

文章编号: 0258-7025(2004)01-0074-03

# 法布里-珀罗型光学梳状滤波器的设计

邵永红, 姜耀亮, 郑 权, 钱龙生

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

**摘要** 提出了一种新型光学梳状滤波器, 它由双 Gires-Tournois 谐振腔代替 Michelson 干涉仪的两个全反射镜构成。基于 Michelson 干涉原理, 给出了零畸变、高信道隔离度、宽平坦带宽、高一一致性、结构简单、性能稳定的光学梳状滤波器的设计原理。设计了信道间隔为 50 GHz, 畸变  $< 0.05$  dB, 1 dB 带宽大于 0.38 nm, 相邻信道间隔隔离度大于 23 dB 的光学梳状滤波器。

**关键词** 光电子学; 光学梳状滤波器; Gires-Tournois 谐振腔; Michelson 干涉仪

中图分类号 TN 929.11 文献标识码 A

## Design of Interleaver Using Fabry-Perot Interferometer

SHAO Yong-hong, JIANG Yao-liang, ZHENG Quan, QIAN Long-sheng

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
The Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130021, China)

**Abstract** A novel Interleaver using a modified Michelson interferometer in which its reflecting mirrors are replaced by two Gires-Tournois resonators is presented. On basis of the theory of Michelson interference, a designing principle of the interleaver which has square-like frequency response with zero ripple, wide flat-top, unity contrast, simple structure, and stable performance is given. The device which possesses channel spacing of 50 GHz, ripple less than 0.05 dB, 1 dB bandwidth more than 0.38 nm, and close channel isolation more than 23 dB has been designed.

**Key words** optoelectronics; interleaver; Gires-Tournois resonator; Michelson interferometer

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<sup>[1]</sup>。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。为了能够进一步扩大带宽, 更好地利用现有的掺 Er 光纤放大器(EDFA)带宽系统, 同时避免器件技术的过分复杂化和太高的成本, 在 2000 年 3 月 OFC 展览上, 人们提出一种群阻滤波器, 称之为 Interleaver 即光学梳状滤波器, 它的作用是将一路

波长光信号分成两路, 分别包含奇数路波长和偶数路波长, 信道间隔倍增, 其功能如图 1。可见利用这种技术既可以减轻现有 DWDM 器件复用/解复用对波长间隔要求的负担, 又能提高系统传输容量。

目前实现 Interleaver 的技术有很多<sup>[2~4]</sup>, 如光纤马赫-曾德尔(fiber Mach-Zehnder, FM-Z)干涉仪型、偏振光干涉型、光纤光栅组合型和单 G-T 腔 Michelson 干涉型<sup>[5]</sup>等。FM-Z 干涉仪型属于全光纤设计, 插入损耗小, 信道均匀性高, 偏振相关损耗低。但光纤耦合器在控制工艺方面难度大。偏振型 Interleaver 是利用晶体的双折射效应和偏振光干涉原理, 其插入损耗大, 并且由于双折射晶体较长, 温度补偿、加工尺寸控制及封装难度大。利用光纤光

收稿日期: 2002-05-16; 收到修改稿日期: 2002-07-08

基金项目: 国家 863 计划项目(863-307-22-52)和中国科学院光电科技集团项目(KGCX2-405)资助课题。

作者简介: 邵永红(1972—), 男, 吉林省德惠市人, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所光学专业博士研究生, 主要从事光通信器件和固态激光器的研究。E-mail: yhs-01@163.com

栅与环形器构成光纤光栅组合型 Interleaver,对温度敏感,稳定性差并且造价高。

本文在文献[5]的基础上进行了改进,采用双 Gires-Tournois 谐振腔代替 Michelson 干涉仪的两个全反射镜构成的新型干涉系统(即 Interleaver),入射光经该干涉系统产生两组等间隔互补条纹,形

成了梳状分离谱,该结构比文献[5]的系统提高了器件的隔离度、增加了平坦通带的宽度。通过合理选取 Gires-Tournois 谐振腔 1, 2 各参数值及 Michelson 干涉仪两臂长值,可实现不同种类滤波器件,这类 Interleaver 具有零畸变、宽平坦带宽、高隔离度以及结构简单、易于装调等优点。

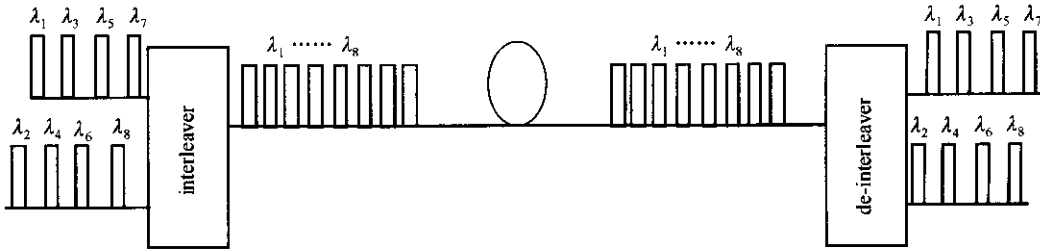


图 1 Interleaver/de-interleaver 工作框图

Fig. 1 Diagram of interleaver/de-interleaver

### 1 原理和实验

法布里-珀罗型光学梳状滤波器是基于 Michelson 干涉仪的干涉效应 Gires-Tournois 谐振腔[6]的调相作用设计的,结构如图 2,分别用 Gires-Tournois 谐振腔 1,2 代替 Michelson 干涉仪的两全反射镜, ΔL 控制器用于调整器件的位相变化。

