

文章编号: 0253-2239(2009)02-0308-04

基于光纤光栅辅助耦合的 WDM 下话路研究

裴 丽 赵瑞峰 宁提纲 董小伟 卫 延 祈春慧 阮 义

(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)

摘要 利用光纤光栅的反射特性和光纤耦合器的耦合特性, 研究基于光纤光栅辅助耦合波分复用(WDM)下话路器。满足国际电信联盟(ITU-T)建议波长的 WDM 光信号从耦合器输入端口进入, 其中与光栅中心反射波长一致的激光信号从耦合器的下话路端口输出, 而其他波长的激光信号从耦合器输出端口输出, 实现特定波长信号的下话路。选择中心波长分别为 1554.248 nm, 1555.859 nm, 消光比为 57 dB 的两路光信号进行试验, 光纤光栅的中心反射波长为 1555.86 nm, 实验结果表明, 上述两路光信号分别从不对称光纤耦合器的输出端口和下话路端口输出, 且在下话路端口输出光信号的消光比为 48 dB。

关键词 光纤通信; WDM 下话路; 光纤光栅; 耦合器

中图分类号 TN 929.11 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20092902.0308

Wavelength-Division Demultiplexer Based on FBG Coupler

Pei Li Zhao Ruifeng Ning Tigang Dong Xiaowei Wei Yan Qi Chunhui Ruan Yi

(Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network, Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract By using the reflectivity property of fiber Bragg grating (FBG) and the coupling property of coupler, a wavelength-division demultiplexer based on FBG coupler is designed. The WDM signals are injected from the input port of the coupler, and the signal which has the same wavelength as that of FBG will be output from the demultiplex port of the coupler, and the other signals will be output from the output port of the coupler, thus the demultiplex is implemented. The experiment of two signals with different wavelengths of 1554.248 nm and 1555.859 nm are implemented, and the extinction ration of each is 57 dB, and the center wavelength of FBG is 1555.86 nm. The results show that the signal output from the demultiplex port with extinction ration of 48 dB.

Key words optical fiber communication; wavelength-division demultiplex; fiber Bragg grating; coupler

1 引 言

光上/下话路器是密集波分复用(DWDM)系统必不可少的关键器件,也是降低成本,实现超宽带光通信系统推广应用的突破口,其性能的好坏直接影响着 DWDM 系统的整体性能。当前国际上制作光上/下话路器的技术较多,在市场上占有较大份额的主要有薄膜滤波型(Thin Film)、阵列波导光栅型(AWG)、光纤光栅型等三种。薄膜滤波型光上/下话路器技术成熟,可以提供良好的温度稳定性和通道隔离度以及很宽的带宽。这种技术的不足之处在

于信道间距较大,要实现频率间隔 100 GHz 以下非常困难,无法满足密集波分复用的需要,并且其前期生产投入相当高昂,生产工艺要求非常复杂;阵列波导光栅型光上/下话路器的难点在于制作波导光栅,即控制玻璃膜的厚度、成分与缺欠等工艺。温度稳定性不好,通带带宽较窄,插损较大,对系统信噪比有较大的影响,同时生产成本也相当昂贵;光纤光栅型光上/下话路器可以达到 50 GHz 甚至更窄的信道间距,具有造价低廉、结构简单、性能优良的特点^[1~3]。

基金项目:国家自然科学基金(60771008)、北京市自然科学基金(4082024)、回国人员留学基金、北京交通大学校基金(2006XM003)和新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-0091)资助课题。

作者简介:裴 丽(1970—),女,教授,博士生导师,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

本文利用光纤光栅的反射特性,设计了基于光纤光栅辅助耦合波分复用(WDM)下话路器。通过在光纤耦合器的特定位置上写入特定长度,且中心反射波长满足国际电信联盟(ITU-T)建议波长的光纤光栅,使得耦合器输入端口进入的 WDM 光信号中,与光纤光栅中心反射波长一致的激光信号从耦合器的下话路端口输出,其他中心波长的激光信号从耦合器的输出端口输出,实现了特定波长信号的下话路。选择消光比为 57 dB 的两路光信号进行试验,在下话路端口输出光信号的消光比为 48 dB。

2 理论分析

2.1 基本工作原理

光纤光栅耦合器中主要存在着三种模式耦合情况:一是直通臂中前向传输的光和光栅臂中反向传输的光之间的耦合;二是两臂中同向传输的光之间的耦合;三是光栅臂中前向传输和反向传输光之间的耦合。哪种耦合起主导作用取决于它们之间的耦合系数和相位匹配程度。通常情况下,第一种耦合系数是最小的,第三种耦合系数是最大的。所以,只有改变这三种耦合的相位匹配程度来抑制某种耦合的发生。当两光纤芯子的传输常数相近且纤芯的距离较远时,第二种和第三种耦合大体相当,当在两纤芯中传输模式的传输常数相差很大时,可以有效地抑制第二种耦合情况^[4]。

