

MGTI 型不等带宽 interleaver 的输出光谱特性分析*

王昌, 张娟[†]

(上海大学 通信与信息工程学院 特种光纤与光接入网省部共建教育部重点实验室, 上海 200072)

摘 要:用两面镜级联的 GT 腔代替 Michelson 干涉仪的两面全反射镜,通过 MGTI 中的 GT 腔镜面反射率、腔长、干涉仪臂长差等结构参量的选择,得出了宽口和窄口输出谱 3 dB 处带宽比分别为 1.69、1.83、2.13 和 2.14 的四组不等带宽、隔离度高、通带平坦且周期不等的输出光谱,并系统分析了这些结构参量对输出光谱特性的影响.模拟结果表明:可用此类 MGTI 结构设计出不同带宽比的不等带宽 interleaver;输出光谱的平坦特性由 GT 腔镜面反射率决定,镜面反射率主要影响输出谱的通带带宽与隔离度,且对两者的影响程度不同;选择适当的 GT 腔腔长和臂长差可得到不同的光谱周期.

关键词:密集波分复用;梳状滤波器;Gires-Tournois 谐振腔;不等带宽

中图分类号: TN929.11

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)02-321-4

0 引言

密集波分复用 (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) 技术是目前提高通信容量普遍采用的一种技术方案. 光学梳状滤波器 (optical interleaver) 能将一路波长间隔密集的光信号分成两路信道间隔倍增的光信号,是 DWDM 系统中的重要器件. 目前研究的 interleaver 大多属于等带宽器件^[1-3],其两路输出谱带宽相等. 为了提高带宽利用率,近年出现了不等带宽型 interleaver. 目前不等带宽型 interleaver 主要有迈克尔逊 Gires-Tournois 干涉型 (MGTI)^[4-5]、耦合器级联型^[6]、双折射光纤环境型^[7]等方案. 这些方案都着重于输出谱特性,即平坦通带宽度和隔离度的提高,如文献[4-5]用两个多镜 GT 腔代替 MI 的两面全反镜得到高性能的不等带宽输出光谱;文献[6]采用 33 个不同分光比的耦合器级联形式得到通带阻带宽度比为 7:3,隔离度大于 35dB 的输出光谱;文献[7]提出将 2 段长度比为 1:2 的双折射光纤加入环境得到不等带宽交错复用器. 随着 DWDM 技术的不断发展和应用需求的多样化,如多路信号中上路和下路任意一路或多路信号,这就要求产生不同的两路输出谱的带宽比.

MGTI 型不等带宽 interleaver 具有优异的输出光谱特性,且结构紧凑、成本低、参量简单易调节. 本文以两臂均为两面镜结构的 GT 腔型 MGTI 为对象,研究产生不同带宽比的不等带宽 interleaver. 通过选择适当的结构参量得到了四组不同带宽比的不

等带宽 interleaver. 研究表明,输出光谱的平坦特性由 GT 腔镜面反射率决定,镜面反射率主要影响输出谱的通带带宽与隔离度,且对两者的影响程度不同;选择适当的 GT 腔腔长和臂长差可得到不同的光谱周期. 该不等带宽器件具有较强的灵活性,在光分插复用器 (Optical Add-Drop Multiplexer, OADM) 等方面有较强的应用性,同时也可用于现有网络的升级,扩宽现有网络容量及平稳实现现有网络平台到 DWDM 系统平台的过渡等.

1 原理

MGTI 型不等带宽输出光谱梳状滤波器是基于 Michelson 干涉仪的干涉效应和双镜 GT 腔的调相作用^[8]设计的,结构如图 1. 双镜 GT 腔代替

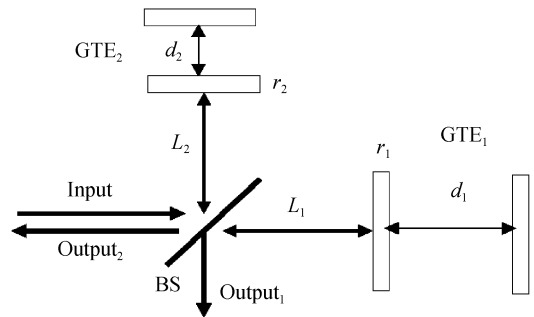


图 1 基于 MGTI 的不等带宽输出光谱梳状滤波器
Fig. 1 The structure of an asymmetrical output spectral interleaver based on MGTI