利用 Gires-Tournois 谐振腔的调相作用选择信道国际电信联盟 (ITU) 信道波长,图 3 为 Gires-Tournois 谐振腔反射系数与位相关系。可见,在 d 一定条件下,光波位相随反射系数 r 变化而变化,在

Θ = mπ 时,频率满足 f = m \* c / (2d) (m = 0, 1, 2, ...);随着反射系数 r 增大,位相由线性变化变为非线性变化,而位相 Θ = mπ 点不随反射系数 r 变化。这样通过合理计算可以找到使位相差周期的出现较宽波长

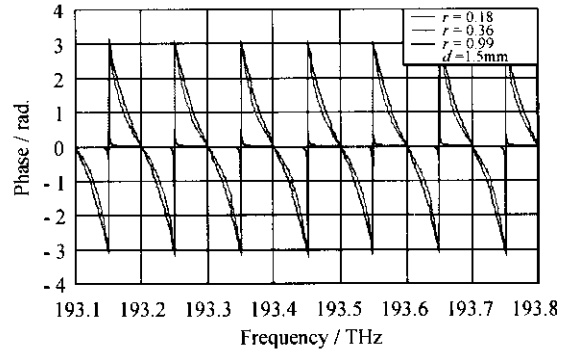


图 3 在 d 一定,不同反射系数条件下,Gires-Tournois 谐振腔位相随频率的变化

Fig. 3 Phase response of Gires-Tournois resonator as a function of frequency at different reflectance for the same value of d

范围的 2nπ 和 (2n + 1)π 值 (n = 0, 1, 2, ...),在位相差等于 2nπ 时,反射谱出现极大,在位相差等于 (2n + 1)π 时,透射谱出现极大值,位相差由 2nπ 向 (2n + 1)π 变化过程中,对应的波长变化范围越小,器件信道隔离度就越高。器件工作原理如图 2 所示,一束光入射到 50 : 50 分束器上,被分成两束 E1 和 E2, E1 入射到 Gires-Tournois 谐振腔 1 调相后被沿原路返回到分束器,另一路 E2 入射到 Gires-Tournois 谐振腔 2 调相后沿原路返回到分束器,这两束光在分束器上实现 Michelson 干涉,其透射方向和反射方向光波电矢量分别为

范围的 2nπ 和 (2n + 1)π 值 (n = 0, 1, 2, ...),在位相差等于 2nπ 时,反射谱出现极大,在位相差等于 (2n + 1)π 时,透射谱出现极大值,位相差由 2nπ 向 (2n + 1)π 变化过程中,对应的波长变化范围越小,器件信道隔离度就越高。器件工作原理如图 2 所示,一束光入射到 50 : 50 分束器上,被分成两束 E1 和 E2, E1 入射到 Gires-Tournois 谐振腔 1 调相后被沿原路返回到分束器,另一路 E2 入射到 Gires-Tournois 谐振腔 2 调相后沿原路返回到分束器,这两束光在分束器上实现 Michelson 干涉,其透射方向和反射方向光波电矢量分别为

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

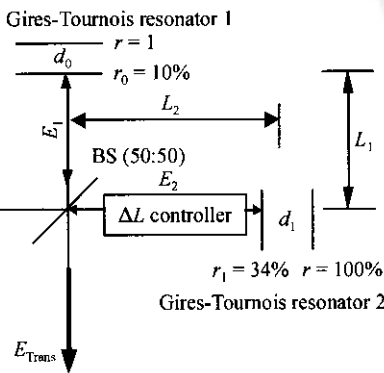


图 2 法布里-珀罗复合型光学梳状滤波器结构图

Fig. 2 Schematic of Interleaver using a Michelson interferometer with Gires-Tournois resonator 1, 2

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

式中  $E_{\text{in}}$  为入射光波电场矢量,  $L_1$  和  $L_2$  为 Michelson 干涉仪的两个臂长,  $n$  为介质折射率(空气介质  $n = 1$ ),  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  为真空中波长,  $\Theta_1$  和  $\Theta_2$  分别为 Gires-Tournois 谐振腔 1, 2 的位相应, 即

$$\Theta_1(r_0, d_0) = -2 \tan^{-1} \left[ \frac{1 - r_0}{1 + r_0} \tan(knd_0) \right]$$

$$\Theta_2(r_1, d_1) = -2 \tan^{-1} \left[ \frac{1 - r_1}{1 + r_1} \tan(knd_1) \right]$$

