

一种基于双光纤环形腔的 M-Z 型交错复用器*

张 婷 赵 帅 陈 凯 李 勇 男 盛 秋 琴

(南开大学物理科学学院光电信息科学系, 天津 300071)

摘 要 提出一种将两个光纤环形腔分别加入 M-Z 干涉仪两个干涉射臂中构成的交错复用器, 得出了满足 DWDM 所需滤波性能的两个光纤环形腔的最佳耦合比. 理论设计表明, 这种新结构与已有的单环形腔的 M-Z 型交错复用器相比, 同时具有更宽的 0.5 dB 透过带和 25 dB 截止带. 分析了耦合比对滤波性能的影响.

关键词 光纤环形腔; M-Z 干涉仪; 交错复用器; 密集波分复用

中图分类号 TN253 **文献标识码** A

0 引言

随着计算机网络及其他数据传输服务的飞速发展, 长距离光纤传输系统以及大容量光纤网络对通信容量和系统扩展的需求日益膨胀. 但是目前使用的 EDFA 及传输光缆的通带波长有限. 为了满足人们对光通信带宽无止境的需求和最好的利用现有光放大器的带宽, 采用更窄波长间隔的密集型波分复用技术是达到这一目标的有效途径. 密集波长交错器是近年来出现的新型光无源器件. 这种器件的作用就是将一根光纤中的多个波长按奇数和偶数分为两组, 例如当进入光纤的光波的相邻频率间隔为 50 GHz, 则经过波长交错复用器后, 每个奇数(偶数)组相邻频率间隔为 100 GHz, 反之亦然. 基于器件的这种功能, 它在 DWDM 光通信系统中得到广泛应用. 其中主要的应用是可将通道数为 16 间隔为 100 GHz 的系统升级为通道数为 32 间隔为 50 GHz 的系统. 这只要将现有的系统再增加 16 路合波-分波器和一个波长交错复用器即可. 所以, 波长交错器已成为光通信市场的热门产品.

目前国际上已有的技术方案包括: 双折射晶体^[1]、液晶、光纤布拉格光栅^[2]、平面光波导(PLC) M-Z 干涉^[3]、全光纤 M-Z 干涉、迈克耳逊干涉仪+G-T 反射镜^[4]以及 F-P 腔堆等^[5]. 光学全通滤波器(All Pass Filter)没有波长选择性, 但其对不同波长(频率)的光波能产生不同的相移, 起到相位调制器的作用. 环形腔和薄膜 G-T 干涉仪是两种实现方式, 可利用其非线性相位相应改善带通滤波器的传输特性^[6].

本文提出一种将两个光纤环形腔分别加入熔锥非平衡 M-Z 干涉仪的两个干涉臂中构成的交错复

用器, 并找到了满足密集波分复用所需滤波性能的两个光纤环形腔的最佳耦合比. 理论设计表明, 这种新结构与其它结构交错复用器相比, 同时具有更宽的 0.5 dB 透过带和 25 dB 截止带. 并分析了耦合比对滤波性能的影响.

1 结构原理

一般而言, 所有的交错复用器都是基于光的干涉原理制作的. 它的输出特性是随频率变化的周期函数, 通过改变干涉仪两臂的臂长差可以改变其输出周期. 但是, 通常单级干涉结构的频率域传输函数为正弦波状, 其主瓣宽度以及上升/下降沿(过渡带)都很不理想, 即其精细度(周期与主瓣宽度之比)还远远满足不了多通道选择的要求. 因而可以增加光学全通滤波器调节相位, 这对于产生平顶(Flat Top)的频谱响应特性是十分必要的. 本文提出一种将两个光纤环形腔分别加入熔锥非平衡 M-Z 干涉仪构成的交错复用器, 如图 1. 两个光纤环形腔的耦合比不同, 使得干涉仪的两臂相位有了新的变化.

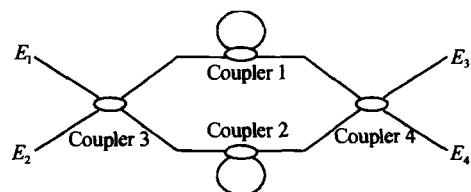


图 1 双光纤环 M-Z 型交错复用器原理示意图
Fig. 1 Schematic view of interleaver with two ring cavities

假定器件的初始注入条件为 $E_1 = 1$, 忽略光纤及耦合器损耗, 根据 M-Z 干涉仪和环形腔的传输特性, 从 E_3 端和 E_4 端输出的光可写作

$$\begin{cases} I_3 = \frac{1}{2} [1 + \cos(\beta\Delta L + (\varphi_2 - \varphi_1))] \\ I_4 = \frac{1}{2} [1 - \cos(\beta\Delta L + (\varphi_2 - \varphi_1))] \end{cases} \quad (1)$$

式中 β 为光纤中基模的传输常数, ΔL 为两臂的几何长度差, φ_1 、 φ_2 分别为光波通过两个环形腔的相移.

