

文章编号: 0253-2239(2004)05-651-4

一种有效提高薄膜滤光片型密集波分复用器器件性能的方法及其实验研究*

卜勤练 罗勇 付永安 许远忠

(武汉光迅科技有限责任公司, 武汉 430074)

摘要: 对光梳状滤波器加薄膜滤光片型模块制作密集波分复用器(DWDM)的两种应用方案进行了研究,提出了一种提高插损一致性、信道隔离度及减小串扰的结构方案。对新结构方案与常规结构方案进行了理论分析及实验研究,结果表明新结构可将级联次级峰由大于 -30 dB降至 -50 dB以下。用 16 波 50 GHz 的密集波分复用器件拼接进行的实验表明最终器件的插损减小 0.869 dB,插损一致性减小 2.005 dB,相邻信道隔离度提高 1.004 dB,非相邻信道隔离度提高 42.903 dB,总串扰提高 1.68 dB。该方案不仅可以应用到光梳状滤波器与薄膜滤光片型模块拼接高性能的超密集波分复用器件,同样也可适用于阵列波导光栅等类型的密集波分复用器件中以降低工艺难度,提高性能指标。

关键词: 密集波分复用; 光梳状滤波器; 薄膜滤光片; 双折射晶体

中图分类号: TN253 文献标识码: A

Study on Improving the Performance of Thin Film Filter Based DWDM Components

Bu Qinlian Luo Yong Fu Yong'an Xu Yuanzhong

(Accelink Technologies Co. Ltd., Wuhan 430074)

(Received 16 May 2003; revised 24 July 2003)

Abstract: Two approaches of building DWDM component incorporated with optical interleaver and thin film filter modules are discussed. A novel structure is proposed to improve the insertion loss uniformity, channel isolation, and the total crosstalk of such DWDM component. Theoretic analysis and experiment were performed on both the novel and conventional structure, and the result indicated that the side lobe of the novel structure's spectrum is depressed from -30 dB of the conventional structure's to about -50 dB. DWDM experiment by using at a 16 channel 50 GHz indicates that an improvement of 0.869 dB on insertion loss, 2.005 dB on insertion loss uniformity, 1.004 dB on adjacent channel isolation, 42.903 dB on non-adjacent channel isolation and 1.68 dB on total crosstalk. The novel approach can be used not only in the ultra-DWDM based on interleaver and thin film filter module cascaded, but also in DWDM based on array waveguide grating (AWG) to mitigate the technical difficulty and improve the specifications.

Key words: dense wavelength division multiplexing; optical interleaver; thin film filter; birefringence crystal.

1 引 言

目前,密集波分复用器系统在光纤通信中得到了广泛应用。随着通信容量的提高,对密集波分复用器器件提出了更高的要求,需要有窄的通道间隔,高的信道隔离度。通常采用的密集波分复用器技术

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2001AA312110)资助课题。

E-mail: buqinl@wri.com.cn

收稿日期:2003-05-16;收到修改稿日期:2003-07-24

有基于介质膜滤光片(TFF)和基于平面光波导(PLC)的阵列波导光栅等技术。单独采用薄膜滤光片技术制作高密度如 50 GHz 或 25 GHz 的密集波分复用器器件面临着工艺难度提高、成品率下降及稳定性难以保证等问题;而使用阵列波导光栅技术除了以上的问题外,还存在温控电路精度要求高,器件寿命及使用环境受电路限制等缺点,距大规模商用还有一定距离。采用光梳状滤波器(Interleaver)加上薄膜滤光片模块或阵列波导光栅模块可以降低现有技术的制造难度,在保留原有器件的条件下对原有的波长间隔较大的系统进行升级,使得其波长间隔减半并扩展使用波长数^[1]。本文将对光梳状滤波器加上薄膜滤光片模块制作密集波分复用器器件的几种应用方案进行深入研究。

2 理论分析

我们以用 100 GHz 的薄膜滤光片模块和 50 GHz 的光梳状滤波器拼接 50 GHz 的密集波分复用器器件为例进行分析。

对于薄膜滤光片型密集波分复用器模块,我们采用巴特渥斯(Butterworth)模型^[2]

$$H(\lambda) = \frac{\alpha}{1 + [(\lambda - \lambda_0)/\lambda_c]^{2n}}, \quad (1)$$

