

文章编号: 0253-2239(2008)01-0031-05

非对称型光学交错梳状滤波器

伍树东^{1,2} 陈 莲¹ 范建强¹ Simon Cao¹

(¹广州南沙慧视通讯科技有限公司, 广东 广州 511458)
(²上海联能科技有限公司, 上海 201103)

摘要 提出了一种基于 Gires-Tournois 腔的非对称型光学交错梳状滤波器。理论上,通过调整两个波片的偏振延迟和 Gires-Tournois 腔的反射率,可以获得任意光谱带宽比的非对称型交错梳状滤波器器件。分别对输出带宽比 $M=1:3$ 和 $M=1:7$ 的非对称型交错梳状滤波器的输出进行了数值模拟,确定两个波片的延迟和 Gires-Tournois 腔的反射率。分别设计和研制出了输出光谱带宽比 $M=1:3$ 和 $M=1:7$ 的器件,其中 $M=1:3$ 器件的两个输出通道的 3 dB 带宽分别为 0.385 nm 和 1.161 nm, 比值为 $M=1:3.02$, $M=1:7$ 器件的两个输出通道的 3 dB 带宽分别为 0.191 nm 和 1.331 nm 比值 $M=1:6.75$ 。实验结果(光谱带宽比)与设计要求基本符合。

关键词 光纤通信技术; 密集波分复用; 光学梳状滤波器; Gires-Tournois 谐振腔

中图分类号 TN253; TN929.11 **文献标识码** A

Asymmetric Optical Interleavers Filter

Wu Shudong^{1,2} Chen Lian¹ Fan Jianqiang¹ Simon Cao¹

(¹Arasor Guangzhou Corporation, Guangzhou, Guangdong 511458, China)
(²Sinocera Corporation, Shanghai 201103, China)

Abstract An asymmetric optical interleaver (AOI) based on G-T etalon type is proposed. In principle, by adjusting two waveplate parameters and the etalon reflectance, asymmetric interleavers with any spectral bandwidth ratio can be constructed. Simulation on the output of asymmetric optical interleavers with spectral bandwidth ratio of 1:3 and 1:7 are presented. The analysis on how to determine the parameters of the two waveplates, the reflectance of the Gires-Tournois etalon and their matching are given. A device with spectral bandwidth ratio of 1:3 and 1:7 is designed and fabricated, the output of 1:3 device is 0.38 nm and 1.15 nm at 3 dB and the output of 1:7 device is 0.191 nm and 1.331 nm at 3 dB. Experimental results (spectral bandwidth ratio) are in good agreement with the design.

Key words optical communication technology; dense wavelength division multiplexing (DWDM); interleaver; Gires-Tournois resonator

1 引 言

交错梳状滤波技术已经在密集波分复用(DWDM)光纤通信系统中得到广泛的应用。在密集波分复用光学系统中,需要将光通道分离或合并,光学薄膜^[1,2]是实现这一目标的最流行的方法。然而,窄带薄膜滤波器在技术上很难实现。交错梳状滤波器采用周期性的方法将光通道分离或合并,大大减轻了薄膜滤波器的窄通道要求。已有好几种交错梳状滤波器技术,例如基于光纤耦合器(Wave

Split)^[3,4],基于双折射晶体(JDSU)^[5]和基于 Gires-Tournois^[7]腔等方案。目前的交错梳状滤波器技术都局限于对称型,也就是两个相邻的输出通道有着同样的光谱带宽。

然而,在一些重要的应用场合,需要两个非对称的输出通道,例如,在 1/4 频道插补器件中要求每 4 个通道分离 1 个通道出来,这就需要 1:3 的交错梳状滤波器。也就是两相邻的输出通道的输出带宽比 M 为 1:3。假如用对称型交错梳状滤波器来实现这

收稿日期: 2007-02-08; 收到修改稿日期: 2007-08-23

基金项目: 上海市科委光技术专项(04dz05105)资助课题。

作者简介: 伍树东(1941—), 男, 广东新会人, 高级研究员, 主要从事光纤通讯器件、光纤传感器和乐电仪器等方面的研究。E-mail: swu@arasor.net