*南开大学基地基金资助—创新实验室
Tel: 022-23509124 Email: shengqq@nankai.edu.cn
收稿日期: 2004-05-31

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \arg \frac{P_2 \exp(j\theta) - 1}{P_2 - \exp(j\theta)} - \arg \frac{P_1 \exp(j\theta) - 1}{P_1 - \exp(j\theta)} \quad (2)$$

式中 $\theta = \beta R$, R 是环周长, $P = \sqrt{1-k}$ 是与耦合比有关的参数, $k = \cos^2 \phi$ 是耦合器的耦合比. 当满足共振条件时, $\theta = \pi - 2\beta\Delta L$, $R = 2\Delta L - \frac{\lambda_0}{2n}$, λ_0 为中心波长, n 为光纤的有效折射率.

将两个光纤环形腔的非线性相位差和 M-Z 干涉仪两个干涉臂的线性相位差画在同一张图上, 就能清楚地看到其位相差之和的变化情况, 如图 2. 其中, 频率间隔采用 ITU-TG. 692 规定的标准 50 GHz 间隔. 两曲线所表示的相位差之和在 193.0 THz、193.1 THz 等奇数频率点处均为零, 在其附近处和值也非常小; 而在 193.05 THz、193.15 THz 等偶数频率点处相差之和为 $\pm\pi$, 在其附近处和值的绝对值很大. 通过调整两个光纤环形腔的耦合比, 使其相位差之和在透过频率附近尽量接近零, 而在离开透过频率的区域尽可能的大. 这样, 经过这种周期相位调制的干涉光谱曲线将在所需透过频率处有一个透过带, 而在相邻频率处有一个截止带, 得到近似于方波的梳状滤波器透射率.

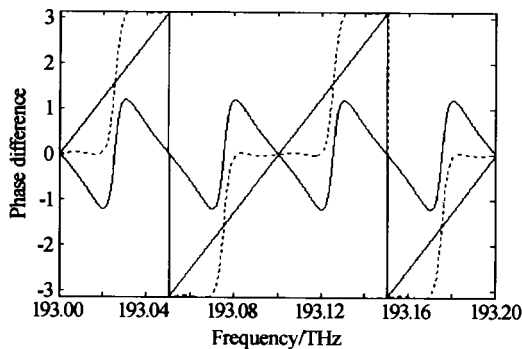


图 2 两个光纤环形腔和 M-Z 干涉仪两个干涉臂的相位差曲线

Fig. 2 Two ring cavities and M-Z interferometer matching phase curves

经过优化计算, 满足密集波分复用所需的截止度和平坦度的光纤环形腔的最佳耦合比为 $k_1 = 0.51$ 和 $k_2 = 0.95$, 由此设计的得到 50 GHz 频率间隔的交错复用器的输出光谱如图 3. 中心波长 λ_0 为 1552.52 nm, $\Delta L \approx 2.04$ mm, $R \approx 4.08$ mm, n 取 1.47. 通过两个光纤环形腔的相位调制的输出曲线几乎近似于方波, 曲线的波纹度极小 (小于 0.02%).

图 4 是常规 M-Z 干涉仪、加入一个光纤环形腔和加入两个光纤环形腔三种 Interleaver 的 0.5 dB 透过带宽度的比较图, 可以看出三种交错复用器的

