

文章编号: 1001-3806(2006)04-0398-04

新型密集波分解复用器的实验研究

柯昌剑, 刘德明, 黄德修

(华中科技大学 光电工程系, 武汉 430074)

摘要: 为了易于实现解复用波长数目和间隔上的升级, 设计了一种新型 16 波长 /100GHz 间隔密集波分解复用器。该器件由 100GHz 光梳状滤波器和 200GHz 介质膜滤波器构成: 利用光梳状滤波器的并行输出来扩展解复用信道之间的间隔, 通过介质膜滤波器的串联来实现不同波长的解复用。实验研究表明, 该器件具有良好的性能, 能够满足系统升级的需要。

关键词: 光通信; 解复用器; 光梳状滤波器; 介质膜滤波器

中图分类号: TN713 **文献标识码:** A

Experimental investigation on novel dense wavelength division demultiplexer

KE Changjian, LIU Deming, HUANG Dexiu

(Department of Optoelectronic Engineering HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract A novel type of 16-channel 100GHz spaced dense wavelength division demultiplexer, composed of 100GHz optical interleaver and 200GHz dielectric filters is presented, which can easily meet the demand that the amount of demultiplexed wavelengths gets larger and the spacing of them gets narrower. An optical interleaver is used to enlarge the spacing of demultiplexed channels and several 200GHz dielectric filters are cascaded on the output of interleaver to separate the different wavelengths. The experimental results show that this device has excellent performances and suits the upgrade of dense wavelength division multiplex (DWDM) systems.

Key words optical communication; demultiplexer; optical interleaver; dielectric filter

引 言

密集波分复用 (dense wavelength division multiplex, DWDM) 解复用器是高速大容量 DWDM 网络中的关键器件。实现复用/解复用中滤波功能的元件主要有介质膜滤波器、阵列波导光栅、光纤光栅等几种。介质膜滤波器是光通信系统中使用最广泛的一种滤波器, 它具有良好的温度稳定性、通道隔离度和带宽特性^[1]。目前, 商用化的密集波分复用/解复用器多采用介质膜滤波器作为滤波元件, 通过具有不同透射波长的介质膜滤波器所构成的滤波单元依次串联而实现波分复用光信号的复用与解复用。

随着密集波分复用技术的迅速发展, 商用系统中复用波长的数目越来越多 (32 个波长, 40 个波长甚至更多), 复用波长之间的间隔越来越小 (100GHz/50GHz)。系统对密集波分复用/解复用器的性能尤其是解复用性能提出了更高的要求。介质膜滤波器型密

集波分复用器只有通过增加串联滤波单元的数目和采用更窄通带带宽的介质膜滤波器才能满足系统升级的需要。随之而来的问题是: 器件总的插入损耗变大, 通道之间的不平坦度变差, 解复用波长间隔小于 100GHz 时多层介质膜干涉滤波器制备比较困难等。因此, 一种有效的解决途径就是通过一级光梳状滤波器, 将需要解复用的波长序列 (如 100GHz 波长间隔) 中的不同波长按照奇偶信道的顺序交叉分成两个波长序列 (此时同一波长序列中的波长间隔为 200GHz) 后, 再分别在对应该波长序列输出端应用较大波长间隔的介质膜滤波器 (200GHz 波长间隔) 所构成的滤波单元依次串联后进行不同波长光信号的分离。

报道了基于上述思想采用 100GHz 光梳状滤波器并联输出和 200GHz 介质膜滤波器串联滤波相结合制作而成的 16 波长 /100GHz 间隔新型密集波分复用器实验研究结果。该新型器件克服了常见结构介质膜滤波器型密集波分复用器的缺点, 具有插入损耗低, 通道间不平坦度小和对介质膜滤波器要求低等优点, 特别容易实现器件在复用波长数目和间隔上的升级。

考虑到实际应用中, 器件的复用和解复用功能常常合二为一, 并且用作解复用器时对性能指标的要求要高于复用器, 因此, 以下的讨论均以解复用器为主。

基金项目: 国家八六三计划资助项目 (2003AA312060)

