

MGTI 型光交错复用器的色散特性分析*

邵永红^{1,2} 赵振明² 姜耀亮¹ 钱龙生¹

(1 中科院长春光学精密机械与物理研究所新产业公司, 长春 130021)

(2 长春理工大学, 长春 130022)

摘要 基于多光束干涉和 Michelson 干涉的共同作用原理, 设计了畸变最小, 高信道隔离度, 宽且平坦通带, 高一一致性的 MGTI 型 50 GHz 光交错复用器. 由于 G-T 腔对光波相位的非线性调制, 使该器件具有固有的相对其它同类器件大的色散, 在分析器件的色散特性的基础上, 提出了该类器件的色散补偿方案, 经补偿后的器件能够满足实际高速系统要求.

关键词 光交错复用器; Gires-Tournois 谐振腔; Michelson 干涉仪; 色散补偿器

中图分类号 TN929.1 **文献标识码** A

0 引言

随着信息通信的迅猛发展, 语音、图像、数据的信息交流的日益增多, 尤其是因特网的广泛应用, 人们对宽带通信提出了更高的要求, 采用波分复用 (WDM) 和密集型波分复用 (DWDM) 技术已成为扩大通信容量的最佳方案之一, 并被广泛应用. 然而由于受到制造工艺及材料方面的限制, 目前已商品化的几种器件很难做到信道间隔 100 GHz 以下, 而且随着复用信道数的增加器件的整体性能降低而成本提高. 于是出现了一种新型光子器件—光交错复用器 (Interleaver)^[1~5], 对于理想的 Interleaver, 要求通带平坦性好、宽的通道带宽、信道隔离度高、色散小、插损小以及偏振无关等. 由于采用多光束干涉和两光束干涉相结合的结构实现的光交错复用器易于达到上述要求, 但存在固有的相对其它技术大的色散.

本文分析了 MGTI 型 50 GHz 光交错复用器的工作原理、色散特性, 并具体设计了输入信道间隔为 50 GHz, 输出信道间隔为 100 GHz 的光交错复用器, 理论和实验符合得较好, 在掌握该器件的色散产生原因的基础上, 提出了实用化的色散补偿方案, 经补偿后的光交错复用器达到实用化要求.

1 原理和实验

MGTI 型光交错复用器是基于 Michelson 干涉仪的干涉效应和 Gires-Tournois 谐振腔的调相作用设计的, 利用 Gires-Tournois 谐振腔代替 Michelson 干涉仪的一个全反射镜构成的新型干涉系统, 结构如

图 1^[6]. 通过合理选取 Gires-Tournois 谐振腔各参数值及 Michelson 干涉仪两臂长值, 入射光经该干涉系统产生两组等间隔互补条纹, 可现实符合 ITU 标准的梳状分离谱, 如图 2 所示.

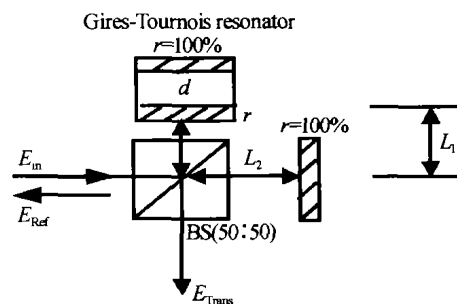


图 1 MGTI 型光交错复用器结构图
Fig. 1 Schematic of interleaver using a Michelson interferometer with one Gires-tournois resonator as its reflecting mirror

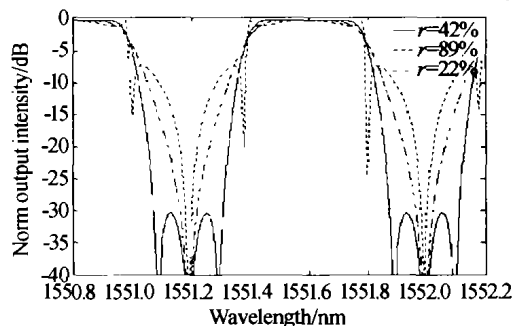


图 2 不同反射率理论输出强度随频率的变化曲线
Fig. 2 The theory output intensity of the interleaver with different reflectivity as a function of frequency

由图 2 知, MGTI 型光交错复用器的输出谱纹波和隔离度由 G-T 谐振腔的部分反射镜的振幅反射率决定, 即反射率越大, 谱沿越陡, 纹波越大; 反射率越小, 谱沿陡度越小, 纹波越小. 但 3 dB 带宽与反射率无关, 由 G-T 谐振腔的自由光谱范围决定, $\Delta f = FSR_{G-T}$, 最佳反射率应取 $r = 42\%$.

