

文章编号: 1001-3806(2012)04-0438-03

基于全光纤 M-Z 干涉仪的单通道光开关研究

罗华栋, 黄勇林*

(南京邮电大学 光电工程学院, 南京 210046)

摘要: 为了实现高性能的光开关器件, 提出了在马赫-曾德尔干涉仪的一端连上光纤布喇格光栅构成单通道光开关器件的方法, 并针对该器件进行了理论模拟研究和实验验证, 得出了该器件在波长 1550nm 处的光开关输出谱。结果表明, 该器件具有结构简单、易于实现和性能良好等优点。

关键词: 光通信; 马赫-曾德尔干涉仪; 光纤布喇格光栅; 单通道; 光开关

中图分类号: TN929.1 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.04.002

Design of a single channel optical switch based on all-fiber Mach-Zehnder interferometer

LUO Hua-dong, HUANG Yong-lin

(College of Optoelectronic Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China)

Abstract: In order to get a high performance optical switch, a single channel optical switch was designed based on Mach-Zehnder Interferometer, in which a fiber Bragg grating was connected with the end of the interferometer. The output spectrum at 1550nm wavelength was obtained. Theoretical and experiment results show that the single channel optical switch has characteristics of simple structure, easy feasibility and good performance.

Key words: optical communication; Mach-Zehnder interferometer; fiber Bragg grating; single channel; optical switch

引言

马赫-曾德尔干涉仪因其独特性能在全光通信中得到广泛的研究和应用^[1-2]。在波分复用系统中, 基于马赫-曾德尔干涉仪的光滤波器因其全光纤组成, 插入损耗小, 结构简单的特性, 受到了广大国内外研究人员的重视^[3-7]。为了进一步提高干涉仪的消光比, 人们提出在其一端连上光纤全反镜的方法, 大大改善了干涉仪的输出谱特性^[8]。基于这一思想, 作者提出用光纤布喇格光栅来代替光纤全反镜, 来构成一个单通道光开关。作者对此光开关器件进行了理论分析, 并用 MATLAB 软件进行了仿真, 得出了输出光谱图, 最后实验验证了该器件对设定的光波具有很好“开”和“关”的效果。该器件在全光通信中将会有良好的应用价值。

1 光开关设计理论分析

如图 1 所示, 整个结构由马赫-曾德尔干涉仪、光环形器和光纤光栅组成。在马赫-曾德尔干涉仪的一端加上光纤光栅, E_1 和 E_2 为干涉仪输入端光场, E_3 和 E_4 为干涉仪输出端光场, E' 是光环形器输出端光场, E_2' 表示端口 2 输出光场, E_3' 表示端口 3 经光纤布喇格光栅 (fiber Bragg grating, FBG) 后的透射输出光场, C_1 和 C_2 为 3dB 耦合器, PZT 为压电陶瓷。

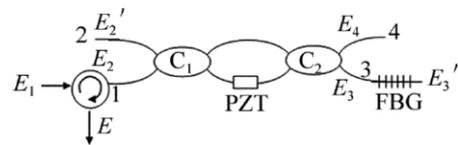


Fig. 1 Single channel optical switch

信号光由端口 1 输入, 经耦合进入马赫-曾德尔干涉仪, 端口 3 的输出光经 FBG 反射, 然后反向传播, 重新进入干涉仪, 2 次干涉光从干涉仪的端口 2 和光环形器的输出端输出。通过调整马赫-曾德尔干涉仪的臂长差, 可以构成一种单通道光开关。如果 FBG 反射峰处于马赫-曾德尔干涉仪干涉的相长位置, 就会得到反射光; 反之, 如果 FBG 反射峰处于马赫-曾德尔干涉仪干涉的相消位置, 光波就会得到透射, 这样就实现了对设定波长光的开关作用。

基金项目: 南京邮电大学引进人才科研启动基金资助项目 (NY207140)

作者简介: 罗华栋 (1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为光纤通信和光波技术。

* 通讯联系人。E-mail: huangyl@njupt.edu.cn

收稿日期: 2011-11-30; 收到修改稿日期: 2011-12-13

光波在 E_3 端既有透射又有反射,取 FBG 的反射率为:

$$R = \frac{\sinh^2 \sqrt{(kL)^2 - (\xi^+ L)^2}}{-\frac{\xi^{+2}}{k^2} + \cosh^2 \sqrt{(kL)^2 - (\xi^+ L)^2}} \quad (1)$$