作者简介: 柯昌剑 (1977-), 男, 讲师, 主要从事光通信器件与光纤传感技术方面的研究与开发。

Email: cjka@mail.hust.edu.cn

收稿日期: 2005-04-25; 收到修改稿日期: 2005-07-07

1 器件结构设计和工作原理

所研究的密集波分解复用器采用并联和串联相结合的结构:即用 100GHz 的光梳状滤波器扩展解复用信道之间的间隔,在光梳状滤波器的两个输出端分别输出间隔为 200GHz 对应 ITU-100GHz 标准奇数通道和偶数通道的波长序列。然后这两个波长序列再分别通过串联的多个 200GHz 滤波单元进行滤波后获得不同波长光信号的分离,如图 1 所示。解复用器的工作

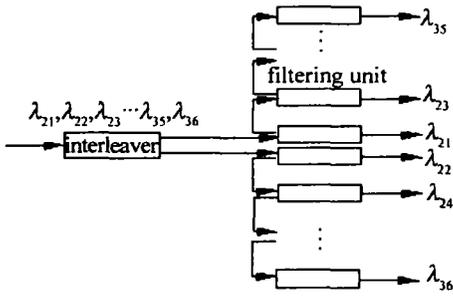


Fig 1 Schematic of novel demultiplexer

波长为 ITU-100GHz 波长标准 21 通道至 36 通道。当携带有 16 个波长的波分复用信号进入到解复用器时,首先光梳状滤波器将该波长序列按照交叉的顺序并行分成 21, 23, 25, ..., 35 通道和 22, 24, 26, ..., 36 通道两个波长序列。然后这两个波长序列再分别通过串联滤波单元进行滤波。最后在相应输出端输出特定波长光信号。

光梳状滤波器的类型主要包括:双折射晶体型^[2]、Mach-Zehnder 干涉仪型^[3]、Michelson-Gires-Tournois 干涉仪型^[4]和 AWG 型^[5]等几种。实验中使用的是双折射晶体型光梳状滤波器。其基本工作原理是:首先利用晶体的偏振分光特性使得所有信号波长呈现同一线偏振态。然后再经过一段晶体相位延迟片,此时不同波长的光通过相位延迟片后具有不同的偏振态,而这种偏振态的改变随波长呈现一种周期性的变化。最后再利用晶体的偏振分光把不同偏振态的光分开,这样就得到两束光强随波长呈周期性交错变化的光波。

滤波单元结构如图 2 所示。滤波单元由双光纤准

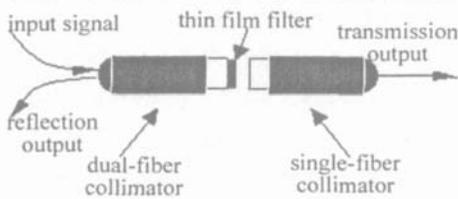


Fig 2 Schematic of filtering unit

直器、介质膜滤波器和单光纤准直器构成。在滤波单元中选用自聚焦透镜长度为 0.249 节长的双光纤准直器。该类型的双光纤准直器最佳反射点的位置在自聚焦透镜的端面处,即双光纤准直器中的输入光纤和输

出光纤可以在透镜端面最佳反射点的位置上实现共轭成像。将 200GHz 介质膜滤波器用环氧胶固定在自聚焦透镜的端面上,这样满足滤波器透射波长的光信号可以通过单光纤准直器接收后实现特定波长的解复用输出,而不满足滤波器透射波长的那些光信号则被滤波器反射后耦合进双光纤准直器中的输出光纤而进入到下一个滤波单元。

这种结构的 16 波长 /100GHz 密集波分解复用器仅需在一个 100GHz 光梳状滤波器的两个输出端分别级联 8 个间隔为 200GHz 的滤波单元即可。它克服了常见的由 16 个间隔为 100GHz 滤波单元串联而成的密集波分解复用器的缺点,具有插入损耗低、通道间不平坦度小和对介质膜滤波器要求不高等优点。同时,利用这种结构很容易实现器件在解复用波长数目和间隔上的升级。例如,采用两个新型结构的 16 波长 /100GHz 的解复用器通过一个 50GHz 的光梳状滤波器就可以升级成一个 32 波长 /50GHz 的解复用器。