一目的,那就需要两级级联才能实现。而采用非对称型则仅需要单级就能实现。

2 非对称型交错滤波器的数学模拟

先前的技术(Simon Cao's patent^[8])是利用 Gires-Tournois 标准具和偏振干涉仪来构建对称型交错梳状滤波器,如图 1 所示。

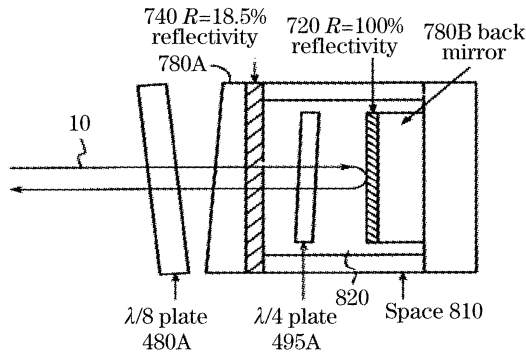


图 1 对称型交错梳状滤波器

Fig. 1 Symmetric interleave filter

如果标准具反射率为 18.5%,同时一个标准的 1/4 波片位于腔内(内波片),一个 1/8 波片位于腔外(外波片)。利用 Gires-Tournois 标准具的反射相

位公式^[9],基于标准具-偏振干涉原理的交错梳状滤波器的两个输出通道的输出强度表示如下:

$$I_1(\lambda) = \frac{1}{2} \{1 + \cos^2[\Delta\phi(\lambda)]\}, \quad (1)$$

$$I_2(\lambda) = \frac{1}{2} \{1 + \sin^2[\Delta\phi(\lambda)]\},$$

其中

$$\Delta\phi(\lambda) = \frac{1}{2} [\phi_1(\lambda) - \phi_2(\lambda)], \quad (2)$$

$$\phi_1(\lambda) = -2 \arctan \left\{ \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \tan[\Psi(\lambda)] \right\}, \quad (3)$$

$$\phi_2(\lambda) = -2 \arctan \left\{ \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \tan \left[\Psi(\lambda) + 2\pi \frac{1}{4} \right] \right\} + 2\pi \frac{2}{8}, \quad (4)$$

$$\Psi(\lambda) = 2\pi \frac{L}{\lambda}, \quad (5)$$

λ 为波长。 L 为标准具的腔长,决定了滤波器的光谱自由度。 R 为反射率,决定输出通道的带宽性能。1/4 波片的作用是确保当波长的变化量为 G-T 腔光谱自由度的一半时偏振态旋转 90° , 1/8 外波片确保偏振态旋转 90° 时等效于两个输出通道的光谱对换,该梳状滤波器的两个输出通道 p1 和 p2 强度增益的仿真波形如图 2 所示。其中 $p(\lambda) = 10 \lg[I(\lambda)]$ 。

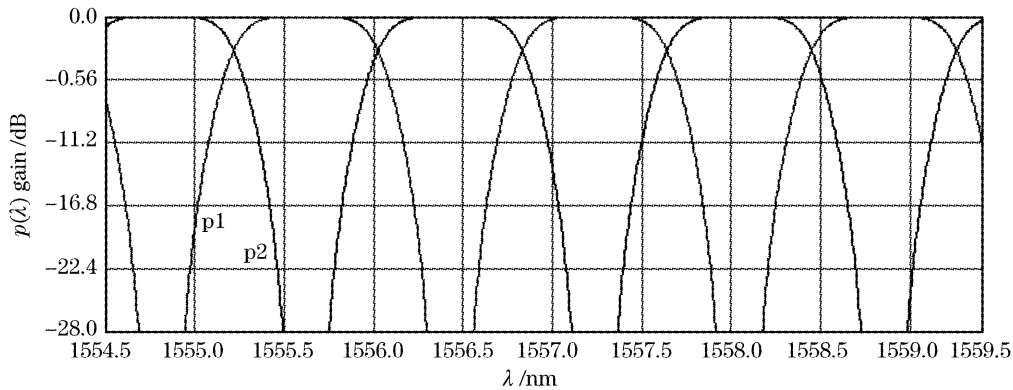


图 2 对称型交错梳状滤波器输出波形

Fig. 2 Output waveform of symmetric interleave filter

如图 2 所示,该滤波器奇偶通道的输出光谱是对称的。

在对称型标准具交错梳状滤波器技术基础上,对腔反射率 R 和内外波片参量进行调整,可以构建非对称型交错梳状滤波器。假设内外波片的偏振延迟分别是 $\alpha/4$ 和 $\beta/8(\lambda)$ 。则(4)式变为

$$\phi_2(\lambda) = -2 \arctan \left\{ \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \tan \left[\Psi(\lambda) + 2\pi \frac{\alpha}{4} \right] \right\} + 2\pi \frac{\beta}{4}, \quad (6)$$