光纤光栅辅助耦合器在制备时所采用的两根光纤分别为普通单模光纤和紫外光敏光纤,由于在紫外光照射下,只有紫外光敏光纤的折射率会发生调制,而普通单模光纤的折射率几乎不发生变化,因此当耦合器制备成功以后,利用紫外曝光,在熔融拉锥光纤耦合器的紫外光敏光纤的纤芯中写入光栅,有效抑制第二种和第三种耦合,让第一种耦合占主导作用,利用光栅的波长选择特性实现对特定波长的上/下话路,其结构简单,性能也比较突出。光栅辅助耦合器对耦合器的要求较低,在没有写入光栅时,纤芯 1 和纤芯 2 中传输的基模传输常数 β 相差很

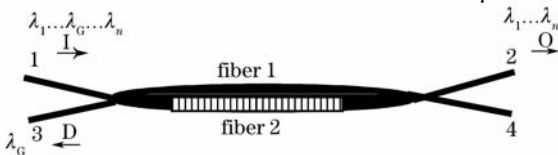


图 1 基于光纤光栅辅助耦合 WDM 下话路结构示意图

Fig. 1 Configuration of the wavelength-division demultiplexer based on FBG coupler

大,基本上在两纤芯间没有功率耦合,即几乎全部光从端口 O 输出。只有当其中一个纤芯写入光栅后才对特定的波长具有耦合反射作用,因此对其他信道的影响很小,插损也非常小,在实现上更加简便。基于光纤光栅辅助耦合 WDM 下话路的基本结构如图 1 所示,其中 1,2 为普通光纤,3,4 为光敏光纤。

2.2 理论仿真

假设两个不同区域的模场耦合时,不改变模场形状,只是改变其大小,用耦合模理论分析图 1 所示光纤光栅辅助耦合器特性。

首先,推导耦合模方程。设纤芯 1 和纤芯 2 中传输的基模为 φ_1, φ_2 , 则总电场可写为^[5~7]

$$E = [g_1^+ \exp(i\beta_1 z) + g_1^- \exp(-i\beta_1 z)]\varphi_1 + [g_2^+ \exp(i\beta_2 z) + g_2^- \exp(-i\beta_2 z)]\varphi_2, \quad (1)$$

其中系数 $g_1^+, g_1^-, g_2^+, g_2^-$ 为幅值, g_j^+, g_j^- 分别表示前向传播和反向传播的模式 φ_j 的振幅, β_1, β_2 为传输常数。

把(1)式代入波动方程

$$(\nabla^2 + k^2 n^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2})E = 0, \quad (2)$$

通过一系列的推导,可得出耦合模方程

$$\frac{d}{dz} \begin{bmatrix} g_1^+ \\ g_1^- \\ g_2^+ \\ g_2^- \end{bmatrix} = i \frac{1}{1 - N_{12}^2} \begin{bmatrix} M_{11} M_{12} M_{13} M_{14} \\ M_{21} M_{22} M_{23} M_{24} \\ M_{31} M_{32} M_{33} M_{34} \\ M_{41} M_{42} M_{43} M_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_1^+ \\ g_1^- \\ g_2^+ \\ g_2^- \end{bmatrix}, \quad (3)$$

式中 N_{12}, M_{ij} ($i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, 3, 4$) 为与两根光纤参量相关的系数。

假设 L 为光栅的长度,光只从端口 I 输入,没有光从其他端口输入。则边界条件为

$$g_1^+(0) = 1, g_1^-(L) = 0, g_2^+(0) = 0, g_2^-(L) = 0, \quad (4)$$

结合边界条件(4)式,使用龙格-库塔方法解耦合方程(3),可得出图 1 所示光纤光栅辅助耦合器的相关特性。

2.3 理论仿真结果

2.3.1 光栅长度 L 与光纤芯子间距 d 的关系

假设光栅长度为 L , 光纤芯子间距为 d , 端口 3 反射信号的反射率为 99%, 即下话路信号基本全部被反射回来, 计算获得光栅长度 L 与光纤芯子间距 d 的关系如图 2 所示。

由图 2 可见,两根光纤芯子之间的距离越大,所需要写入光栅的长度越长。

2.3.2 耦合系数与光纤芯子间距 d 的关系

假设普通光纤 1 的芯子半径为 $4 \mu\text{m}$, 光敏光纤 2 的芯子半径为 $2 \mu\text{m}$, 包层折射率相同为 1.457, 光

