

文章编号: 0253-2239(2003)09-1068-3

双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的性能研究

张 波 黄德修

(华中科技大学光电子工程系激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 利用偏振光干涉和多光束干涉的原理, 推导了 BGT 型交叉复用器的传输函数。分析传输函数发现, Gires-Tournois 腔的反射率越高, 交叉复用器的 0.5 dB 通带带宽越宽, 隔离度越小; 反之, 0.5 dB 通带带宽越窄, 隔离度越大。设计、调试相关实验, 验证了 BGT 型交叉复用器性能参量之间的关系。可利用 BGT 型交叉复用器的这一特性来确定其结构参量, 也可利用它这一特性来制作可调谐交叉复用器。

关键词: 光通信技术; 交叉复用器; 双折射 Gires-Tournois; 反射率; 带宽; 隔离度

中图分类号: O438 文献标识码: A

1 引 言

随着光纤通信的迅猛发展, 对信息容量及传输速度的需求以惊人的速度在增长^[1]。为实现 100 GHz 和 50 GHz 间隔的密集波分系统, 同时避免器件技术的过分复杂和成本太高, 交叉复用器 (Interleaver) 作为一种特殊的密集波分复用器件应运而生, 有时也称之为梳状滤波器。交叉复用器可按照奇偶分配的原则, 把一串信号分解为两组信号流, 或把两组信号流复合成一串信号^[2]。目前, 交叉复用技术的实现方案主要有光纤马赫-曾德尔干涉仪型、双折射晶体型、迈克耳孙 Gires-Tournois 干涉仪型^[3]、双折射 Gires-Tournois 型 (简称 BGT 型)、光纤光栅型和阵列波导光栅等。其中, 双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器具有带宽宽、顶部平坦 (< 0.1 dB)、色散小、体积小、安装方便等优点, 成为国外市场上较受欢迎的交叉复用器, 国内也正致力于交叉复用器的发展, 使得双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的性能研究日显重要^[4]。本文研究了双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的主要性能——Gires-Tournois 腔反射率、隔离度和带宽之间的关系, 及用于制作可调谐交叉复用器的可能性^[6]。

2 双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的传输函数

双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的核心元

件是 Gires-Tournois 腔和波片。Gires-Tournois 腔是大家所熟知的一种结构, 它由两个间距极小的平行平板构成。其中一个平板的一面镀有反射率为 10%~20% 的部分反射膜, 另一平板的一面镀有近似 100% 的高反膜^[5]。双折射 Gires-Tournois 腔是在 Gires-Tournois 腔内、外各置一 1/4、1/8 波片构成, 如图 1 所示^[4]。波片光轴方向相同均与入射线偏光成 45° 夹角。

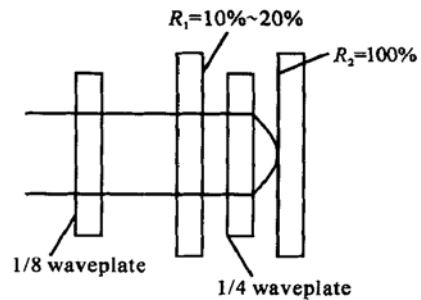


Fig. 1 The structure of BGT cavity

若一偏振光入射双折射 Gires-Tournois 腔, 假设为 s 偏振态 (即偏振方向垂直于纸面, 振幅为 1), 偏振光将在 Gires-Tournois 腔内多次反射, 使出射光含有多束平行光束。利用偏振光干涉和多光束干涉原理, 将出射的多束偏振光叠加, 可发现出射光中含有偏振态相垂直的两种光, 即 s 偏振态和 p 偏振态 (偏振方向平行纸面) 的光, 其光强表达式分别为

$$I_p = \frac{1}{2} - \frac{2\sqrt{R_1(1-R_1)}\cos\delta}{(1-R_1)^2 + 4R_1\cos^2\delta} \quad (1)$$

$$I_s = \frac{1}{2} + \frac{2\sqrt{R_1(1-R_1)}\cos\delta}{(1-R_1)^2 + 4R_1\cos^2\delta} \quad (2)$$

式中, R_1 是部分反射面的反射率, δ 是 Gires-

* E-mail: zhbo880@sohu.com

收稿日期: 2002-07-08; 收到修改稿日期: 2002-09-02

Tournois 腔引入的相位差:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \left[2(d_1 - d_2)n_{\text{air}} + 2 \times \frac{1}{2}(n_o + n_e)d_2 \right], \quad (3)$$

d_1 是两平行平板间的距离, d_2 为 1/4 波片的厚度, n_{air} 表示空气的折射率, n_o 、 n_e 分别表示波片内 o 光和 e 光的折射率。从(1)式、(2)式可看出, p 光和 s 光所含频谱互补, 从而将奇偶信道分离。对于 100 GHz 中心波长为 1.553 μm 的交叉复用器, 双折射 Gires-Tournois 腔的腔长 d_1 为 0.55 mm, 双折射 Gires-Tournois 中心波长为 1.553 μm 的 1/4 波片。