其中 α 为损耗, λ_0 为中心波长, λ_c 为 3 dB 带宽, n 为滤波器的阶次。

对于光梳状滤波器我们采用双折射晶体两级滤波的结构,其奇、偶端口的输出分别为

$$T_{s1}(\lambda) = \left\{ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot S(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \right\}^2, \quad (2)$$

$$T_{s2}(\lambda) = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot S(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \right\}^2, \quad (3)$$

其中

$$F(\lambda) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \exp[-i \frac{\delta_1(\lambda)}{2}] & 0 \\ 0 & \exp[i \frac{\delta_1(\lambda)}{2}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$S(\lambda) = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \exp[-i \frac{\delta_2(\lambda)}{2}] & 0 \\ 0 & \exp[i \frac{\delta_2(\lambda)}{2}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}, \quad (5)$$

分别为第一、二级相位延迟,其中 θ, ϕ 为光轴角度, δ 为相位延迟

$$\delta(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta N(\lambda) d, \quad (6)$$

ΔN 为晶体的双折射系数, d 为晶体长度。代入适当的参量,并将(1)式与(2)式及(3)式分别相乘并使用 dB 单位即可得如图 1 所示结构的波形如图 2。图 2(a)为薄膜滤光片模块的波形,其中 $\alpha=0.6$ dB, $\lambda_0=1540.55$ nm, $\lambda_c=0.34$ nm, n 为 5。图 2(b)为光梳状滤波器的波形,其中 $\theta=45^\circ$, $\phi=-15^\circ$,若使用钽酸铋晶体则两级的长度分别应为 14.009 mm 和 28.018 mm。图 2(c)为光梳状滤波器与薄膜滤光片模块如图 1 拼接后的波形。可以看出,由于薄膜滤光片模块波形的矩形度较差,拼接后的次级峰可以达到大于 -30 dB 的水平,这样对于超长距离传输或噪声影响较大的应用场合将引起功率代价提

高,误码率增大等问题^[5~7]。

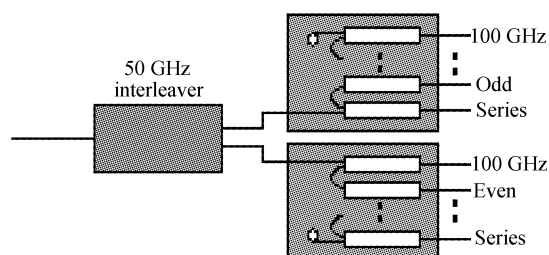


Fig. 1 Conventional structure of a 50 GHz DWDM employing an Interleaver and TFF modules