通过调节参量 R, α 和 β ,可以通过仿真获得任意带宽比的输出波形。

对给定输出通道带宽比例因子 M , α 取 $0.10 \sim 1.00$, β 取 $0.10 \sim 1.50$,并粗略选择反射率 R 的值,确定第二输出通道的波形宽度为第一输出通道波形宽度的 M 倍。然后,保持 R 不变,粗略调整第一波片参量 α 、第二波片参量 β ,使两个输出通道的波形顶端平滑。最后微调 R, α, β 的值,优化两个输出通道的波纹平滑度和边缘陡峭度。使相邻的信号充分地隔离,减少信道间的串扰。

图 3 为非对称交错滤波器仿真输出的 $M = 1:3$ $\alpha = 0.35$ 和 $\beta = 0.18$ 。后者相应参量为 $R = 0.60$ ，和 $M = 1:7$ 的波形。相应的参量分别为 $R = 0.42$ ， $\alpha = 0.19$ 和 $\beta = 0.15$ 。

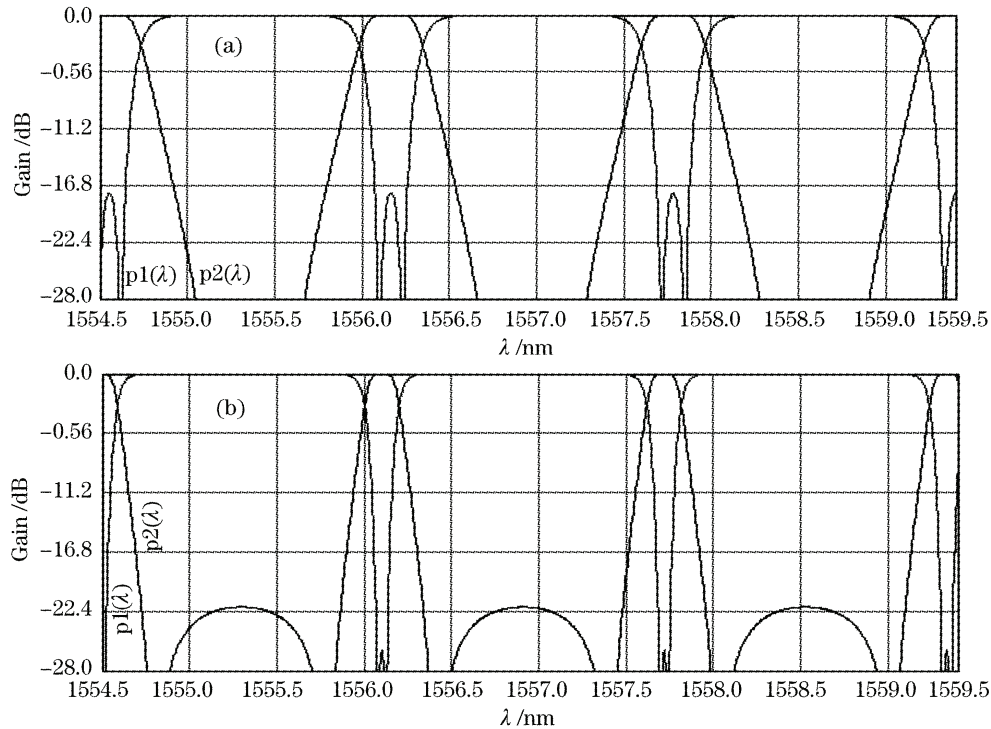


图 3 非对称型交错梳状滤波器输出波形。带宽比 $M=1:3$ (a), $M=1:7$ (b)

