

# 光通信 DWDM 器件的制造工艺及其参数测试<sup>\*</sup>

陈 芬<sup>1,2</sup> 杨 燕<sup>1,2</sup> 周亚训<sup>1,2</sup> 徐铁峰<sup>1,2</sup> 聂秋华<sup>2</sup>

(1 宁波大学信息科学与工程学院, 2 宁波大学光纤通信与网络技术研究所, 宁波 315211)

**提要** 密集波分复用(DWDM)是光纤通信扩容的首选方案,而波分复用/解复用器件(DWDM 器件)是 DWDM 系统中的关键器件。本文讨论了 DWDM 器件的几种典型制作方法,其中薄膜滤光片(TFF)型器件是最富竞争力的,并对 TFF 型 DWDM 器件的制造工艺、主要特性参数及其测试方法开展了实验研究,对我们自行研制的四通道 TFF 型 DWDM 器件的测试结果表明:该器件具有精确的中心波长、宽且平坦的带通、小而均匀的插入损耗以及较大的信道隔离度等特性,具有很好的应用前景。

**关键词** 密集波分复用 光纤通信 薄膜滤光片

## Fabrication Process and the Parameters Testing of DWDM Device in Optical Communication

Chen Fen<sup>1,2</sup>, Yang Yan<sup>1,2</sup> Zhou Yaxun<sup>1,2</sup> Xu Tiefeng<sup>1,2</sup> Nie Qiu-hua<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> college of Information Science & Engineering, Ningbo University;

<sup>2</sup> Optical Communications & Network Technology Research Institute, Ningbo 315211 )

**Abstract** Dense wavelength division multiplexing (DWDM) is the preferred technology for expanding capacity in optical fiber communication, and the wavelength division multi/demultiplexers (DWDM device) is the core components in DWDM systems. In this paper, the typical fabrication schemes of DWDM device are discussed, and the thin film filter (TFF) DWDM device is very rivalrous. The experimental research is developed on the fabrication process, primary characteristic parameters and corresponding testing means of the TFF DWDM device. The testing results of a four channel TFF DWDM device which is fabricated in our lab indicate that the device has accurate central wavelength, wide and flat Channel pass-band, less and even Channel inserting loss and large channel isolation Characteristics etc. The applications foreground is very wide.

**Key words** Dense Wavelength Division Multiplexing Optical Communication Thin Film Filter

密集波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing,简称 DWDM)技术是极具发展潜力并且拥有广阔应用前景的先进技术。随着带宽需求的急剧增长和 DWDM 技术的成熟,高速率大容量 DWDM 系统在各大电信业务运营商新建的骨干传输网中应用越来越普遍<sup>[1]</sup>。在 DWDM 系统中,各信道分别占用不同的光波长/频率,因此 DWDM 系统的核心器件是光波分复用/解复用器件(简称为 DWDM 器件),其功能是将密集间隔的各波长(信道)复用至一根光纤(合波器 OMU),或将已复用的各波长(信道)分开(分波器 ODU),或实现光波长(信道)的上下复用(光分插复用器)。与光耦合器的光功率分配不同,这种器件是将各信道按光波长来合波或分波。尽管对器件要求不同,由于光路可逆,

光合波器和分波器一般可以互换使用。本文主要讨论了薄膜滤光片型波分复用/解复用器件的制作方法、主要性能参数及其测试结果分析。

### DWDM 器件的几种制作方法

制作 DWDM 器件的方法有很多种。目前已投入使用的主要有:光纤布拉格光栅(Fiber Bragg Gratings, FBG)型器件<sup>[2]</sup>、阵列波导光栅(Array Waveguide Gratings, AWG)型器件<sup>[3,4]</sup>、以及薄膜滤光片(Thin Film Filter, TFF)型器件<sup>[5]</sup>。

FBG 型器件在 DWDM 系统中具有较强的竞争力,它具有中心反射波长可以精密控制,反射率几乎可以达到 100% 以及对偏振不敏感等优点,但它使用的器件数量比较多,不同的结构又有不同的插