Michelson 干涉仪的两面全反射镜,其透射方向和反射方向光波电矢量^[9]分别为

$$E_{trans} = -i \sin \left[\frac{2kn(L_1 - L_2) + (\Theta_2 - \Theta_1)}{2} \right] \cdot \exp \left[-i \frac{2kn(L_1 + L_2) - (\Theta_2 - \Theta_1)}{2} \right] E_{in} \quad (1)$$

* 国家自然科学基金项目(10804070)、上海市教委科研创新项目(09YZ06)和上海市重点学科建设项目(S30108)资助
[†] Tel: 021-56332285 Email: juanzhang@staff.shu.edu.cn
收稿日期: 2007-09-29

$$E_{\text{ref}} = -i \cos \left[\frac{2kn(L_1 - L_2) + (\Theta_2 - \Theta_1)}{2} \right] \cdot \exp \left[-i \frac{2kn(L_1 + L_2) - (\Theta_2 - \Theta_1)}{2} \right] E_{\text{in}} \quad (2)$$

式中 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ 是真空波长, n 是介质折射率(取空气介质, $n = 1$), E_{in} 是入射光波电矢量, L_1 和 L_2 是 Michelson 干涉仪的两个臂长, Θ_1 和 Θ_2 分别是双镜 GT 腔的位相应, 即

$$\Theta_i = -2 \arctan \left[\left(\frac{1 - r_i}{1 + r_i} \right) \tan(knd_i) \right] \quad (i = 1, 2) \quad (3)$$

r_1, r_2 分别是双镜 GT 腔第一面镜的光波电振幅反射率, d_1, d_2 是双镜 GT 腔的腔长, 若用归一化光强表示输出, 则

$$I_{\text{trans}} = \sin^2 \left[\frac{2kn(L_1 - L_2) - (\Theta_2 - \Theta_1)}{2} \right] \quad (4)$$

$$I_{\text{ref}} = 1 - I_{\text{trans}} \quad (5)$$

由式(5)可知, 输出光谱是 $\Delta L = L_1 - L_2, r_1, r_2, d_1, d_2$ 的函数, 因而只要选择合适的参量值即可以得到性能优良且为不等带宽的输出光谱。

2 仿真结果

应用不等带宽 interleaver, 本文模拟设计出了三组结构参量, 每一组参量对应不同的带宽比, 且有较高隔离度、较宽平坦性。其对应的输出光谱如图 2。

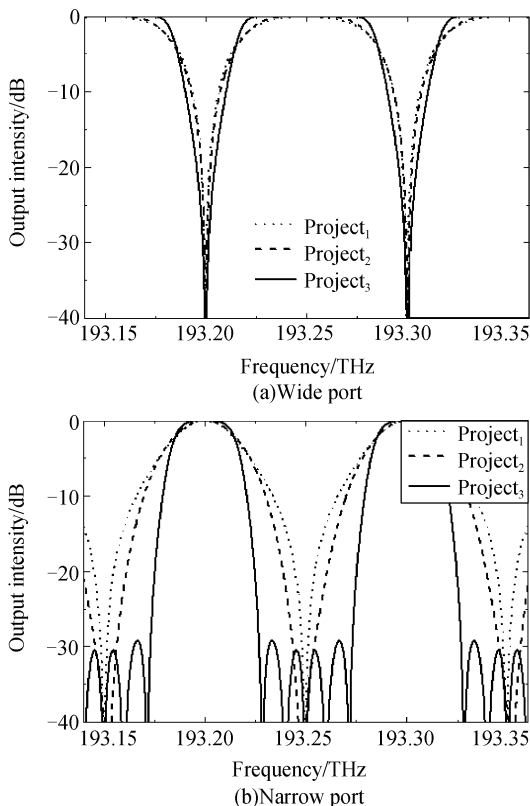


图2 不等带宽宽口和窄口输出光谱

Fig. 2 Asymmetrical output spectrum on wide port and narrow port

其中结构参量, 方案 1: $d_1/d_2 = 1/3, \Delta L/d_1 = 3$, 方案 2: $d_1/d_2 = 2/3, \Delta L/d_1 = -1/2$, 方案 3: $d_1/d_2 = 1/3, \Delta L/d_1 = -1$ 。