Fig. 3 Output waveforms of asymmetric interleaver filter. Bandwidth ratio $M=1:3$ (a), $M=1:7$ (b)

3 实 验

图 4 为实验装置的原理框图，整个系统利用 YVO 准直器(一个把来自单模光纤的随机偏振态光转换为单一 p 偏振态光的元件)做为系统的输入和输出元件。p 偏振态入射光通过偏振分束器 PBS1，隔离器和偏振分束器 PBS2，然后直接进入 Gires - Tournois 标准具。当光经过 Gires-Tournois 标准具反射后从 $\beta/8$ 波片出射时包含 p 偏振态和 s 偏振态，这两个偏振态分别携带着奇偶信道的光。由于奇偶信道的光的偏振态相互垂直，经过 PBS2 这两

个信道的光将被分离出来，奇信道的光被反射进入奇通道输出端的 YVO 准直器 2。另一方面，偶信道的光通过 PBS2 后到达隔离器，经过隔离器后其偏振方向被旋转 90° ，经过 PBS1 时被反射到偶通道输出端准直器 YVO 准直器 3。从而不同的偏振态携带不同信道信号，将奇、偶信道信号分离开来。

分别对带宽比为 $M=1:3$ 和 $M=1:7$ 的器件进行了实验并成功研制出样品。两个器件均采用自由谱范围为 200 GHz 的 Gires-Tournois 型标准具。其中 $M=1:3$ 器件采用的波片参量 α 和 β 分别为

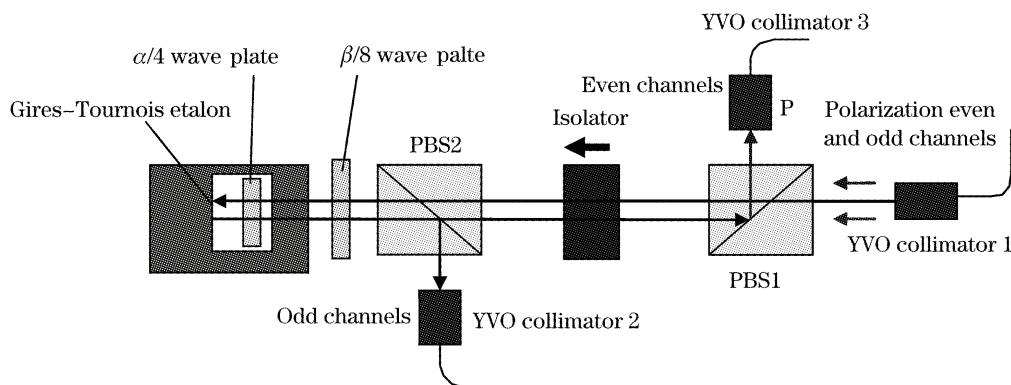


图 4 实验装置

Fig. 4 Experimental setup

0.35和0.18,标准具反射率为42%。然而,对于零级的参量为0.35/4和0.18/8的波片的厚度太薄不容易制作,在具体的实验过程中,实际所采用的波片的 α 和 β 分别为2.35和4.18,即分别为 0.5875λ 和 0.5225λ 的波片。其中 $M=1:7$ 器件所采用的波

片参量 α 和 β 分别为0.19和0.15,标准具反射率为60%,同样由于波片厚度太薄不易加工的原因,实际所采用的波片的 α 和 β 分别为2.19和4.15,即分别为 0.5475λ 和 0.5188λ 的波片。

实际的系统的调试和测试光路如图5所示。

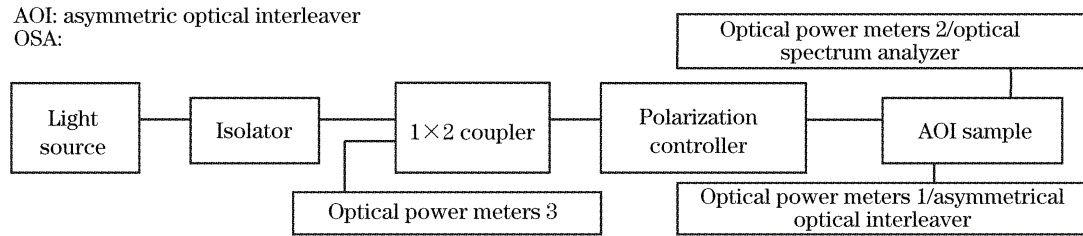


图5 调试与测试光路图

Fig. 5 The chart of debugging and measurement

通过该框图可以调整器件的输出和进行最终输出测试。首先利用光功率计对光路进行耦合获得最小的插损(IL)值,同时检测样品的回损(RL),偏振相关损耗(PDL)等指标。然后把样品接到光谱仪上进行输出光谱的检测,我们可以获得样品的通带宽度和隔离度等指标。

