

文章编号: 0253-2239(2001)05-0589-04

马赫-曾德尔型全光分插复用器特性调整 的实验研究*

赵 浩¹⁾ 瞿荣辉²⁾ 蔡海文²⁾ 姚寿铨³⁾ 陈高庭²⁾ 方祖捷²⁾

(1), 上海交通大学光纤技术研究所, 上海 200033
(2), 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800
(3), 上海大学光纤技术研究所, 上海 201800

摘要: 分析了影响基于光纤光栅和马赫-曾德尔干涉仪的光分/插复用器(OADM)的特性的原因,根据理论分析和模拟计算,提出通过监控输入端口的背向反射光特性和局部加热的方法来判断和相应调整器件的参数,并用模拟紫外激光修正过程。实验结果验证了这一方法的可行性。

关键词: 马赫-曾德尔干涉仪; 光纤光栅; 光分/插复用器; 温度调谐

中图分类号: TQ342 文献标识码: A

1 引 言

密集波分复用是未来高速大容量全光通信网的主流技术之一。为此,需要发展相关的光子器件,如光调制器、滤波器、分波器、合波器、光开关等,这些新型光子器件的主要特征是具有优良的波长选择和特性。全光分/插复用器是关键器件之一^[1,2],它的主要作用是在网络结点处实现指定波长荷载信息的上下路。用马赫-曾德尔干涉仪(MZI)与光纤光栅(FBG)相结合是实现光分/插复用器的一个有效方法^[2]。与其他几种方案(如多层介质膜等)相比,这种结构的器件具有成本低、插入损耗小等优点,在光网络中有很大的应用前景和优势。

基于马赫-曾德尔干涉仪和光纤光栅的光分/插复用器(MZI/FBG OADM)的结构如图 1 所示。

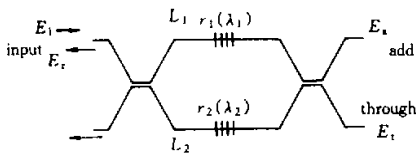


Fig. 1 Schematic diagram of MZI/FBG OADM

要获得高性能的器件,必须保证干涉仪的两干涉臂完全等长,两耦合器的分光比为 1:1,干涉臂上

的两个光纤光栅应该完全一致等。但这些要求在工艺上不易做到,往往需要在制作后用紫外激光折变来进行修正^[2,3]。但如何来判断和准确地进行修正是一值得研究的问题。

本文分析了马赫-曾德尔型光分/插复用器的特性,提出了用监控输入端口背向反射光特性的方法来判断影响器件性能的因素,从实验上用局部温度调整验证分析结果。这一判断和调整过程是紫外激光修正过程的一个模拟,对于实际修正过程具有指导意义。在紫外修正前可以用温度调谐的方法来进行模拟,保证紫外调整的准确性。

2 理论分析

马赫-曾德尔干涉仪/光纤光栅型全光分/插复用器是在平衡的马赫-曾德尔干涉仪的两干涉臂上写入均匀的光纤光栅构成的。如果这个器件十分理想,从“input”口输入的信号光,与光纤光栅波长一致的光将全部从“drop”口解复用下来,其余波长的光无损耗地从“through”口通过。从“add”口输入的光与光纤光栅波长一致的信号光全部被复用到“through”口输出。这就是这种结构的全光分/插复用器的解复用和复用过程,实现了本地波长信号的上下路^[2,4]。

如果两个光纤光栅不一致,或两耦合器的分光比偏离 1:1,或者干涉仪的干涉臂不等长,器件的性能将劣化。实际器件必须考虑到同上述三个基本要

* 上海应用物理研究中心资助课题。

收稿日期:1999-06-28; 收到修改稿日期:2000-03-11

求有偏离的情况,考虑从“input”口背向反射回来的光信号:

$$e_r = e_i [r_1 \cos^2 \varphi_1 \exp(j2\beta L_1) - r_2 \sin^2 \varphi_1 \exp(j2\beta L_2)], \quad (1)$$

