$$

根据耦合模理论^[6], 可以得到

$$db_1/z = -ib_2\kappa \exp(i2\Delta\beta z), \quad db_2/z = -ib_1\kappa \exp(i2\Delta\beta z). \quad (4)$$

式中,

$$\Delta\beta = [{}^1\beta_{01}(\lambda_{12}) + {}^2\beta_{01}(\lambda_{12}) - 2\pi/\Lambda]/2 = \beta - \pi/\Lambda, \quad (5)$$

$$\kappa = (\pi/\lambda_{12})\Delta n \iint_{\text{core2}} {}^1\Psi_{01}(x, y) {}^2\Psi_{01}(x, y) dx dy, \quad (6)$$

$\Delta\beta, \kappa$ 和 Δn 分别为失谐量、耦合系数和紫外折射率调制系数。

3 实验结果与分析

采用长飞公司 G652B 型单模光纤和自制的高掺铈光敏光纤 H485 进行熔融拉锥制作耦合器, 自主设计了一套高精度熔融拉锥耦合器制作平台。整个耦合器制作平台由高精度移动平台、特制宽口氢氧焰灯头和监测系统三部分组成。通过选择适当的氢气流量、拉锥速度等参数, 制作出了熔融区长度约为 6 cm 的耦合器, 其耦合区均匀部分的长度约为 3 cm。然后采用波长为 248 nm 的 KeF 准分子激光器, 以频率 8 Hz, 能量 80 mJ 的紫外光, 利用相位掩模法在耦合区刻写周期为 1075 nm, 长度为 30 mm 左右的均匀光纤布拉格光栅。制得光纤布拉格光栅辅助失配耦合器型上下话路滤波器。

将所制上下话路滤波器的端口 1 与掺铒光纤放大器(EDFA)宽带光源相连, 然后使用光谱分析仪(ANDO AQ6317C, 分辨率为 0.01)检测端口 4 的输出谱, 如图 2 所示。图 2(a)为在耦合器的耦合区的均匀部分刻写光栅时, 测得的端口 4 的输出谱。由图可见, 实验所制上下话路滤波器的最大反射率约为 11 dB, 带宽约为 0.1 nm。图 2(b)为在耦合器耦合区的不均匀部分刻写光栅时, 测得的端口 4 的输出谱。由图可见, 实验所制上下话路滤波器的最大反射率约为 20 dB, 带宽约为 2 nm。

由光栅的知识可知, 在纵向均匀的光纤上刻写均匀光纤布拉格光栅时, 随着光栅长度的增加, 光栅的透射深度逐渐增大, 而反射带宽逐渐减小; 在纵向均匀的光纤上刻写啁啾光纤布拉格光栅时, 随着光栅长度的增加, 光栅的透射深度增大到一定程度后保持不变, 而光栅的反射带宽逐渐增大。因此, 对于图 2(b)中的现象可以解释为: 在耦合器耦合区的不均匀部分写入均匀布拉格光栅等效于在均匀耦合区中写入了啁啾布拉格光栅。

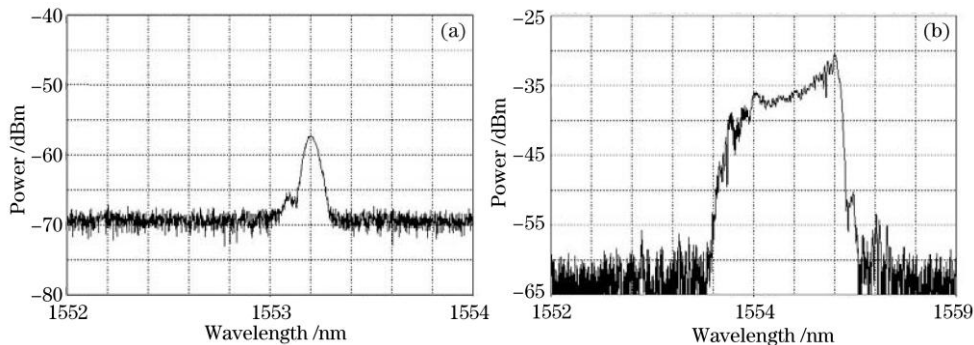


图 2 在耦合器耦合区的均匀(a)和不均匀(b)部分刻写光栅时端口 4 的输出谱

Fig.2 Output from port 4 when Bragg grating is written on the uniform (a) and non-uniform (b) region of the coupler

为了验证这一解释, 分别取一根 H485 光敏光纤和一根利用耦合器制作平台拔锥后的 H485 光敏光纤, 在相同条件下刻写均匀光纤布拉格光栅, 结果如图 3 所示。图 4 为在一根正常的 H485 光敏光纤上刻写啁啾光纤布拉格光栅时的反射谱, 3 dB 带宽约为 1.2 nm。由图 3 和图 4 可知, 在拔锥后的光敏光纤上写入均匀光纤布拉格光栅的反射谱的现象与在均匀光纤上写入啁啾光纤布拉格光栅的反射谱的现象相一致。这说明在制作光纤布拉格光栅辅助失配耦合器型上下话路滤波器时, 在耦合器的耦合区的均匀部分写入一定长度的啁啾光纤布拉格光栅, 或在耦合区的不均匀部分写入一定长度的均匀光纤布拉格光栅, 可以获得峰值反射率较高和带宽较大的上下话路滤波器。