从图 2 可知, 三组宽口输出光谱隔离度都很高, 均在 35 dB 以上, 且有很宽的平坦通带, 它们的中心波长均符合 ITU 规定, 窄口输出光谱隔离度也在 30 dB 以上。

GT 腔前镜反射率、腔长和臂长差是影响输出光谱波形的关键因素, 因此讨论它们的变化对输出光谱波形的影响将是非常重要的。以方案 3(即 $d_1/d_2 = 1/3, \Delta L/d_1 = -1, r_1 = 0.53, r_2 = 0.21$) 为例, 具体讨论 GT 腔前镜反射率、腔长和臂长差发生变化对输出光谱波形的影响。

当 r_2 不变, r_1 变化, 宽口、窄口输出光谱如图 3。

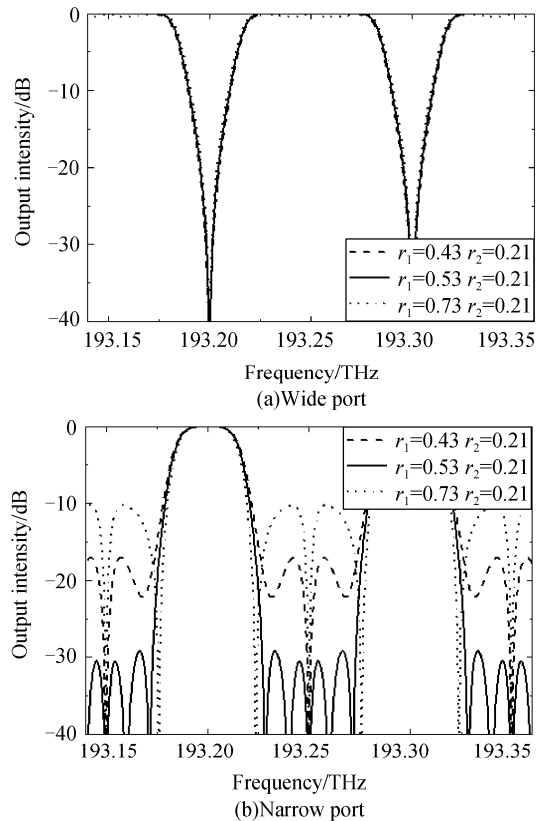
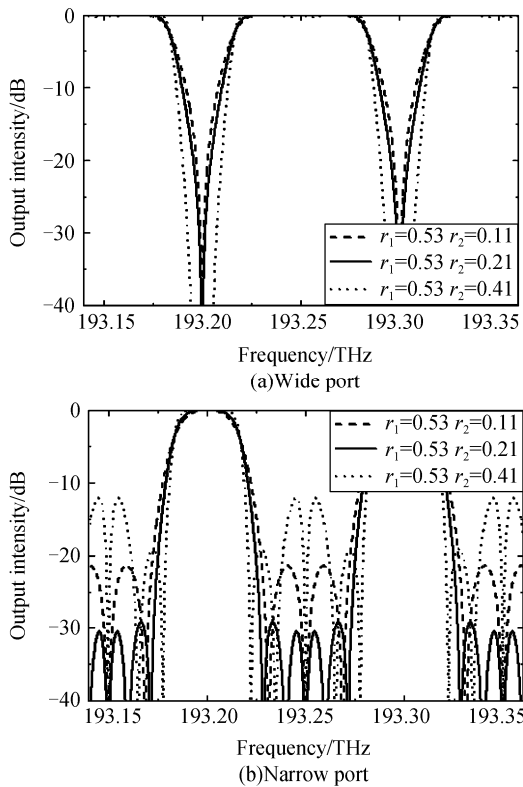


图3 r_1 变化的不等带宽宽口和窄口输出光谱

Fig. 3 Asymmetrical output spectrum of different r_1 on wide port and narrow port

由图 3 可知, 此结构下 r_1 变化影响通带带宽和隔离度。宽口输出谱的通带带宽随着 r_1 的变大而增大, 而窄口输出谱的通带带宽随着 r_1 的变大而减小。当 r_1 变化相同大小时, 窄口输出谱的隔离度比宽口输出谱的隔离度变化明显。此外, 通带带宽和隔离度相比, r_1 变化对隔离度的影响要比对通带带宽的影响大。