3 双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器性能参量的分析

以出射光中的一个信道(p 光)为例, 来看与交叉复用器的带宽和隔离度的关系。首先将光强转化为对数表达式:

$$D_p = -10 \lg I_p, \quad (4)$$

将(1)式代入(4)式, 模拟计算出 $R = 17\%$ 、 17.5% 、 18% 时, 输入频率为 100 GHz(即输入信道间隔为 0.8 nm), 输出频率为 200 GHz(即输出信道间隔为 1.6 nm)的交叉复用器的 D_p 与 λ 的关系图, 如图 2(a)所示。为观测方便, 图 2(b)将图 2(a)中的一个周期的波形放大示出。

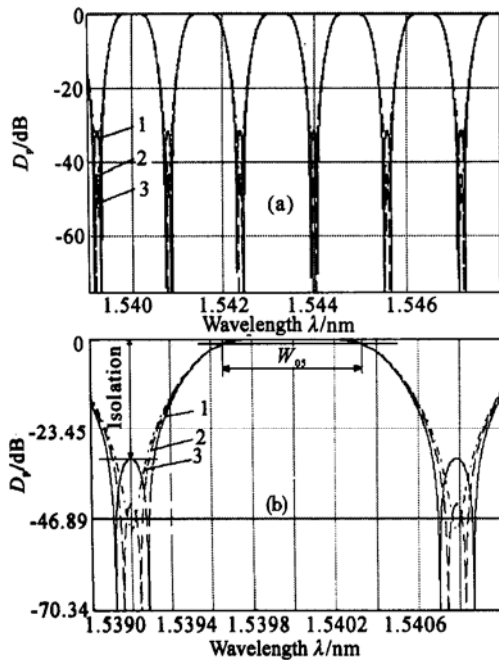


Fig. 2 (a) Output spectra of interleave; (b) Single period output spectra of interleave

图 2(b)中, 曲线 1 是 $R_1 = 18.5\%$ 时输出光谱图, 曲线 2 是 $R_1 = 17.5\%$ 时输出光谱图, 曲线 3 是 $R_1 = 17\%$ 时输出光谱图。图中 $W_{0.5}$ 为 0.5 dB 时通带带宽, 峰值与次峰值的差值为邻近信道隔离度(无次峰时, 按波峰与波谷的差值计算)。 $R_1 = 17\% \sim 18.5\%$ 时, 均可达到交叉复用器的性能指标, 如邻近信道隔离度大于 25 dB, 0.5 dB 的通带带宽大于 0.4 nm。比较三条曲线可看出, $R_1 = 18.5\%$ 时, 0.5 dB 的通带带宽最宽(需将上图放大看), 但次峰最大, 隔离度最小; $R_1 = 17.5\%$ 时, 0.5 dB 的通带带宽变窄, 次峰变小, 隔离度变大; $R_1 = 17\%$ 时, 0.5 dB 的通带带宽更窄, 次峰消失, 隔离度最大。由此可见, R_1 越大, 带宽越宽, 隔离度越小; R_1 越小, 带宽越小, 隔离度越大。所以可根据这一特性, 按照实际需要来选择 R_1 的值。

4 实验装置及现象

实验光路图如图 3 所示, 光源输出的光经隔离器、环行器、偏振分束器(PBS), s 偏振光输入到双折射 Gires-Tournois 腔, 反射后, s 光经环行器由光谱仪 OSA1 接收, p 光经准直器由光谱仪 OSA2 接收。实际应用时, 采用对称光路在偏振分束器的右方也置一双折射 Gires-Tournois 腔, 使输出光与偏振无关。这里为讨论简便只看一条支路, 另一支路与它的讨论、计算相同。