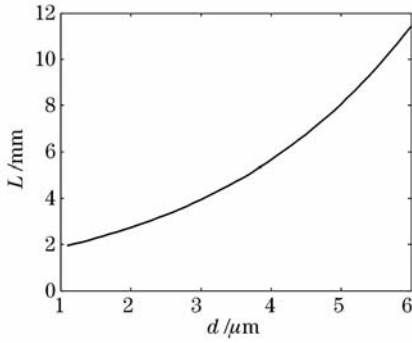


图 2 光栅长度 L 与光纤芯子间距 d 的关系

Fig. 2 Length of FBG versus the edge-to-edge separation of two fiber cores

纤的芯子折射率分别为1.462和1.463,光栅的周期为 $0.536 \mu\text{m}$,由此可得光栅的反射谐振波长为 $1.5649 \mu\text{m}$,即对该波长的信号可以进行下话路。

首先,计算基模传输常数,解得普通光纤1和光敏光纤2的传输常数为

$$\beta_1 = 5.91434341, \quad \beta_2 = 5.91740277, \quad (5)$$

进一步计算可得耦合系数与光纤芯子间距 d 的关系如图3(a)所示。增大光纤2的芯子折射率,使光敏光纤2的芯子折射率为1.462和1.4635,其他参数不变,可得光栅的下话路谐振波长为 $1.5705 \mu\text{m}$ 。

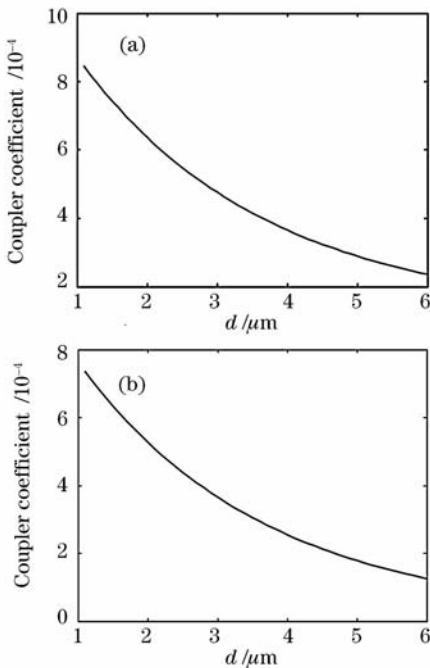


图 3 耦合系数与光纤芯子间距 d 的关系

Fig. 3 Coupler coefficient versus the edge-to-edge separation of two fiber cores

计算基模传输常数,解得普通光纤1和光敏光纤2的传输常数分别为

$$\beta_1 = 5.91434341, \quad \beta_2 = 5.93878867, \quad (6)$$

进一步计算可得耦合系数与光纤芯子间距 d 的关系如图3(b)所示。

从图3(a)和(b)可以看出,当组成耦合器的光纤参量发生变化后,下话路波长和耦合系数都发生了变化。

3 实验结果

3.1 光栅的制备^[8,9]

采用扫描法在耦合器上写入光纤光栅,选择掺铒光纤放大器(EDFA)的自发辐射噪声谱作为宽带光源,测得其反射谱如图4所示。光栅中心波长为 1555.86 nm 。

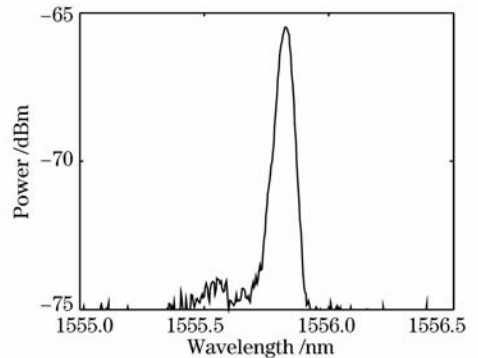


图 4 光纤光栅反射谱

Fig. 4 Reflectivity of FBG

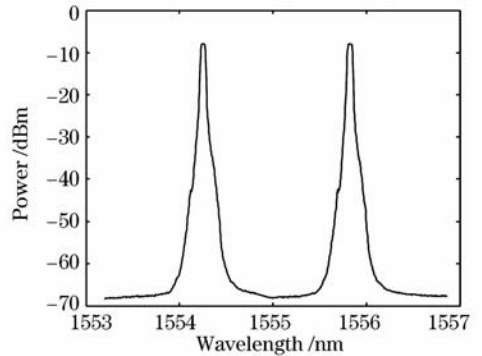


图 5 激光源双波长反射谱

Fig. 5 Reflectivity of the two wavelength laser signal

3.2 下话路测试

在耦合器的端口1输入两路激光信号,如图5所示,激光源的中心波长分别为 1554.248 nm 、 1555.859 nm ,消光比为 57 dB 。在端口3测得下话路中心波长 1555.83 nm 的光信号,反射谱见图6(a),信号消光比为 48 dB 。在端口2测得直通信号为中心波长 1554.248 nm 光信号,反射谱见图6(b),信号消光比为 36 dB 。

