

# 新型双向光分插复用器结构实验\*

韩一石<sup>1</sup>, 强则焯<sup>2</sup>

(1 广东工业大学信息工程学院, 广州 510643)  
(2 南京大学光通信工程研究中心, 南京 210093)

**摘 要** 提出一种基于 FBG 和光环形器的双向光分插/复用器 (BOADM) 结构, 并给出两种实验结构. 结果表明, 该器件在通路间隔 100 GHz 时, 异频串扰量 -21.4 dB、同频串扰量 -32 dB, 均满足 WDM 系统传输要求. 该 BOADM 采用单面 EDFA 结构, 易于同其他设备连接, 适应性较好, 设备成本低, 同时还具有潜在的自愈保护能力.

**关键词** 光纤光栅; 光环形器; 双向光分插/复用器; 串扰

**中图分类号** TN913.24 **文献标识码** A

## 0 引言

数据业务的高速增长, 尤其是城域宽带网出现, 不断推动 WDM 技术向前发展. 而应用于城域的 WDM 网络一个十分主要的特点是对网络造价敏感, 单纤双向环网 (SFBDRN's, Single-Fiber Bi-Directional Ring Networks) 因其自身在光纤资源利用上的优势, 并有着潜在的保护能力, 日益受到人们的重视. SFBDRN's 指网络中两个方向的信号在同一根光纤传输, 整个网络所使用的光纤数量只有普通环网的一半, 例如常见的四纤自愈环网中, 分别需要两各光纤连接用于工作环和保护环, 在 SFBDRN's 中只需两纤即可完成环网的保护, 从而降低整个网络的造价成本, 相应提高了网络传输容量<sup>[1]</sup>. 相对于常见的单向传输系统, SFBDRN's 系统需要更多考虑如何选用合适的器件以使反向的传输信号与同光纤的正向传输信号分离, 同时仍需要满足整个网络对传输性能的要求. 实现 SFBDRN's 最主要的器件就是双向光分插复用器 (Bi-directional OADM), 目前已知的 BOADM 结构中按照其使用的器件可分为基于阵列波导光栅 (AWG)、WDM 复用器/解复用器 (DEMUX/MUX) 和波长光栅路由器 (WGR)、光纤光栅 (FBG) 几种形式<sup>[1~4]</sup>.

本文提出一种新 BOADM 结构, 该结构由 FBG 和少量的 Circulators 组成, 具有结构简单, 低成本, 全光纤连接等特点, 并可设置单向的 EDFA 进行功率补偿并减少反向噪声信号对系统性能的影响. 同时在文献[5]中, 给出了结构在 SFBDRN's 中自愈保护的实现.

## 1 结构的提出

基于 AWG、WGR 和复用器的 BOADM 能较好抑制各种反射的噪声信号, 信号的信噪比较高, 总体结构复杂, 插入损耗大、设备成本高. 基于 FBG 的 BOADM 结构尺寸小、插损低、温度稳定性好, 设备成本低, 且针对需要上下的不同波长通过简单的调整 FBG 的中心波长即可实现, 有较好的适应性. 图 1 为三种常见的 BOADM 结构, (a) 为基于 AWG 的 OADM 结构, (b) 为基于 MUX 和 SWITCH 的 OADM 结构, (c) 为基于 FBG 的 OADM 结构.