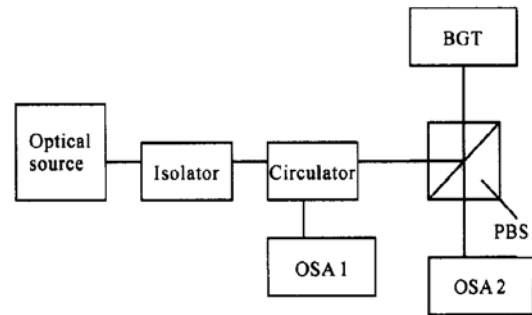


Fig. 3 Optical circuit of experiment design

用光谱仪测得不同 R_1 值的双折射 Gires-Tournois 腔输出的某一信道(如 p 光)的光谱图及 0.5 dB 的通带带宽如图 4、图 5 所示。

从图 4、图 5 可看出, $R_1 = 18.5\%$ 时, 0.5 dB 的通带带宽为 0.505 nm, 隔离度不到 30 dB; $R_1 = 17\%$ 时, 0.5 dB 的通带带宽为 0.48 nm, 隔离度超过 30 dB。说明 R_1 越大, 带宽越宽, 隔离度越小; R_1 越小, 带宽越窄, 隔离度越大。

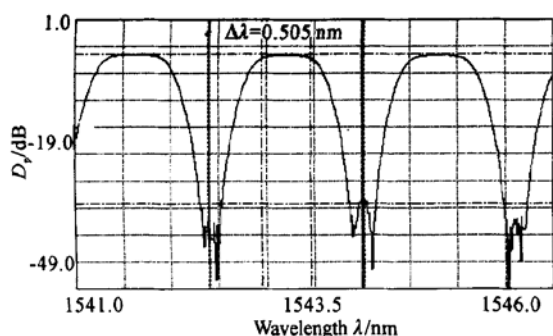


Fig. 4 Output optical spectra of $R_1 = 18.5\%$

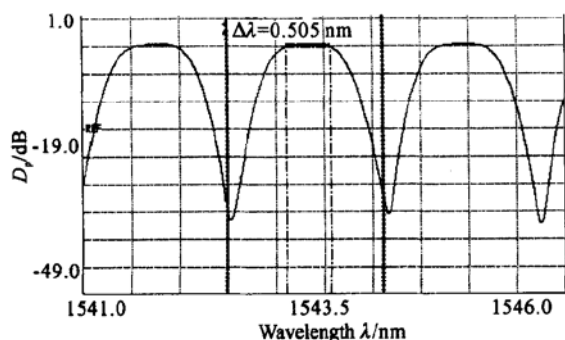


Fig. 5 Output optical spectra of $R_1 = 17\%$

结论 本文从理论推导、分析、计算及实验现象,说明双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的带宽与隔离度存在一定的制约关系。Gires-Tournois 腔的反射率越高,带宽性能越好,隔离度越差;反之,隔离度越好,带宽越差。理论分析和实验现象说明,应该根

据交叉复用器的实际应用环境,来选择所需的带宽与隔离度,从而确定 Gires-Tournois 腔的最佳反射率。也可以根据 Gires-Tournois 腔的反射率与双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的带宽和隔离度有关,这一特性来制作可调谐交叉复用器。本文为双折射 Gires-Tournois 型交叉复用器的研究及应用提供了理论依据。

参 考 文 献

- 1 Yao Shouquan, Wang Zihua. A dense wavelength division multiplexer by using a three arm Mach-Zehnder interferometer. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2000, **20** (7): 952~956 (in Chinese)
- 2 Cai Yanming. Theory analysis of birefringent interleaver used in DWDM. *Chin. J. Lasers (A) (中国激光)*, 2001, **28** (11): 1017~1020 (in Chinese)
- 3 Chen Jye-hong, San J. Optical signal interleaver. *United States Patent*. No. 6169626. June 29, 1999
- 4 Simon F, Cao Y. Fiber optic dense wavelength division multiplexer with a phase differential method of separation utilizing glass blocks and a nonlinear interferometer. *Avanex Corporation. United States Patent*. No. 6215926 B1. Apr. 10, 2001
- 5 Liang Quanting. *Physical Optics (物理光学)*. Mechanics Industry Press, 1983 (in Chinese)
- 6 Li Yunna, Hu Hongzhang. Characteristics of multiwavelength operation of integrated acousto-optical tunable filter. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2002, **22** (3): 317~322 (in Chinese)

Characteristics Study on Birefringent Gires-Tournois Interleaver

Zhang Bo Huang Dexiu

(State Key Laboratory of Laser Technology, Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

(Received 8 July 2002; revised 2 September 2002)

Abstract: Based on the theory of polarized light interference and multibeam interference, the transmission function of birefringent Gires-Tournois (BGT) interleaver is deduced. It is concluded that the higher the reflectivity is, the broader interleaver bandwidth and the lower contrast are whereas the narrower the bandwidth, the higher the contrast. Related experiments are designed and adjusted to verify the relationship between performance parameters of BGT interleaver. The structure parameters can be determined and tunable interleaver can be achieved by using the characteristics of BGT interleaver.

Key words: optical fiber communication technology; birefringent Gires-Tournois (BGT); interleaver; reflectivity; bandwidth; contrast