\* 浙江省教育厅资助项目(20040937)、宁波大学科研基金(XK200431)资助 2004 年 12 月 6 日收稿

损等不足之处。AWG型器件主要应用在频率间隔为50GHz以下通道数在16以上的系统中,它的难点在于波导光栅的制作,且温度稳定性不好,插损较大,目前国内尚无单位可以制作。而TFF型器件是最富竞争力的,近年来采用先进的等离子体辅助沉积薄膜技术,其性能有了很大改善,中心波长的温度系数可小于 $1\text{pm}/^\circ\text{C}$ ,甚至波长无漂移。总之,从性能/价格比上看,TFF型DWDM器件已经被市场普遍接受,对频率间隔在100GHz以上通道数目较小的系统中,其市场占用率保持在50%以上,被认为是“实现几十Gb/s通信系统的一种首选方案。”

另外,近年来还涌现出了不少DWDM制作新方案,许多人正在积极研究但还未进入实用化阶段。比如:体全息光栅式(volume holographic gratings, VHG) DWDM器件和蚀刻衍射光栅式(etched diffraction gratings, EDG) DWDM器件等<sup>[6]</sup>。

基于以上几种方案的比较分析以及实验室的现有条件,我们采用薄膜滤光片法研制出了四通道的DWDM器件。

### TFF型波分复用/解复用器件的制作

#### 1. TFF型DWDM器件的工作原理

TFF的基本原理是利用多层介质膜的滤光作用进行复用和解复用。这种滤光片采用镀膜的方式,以气相沉积的原理,将高低折射率材料相间的介质薄膜层一层层地镀在薄平板玻璃上,每层厚度为 $1/4$ 波长,当光线通过不同种的滤光片后,不同的波长被分别滤出,达到分波的效果。

一个DWDM器件通常由多个通道组成,而每个通道仅有一个波长的光透过,它主要由双纤pigtail、格林透镜(Grin lens)、多层介质薄膜滤光片、单纤pigtail等器件组成,如图1、2和3所示。当包含多个波长( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ )的光波通过入射光纤(双纤pigtail的一端)进入格林透镜时,会聚成近似的平行光线(腰斑内的),此光线在薄膜滤光片上分成两路,相应于滤光片中心波长的光绝大部分透过,再经另一个格林透镜汇聚成一点,由T(Transmission Port)端输出,分出波长 $\lambda_1$ 。其余非中心波长的光将反射至R(Reflect Port)端,反射回来的光将通过该器件的下一个通道,分出波长 $\lambda_2$ ,如此反复就可以将所有波长都分离出来,如图4所示。

#### 2. TFF型DWDM器件的制作工艺

##### (1) 格林透镜与滤光片的粘接工艺

把格林透镜竖着固定在定位工装上并清洗端面,滤光片端面清洗后置于格林透镜上,在显微镜下观察,使滤光片位于格林透镜正中,一定要注意膜面朝下,如图1所示。粘少许OG154胶于格林透镜与滤光片相接处,立即用UV灯烘烤,反复几次,直到四周接触处无缝隙、无爬胶为止,置于烘箱 $85\text{ }^\circ\text{C}$ — $2$ 小时烘干,再在滤光片的侧面与格林透镜的柱面上粘少许353ND-T胶,以完全覆盖先前的OG154胶,经烘箱多次烘烤即可。

(2) 双纤pigtail与粘有滤光片的格林透镜调准、粘接及套管工艺

Fig. 1 Fabrication process of "R core"

Fig. 2 Fabrication process of "T core"

将已粘贴好滤光片的格林透镜、双纤pigtail按图1所示置于三维调节架上,双光纤头分别与可调激光器光源和光功率计相接。旋转pigtail使之 $8^\circ$ 斜面与格林透镜斜面相吻合,调节三维调节架的X, Y, Z方向使功率计的插入损耗值(IL)读数最小,一般要求 $IL < 0.25\text{dB}$ ,同时注意光功率计的定标及两端面的清洗。

接下来就是在双纤pigtail和格林透镜的两平行斜面缝隙处粘OG154胶,具体过程与前面所述类似,其间若光功率计上显示的IL值变大,则应轻轻扳动缝隙处或拆下重做。然后再在缝隙处点353ND-T胶,放入温度循环箱中进行第一次温度循环,并进行室温测试和高低温测试,记录各温度下的插损及常温回损值。

最后是套管。首先套玻璃套管,把353ND-T胶点在尾纤微细管上,一定要使玻璃套管端面与微细管端面平行,再进行第二次温度循环实验。再在玻璃管上套上无孔内封管,使滤光片一端露出1.