2 实验研究与分析

图 3 为 100GHz 双折射晶体型光梳状滤波器的输

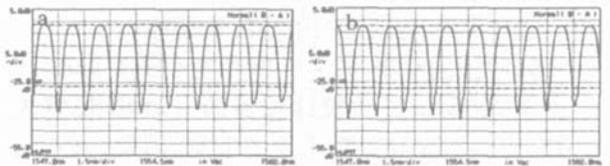


Fig 3 Output spectra of 100GHz interleaver
a—odd channel b— even channel

出光谱图。该器件的滤波特性采用傅里叶级数的方法进行了优化^[6-7]。此时测得光梳状滤波器对应通道输出中心波长相对于标准波长的偏移小于 0.05nm, -0.5dB 带宽大于 0.3nm, -25dB 带宽小于 1.3nm, 消光比大于 30dB。

图 4 中给出了采用 200GHz 介质膜滤波器构成的

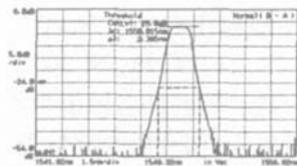


Fig 4 Output spectrum of filtering unit utilizing 200GHz thin film filter (ITU-100GHz channel 34)

滤波单元输出光谱特性 (ITU-100GHz 34 通道)。此时滤波单元输出的中心波长相对于标准波长偏移了 0.1nm, 输出光谱 -0.5dB 带宽大于 0.5nm, -25dB 带宽小于 2.4nm。

解复用器相关特性如图 5 和表 1 所示,限于篇幅,这里只给出了典型通道的实验结果。各个通道的输出光谱实际上是光梳状滤波器和介质膜滤波器输出光谱叠加的结果。由于介质膜滤波器的 -0.5dB 带宽和

Table 1 Characteristics of typical channel

channel number	center wavelength/nm	temperature wavelength drift		- 0.5dB bandwidth/nm	- 25dB bandwidth/nm	insertion loss/dB
		20°C	85°C			
21	1560.595	1560.5641	1560.5881	0.396	1.228	3.45
22	1559.799	1559.7761	1559.7814	0.400	1.222	3.20
31	1552.519	1552.5075	1552.5142	0.403	1.232	3.32
34	1550.119	1550.0993	1550.1167	0.394	1.241	3.90

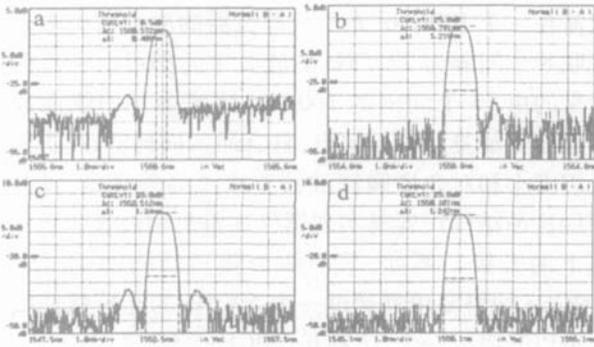


Fig 5 Output spectra of typical channel

a b— channel 21, 22 c— channel 31 d— channel 34

- 25dB带宽均大于光梳状滤波器的对应带宽,因此,器件各通道的输出光谱的带宽特性主要由光梳状滤波器决定。通过实测,各通道的中心波长偏移小于0.05nm, - 0.5dB带宽大于0.3nm, - 25dB带宽小于1.3nm。

由于200GHz介质膜滤波器的- 25dB带宽大于100GHz光梳状滤波器对应处的带宽,因此,某些通道的输出光谱上将有可能出现旁瓣。旁瓣数目的多少和峰值的大小取决于光梳状滤波器和介质膜滤波器输出光谱中心波长相对于标准波长的偏移、光梳状滤波器的消光比以及光梳状滤波器与介质膜滤波器的- 25dB带宽的差异。故不同通道的输出光谱特性可以分为3类:一类是介质膜滤波器透射输出中心波长相对于ITU波长有较大的偏移,而且介质膜滤波器的- 25dB带宽很宽。如图5a图5b所示,21,22通道的输出光谱分别在透射主峰左方和右方出现了一个旁瓣,类似的还有23,24,25,28,29,30等通道。另一类情况则是介质膜滤波器的透射输出中心波长相对于标准波长的偏移量较小,而介质膜滤波器的- 25dB带宽很宽。图5c中给出了输出光谱出现两个旁瓣(31通道)的情况,类似的有32,35,36等通道。最后一类情况是介质膜滤波器的透射输出中心波长相对于标准波长偏移较小,并且介质膜滤波器的- 25dB带宽较窄,此时输出光谱特性最好,左右均不会出现旁瓣。如图5d所示为34通道的输出光谱,类似的有26,27,33等通道。