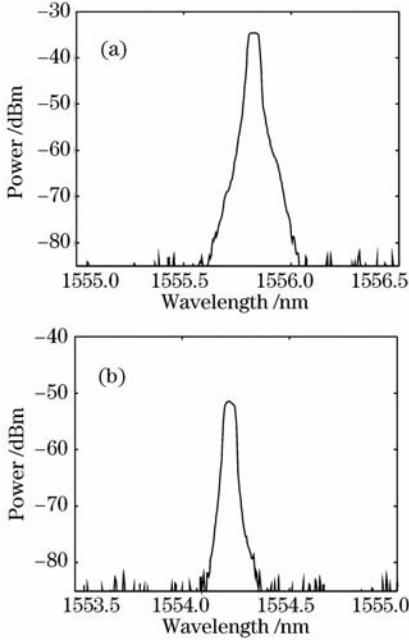


图 6 下话路端口 3 和输出端口 2 的光信号

Fig. 6 Output signal from port 3 and port 2

4 结 论

当前国际上制作光合波/分波器的技术较多,在市场上占有较大份额的主要有介质薄膜干涉型、平面波导集成阵列波导光栅型和光纤光栅型等三种。与前两种相比,光纤光栅型不需要像介质薄膜型或阵列波导光栅型合波/分波器那样昂贵的前期设备投入,成本大大降低,而且与光通信系统兼容好,熔接简单。然而,要获得性能优良的光纤光栅辅助耦合的 WDM 下话路器,还有许多的工艺难点需要解决,所以对该光纤光栅辅助耦合的 WDM 下话路研究具有重要意义。

参 考 文 献

- 1 Mu Kejun, Zhou Xiaojun, Ren Guorong *et al.*. Reconstruction of parameters of fiber gratings from time-delay characteristics using the genetic algorithm[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(5): 688~693
- 穆柯军,周晓军,任国荣等. 用遗传算法从时延特性重构光纤光栅参数[J]. *中国激光*, 2007, **34**(5): 688~693
- 2 Jia Weiguo, Shi Peiming, Yang Xinyu *et al.*. Modulation instability of fiber Bragg gratings with raised cosine apodization [J]. *Chinese J. Laser*, 2007, **34**(7): 930~934
- 贾维国,史培明,杨性愉等. 升余弦变迹布拉格光纤光栅中的调制不稳定性[J]. *中国激光*, 2007, **34**(7): 930~934
- 3 Zhu Yingxun, Wang Rong, Pu Tao. Fiber Bragg grating based time phase en-decoder with multiple wavelength channels [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(11): 1522~1526
- 朱英勋,王 荣,薄 涛. 具有多个波长通道的光纤光栅相位编/解码器[J]. *中国激光*, 2007, **34**(11): 1522~1526
- 4 Liu Qiuping, He Xingdao, Zhang Aiyun *et al.*. Linear solution for coupled-wave equation of nonlinear recording grating[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(6): 977~980
- 刘秋平,何兴道,张霁云等. 线性化求解非线性记录光栅耦合方程[J]. *光学学报*, 2007, **27**(6): 977~980
- 5 Fu Yongjun, Zheng Kai, Dong Xiaowei *et al.*. Study of Bragg grating assisted asymmetric twin-core fiber coupler[J]. *J. China Railway Society*, 2004, **26**(4): 82~85
- 傅永军,郑 凯,董小伟等. Bragg 光栅辅助非对称双芯光纤耦合器的研究[J]. *铁道学报*, 2004, **26**(4): 82~85
- 6 Takahashi K.. Reconfigurable optical add/drop multiplexer using passive temperature compensated wavelength tunable fiber Bragg grating [C]. *OFC2001*, WDD93/1~93/3
- 7 Zhou B, Zheng Xiaoping, Yu Xianbin *et al.*. Optical beamforming networks based on broadband optical source and chirped fiber grating [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2008, **20**(9): 733~735
- 8 Zhao Xinghai, Gao Yang. A novel coupling technique of optical fiber for high peak power pulse laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(12): 1639~1642
- 赵兴海,高 杨. 一种新型高功率激光注入光纤耦合技术 [J]. *中国激光*, 2007, **34**(12): 1639~1642
- 9 Cao Bin, Ou Pan, Jia Ming *et al.*. An innovative temperature-compensate package for fiber Bragg grating [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(12): 1959~1961
- 曹 彬,欧 攀,贾 明等. 一种新型光纤光栅温度补偿装置 [J]. *中国激光*, 2008, **35**(12): 1959~1961