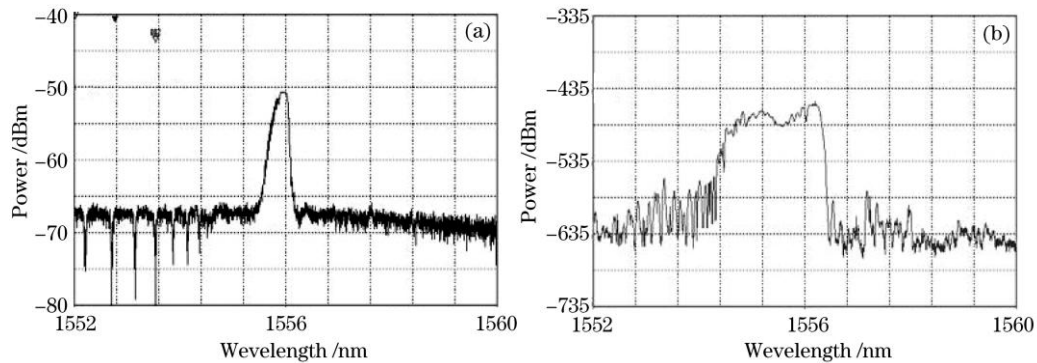


图 3 在未拉锥(a)和拉锥后(b)的 H485 光敏光纤上刻写布拉格光栅时的反射谱

Fig.3 Reflection spectrum of the Bragg grating when Bragg grating is written in a normal (a) and fused (b) H485 photosensitive fiber

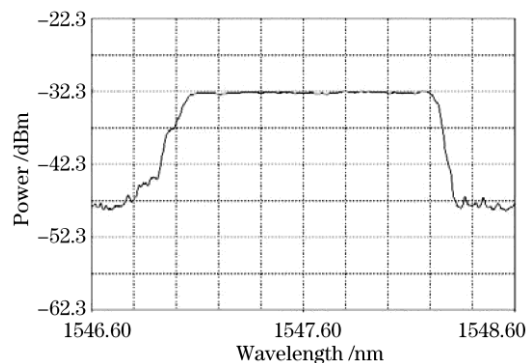


图 4 H485 光敏光纤上写入啁啾光纤布拉格光栅时的反射谱

Fig.4 Reflection spectrum of the chirped Bragg grating written in a H485 photosensitive fiber

4 结 论

采用标准单模光纤和自制的高掺铈光敏光纤在自制的耦合器制作平台上熔融拉锥制作 2×2 失配耦合器。利用波长为 248 nm 的紫外光在耦合器的耦合区写入光纤布拉格光栅, 实验制作了光纤布拉格光栅辅助失配耦合器型上下话路滤波器。实验研究表明在制作光纤布拉格光栅辅助失配耦合器型上下话路滤波器时, 在耦合器的耦合区的均匀部分写入一定长度的啁啾光纤布拉格光栅, 或在耦合区的不均匀部分写入一定长度的均匀光纤布拉格光栅, 可以获得峰值反射率较高和带宽较大的上下话路滤波器。

参 考 文 献

- 1 L. Dong, P. Hua, T. A. Birks *et al.*. Novel add/drop filters for wavelength-division-multiplexing optical fiber systems using a Bragg grating assisted mismatched coupler[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(12): 1656~1658
- 2 Anthony S. Kewitsch, George A. Rakuljic, Phil A. Willems *et al.*. All-fiber zero-insertion-loss add-drop filter for wavelength-division multiplexing[J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(2): 106~108
- 3 Dong Xiaowei, Pei Li, Jian Shuisheng. Add/drop channel filter based on fiber-Bragg-grating-assisted coupler fabricated by

- asymmetric fused taper technology[J]. *Acta Physica Sinica*, 2006, **55**(9): 4739~4743
董小伟, 裴 丽, 简水生. 非对称熔锥法制作光纤光栅辅助耦合器型上下话路滤波器[J]. *物理学报*, 2006, **55**(9): 4739~4743
- 4 Luo Aiping, Emmanuel Marin, Jean-Pierre Meunier *et al.*. All-fiber wavelength selective filter based on UV-written Bragg grating in conventional fused coupler[J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(12): 1491~1494
罗爱平, Emmanuel Marin, Jean-Pierre Meunier 等. 光纤耦合器上写入光栅制作滤波器的实验研究[J]. *中国激光*, 2004, **31**(12): 1491~1494
- 5 A. W. Snyder, J. D. Love. *Optical Waveguide Theory*[M]. London, New York: Chapman and Hall, 1983. 542~552
- 6 A. Yariv. Coupled-mode theory for guided-wave optics[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1973, **9**(4): 919~933