输出光谱中心波长随温度的变化情况由光梳状滤波器和介质膜滤波器来共同决定。由于光梳状滤波器采用了温度补偿,并且介质膜滤波器本身的温度波长偏移非常小,因此,整个器件的输出波长稳定性也非常

好,测试的结果显示该指标小于0.002nm/°C。

从整个器件的输入和输出来看,前一级滤波单元的反射耦合损耗会影响下一级滤波单元对应输出通道的插入损耗。设光梳状滤波器的一个输出波长序列上共有*n*个串联的滤波单元,光梳状滤波器在第*i*个滤波单元对应输出波长处插入损耗为 L_{α} ,第*i*个滤波单元对应的反射插入损耗为 L_{ri} ,透射插入损耗为 L_{ti} 。则器件第*i*个滤波单元对应通道输出端的插入损耗 L_i 满足:

$$L_i = L_{\alpha} + \sum_{n=1}^{i-1} L_{rn} + L_{ti} \quad (1)$$

从(1)式可以看出,随着串联序号*i*的增加,对应通道的插入损耗将会变大,不同通道之间插入损耗的差异也会变大。因此,在串联各滤波单元时需要根据透射插入损耗和反射插入损耗的大小来综合考虑。串联序号*i*越大的,对应通道要选用具有较小透射插入损耗的滤波单元,以减小通道之间的不平坦度。

表2中给出了典型通道的隔离度特性。由分析可

Table 2 Isolation of typical channel

channel number	isolation/dB			
	adjacent channel(left)	adjacent channel(right)	non-adjacent channel(left)	non-adjacent channel(right)
21	28.1	44.2	31.6	40.0
22	36.4	31.5	39.9	33.6
31	30.9	35.7	34.3	35.6
34	30	38.1	56.1	59.1

知,输出光谱旁瓣的出现使得某一通道的部分功率进入到临近的通道中去,因此,器件的隔离度性能尤其是非相邻通道的隔离度性能将会变差。以图5b所示的31通道为例,输出光谱的旁瓣和主峰之间间隔大概在200GHz左右,因此,非相邻通道的隔离度受输出光谱旁瓣的作用十分明显。将输出光谱和隔离度测试数据进行对比分析发现,输出光谱出现旁瓣的通道对应的非相邻通道隔离度性能较差。而当输出光谱不出现旁瓣时,对应的非相邻通道隔离度性能才会比较好,比如26,27,33,34等几个通道。

表3中给出了该器件的整体性能指标。相比于常见结构的密集波分解复用器,该器件插入损耗小,通道之间的平坦度好^[8]。基于该结构,采用成熟的100GHz

Table 3 Characteristics of novel demux

center wavelength	IU-100GHz channel 21 to 36
- 0.5dB bandwidth	> 0.3nm
- 25dB bandwidth	< 1.3nm
insertion loss	< 4.0dB
channel uniformity	< 1.0dB
wavelength temperature stability	< 0.002nm/°C
PDL	< 0.20dB
adjacent channel isolation	> 25dB
non-adjacent channel isolation	> 30dB
return loss	> 45dB

光梳状滤波器和 200GHz 介质膜滤波器很容易得到 32 波长或者 40 波长 100GHz 间隔密集波分解复用器; 而采用 50GHz 光梳状滤波器和 100GHz 介质膜滤波器则可得到 32 波长或者 40 波长的 50GHz 间隔密集波分解复用器。这样既有效简化器件的结构和设计, 又改善器件的性能, 同时也降低了对介质膜滤波器的要求, 便于器件在解复用波长数目和间隔上实现升级。

与相同波长数目和解复用间隔的平坦型阵列波导光栅密集波分解复用器相比, 该器件的技术指标与前者相当, 而且在非相邻信道隔离度、纯无源器件无须温控等特性上还优于前者^[1]。

3 结 论

采用光梳状滤波器和多层介质膜干涉滤波器技术

(上接第 391 页)

$M > 4$ 就能准确模拟该面上的衍射场分布, 并且阶数 M 都满足不等式 (7) 式。根据泰勒展开式 (2) 式可知, 阶数 M 越大, (2) 式的第 M 项值越小, (9) 式越精确, 但考虑到计算效率, 一般选用能准确模拟衍射场的较小的阶数 M 即可。图 1a~ 图 1d 中阶数选择就是按此进行的。