5mm 左右,平放进行第三次温度循环实验和稳定性循环实验。最后测试的指标应满足:IL < 0.3dB,热稳定性 < 0.002dB/ (低常温差 < 0.06 dB,高常温差 < 0.10 dB),回波损耗 RL > 55dB。制作好的双纤 pigtail 与粘有滤波片的格林透镜组合称为“R 芯”。

### (3) 双纤 pigtail 与格林透镜调准、粘接及套管工艺

这一步的工艺与 R 芯的制作非常相似,如图 2 所示,不同之处仅在于此时的格林透镜上没有粘滤光片,而光路中的反光镜仅作为光路调准用,不会与格林透镜粘接。制作好的双纤 pigtail 与格林透镜组合称为“T 芯”。注意,此时双纤 pigtail 的两根光纤仅在调准光路时都使用,一旦 T 芯制作好就把其中一根光纤剪掉,变成单纤 pigtail。

### (4) “R 芯”和“T 芯”的调准、粘胶及套管工艺

Fig. 3 Fabrication Process of a channel through "R core" and "T core"

将清洁的 DWDM 内封管套入 R 芯和 T 芯,并固定在一对五维调节架上,如图 3 所示接好光路。T 芯光纤先接红光光源,作为光路的粗调使用,然后再接光功率计,调准五维调节架,使通过该系统后的插损 IL < 0.5dB 为止。光路调准后先在 R 芯和 T 芯的缝隙处粘胶,接下来是 R 芯和 T 芯与 DWDM 内封管的焊接。制作好的 R 芯和 T 芯的组合称为一个“通道”。

Fig. 4 Connecting sketch map of a four - channel DWDM device

然后对通道进行测试,分别测试其反射端 R 和透射端 T 的插损 IL 及隔离度 IS。接下来是对该通道套外封管,注意硅胶要填满整个外封管,再套上外封帽,放入烤箱中烘烤。

### (5) 4 个通道的装盒工艺

前面介绍了一个通道的制作工艺,但一个通道仅能让一个波长的光通过,其余波长的光全部反射,如果将具有相邻中心波长的多个通道级联起来,就构成了一个合波器或分波器。当然,实际 DWDM 器件并非简单串联各通道,而是有一定规则的,以减小最后一通道的插入损耗,并使各通道能量均衡。图 5 示出了我们实验室制作的 4 通道 DWDM 器件的级联情况,其信道间隔为 0.8nm (100 GHz),中心波长从 1548.45nm 到 1550.83nm。

## DWDM 器件的主要性能参数及测试结果分析

### 1. 表征 DWDM 器件的主要特性参数

在 DWDM 器件一系列的参数要求中,最重要的莫过于精确的中心波长、宽且平坦的带通、小而均匀的插入损耗以及较小的相邻和非相邻通道间隔串扰等。

(1) 中心波长与偏差。DWDM 器件的中心波长是器件特定信道的标称工作波长,而中心波长偏差定义为标称工作波长与实际中心波长之差。对 DWDM 系统来说,由于信道间隔较小,一个极小的信道偏移,就有可能造成极大的影响。

(2) 信道带宽。信道带宽为单个信道的通带宽度。按照 G.692 建议,各信道所用激光器光波长/频率的偏差应小于信道间隔的 1/5 (我国标准为 1/10)。而 DWDM 器件的信道带宽必须大于信道间隔的 1/5 (我国为 1/10)。当然,较宽的信道带宽更有利于系统应用。

(3) 信道插入损耗。插入损耗是指穿过 DWDM 器件的某一个特定光通道所引起的功率损耗,其数值为无源器件输入光功率(P<sub>入</sub>)和输出光功率(P<sub>出</sub>)之比,单位是分贝。

$$IL = 10 \lg \frac{P_{\Delta}}{P_{\text{出}}} \quad (1)$$

插入损耗是 DWDM 器件衰减特性的重要指标,对 8 通道的 DWDM 器件而言应小于 11dB,另外,均匀的信道插损分布更有利于光纤放大器的设计和应用。

(4) 信道隔离度。信道隔离度是在某一特定信道上输出该信道的光功率与接收到的其他某相邻或非相邻信道的光功率的比值,通常用 dB 来表示。信道隔离度是 DWDM 器件的一个关键性指标。隔离度越大,信道间的串扰越小。