我们在光梳状滤波器和薄膜滤光片模块之间引入一级 100GHz 的光梳状滤波器,其结构如图 3。

100 GHz 的光梳状滤波器结构同于 50 GHz 的光梳状滤波器,只是其各级的长度均为 50 GHz 的一半(若使用钽酸铋晶体,则两级的长度分别应为 7.004 mm 和 14.009 mm),且中心波长分别对应于

50 GHz 光梳状滤波器的奇、偶输出端波长。将一只 50 GHz 的光梳状滤波器与两只 100 GHz 光梳状滤波器连接,其中两个端口的输出波形如图 4。将

密集波分复用器模块与级联的光梳状滤波器拼接后波形如图 5。

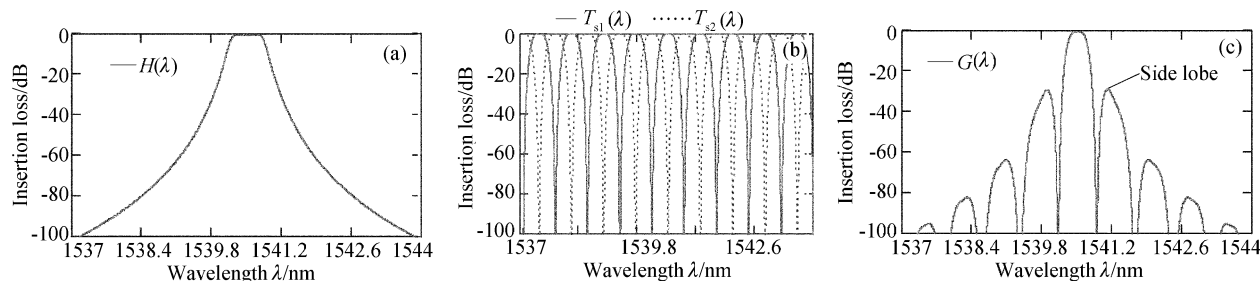


Fig. 2 (a) The theoretic spectrum of TFF modules; (b) The theoretic spectrum of Interleaver; (c) The theoretic spectrum of Interleaver and one TFF modules cascaded as Fig. 1 shows

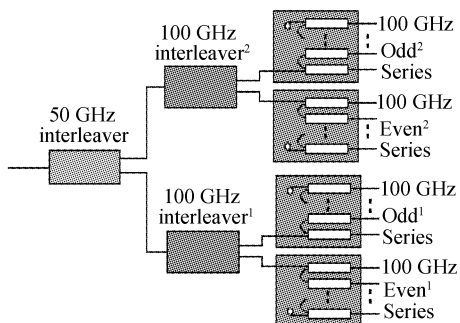


Fig. 3 Novel structure of a 50 GHz DWDM employing interleaver and TFF modules

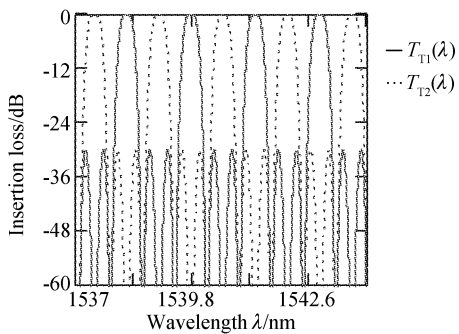


Fig. 4 The theoretic spectrum of a 50 GHz Interleaver and an 100 GHz Interleaver cascaded

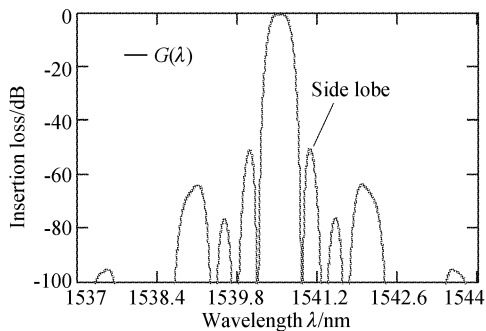


Fig. 5 The theoretic spectrum of interleaver and one TFF modules cascaded as Fig. 3 shows

可以看到,次级峰都被压低到 -50 dB 以下。

现在一般大通道数的密集波分复用器器件中都使用红蓝带技术以降低薄膜滤光片模块的级联级数,如果采用图 3 的结构,就可以省去红蓝带模块的使用,在改善隔离度的同时可以降低器件的插入损耗一致性及最大插入损耗。

3 实验结果

我们分别按图 1 和图 3 做了两只 16 通道 50 GHz 的密集波分复用器器件,并使用 EXFO 公司的 IQ12004B 密集波分复用器测试系统对其进行了测试,如图 6。

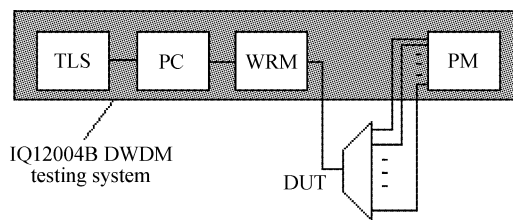


Fig. 6 Testing system function structure. TLS: tunable laser source; PC: polarization controller; WRM: wavelength reference module; PM: power meter; DUT: devices under test

图 7 为常规结构的测试谱线。在这个 16 波 50 GHz 密集波分复用器的结构下,对应于奇偶通道各有 8 级级联,在没有采用其它通道均衡技术条件下插损一致性为 3.306 dB,最大插损为 5.912 dB,相邻信道隔离度 (ISO) 大于 24 dB,非相邻信道隔离度大于 27 dB,总串扰大于 22 dB。