其中 $r_i(\lambda)$ 是第 i 个光纤光栅的复振幅反射率 ($i = 1, 2$), L_i 是干涉仪的各干涉臂长 ($i = 1, 2$), φ_i 是第 i 个耦合器的相位因子 ($i = 1, 2$), 耦合器的分光比为 $\cos^2 \varphi : (1 - \cos^2 \varphi)$ 。对“input”口背向反射光进行模拟计算,结果如下:

1) 如果两个光纤光栅是完全一致的,且两干涉臂长差等于零,背向反射的光功率将随着耦合器的分光比偏离 1:1 而增加。图 2(a) 所示是在 1550 nm 处的背向反射光功率随耦合器的分光比 $\cos^2 \varphi$ 的变化曲线。当 $|\cos^2 \varphi - 0.5| < 0.02$ 时,背向反射光功率低于 -30 dBm,目前商用的 3 dB 耦合器在

1550 nm 波段 40 nm 带宽内可以满足这个要求。

2) 如两个光纤光栅是完全一致的,背向反射的光功率将随两干涉臂长差的增大而增加。图 2(b) 所示的是在 1550 nm 处的背向反射光功率随着臂长差 $\delta L = L_2 - L_1$ 的变化曲线。

3) 如果两个光纤光栅的反射率不同,相差越大,背向反射的光功率将越强。如图 2(c) 所示,计算时假设两干涉臂长差 $\delta L = 0$,而且两光纤光栅的中心波长一致。

4) 如果两个光纤光栅的中心波长不一致,即所谓“失谐”,背向反射信号光谱在中心波长的两边将分别出现一个反射峰,呈“M”型。这是因为两个光纤光栅的反射光谱不完全重叠,从单纤光栅反射回来的两路光没有完全干涉,尤其是在反射带的边缘部分^[5]。

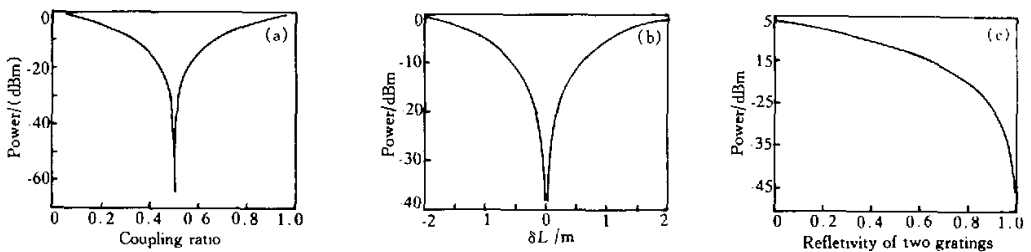


Fig. 2 The calculated curves of P_r vs. (a) variation of coupling ration $\cos^2 \varphi$ and (b) $L_2 - L_1$ and (c) reflectivity ratio of the two gratings

可以看出,耦合器的分光比必须十分接近 1:1,两个光纤光栅必须一致,并且两干涉臂必须等光程,器件的性能才能满足使用要求。在上述条件不能完全满足时,如果利用某种方式改变两干涉臂的光程差,通过监控背向反射的信号光功率,可以判断出哪一干涉臂需要进行紫外修正。同样可以用监控背向反射信号光功率的办法,判断选择出需要通过紫外光折变或退火的途径来进行修正的光纤光栅。通过监测背向反射信号光谱,还可以判断出两个光纤光栅是否“失谐”,即两光栅的布拉格波长是否一致。用相同的办法可以对一侧的两干涉臂进行检测和修正。

3 实验结果

实验用的平衡马赫-曾德尔干涉仪是由上海大学光纤研究所用熔融拉锥的方法制作的。干涉仪经高压载氢敏化处理,用紫外透过相位板辐照^[6]的办法同时在两干涉臂的中心位置写入光纤光栅。干