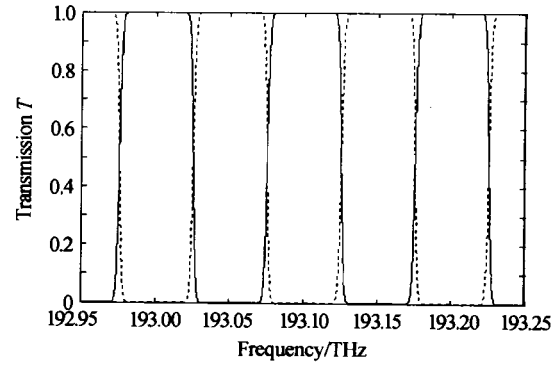


图 3 交错复用器器件的输出光谱

Fig. 3 Interleaver's output spectrum

0.5 dB 透过带宽度分别为 23 GHz, 42 GHz 和 46 GHz. 加入两个光纤环形腔的 M-Z 型交错复用器的 0.5 dB 透过带宽度约占 50 GHz 频率间隔的 93%, 与只加入一个光纤环形腔的 M-Z 型交错复用器的 0.5 dB 透过带宽度约占 50 GHz 频率间隔的 84% 相比, 明显的提高了. 图 5 是常规 M-Z 干涉仪、加入一个光纤环形腔和加入两个光纤环形腔三种 Interleaver 的 25 dB 截止带宽度的比较图, 三种交错复用器的 25 dB 截止带宽度分别为 3.8 GHz, 28 GHz 和 41 GHz. 加入两个光纤环形腔的 M-Z 型交错复用器的 25 dB 截止带宽度约占 50 GHz 频率间隔的 82%, 与只加入一个光纤环形腔的 M-Z 型交错复用器的 0.5 dB

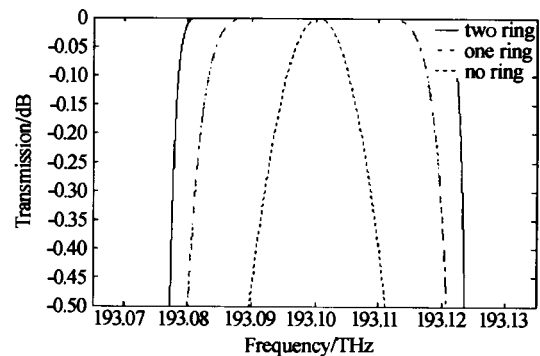


图 4 三种 M-Z 型交错复用器的 0.5 dB 透过带宽度

Fig. 4 The 0.5 dB passband for M-Z interleaver with no ring, one ring and two rings

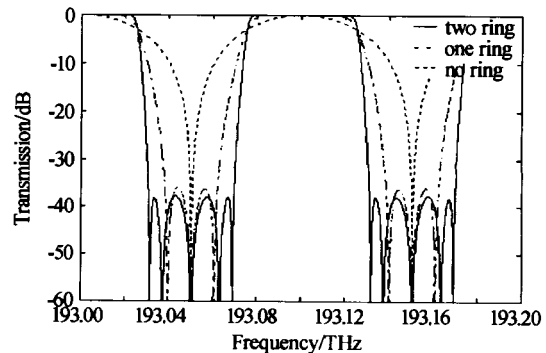


图 5 三种 M-Z 型交错复用器的 25 dB 截止带宽度

Fig. 5 The 25 dB stopband for M-Z interleaver with no ring, one ring and two rings

透过带宽度约仅占 50 GHz 频率间隔的 56% 相比, 也是大大的提高了.

2 耦合比对滤波性能的影响

对于加入两个光纤环形腔的交错复用器, 新增参量的变化是影响其滤波性能的关键因素. 两个耦合器的耦合比 k_1 和 k_2 的选取决定了输出谱的形状和信道隔离度的大小. 因此分析其耦合比偏离最佳值对滤波性能的影响是非常重要的.

图 6 是两个光纤环形腔的耦合比单独发生变化时输出谱波形的变化. 由图 6 可知, 当变化相同程度时, 它们对滤波性能的影响是不同的. k_1 的变化对通带、阻带的影响和对隔离度的恶化相对较小, 而 k_2 的变化虽然对通带和阻带的影响也较小, 但其对隔离度的变化是很大的, 其旁瓣电平迅速升高. 经过计算得知, 如果要满足相邻信道的隔离度大于 25 dB 的要求, k_1 的变化范围在 0.46~0.59 之间,

k_2 的变化范围则在 0.92~0.97 之间. 因此, 对同一方波而言, 耦合比 k_2 需要更精确的控制.