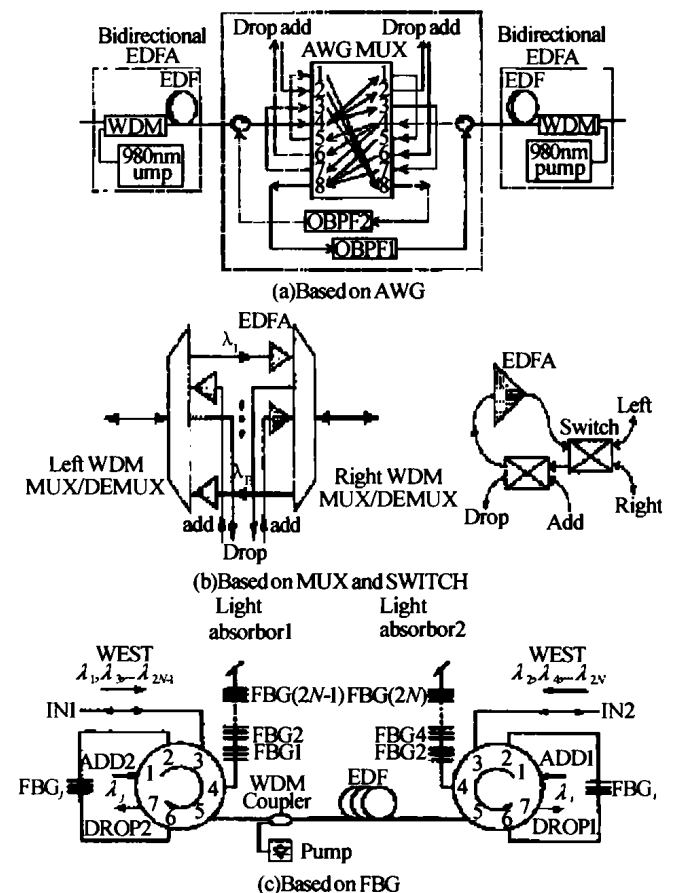


图 1 三种常见的 BOADM 结构  
Fig. 1 Three normal BOADM structures

\* 广东工业大学博士基金资助项目 (043024)  
Tel: 020-338458826 Email: hanyishi@hotmail.com  
收稿日期: 2004-10-11

本文提出 BOADM 结构如图 2, 它包括两个四端口和两个三端口环形器 (OC1-4), 两个光纤光栅 (FBG1-2), 并根据需要可加入单向的 EDFA. OC1 接收波长信号  $\lambda_2, \lambda_4, \dots, \lambda_{2N}$  并发送波长信号  $\lambda_1, \lambda_3, \dots, \lambda_{2N-1}$  到对端, 同时下路  $\lambda_i (i = 2, 4, \dots, 2N)$ ; OC2 发送和接收的波长与 OC1 正好相反, 同时下路  $\lambda_j (j = 1, 3, \dots, 2N - 1)$ ; OC3、OC4 分别上路  $\lambda_i, \lambda_j$  到本地东向和西向. 在结构中, 波长信号在两个 EDFA 处均为单向传输, 此处设置单向的 EDFA 即可实现信号的增益, 同时避免了使用双向 EDFA 时, 对反射的噪声信号增益而导致的系统信噪比下降.

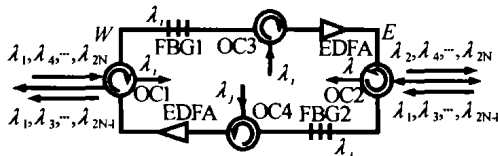


图 2 一种新型 BOADM 结构  
Fig. 2 A novel structure of BOADM

图 2 结构中, 节点所上下的波长 ( $\lambda_i, \lambda_j$ ) 与 FBG 中心波长的选取一一对应, 可以通过选择不同中心波长的 FBG, 确定所需上下路的波长, 所以这种结构方式比其他的 BOADM 结构具有更大的适应性, 更方便网络资源的配置. 而且, 如果在 FBG 处设置  $K (K \leq N)$  个 FBG 并由一个  $1 \times K$  的光开关连接, 波长可通过开关选路送入 FBG, 或者使用可调谐的 FBG 就可以实现动态上下业务波长, 形成一种可配置<sup>[10]</sup> (reconfigurable) 的 BOADM.

由图 2 可见, 该 BOADM 结构的传输性能主要取决于两个 FBG 的性能, 一方面, FBG 反射的中心波长严格对应上下路的信号波长 ( $\lambda_i, \lambda_j$ ), 防止信号泄漏造成的同频串扰; 另一方面, FBG 需要透射其他的波长信号, 避免这些信号反射而引起反向光纤传输时串扰. 所以需要 FBG 较好的波长反射和透射能力, 否则较小的波长泄漏会导致很大的功率代价. 功率代价计算公式可表示为<sup>[6,8]</sup>