Fig. 5 Testing of the central wavelength and pass - band Characteristics for a DWDM device

信道中心波长偏差值均小于信道间隔的 10 % (0.08nm),而信道带宽也远远大于信道间隔的 1/5。另外,各通道的插入损耗均比较小且均衡,通道间的隔离度远远大于 G. 692 建议。

Tab. 1 Testing results of the characteristics parameters for the four channels

通道数	中心波长 nm	- 0.5dB 带宽 nm	- 3dB 带宽 nm	- 20dB 带宽 nm	通道插损 dB
1 通道	1548.45	0.403	0.608	1.084	1.60
2 通道	1549.28	0.414	0.668	1.032	1.36
3 通道	1550.08	0.505	0.748	1.160	1.40
4 通道	1550.83	0.417	0.668	1.088	2.03

### 结 论

随着带宽需求的急剧增长,高速率大容量通信技术已成为人们研究的热点,而密集波分复用技术是极具发展潜力并且拥有广阔应用前景的通信技术。本文介绍了薄膜滤光片型 DWDM 器件的工作原理及制作方法,并对我们实验室自行设计的 4 通道 DWDM 器件进行实验研究,可见,该 DWDM 器件具有良好的通带特性、精确的中心波长、小而均匀的插入损耗以及较小通道串扰等特性。可见,该 DWDM 器件具有很好的应用前景,满足 ITU - T G. 692 技术规范。

### 参 考 文 献

- [1]王树敏,高速率大容量 DWDM 系统优化,http://www.c - fol.net,2003.11.
- [2]宁提纲等,光通信技术,1999,23(4):282~287.
- [3]Takahasi H, *J. Lighthwave Tech.* 1995,13(3),447
- [4]小林功郎,光集成器件,科学出版社,2002,170
- [5]顾培夫等,光学学报,2002,22(7):794
- [6]江道国等,光学仪器,2004,26(1):57

Fig. 6 Filter characteristics curve of the third channel

### 2. DWDM 器件主要特性参数的测试结果及分析

为了测试 DWDM 器件的各主要性能参数,我们设计了相应的测试光路,并摸索出了各参数的测试方法。图 5 示出了测试通道 1 的中心波长及通带特性的连接图,图 6 示出了通过光谱分析仪(OSA)测得的通道 3 的滤波效应曲线,根据该滤波曲线,可以测得该通道的中心波长、- 0.5dB、- 3dB 和 - 20dB 带宽,同时可以计算出它的中心波长偏差,其他通道的中心波长及通带特性的测试也类似,测试结果列于表 1。另外,我们也测试了各通道的插入损耗及通道间的隔离度特性。测试结果表明:该器件具有精确的中心波长及良好的通带特性,各通道的中心波长均满足 ITU - T G. 692 技术规范,且各

(上接第 83 页)

粉末流动性没有 GA 法生产的球形钛及钛合金粉末高,而且其激光快速成形件内部容易形成气孔,但是因为不规则粉末的良好汇聚性和较高的粉末利用率对于降低激光快速成形件的成本具有优势,而且其激光快速成形件没有裂纹,成形件的内部气孔可以通过控制粉末 H、O 成分和调整激光快速成形工艺消除掉,因此不规则 TC4 粉末可以替代球形粉末应用到激光快速成形技术之中。但是,不规则 Ti 粉末流动性差,因此需要先进行表面改性处理提高流动

性后方可使用。

### 参 考 文 献

- [1]张庆茂等,应用激光,2000,20(5),209
- [2]A. J. Pinkerton, et al, *Thin Solid Films*, 453 - 454, 2004, pp600 - 605
- [3]A. J. Pinkerton, et al, European Materials Research Society Conference, Strasbourg, France, May, 2004
- [4]R. Akhter et al, *Applied Surface Science*, 208 - 209, n. 1, (March 2003), 453
- [5]A. Pinkerton et al, *J. Mechanical Engineering Science*, 218(6), 2004, 531