当 r_1 不变, r_2 变化, 宽口、窄口输出光谱如图 4。

图4 r_2 变化的不等带宽宽口和窄口输出光谱Fig. 4 Asymmetrical output spectrum of different r_2 on wide port and on narrow port

由图4可知, r_2 变化也主要影响输出谱的通带带宽和隔离度. 随着 r_2 变大, 在宽口大于 2.3 dB 处的输出谱的通带带宽变大, 小于 2.3 dB 处的输出谱的通带带宽变小; 在窄口大于 3.8 dB 处的输出谱的通带带宽变大, 小于 3.8 dB 处的输出谱的通带带宽变小; 且宽口输出谱的隔离度变大. 当 r_2 变化相同大小时, 窄口输出谱的隔离度比宽口输出谱的隔离度变化明显, 且 r_2 变化对隔离度的影响要比对通带带宽的影响大, 该特性与前面分析 r_1 变化时输出谱变化的结论相同.

对比图3和图4发现, 当镜面反射率变化相同大小时, r_2 变化对宽口输出谱的隔离度影响比 r_1 大, 且 r_1 或 r_2 发生变化均突出表现在窄口隔离度

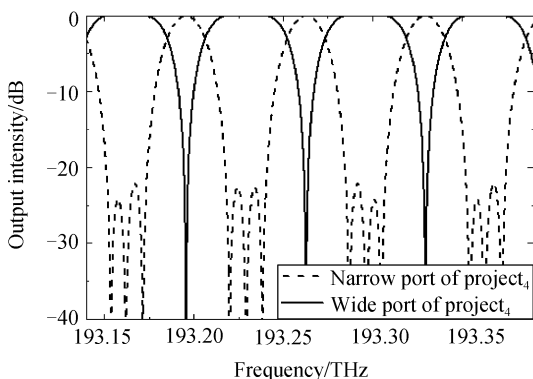


图5 其它周期的不等带宽输出光谱

Fig. 5 Asymmetrical output spectrum of another period

的变化.

通过选择合理的腔长和臂长差, 可得到其它光谱周期的不等带宽 interleaver, 图5就是其输出光谱, 其中结构设计参量为: $d_1/d_2 = 2/3$ 、 $\Delta L/d_1 = 2$ 、 $r_1 = 0.01$ 、 $r_2 = 0.43$.

由图5可知, 其宽口隔离度在 30 dB 以上, 窄口隔离度在 22 dB 以上, 有较宽平坦通带. 因此选择适当的 GT 腔腔长和干涉仪臂长差可得到不同的光谱周期.

上述四组不同带宽比、不同周期的 MGTI 结构输出光谱参量见表1.

表1 四组输出光谱参量

	3 dB 宽口带宽	3 dB 窄口带宽	带宽比
Project ₁	62.8 GHz	37.2 GHz	1.69
Project ₂	64.7 GHz	35.4 GHz	1.83
Project ₃	68 GHz	32 GHz	2.13
Project ₄	45.4 GHz	21.2 GHz	2.14

从以上分析及仿真结果说明此结构的 MGTI 能够用来设计得出不同带宽比、不同周期的不等带宽输出光谱, 且性能优良, 有实际应用价值.

3 结论

本文在基于 MGTI 结构基础上设计了多组不等带宽输出光谱参量, 具体模拟了输出结果, 表明可以用此结构设计出不同带宽比、不同周期的不等带宽输出光谱器件. 该结构设计的输出光谱具有高隔离度, 宽平坦性, 通带纹波小的优点, 较传统等宽器件有更高的带宽利用率.

除了本文研究的两干涉臂均为两面镜级联的 GT 腔结构 interleaver 外, 还有其它多种 MGTI 型 interleaver, 如一个干涉臂为全反镜, 另一干涉臂为两面镜级联或三面镜级联的 GT 腔结构 interleaver 等. 用三镜 GT 腔替换两面全反射镜的结构亦可得到不同带宽比的输出光谱, 且隔离度、通带平坦宽度都比两面镜 GT 腔替换结构的仿真结果好, 但由于引入了三镜 GT 腔, 复杂度提高, 因此必须根据具体的设计要求来折衷考虑.