随着传输容量的增大, 传输速率的提高, 密集波分复用系统中器件的色散特性必须被设计者考虑. MGTI 型光交错复用器的输出谱函数为

* 国家 863 计划项目 (863-307-22-52)、中科院光电科技集团项目 (KG CX2-405)
Tel: 0431-5696601 Email: yhszz@163.com
收稿日期: 2003-07-21

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

$$\Theta(r, d) = -2 \arctan \left[\frac{1-r}{1+r} \tan(knd) \right] \quad (2)$$

由于 MGTI 型光交错复用器色散与位相因子的线性

部分无关,所以该器件的色散主要由 G-T 谐振腔产生,对式(1)位相微分两次得色散表达式为

$$D = - \frac{2r(1-r^2)\Delta^2 \sin(2\Delta)}{\pi c [1+r^2+2r\cos(2\Delta)]^2} \quad (3)$$

$$\Delta = knd \quad (4)$$

对(3)微分得MGTI型光交错复用器色散斜率表达式

$$D' = \frac{\partial D}{\partial \lambda} = - \frac{2r}{\pi c} (1-r^2) \frac{[1+r^2+2r\cos(\theta)] \left[-\frac{2}{\lambda} \Delta^2 \sin(2\Delta) - \frac{2}{\lambda} \Delta^3 \cos(2\Delta) \right] + 2\sin^2(2\Delta) \Delta^3 \frac{4r}{\lambda}}{[1+r^2+2r\cos(\theta)]^3} =$$

$$- \frac{2r(1-r^2)\Delta^2 \sin(2\Delta)}{\pi c [1+r^2+2r\cos(2\Delta)]^2} \left[-\frac{2}{\lambda} - \frac{2}{\lambda} \Delta \cos(2\Delta) / \sin(2\Delta) + \frac{2\Delta 2r 2\sin(2\Delta) / \lambda}{1+r^2+2r\cos(2\Delta)} \right] =$$

$$- D \frac{\Delta}{\lambda} \left[-\frac{1}{\Delta} - \cot(2\Delta) + \frac{4r\sin(2\Delta)}{1+r^2+2r\cos(2\Delta)} \right] \quad (5)$$

MGTI 型光交错复用器色散曲线如图 3 所示. 由图 3 可知,MGTI 型光交错复用器色散呈周期性,其周期为 G-T 谐振腔的自由光谱范围,即 $T = FSR_{G-T}$;在通带中心器件色散为零;在 G-T 谐振腔的腔长一定时,随部分反射镜的振幅反射率的增加,在通带中心附近的色散减小,零色散点位置不变,在通带沿处色散急剧增加;另一方面,从式(3)也可以看出,色散随G-T谐振腔的腔长的增加而增加. 因

此实际设计器件时应折衷考虑隔离度、纹波及色散等因素来选择 G-T 谐振腔的部分反射率.

本文设计了 50 GHz-MGTI 型光交错复用器其具体参数为: $r = 17.5\%$, $d = 3 \pm 0.0005 \text{ mm}$, $L_1 - L_2 = 1.5 \text{ mm}$,采用 $50:50 \pm 2\%$ 分光镜. 实验采用 Angilent tunable laser, Angilent 光谱仪及 JDS Uniphase 测色散系统. 测得输出谱如图 4,通带色散曲线如图 5.