3 小 结

以超高斯光束经圆孔光阑衍射为例, 通过高阶修正来模拟其衍射场分布, 并与菲涅耳衍射积分做了比较。结果表明, 随着传输距离 z 的不同只需选择合适的阶数 M 即可准确模拟衍射场分布。当传输距离 z 大到足够令 $M = 0$ 时, 即为夫朗和费衍射积分。可根据文中提供的不等式 (7) 式来选择阶数 M , 在此前提下, 高阶修正适用于菲涅耳区和夫朗和费区衍射场的模拟。

参 考 文 献

[1] SIEGMAN A E. Lasers [M]. California University Science Booksmill

制作的 16 波长 /100GHz 间隔新型密集波分解复用器具有总的插入损耗低、通道之间的不平坦度小和对介质膜滤波器要求低等优点。利用这种结构很容易实现密集波分解复用器在解复用波长数目和解复用波长间隔上的升级。

参 考 文 献

- [1] XU Y Zh, YANG T T, ZHANG Y. Review on the key optical components in optical transmission network [J]. Telecommunication Science, 2003, 6: 27~32 (in Chinese).
- [2] KE Ch J, LU D M, HUANG D X. Novel architecture of wavelength interleaving filter with Fourier transform-based crystal waveplate [J]. Proc SPIE, 2002, 4652: 526~531.
- [3] CHIBA T, ARAI H, OHIRA K. Novel architecture of wavelength interleaving filter with Fourier transform-based MZIs [J]. OFC, 2001, 3: WB5-1~WB5-3.
- [4] DINGEL B B, ARUGA T. Properties of a novel non-cascaded type easy-to-design, ripple-free optical bandpass filter [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1999, 17(8): 1461~1469.
- [5] HUANG D W, CHEN T H, LAI Y Ch. A rayed waveguide grating DWDM interleaver [J]. OFC, 2001, 3: WDD80-1~WDD80-3.
- [6] KE Ch J, LU D M, HUANG D X. Optimization of output spectra performance in crystal typed interleaver [J]. Chinese Journal of Lasers, 2002, 29(suppl): 371~374 (in Chinese).
- [7] ZHANG B, HUANG D X, WU L. Improving the filtering characteristics of interleaver [J]. Journal of Huazhong University of Science & Technology (Nature Science Edition), 2002, 30(8): 12~14 (in Chinese).
- [8] LIU J, SUN J Q, FU Y A. The multi-channel TFF DWDM with low insertion loss [J]. Study on Optical Communications, 2005, 2: 56~58 (in Chinese).
- [9] Valley, 1986: 712~743.
- [2] LÜ B D. Laser optics [M]. Beijing Higher Education Press, 2003: 405~412 (in Chinese).
- [3] TAO X Y, ZHOU N R, LÜ B D. Study on beam propagation properties based on Collins formula in frequency domain and Hankel transform [J]. Laser Technology, 2003, 27(1): 24~28 (in Chinese).
- [4] LÜ B D, JIX L. An approximate analytical study of laser beams with amplitude modulations and phase fluctuations through a multiaperture ABCD system [J]. J Optics, 2004, A6(2): 1~6.
- [5] WU J F, WANG Y, ZHANG L. The coupling of Gaussian beam between fibers [J]. Laser Technology, 2004, 28(2): 181~183 (in Chinese).
- [6] JIX L, LÜ B D. Transformation properties of super-Gaussian beams passing through an astigmatic lens [J]. Laser Technology, 2002, 26(1): 9~11 (in Chinese).
- [7] BORN M, WOLF E. Principle of optics [M]. New York: Pergamon Press, 1980: 370~458.
- [8] ZAPATA-RODRIGUEZ C J. Paraxial waves in the far field region [J]. Optik, 2002, 113(8): 361~365.
- [9] PARENT A, MORN M, LAVIGNE P et al. Propagation of super-Gaussian field distributions [J]. Opt & Quant Electron, 1992, 24(9): 1071~1079.
- [10] LÜ B D, WANG X Q, ZHANG B. Changes of super-Gaussian beams upon propagation [J]. Laser Technology, 1997, 21(4): 206~209 (in Chinese).