参考文献

- [1] ZHANG Juan, LIU Li-ren. Study on the dynamic characteristics of a novel DWDM filter[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(5): 834-837.
张娟, 刘立人. 一种新型密集波分复用滤波器的调谐特性分析[J]. *光子学报*, 2007, **36**(5): 834-837.
- [2] LIU Ji-hong, FANG Qiang, YIN Ya-fang. Synthesis of crystal comb filter based on lattice structure[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(4): 706-709.
刘继红, 方强, 阴亚芳. 格结构在晶体梳状滤波器设计中的应用[J]. *光子学报*, 2007, **36**(4): 706-709.

- [3] JIA Hong-zhi, LI Li, XU Bo. The influence of coupling angle to the characteristics of wavelength-division demultiplexer based on planar waveguide supergratings[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(7):990-993.
贾宏志, 李莉, 徐波. 耦合角度对平面波导叠加型光栅解波复用性能的影响[J]. *光子学报*, 2006, **35**(7):990-993.
- [4] SHAO Yong-hong, MIAO Tong-qun, JIANG Yao-liang, *et al.* A novel interleaver with different output spectrum bandwidth [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(8):948-950.
邵永红, 缪同群, 姜耀亮, 等. 一种不等带宽光学梳状滤波器 [J]. *光子学报*, 2003, **32**(8):948-950.
- [5] CHENG Chi-hao. Asymmetrical interleaver structure based on the modified Michelson interferometer[J]. *Opt Eng*, 2005, **44**(11):115003(1-5).
- [6] ZHANG Rui-feng, WANG Shu-hui, GE Chun-feng, *et al.* Design of different bandwidth interleaver [J]. *Journal of Tianjin University*, 2006, **39**(3):365-368.
张瑞峰, 王书慧, 葛春风, 等. 不等带宽奇偶交错滤波器设计 [J]. *天津大学学报*, 2006, **39**(3):365-368.
- [7] ZHANG Ting, CHEN Kai, ZHAO Shuai, *et al.* A novel unequal passband interleaver employing high birefringence fiber sagnac loop mirror [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2005, **16**(4):436-440.
张婷, 陈凯, 赵帅, 等. 双折射光纤环镜不等带宽交错复用器的研究 [J]. *光电子·激光*, 2005, **16**(4):436-440.
- [8] BENJAMIN B D, MASAYUKI I, KOJI M. Optical wave-front transformer using the multiple-reflection interference effect inside a resonator[J]. *Opt Lett*, 1997, **22**(19):1449-1451.
- [9] BENJAMIN B D, TADASHI A. Properties of a novel noncascaded type, easy-to design, ripple-free optical bandpass filter [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1999, **17**(8):1461-1469.

Output Spectrum Characteristics of MGTI-type Asymmetrical Optical Interleavers

WANG Chang, ZHANG Juan

(Key Laboratory of Special Fiber Optics and Optical Access Networks, Ministry of Education, School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Received date: 2007-09-29

Abstract: Based on Michelson-Gires-Tournois interferometer (MGTI) structure of interleaver that both of reflecting mirrors were replaced by two mirror Gires-Tournois etalons (GTEs). The appropriate value of structural parameters such as GTE front surface mirror reflectance, the cavity length of GTE and interferometer arm length difference were chosen. Four groups of spectrums that the ratio of wide bandwidth port to narrow bandwidth port at 3 dB passband (bandwidth ratio) was 1.69, 1.83, 2.13 and 2.14 respectively, were obtained. They have high channel isolation, wide flat-top passband and different periods. The effects of these structural parameters upon output spectrum characteristics were systematically investigated. The numerical simulation results indicate that asymmetrical interleavers of different bandwidth ratios could be obtained using this MGTI. GTE front surface mirror reflectance influences the passband bandwidth and channel isolation. And the two kinds of influences are different. Choosing appropriate GTE cavity length and interferometer arm length difference, different frequency periods can be obtained.

Key words: Dense wavelength-division multiplexing; Interleaver; Gires-Tournois etalon; Asymmetrical bandwidth



WANG Chang was born in 1982. He received the B. S. degree from Zhejiang Normal University in 2005. Now he is a graduate student at Shanghai University, and his current research interests focus on optical passive device.