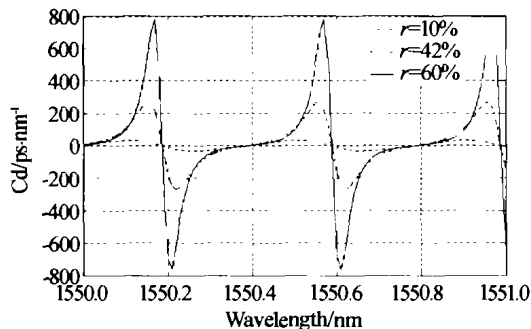


图 3 不同反射率时光交错复用器色散随波长的变化曲线
Fig. 3 The theory dispersion of the interleaver with different reflectivity as a function of wavelength

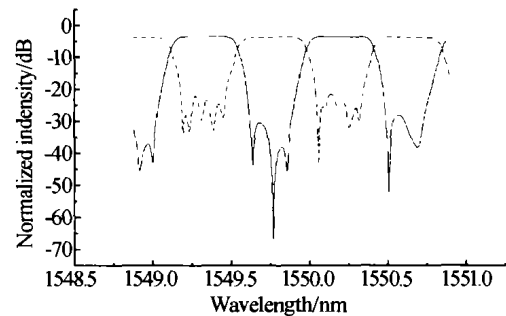


图 4 强度随波长变化实验曲线
Fig. 4 Experimental output intensity as a function of wavelength

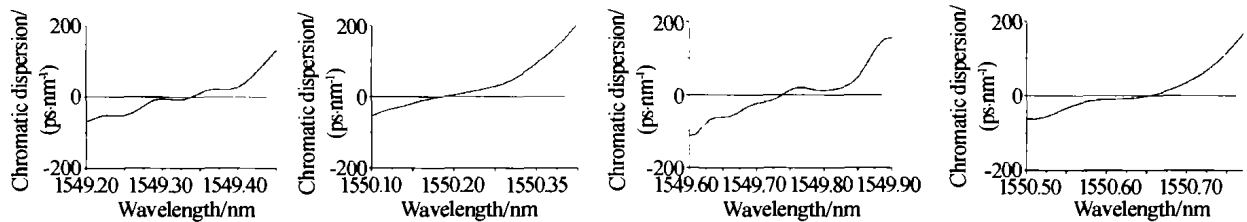


图 5 通带内光交错复用器色散曲线
Fig. 5 Dispersion of interleaver as a function of wavelength in passband

实验曲线表明:论文设计的 50 GHz 光交错复用器输出谱矩形化好,宽的平坦通带,高一一致性,纹波小,信道中心色散为零,中心波长 $\pm 0.09 \text{ nm}$ 范围内色散绝对值小于 50 ps/nm ,信道隔离度不高是由于分光镜采用的是热胶合,受环境因素影响较严重,另外两臂长差受实验条件所限,控制的精度不够高. 为了获得更好的谱形,分光镜应采用融石英材料冷胶合,采用高精度的调整架(如 New Port 调整架),

这方面实验正在进行中.

由于 G-T 谐振腔的色散周期性^[7-9],周期等于自由光谱范围,因此可将 G-T 谐振腔作为 MGTI 型光交错复用器的色散补偿器,通过选择适当腔长和部分反射率,使补偿器的色散零点和 MGTI 型光交错复用器的色散零点重合,色散斜率符号相反,可达到不同程度的色散补偿,如对于 50 GHz-MGTI 型光交错复用器取色散补偿器的腔长 $d = 6000.39 \mu\text{m}$,

部分反射率为 $r = 10\%$. 补偿过程如图 6 所示, 虚线为色散补偿器 (G-T 谐振腔) 色散曲线; 点划线为没进行色散补偿的 50 GHz-MGTI 型光交错复用器的色散曲线; 实线为带补偿器的 50GHz-MGTI 型光交错复用器的色散曲线. 在中心波长附近 ± 0.05 nm 范围内色散绝对值小于 1 ps/nm, 在 ± 0.09 nm 范围内, 色散绝对值小于 30 ps/nm. 模拟实验还表明: 通带色散补偿范围越宽, 接近于零色散区域就越小.