式中 $k = \frac{\pi}{\lambda} s \overline{\delta n_{\text{eff}}}$ 为光栅交流耦合系数 $\xi^+ = \frac{2\pi}{\lambda} \overline{\delta n_{\text{eff}}}$ 为光栅直流耦合系数, L 为光栅长度, s 为光栅折射率调制的条纹可见度, $\overline{\delta n_{\text{eff}}}$ 为有效折射率变化, $\overline{\delta n_{\text{eff}}}$ 表示有效折射率在单个光纤光栅周期内的平均变化, $\overline{\delta n_{\text{eff}}}$ 在单个光栅周期中变化的均值, λ 表示入射光波波长,所以可得 FBG 的透射率为 $T = 1 - R$ 。由传输矩阵分析法^[9] 根据马赫-曾德尔干涉仪的传输特性,设 $E_2 = 0$ 从 E_3 和 E_4 的输出光场可写作:

$$\begin{bmatrix} E_3 \\ E_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 - e^{j\Delta\phi} & -j(1 + e^{j\Delta\phi}) \\ -j(1 + e^{j\Delta\phi}) & -(1 - e^{j\Delta\phi}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{E_1}{2} \begin{bmatrix} 1 - \exp(j\Delta\phi) \\ -j[1 + \exp(j\Delta\phi)] \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 $\Delta\phi = 2n\pi \frac{\Delta L}{\lambda}$ 代表马赫-曾德尔干涉仪两个干涉臂的传输相位差, ΔL 为两臂的长度差且 $\Delta L = l_2 - l_1$ (一般可取 $\Delta L = |l_2 - l_1|$)。

光从 E_3 端光栅反射回来时,利用以上的关系,可以计算出单通道开关的谱函数为:

$$\begin{bmatrix} E_3' \\ E_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 - e^{j\Delta\phi} & -j(1 + e^{j\Delta\phi}) \\ -j(1 + e^{j\Delta\phi}) & -(1 - e^{j\Delta\phi}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{E_1}{2} \begin{bmatrix} R(1 - e^{j\Delta\phi}) \\ -j(1 + e^{j\Delta\phi}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} E_3' \\ E_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 - e^{j\Delta\phi} & -j(1 + e^{j\Delta\phi}) \\ -j(1 + e^{j\Delta\phi}) & -(1 - e^{j\Delta\phi}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} RE_3 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{E_1}{4} \begin{bmatrix} R^2 [1 - \exp(j\Delta\phi)]^2 \\ -j[1 - \exp(j\Delta\phi)] \end{bmatrix} \quad (4)$$

图 2a 为所选均匀光栅反射谱和透射谱,所取光栅中心波长为 1550nm,其中 R 为反射谱, T 为透射谱。调节干涉臂的臂长差 ΔL ,可以从端口 E' 的光谱明显看到器件的“开”和“关”2 种状态,见图 2b。图中取 ΔL 分别取 2074nm, 1837nm 和 1537nm,其中 2074nm 和 1537nm 分别对应开关的“开”和“关”两状态, 1837nm 为中间的过渡状态。

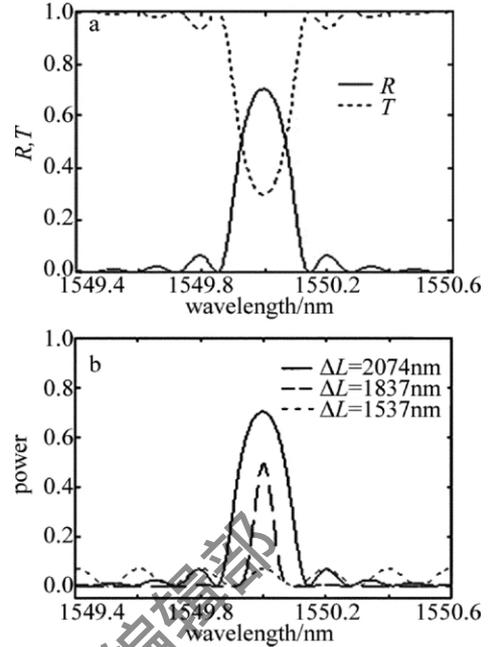


Fig. 2 “On” and “off” effect of an optical switch

保持干涉仪 3 组臂长差参量不变,改变 FBG 的中心波长,分别取中心波长为 1550.1nm 和 1550.2nm,观察 E' 端输出特性,如图 3 所示。

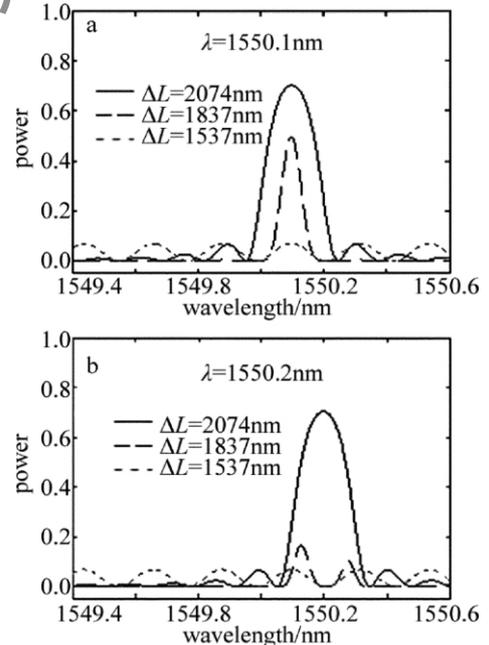


Fig. 3 Output spectrum of E' after FBG centre wavelength changed

对比图 3a 和图 3b 可以看出,在保持臂长差不变的情况下,改变 FBG 中心波长, E' 端口的开关特性会随着中心波长的改变而漂移,但可以明显地看到,在中心波长处开关效果最明显。