涉仪的两个耦合器之间距离约为 5 cm,光纤光栅长 1 cm,所以光栅两边还有足够的长度进行修正。通过控制写入光纤光栅的参数,保证其反射率大于 99%,实验所用光纤光栅的反射率为 99.5%。为了监控“input”端口的背向反射信号,1550 nm 波段的发光二极管光源通过一个 3 dB 耦合器输入到器件的“input”端口,不用的端口都浸在匹配油中。用局部加热调谐来改变折射率的办法来调整干涉仪的臂长差和光纤光栅的一致性。调整的顺序是先判断和调整光栅一侧的两干涉臂长差,再来判断和调整两光纤光栅的反射率和波长的一致性。

图 3 为输入端口的背向反射光谱。曲线 a 为调整前测得的光谱,可看出干涉仪的两臂不等长或两光纤光栅的反射率不一致,但两光纤光栅的中心波长基本一致。为了分析干涉仪的不平衡,选择其中一臂进行局部加热。加热长度为 1 mm,温度改变量为 5 °C,对应的折射率变化量为 $(3 \sim 5) \times 10^{-5}$ 。曲线 b 为加热后的监测光谱,背向反射光反而增加了 5 dB,这证明应该加热另外一臂才能够使干涉仪

尽快达到平衡状态。曲线c为加热另外一臂后的光谱。在最好的情况下,背向反射率减小了约5 dB,此时温度改变量为3℃。但仍然有约3 dB的背向反射。这说明两光纤光栅的反射率尚有一定的差别,需要进一步调整。

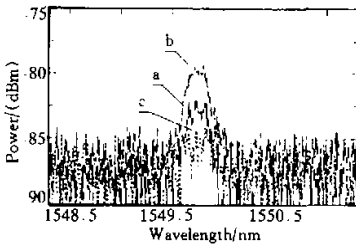


Fig.3 Thermal adjusting of the MZI measured from back-reflected output. Curve a is the spectrum before adjusting. Curve b is the spectrum after heating the wrong arm. Curve c is the spectrum after heating the right arm

为了判断两个光纤光栅的反射率的高低,对其中一个光纤光栅加热引入两个光纤光栅波长的“失

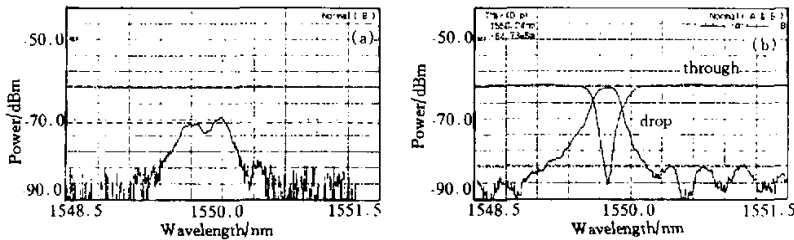


Fig.4 (a) The spectrum of the back reflection when two Bragg gratings mismatched by 0.3 nm. (b) Spectra from the “drop” and “through” ports of the MZI-OADM after thermal adjusting

结论 分析了影响马赫-曾德尔/光纤光栅型全光分/插复用器特性的原因,提出了通过监控输入端口的背向反射光特性来判断和相应调整器件参数的方法,从实验上用局部温度调整的方法验证了分析结果。从理论分析和实验结果可以得到如下结论:

1) 耦合器的分光比必须十分接近1:1,两个光纤光栅必须一致,并且两干涉臂必须等光程,器件的性能才能满足使用要求。

2) 对干涉臂进行局部加热,通过监控背向反射的信号光功率,可以判断出哪一干涉臂需要进行紫外修正并进行调整。

3) 如果两个光纤光栅的反射率不一致,可以通过对其中一个光纤光栅进行局部加热并监控背向反射信号光谱的办法,判断两个光纤光栅反射率的高

低,然后通过高温退火的方法来进行调整。

4) 通过监测背向反射信号光谱,可以判断出两个光纤光栅是否“失谐”,即两光栅的布拉格波长是否一致。如果有“失谐”,可以用通过光纤光栅进行局部加热的办法来调整。

这一调整过程可以作为紫外激光修正过程的一个模拟,调整的实验过程和结果反映了紫外激光修正的基本原理和方法,为紫外光折变永久性修正提供了理论和实验依据。

实验表明,在100℃以下光纤光栅的反射率几乎不随温度的改变而变化,通过光谱可以判断两个光纤光栅的反射率的高低。实验工作表明,高温退火可以在一定程度上降低光纤光栅的反射率,而中心波长位置改变很小。因此可以采用高温退火的方法来调整两光纤光栅反射率的一致性。

图4(a)为两个光纤光栅中心波长“失谐”0.3 nm时的背向反射光谱。此时两光纤光栅已经严重失配,只是起到一个反射镜的作用,光纤光栅反射带宽范围内的光被平均地反射到“input”和“drop”端口,背向反射的损耗为9 dB(其中包括3 dB耦合器的损耗)。光谱呈“M”型,结果与前面的分析基本一致。通过对干涉臂和光纤光栅进行局部加热,仔细调整并基本消除了干涉仪的不平衡和光纤光栅的失配,器件的性能得到了很大的提高。图4(b)显示了调整后“through”和“drop”端口的光谱特性,drop信道的损耗小于0.5 dB,3 dB带宽约为0.3 nm,隔离度约为20 dB。Through信道损耗很小,隔离度接近24 dB。

参 考 文 献

- [1] Giles C R. Lightwave applications of fiber Bragg gratings. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 1998, 15(8):1391 - 1404
- [2] Bilodeau F, Johnson D C, Theriault S et al.. An all-fiber dense wavelength division multiplexer/demultiplexer using

- photoimprinting Bragg gratings. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, 7(4):388~390
- [3] Kashyap R, Maxwell G D, Ainslie B J. Laser-trimmed four-port bandpass filter fabricated in single-mode photosensitive Ge-doped planar waveguide. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, 5(2):191~194
- [4] Johnson D C, Hill K O, Bilodeau F *et al.*. New design concept for a narrowband wavelength-selective optical tap and combiner. *Electron. Lett.*, 1987, 23(13):668~669
- [5] Orlov S S, Yariv A, van Essen S. Coupled-mode analysis of fiber-optic add-drop filters for dense wavelength-division multiplexing. *Opt. Lett.*, 1997, 22(10):688~690
- [6] 赵 浩, 丁 浩, 刘 斌等. 载氢光纤光致折变布喇格光栅. *光学学报*, 1996, 16(4):575~577

Characteristics Adjustment of an All-Optical Mach-Zehnder Add/Drop Multiplexer

Zhao Hao¹⁾ Qu Ronghui²⁾ Cai Haiwen²⁾ Yao Shouquan³⁾ Chen Gaoting²⁾ Fang Zujie²⁾

- | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1), Institute of Optical Fiber Technologies, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200033
(2), Shgnahi Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800
(3), Institute of Optical Fiber Technologies, Shanghai University, Shanghai 201800 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

(Received 28 June 1999; revised 11 March 2000)

Abstract: Causes affecting behaviors of the optical add/drop multiplexer (OADM) based on Mach-Zehnder interferometer and fiber Bragg gratings have been discussed. Based on theoretical analysis and simulation, a method of analyzing and adjusting the parameter of the OADM by monitoring the back-reflected spectrum at the input port and by local heating has been proposed. It can also be used to simulate the process of trimming by UV exposure. Experimental results have proved the feasibility of this method.

Key words: Mach-Zehnder interferometer; fiber Bragg grating; optical add/drop multiplexer; thermal adjustment