$$P = -10\lg(1 - 4\sqrt{x}) = -10\lg[1 - 4\sqrt{(1-R)/R}] \quad (1)$$

式中  $x$  为噪声信号与正常信号的比值,  $R$  为 FBG 对应波长的反射率. 根据文献[7]理论分析, 当同频串扰小于 -30 dB 时所带来的误码率为  $10^{-9}$  时的功率代价小于 1 dB, 由式(1)知, 如果希望补偿的功率代价小于 1dB, 则 FBG 的反射率  $R$  应大于 99.7%. 文献[6]同时指出, 当使用两个相同类型的 FBG 级连时, 则 FBG 反射率为 95% 即可满足系统要求. 在 BOADM 的设计中, 为了避免信号串扰问题对系统的影响, 我们选择的 FBG 反射率为 30 dB. 图 2 中 FBG 和 Circulators 的主要参数如表 1、表 2.

表 1 设计用 FBG 主要参数

Parameter	Unit	Typical value
Center wavelength $\lambda_1$	nm	1552.53
Bandwidth -@ 3 dB	nm	0.22
Isolation	dB	>25
Reflectivity	dB	-30
Insertion loss	dB	0.2

表 2 设计用 Circulators 主要参数

Parameter	Unit	Typical value
Wavelength	nm	15530 - 1610
Isolation	dB	>35
Insertion loss	dB	<1.0
PDL	dB	<0.15
PMD	ps	<0.10

## 2 实验设计及结果分析

### 2.1 实验结构设计

在双向传输系统中, 最主要的问题是避免各种信号反射所产生的噪音信号, 反射信号的产生主要是由于信号在光纤传输过程中光纤内部固有的瑞利背向散射以及光纤接头处引起的光反射, 反射的噪音信号引起各种同频和异频串扰, 将导致系统信噪比及接受端灵敏度下降. 为了减少反射信号对系统的影响, 我们在设计中由于使用了单向的 EDFA, 在 EDFA 所置入的光纤段中 (OC3 → OC2 以及由 OC4 → OC1 间的光纤段) 信号只有单向传输, 因此系统可以获得较大的信号增益以支持远距离传输.

针对器件的同频和异频串扰量的分析, 提出两种实验结构. 由图 2 可见, 整个 BOADM 结构对称, 并且在信号传输过程中, 反方向传输的信号 ( $\lambda_2, \lambda_4, \dots, \lambda_{2N}$ ) 与正向传输信号 ( $\lambda_1, \lambda_3, \dots, \lambda_{2N-1}$ ) 由于波长不同, 相互没有影响, 所以实验中只需选择其中的一半结构进行测试就可以反映该结构的性能. 图 3 给出该 BOADM 的实验结构一, 实验选取通路间隔 100 GHz 输入波长:  $\lambda_1 = 1552.53 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 1553.33 \text{ nm}$ ,  $\lambda_3 = 1554.13 \text{ nm}$ , 输入功率 -5 dBm 左右, FBG 和环形器参数见表 1、表 2. 图中各测试点定义为:  $a$  为下路 (Drop) 波长  $\lambda_1$ ,  $b, c, d$  为输出波长  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  在 50 km 光纤传输及放大前后情况.

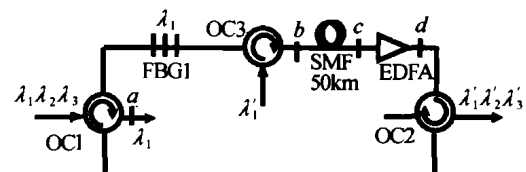


图 3 实验结构一  
Fig. 3 Experiment structure 1

在单纤双向系统中, 对系统性能主要的影响是同频串扰, 这里主要指由于瑞利背向散射以及光纤

连接头处的光反射引起的同频串扰,同时指出同频串扰小于 -30 dB 时,所带来的在误码率为  $10^{-9}$  时的功率代价小于 1 dB. 故系统的同频串扰量应控制在 -30 dB 以内. 为了测试各种反射噪音信号对系统的影响,设计了如图 4 的重叠型实验结构二,输入波长经过一个 1:1 的耦合器分光,一路模拟相邻节点传输来的正向信号光路(由左到右),由 CP 经过可调衰减器(ATT)、隔离器(ISO),并沿正向进入 50 km 单模光纤,最后进入 OC1 端口 1;另一路模拟同一光纤反向传输(由右到左)时引起的瑞利背向散射以及光纤连接头的光反射. 光路由 CP 进入 OC1 端口 2,然后由 OC1 端口 1 反向进入 50 km 单模光纤,此时该光路引起瑞利背向散射以及其他光反射,最后也正向进入 OC1 端口 1. 这样应用重叠型实验结构二,正向的传输信号以及反向传输反射而引起的正向同频串扰信号同时由 OC1 的端口 1 进入 BOADM. 图 4 中输入端信号源仍为  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , 为了便于计算,调整输入功率在 0 dBm 左右,各测试点定义:  $a$  为波长  $\lambda_1$  下路(Drop),  $b$  为输出波长  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ,  $c$  为波长  $\lambda_1$  上路(Add).