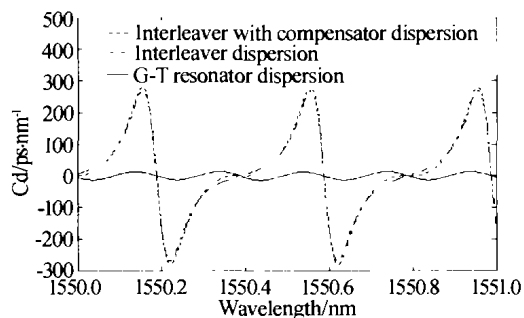


图 6 色散曲线

Fig. 6 Dispersion as a function of wavelength

3 结论

本文从理论分析了 MGTI 型光交错复用器的工作原理和色散特性, 并制作了 50 GHz-MGTI 型光交错复用器. 实验表明: 该滤波器输出谱矩形化好, 纹波小, 色散呈周期性, 色散数值大小与臂长差无关, 而是由 G-T 腔的部分反射镜的反射率和腔长决定, 在通带中心具有零色散, 实验结果和理论结果相符合. 为了使器件性能更理想, 提出了将 G-T 腔作为该器件色散补偿器的新方案, 通带中心附近实现了平坦的零色散, 达到了很好的补偿效果, 关于具体补偿过程分析如下: 首先补偿器具有和 MGTI 型光交错复用器相同

的零色散点; 其次补偿器色散周期近似为 MGTI 型光交错复用器色散周期的一半, 且补偿区补偿器色散斜率和 MGTI 型光交错复用器的色散斜率符号相反, 带这种补偿器的 MGTI 型光交错复用器符合高速光通信系统要求. 该方法的缺点是色散补偿区不够宽, 这个问题有待于做进一步的改进和完善.

参考文献

- 1 Li Huishi. The application and technical approaches of interleaver. *Proc SPIE*, 2001, **4581**: 79 ~ 87
- 2 Li W Z, Guo Q D, Gu S J. Interleaver technology review. *Proc SPIE*, 2002, **4906**: 73 ~ 80
- 3 Shao Y H, Jiang Y L, Zheng Q, et al. Research of a novel interleaver basing on modified Michelson interferometer with three-mirror Fabry-Perot interferometer an Gires-Tournois resonator. *Proc SPIE*, 2002, **4906**: 484 ~ 488
- 4 邵永红, 缪同群, 姜耀亮, 等. 一种不等带宽光学梳状滤波器. *光子学报*, 2003, **32**(8): 948 ~ 950
Shao Y H, Miao T Q, Jiang Y L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(8): 948 ~ 950
- 5 邵永红, 冯进良, 姜耀亮, 等. 一种新型偏振无关光交错复用器的设计. *光子学报*, 2004, **33**(5): 533 ~ 535
Shao Y H, Feng J L, Jiang Y L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(5): 533 ~ 535
- 6 Benjamin B D, Masayuki I, Koji M. Optical wave-front transformer using the multiple-reflection interference effect inside a resonator. *Opt Lett*, 1997, **22**(19): 1449 ~ 1451
- 7 Jablonski M, Takushima Y, Kikuchi K. The realization of all-pass filters for third-order dispersion compensation in ultrafast optical fiber transmission systems. *J Lightwave Technol*, 1989, **7**(2): 323 ~ 329
- 8 Shao Y H, Jiang Y L, Zheng Q, et al. Design of Gires-Tournois resonator dispersion compensator. *Proc SPIE*, 2002, **4906**: 484 ~ 488
- 9 李琳等. 用于多信道色散补偿器的 Gires-Tournois 干涉仪的特性分析. *光学学报*, 2002, **22**(12): 1442 ~ 1446
Li L, et al. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(12): 1442 ~ 1446

Dispersion Research of MGTI Interleaver

Shao Yonghong^{1,2}, Zhao Zhenming², Jiang Yaoliang¹, Qian Longsheng¹

¹ New Industries Corporation, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021

² Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022

Received date: 2003-07-21

Abstract According to multi-beam interference and Michelson interference, a MGTI interleaver with 50 GHz spacer, the smallest ripple, wider and flatter bandpass, very high consistency, are designed. Due to G-T resonator nonlinear modulating optical wave phase, the kind of interleaver has big intrinsic dispersion comparing to other. Basing on analysis of its dispersion property, one compensating dispersion way is put forward. The interleaver with the dispersion compensator can satisfy practicing high-speed optical communication systems.

Keywords Interleaver; Gires-Tournois resonator; Michelson interferometer; Dispersion compensator Interleaver

Shao Yonghong was born in 1972, in Jilin, China. He received the B. S. degree in 1996 and the M. S. degree in 2001 from Changchun University of Science and Technology. He is presently pursuing the Ph. D. in optics at Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics. He is interested in optical communications and high performance solid-state laser.