式中  $d_0$  和  $d_1$  为 Gires-Tournois 谐振腔 1, 2 的腔长,  $r_1$  和  $r$  分别为 Gires-Tournois 谐振腔 1 的第一面和第二面的光波电振幅反射系数,  $r_0$  和  $r$  为 Gires-Tournois 谐振腔第一面和第二面的光波电振幅反射系数。若用归一化光强表示输出, 则

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

$$I_{\text{Ref}} = \cos^2 \left[ \frac{2kn(L_1 - L_2) + (\Theta_1 - \Theta_2)}{2} \right]$$

通过调节臂长差  $\Delta = L_1 - L_2$  和  $\Delta\Theta = \Theta_1 - \Theta_2$  (通过调节  $r_0, r_1, d_0, d_1$  实现) 值可以实现各种信道间隔如 (100 GHz, 50 GHz, 25 GHz, ...) 的梳状滤波器、带通滤波器、带阻滤波器及可调滤波器等。

我们设计了信道间隔为 50 GHz 的光学梳状滤波器, 具体设计参数如下:  $\Delta L = 5$  mm,  $r_0 = 18\%$ ,  $r_1 = 36\%$ ,  $r = 100\%$ ,  $d_0 = 1.5$  mm,  $d_1 = 3.2$  mm。图 4 为归一化反射强度曲线, 图 5 为归一化透射强度曲线。

容易看出, 信道间隔为 50 GHz, 中心波长符合国际电信联盟 (ITU) 规定, 通带平坦性相当好 (畸变

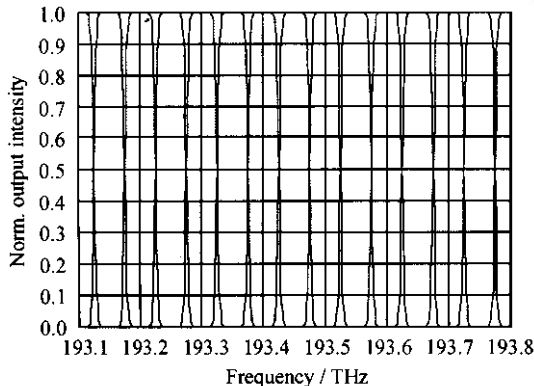


图 4 输出强度随频率的变化曲线

Fig. 4 Output intensity of the interleaver as

function of frequency

$< 0.05$  dB), 1 dB 带宽大于 0.38 nm, 相邻信道间隔高度大于 23 dB, 器件在整个工作频带内具有较高的一致性。通过合理调整各参数 ( $r_0, r_1, d_0, d_1, L_1, L_2$ ), 还可进一步提高器件指标。

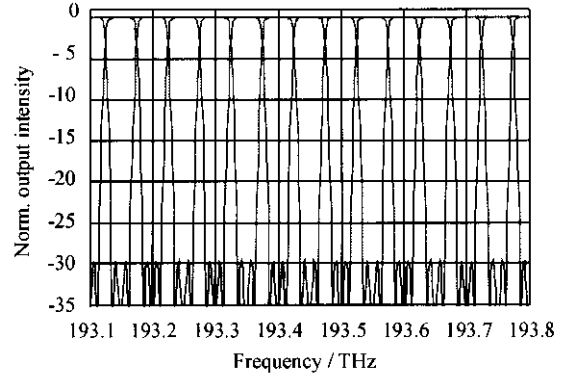


图 5 归一化输出强度随频率的变化曲线

Fig. 5 Normalized output intensity of the interleaver as a function of frequency

## 2 结 论

本文分析了 Gires-Tournois 谐振腔的调相原理, 给出了由双 Gires-Tournois 谐振腔 1, 2 构成 Michelson 干涉仪——法布里-珀罗型光学梳状滤波器的设计原理。该滤波器具有零畸变、高信道隔离度、宽平坦带宽、高一致性、结构简单、性能稳定等优点。设计了信道间隔为 50 GHz, 畸变  $< 0.05$  dB, 1 dB 带宽大于 0.38 nm, 相邻信道间隔高度大于 23 dB 的光学梳状滤波器。通过对参数 ( $d_0, d_1, L_1, L_2$ ) 实现电连续可调, 可用该结构实现可调谐滤波器。

## 参 考 文 献

- 1 Bob Shine, Jerry Bautista. Interleavers make high-channel-count systems economical [J]. *Lightwave*, 2000, **17**(9):140~144
- 2 Huishi Li, River Huang. The application and technical approaches of interleaver [C]. *SPIE*, 2001, **4581**:79~87
- 3 Andrew Zeng, Joseph Chon. Ultra-high capacity and high speed DWDM optical devices for telecom and datacom applications [C]. *SPIE*, 2001, **4581**:13~20
- 4 W. H. Loh, F. Q. Zhou, J. J. Pan. Novel designs for sampled grating-based multiplexers-demultiplexers [J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(21):1457~1459
- 5 Benjamin B. Dingel, Tadashi Aruga. Properties of a novel noncascaded type, easy-to-design, ripple-free optical bandpass filter [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(8):1461~1469
- 6 Benjamin B. Dingel, Masayuki Izutsu, Koji Murakawa. Optical wave-front transformer using the multiple-reflection interference effect inside a resonator [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(19):1449~1451