实验实际制作的 $M=1:3$ 器件光谱测试结果如图6(a)、图6(b)所示, $M=1:7$ 器件的光谱测试结果如图6(c)、图6(d)所示。

从图6(a)、图6(b)可以看出 $M=1:3$ 器件的两个

输出端口的3 dB带宽分别为0.385 nm和1.161 nm,比值为 $M=1:3.02$,即偶通道与奇通道光谱宽度之间存在比例因子满足 $M=1/3$ 的设计要求。

从图6(c)、图6(d)可以看出 $M=1:7$ 器件的两个输出端口的3 dB带宽分别为0.197 nm和1.330 nm,比值为 $M=1:6.75$,即偶通道与奇通道光谱宽度之间存在比例因子 $M=1/6.75$ 。从理论上可以看出, M 值越小对波片的延迟精度要求就越高。 $1:7$ 的器件的实际测试结果基本满足设计要求。

这两个器件均存在着窄通道端口的输出波形并

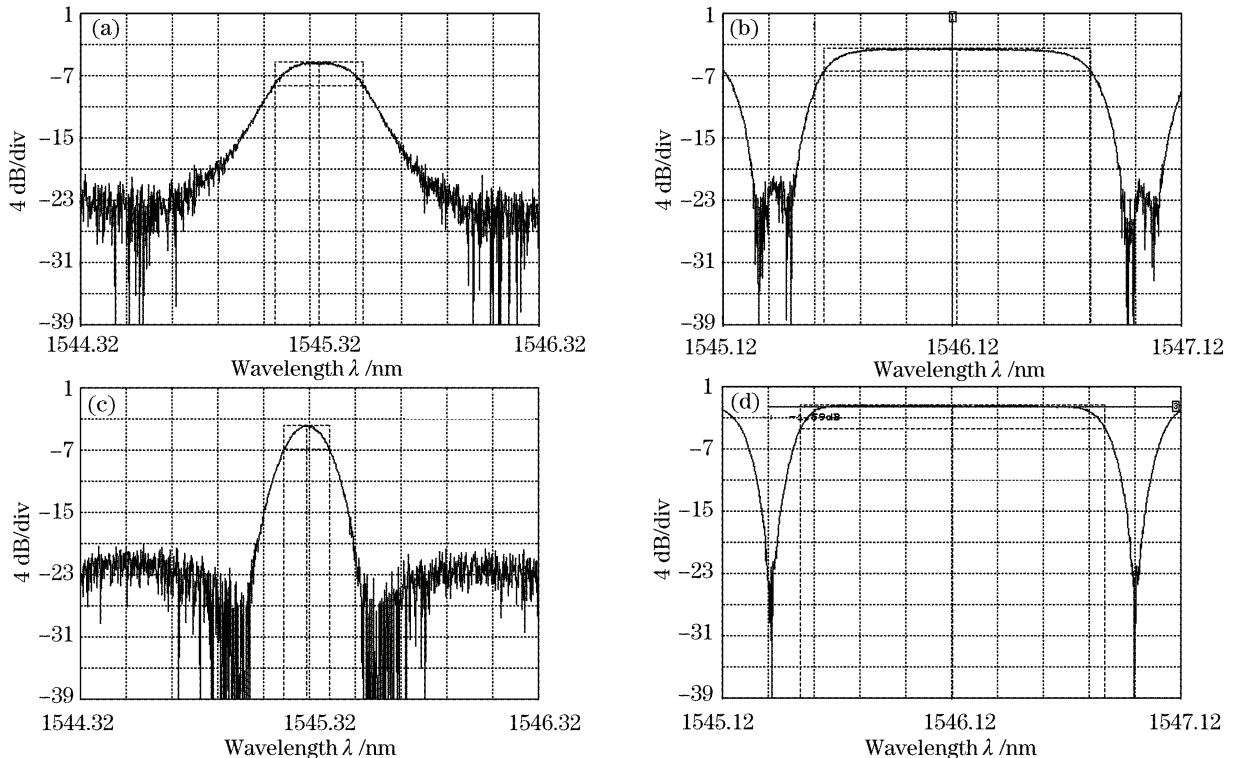


图6 光谱仪上观察到的光谱。(a) $M=1:3$ 奇通道,(b) $M=1:3$ 偶通道,(c) $M=1:7$ 奇通道,(d) $M=1:7$ 偶通道

Fig. 6 Output waveforms from two output ports of spectrometer. (a) $M=1:3$ odd channel, (b) $M=1:3$ even channel,

(c) $M=1:7$ odd channel, (d) $M=1:7$ even channel

不与设计要求的平顶完全相符,同时平顶的前后沿也不如设计要求的那么陡。这些问题可能是由于 Gires-Tournois 腔的两个反射面的平行度差或 PBS 的消光比太低而引起的,这些器件的性能仍需要提高。

4 结 论

基于 Gires-Tournois 腔的非对称型交错梳状滤波器通过调整两个波片的参量和 Gires-Tournois 腔的反射率,可以获得任意谱宽比的器件。对带宽为 $M=1:3$ 和 $M=1:7$ 的器件进行了数学仿真。分别设计和制作了谱宽比为 $M=1:3$ 的器件和 $M=1:7$ 的器件,实验结果(谱宽比)表明器件的实际性能与设计的要求基本一致。

参 考 文 献

- 1 Chen Haixing, Gu Peifu, Li Haifeng *et al.*. Design of interleaver with cascaded thin film filter [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(1): 62~64
陈海星,顾培夫,李海峰等. 薄膜多腔滤光片型梳状滤波器的设计[J]. 光学学报, 2004, **24**(1): 62~64
- Zhang Ting, Sheng Qiuqin, Dong Xiaoyi. Interleaver technology [J]. *Optoelectronic Technology*, 2004, **24**(1): 61~66
张 婷,盛秋琴,董孝义. Interleaver 技术[J]. 光电子技术, 2004, **24**(1): 61~66