图 8 是采用新型结构拼接器件的测试谱线,可以看出次级峰由原来的 -27 dB 的水平压低到 -49 dB 以下。其最大插损 5.043 dB,插损一致性为

1.301 dB, 相邻信道隔离度优于25 dB, 对于非相邻信道隔离度, 由于次级峰的压低, 使得测值达到

70 dB以上。总串扰也都达到24 dB以上。两种结构的测试结果对比如表1。

Table 1 Specification comparison on the two structure

		Conventional structure	Novel structure	Improvement
Insertion loss /dB	(max)	5.912	5.043	0.869
Insertion loss uniformity /dB	(max)	3.306	1.301	2.005
Adjacent ISO /dB	(min)	24.514	25.558	1.004
Non-adjacent ISO /dB	(min)	27.435	70.338	42.903
Total crosstalk /dB	(min)	22.732	24.412	1.68

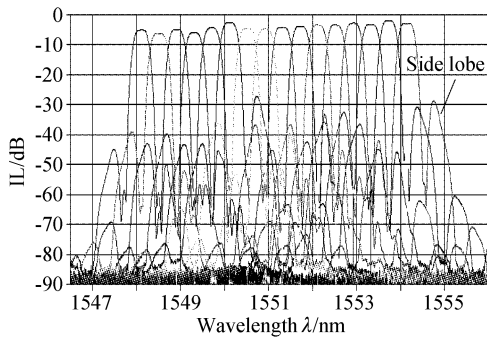


Fig. 7 Spectrum of 16 channels 50 GHz DWDM with conventional structure

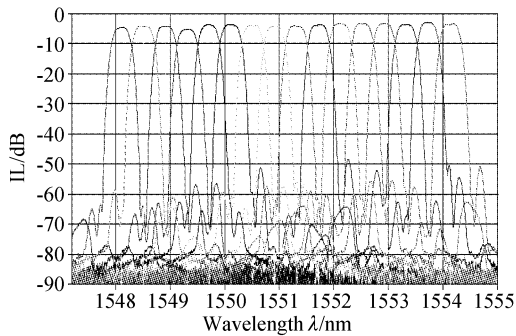


Fig. 8 Spectrum of 16 channels 50 GHz DWDM with new structure

结论 在使用光梳状滤波器加上薄膜滤光片模块制作密集波分复用器器件时, 我们设计的结构与常规结构相比具有相邻信道隔离度高, 总的串扰小的特点, 对非相邻信道隔离度可以提高 40 dB 以上, 同

时可以使得薄膜滤光片模块级联数目减少, 减少红蓝带的使用, 提高通道插损一致性。同时这种方法也可用在光梳状滤波器同阵列波导光栅等其它类型密集波分复用器器件的制作中以提高性能, 降低工艺难度。

注: 实验中采用的光梳状滤波器, 薄膜滤光片密集波分复用器均为武汉光迅科技有限责任公司生产, 测试带宽±0.1 nm。

参 考 文 献

- 1 Luo Yong, Wu Keyu, Bu Qinlian. Optical Interleaver with high isolation and flat-top filtering properties. *Fiber Commun. Technol.*, 2002, **3**:7~8
- 2 Jin YaoHui, Zeng Qingji. The ASE accumulation in a WDM all optical network. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(2):195~200 (in Chinese)
- 3 Dowling E M, MacFarlane D L. Lightwave lattice filters for optically multiplexed communication systems. *J. Lightwave Technol.*, 1994, **12**(3):471~486
- 4 Gu Peifu, Bai Shengyuan, Li Haifeng *et al.*. Design of DWDM thin film interference filters. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(7):794~797 (in Chinese)
- 5 Zhao Wei, Zheng Xiaoping, Zhang Hanyi. Study on filter performance of Mux/Demux. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(9):1084~1087 (in Chinese)
- 6 Ji Yuefeng. *Optical Wavelength Division Multiplexing System* (光波分复用系统). Beijing: Beijing University P&T Press, 1999. 53, 99~100 (in Chinese)
- 7 Gu Wanyi, Li Guorui. *Fiber Communications System* (光纤通信系统). Beijing: Beijing University of P&T Press, 1999. 242~249, 297 (in Chinese)