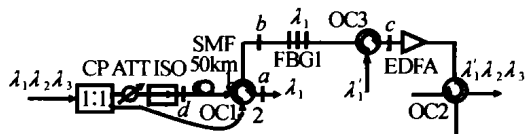


图 4 实验结构二  
Fig. 4 Experiment structure 2

2.2 结果分析

实验结构一测试结果如图 5,图 5(a)为实验结构一中  $a$  点的频谱,即 Dropped 信号  $\lambda_1$ . 由于 OC1 的部分泄漏以及 FBG1 对穿通信号的部分反射的影响,产生异频串扰信号,串扰量为 -21.4 dB,根据文献[9],WDM 系统中,当异频串扰量小于 -15 dB 时,在误码率为  $10^{-9}$ ,所产生的功率代价小于 0.5 dB,故该结构对异频串扰的抑制满足要求. 图 5(b)为实验结构一  $b$  点的频谱,图中左右曲线分别表示加入 Added 信号  $\lambda_1$  前后的情况. 由图可见,当未加入  $\lambda_1$  时,输出端

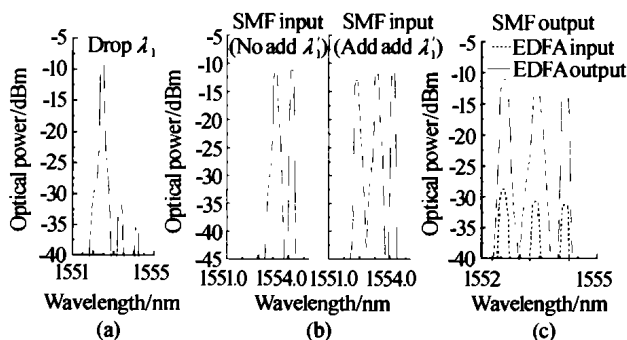


图 5 实验结构一频谱曲线  
Fig. 5 Frequency curve of experimental structure 1

的  $\lambda_1 < -40$  dBm,已经小于接收器的接受灵敏度,此时接收端只有  $\lambda_2, \lambda_3$  信号;当加入  $\lambda_1$  后,接收端可接收所有的输出信号  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ . 图 5(c)上下曲线为实验结构一中  $c, d$  的频谱. 使用 EDFA 前,输出信号功率约为 -30 dBm,已接近接收灵敏度的阈值,通过放大输出信号功率达到原输入光源功率水平(-10 dBm 左右),可继续向下端传输.

实验结构二的测试结果如图 6,图 6(a)上面部分为输入端光源( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ),输入功率 0 dBm 左右,下面部分为断开  $d$  点后进入 FBG1 的输入频谱,该信号模拟瑞利背向散射、光纤连接头的光反射以及 OC1 的泄漏对系统的影响,由图可知系统产生的反射噪音信号功率约为 -30 dB,考虑耦合器分光导致 2dB 左右的功率损失,同频串扰量为 -32 dB. 可见该 BAODM 结构对同频串扰的抑制也满足要求;图 6(b)为测试点  $b$  在加入 Added 信号  $\lambda_1$  前后输出到 EDFA 的频谱. 图 6(b)为加入  $\lambda_1$  信号前后的输出频谱,当未加入  $\lambda_1$  时,原来的  $\lambda_1$  信号被 FBG1 几乎完全抑制,该信号已小于频谱仪的最小分辨率,而当加入  $\lambda_1$  后,三个输出波长  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  功率基本相同,均为 -15 dBm 左右,通过 EDFA 增益可达到原输入光源功率水平,继续向下端传输.