- 3 Zheng Yufu, Lu Huaiwei. Comb-filter based on two fiber directional couplers [J]. *Opt-Electronic Engineering*, 2006, **33**(10): 56~60
郑玉甫,鲁怀伟. 双光纤方向耦合器组成的梳状滤波器[J]. 光电工程, 2006, **33**(10): 56~60
- 4 Luo Jiutian, Zeng Qingke, Qin Zixiong *et al.*. A novel all fiber flat-top interleaver [J]. *Photo Technology*, 2006, (2): 69~73
罗玖田,曾庆科,秦子雄等. 一种新型的全光纤平顶光学梳状滤波器[J]. 光子技术, 2006, (2): 69~73
- 5 Li Huishi, Huang Hezhen. The interleaver based on birefringence crystal design [J]. *Optical Technique*, 2001, **27**(5): 455~458
李会士,黄河振. 基于双折射晶体的光交叉波分复用器[J]. 光学技术, 2001, **27**(5): 455~458
- 6 Zhang Bo, Huang Dexiu. Characteristics study on birefringent Gires-Tournois interleaver [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(9): 1068~1070
张 波,黄德修. 双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的性能研究[J]. 光学学报, 2003, **23**(9): 1068~1070
- 7 Zhang Bo, Huang Dexiu. Characteristics study on birefringent Gires-Tournois interleaver [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(9): 1068~1070
张 波,黄德修. 双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的性能研究[J]. 光学学报, 2003, **23**(9): 1068~1070
- 8 Simon X. F. Cao, San Mateo. Fiber optic dense wavelength division multiplexer for separating and combining optical channels utilizing a polarization beam splitter and a nonlinear interferometer [P]. U. S. patent 645, 3089
- 9 Amnon Yariv, Pochi Ye. *Optical Waves in Crystals* [M]. Hoboken: Wiley Series, 1983