2 实验结果

实验测得 FBG 的反射谱和透射谱如图 4 所示,实验中所用 FBG 的中心波长为 1550.94nm,透射深度为

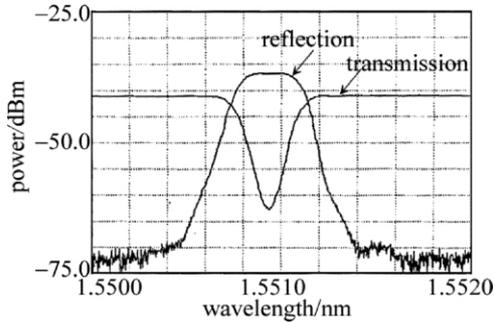


Fig. 4 Reflection and transmission of FBG

21.75dB, 3dB 带宽为 0.348nm。通过调节加在压电陶瓷上的电压来改变马赫-曾德尔干涉仪的臂长差,可以很明显的在 E' 端口看到器件“开”和“关”两种状态。

图 5 中“on”和“off”谱线分别对应于加在压电陶瓷两端的电压为 11V 和 63.7V。在光纤光栅的峰值波长上,实验中得到了 37.4dB 的开关动态范围,开关状态具有较好的稳定性和重复性。由于光纤光栅的反射谱带宽远小于干涉仪的谱线宽度,所以“开”状态时,光谱的线宽大致不变。在“开”状态,实验测得的信号附加损耗约为 8.81dB,这主要来源于光环形器的插入损耗、马赫-曾德尔干涉仪的光纤双折射和光纤光栅反射率的影响,另外还包括光路中的熔接损耗、接头损耗和耦合损耗等。

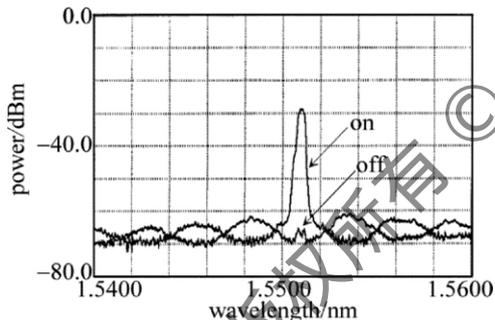


Fig. 5 Output spectrum of E'

3 结论

设计出一种基于全光纤马赫-曾德尔干涉仪的单

通道光开关器件,理论模拟分析结果和实验结果吻合度很高,验证了该器件对设定的某个波长具有很好的开关效果。在全光通信中,只需要改变马赫-曾德尔干涉仪的臂长差,就能达到光开关的目的。比较传统的光开关器件,此器件具有结构简单、开关动态范围大和偏振不灵敏等优良特性。另外,也可以减小构成器件的损耗,甚至还可以通过调节干涉仪干涉臂的光偏振态和选用高反射率的光栅等方法来降低系统损耗,使此器件达到最好的性能效果。

参考文献

- [1] HAN K, WANG Z Y, SHEN X P, *et al.* Mach-Zehnder interferometer designed based on self-collimating beams and photonic band gap in photonic crystals[J]. *Acta Physica Sinica*, 2011, 60(4): 1-2(in Chinese).
- [2] CHEN X Y, WANG Y F, WANG S Y, *et al.* Folded Mach-Zehnder interferometer in a hole-type silicon photonic crystal[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, 39(11): 1-2(in Chinese).
- [3] LIU H B, LI Y D, CUI G X, *et al.* Analysis of the nonlinearity in Mach-Zehnder heterodyne interferometric polarimeter [J]. *Laser Technology*, 2009, 33(3): 239-242(in Chinese).
- [4] SONG M H, YIN Sh Zh, RUFFIN P B. Fiber Bragg grating strain sensor demodulation with quadrature sampling of a Mach-Zehnder interferometer[J]. *Applied Optics*, 2000, 39(7): 1106-1111.
- [5] ZHOU G, ZHAO C L, HUANG Y L, *et al.* Improvement of the capability of nonsymmetrical Mach-Zehnder interferometric interleaver using fiber loop[J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, 22(6): 702-705(in Chinese).
- [6] HATTORI K, ABE M, ALBERT J, *et al.* Coherent crosstalk of an optical add/drop filter with Bragg gratings in a PLC Mach-Zehnder interferometer for optical LAN[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1999, 11(2): 272-274.
- [7] LI J, TONG Z R, MENG H Y, *et al.* Theoretical study on optical comb-filter of cascaded M-Z interferometer [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, 23(1): 41-44(in Chinese).
- [8] HUANG Y L. Study on add/drop multiplexing & demultiplexing technology in WDM systems[D]. Tianjin: Nankai University, 2000: 81-84(in Chinese).
- [9] ZHANG Z J, WANG C M. Investigation of the transfer matrix of the fiber gratings[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, 36(6): 1074-1076(in Chinese).