3 结论

本文提出一种将两个光纤环形腔分别加入熔锥非平衡 M-Z 干涉仪两个干涉臂中构成的交错复用器, 并找到了满足密集波分复用所需滤波性能的两个光纤环形腔的最佳耦合比. 理论设计表明, 对于 50 GHz 的频率间隔, 该器件同时具有更宽的 0.5 dB 透过带 (46 GHz, 93% 频率间隔) 和 25 dB 截止带 (41 GHz, 82% 频率间隔), 信道隔离度接近 40 dB. 分析了耦合比偏离最佳值对滤波性能的影响, 给出了满足 DWDM 系统需要的信道隔离度大于 25 dB 的耦合器耦合比范围. 同时系统要求更加严格的制作和封装工艺, 以满足各参数的需要. 本文的数值计算和分析针对的是光纤, 该器件同样可以结合平面波导技术来实现.

参考文献

- 1 Zhang Juan, Liu Liren, Zhou Yu. A tunable interleaver filter based on analog birefringent units. *Opt Comm*, 2003, **227**(9): 283~294
- 2 Li Lin, Fang Zujie, Cai Haiwen, et al. Sampled FBG based optical interleaver. *The 4th Pacific Rim Conference on*, 2001, **1**: 15~19
- 3 Kohtoku M, Oku S, Kadota Y, et al. 200-GHz FSR periodic multi/demultiplexer with flattened transmission and rejection band by using a Mach-Zehnder interferometer with a ring resonator. *IEEE Photon Technol Lett*, 2000, **12**(9): 1174~1176
- 4 Dingel B B, Izutsu M. Multifunction optical filter with a michelson-gires-tournois interferometer for wavelength-division-multiplexed network system applications. *Optics Letters*, 1998, **23**(14): 1099~1101
- 5 Chen Haixing, Gu Peifu, Zhang Yueguang, et al. Optical interleaver based on multicavity fabry-perot thin film filter, in optical components and transmission systems. *Proc SPIE*, 2002, **4906**: 561~566
- 6 Madsen C K. General IIR optical filter design for WDM applications using all-pass filters. *J Lightwave Technol*, 2000, **18**(6): 860~868

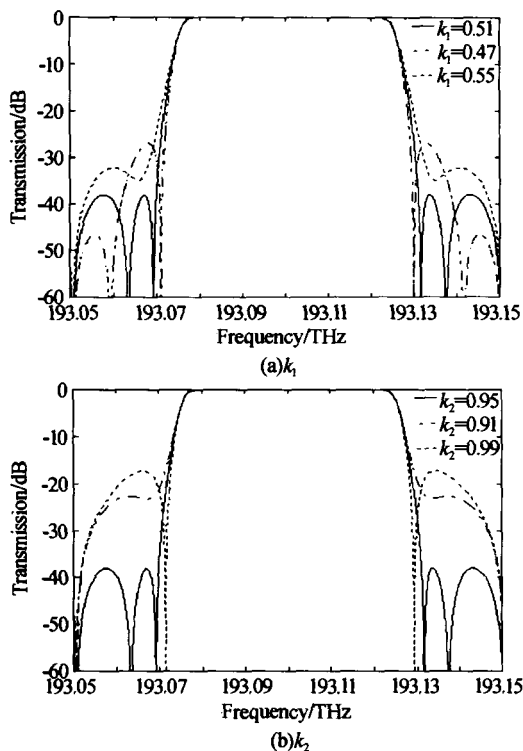


图 6 耦合比偏离最佳值对滤波性能的影响

Fig. 6 The different waveform corresponding to the different coupling coefficients

A Flat-Top Interleaver Based on a M-Z Interferometer with Two Ring Cavities

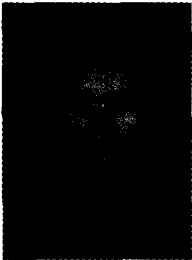
Zhang Ting, Zhao Shuai, Chen Kai, Li Yongnan, Sheng Qiuqin

Department of Photoelectricity Information Science, Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071

Received date: 2004-05-31

Abstract The theory investigation of a flat-top optical interleaver with two ring cavities in a M-Z interferometer is present. We find the optimum coupling angle of the two two ring cavities which meet the needs for DWDM. The result indicates that the interleaver with two ring cavities can simultaneously produce a 0.5 dB passband and a 25 dB stopband wider than with only one ring cavity. Influence on its transmission characteristics by the coupling angle is also analyzed.

Keywords Fiber ring cavity; M-Z interferometer; Interleaver; DWDM



Zhang Ting was born in 1980, in Tianjin, China. She received the B. S degree in applied optics from Nankai University in 2002. Now she is in the second year of M. S program in the Department of Photoelectricity Information Science of Physics Institute, Nankai University. Her research interests are fiber optics and modern optical communication.