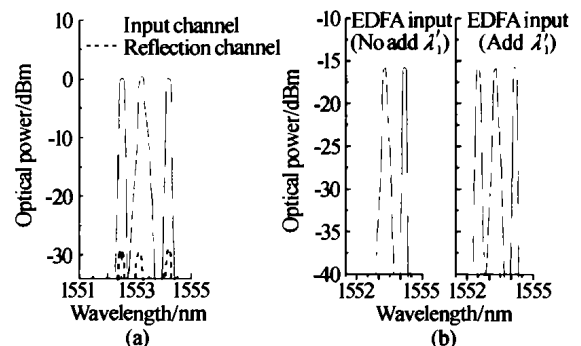


图 6 实验结构二频谱曲线  
Fig. 6 Frequency curve of experimental structure 2

比较本文的结构和图 1(c)结构对同频串扰信号的抑制情况. 由上述结果可知,本文结构引起的同频串扰量为 -32 dB,所带来的误码率为  $10^{-9}$  时的功率代价小于 1 dB<sup>[7]</sup>,而后者由实验结果知,同频串扰引起的功率代价大于 1 dB. 分析原因,两种结构同样采用 FBG 和 Circluators,本文的结构中,波长信号在两个 EDFA 处均为单向传输,此处设置单向的 EDFA 即可实现信号的增益,避免了使用双向 EDFA 时,对反射的噪声信号增益而导致的系统信噪比下降. 图 1(c)结构采用双向 EDFA 增益,这样一个方向传输信号产生的反射噪声信号同样由 EDFA 放大,从而加重系统对串扰信号的抑制能力的要求,导致了较大的功率补偿代价和设备成本.

### 3 结论

在 BOADM 结构实验中,使用两个 FBG 和四个环形器,实现了在通路间隔 100 GHz 下 50 km 传输,结果表明,该结构在抑制各种串扰以及功率补偿方面均能传输满足. 相比已有的 BOADM 结构,具有结构较简单,设备成本低,适应性较好,结构中由于采用全光纤器件,易于同其他设备连接,整个结构无需电路驱动,属无源器件. 在文献[5]中,还提出了针对该 BOADM 结构在单纤双向环网中的自愈保护策略,证明该结构在 WDM 系统中还具有自愈能力.

#### 参考文献

- 1 Kim C H, Lee C H, Chung Y C. Bidirectional WDM self-healing ring network on simple bidirectional add - drop amplifier modules. *IEEE Photon Technol Lett*, 1998, **10**(9): 1340 ~ 1342
- 2 Ho K P, Liaw S K. Eight-channel bidirectional WDM add/drop multiplexer. *Electron Lett*, 1998, **34**(10): 947 ~ 948
- 3 Zhao Y, Zhao X J, Chen J H, et al. A novel bi-directional add - drop module using waveguide grating routers and wavelength channel matched fiber gratings. *IEEE Photon Technol Lett*, 1999, **11**(9): 1180 ~ 1182
- 4 Tran A V, Chae C J, Tucker R S, et al. Bidirectional Optical Add/Drop Multiplexer for Single-Fiber Metro Networks, The 14th Annual Meeting of the IEEE, 2001, **2**: 744 ~ 745
- 5 韩一石, 丁金妃, 何赛灵. 一种新型光分插复用器在单纤双向 WDM 自愈环网中的应用. *光子学报*, 2003, **32**(12): 1478 ~ 1482
- 6 Han Y S, Ding J F, He S L. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12): 1478 ~ 1482
- 7 Bo W, Xiaoping W, Hui W, et al. Fiber gratings based optical add/drop multiplexer with low interferometric crosstalk, in Proc. ICCT'98: S15-05-1 ~ 5
- 8 Ho K P. Analysis of homodyne crosstalk in optical networks using Gram-Charlier series. *J Lightwave Technol*, 1999, **17**(2): 149 ~ 154
- 9 Goldstein E L, Eskildsen L, Elrefaie A F et al. Performance implications of component crosstalk in transparent lightwave networks. *IEEE Photon Technol Lett*, 1994, **6**(5): 657 ~ 658
- 10 Ho K P, Liaw S K. Demultiplexer crosstalk rejection requirements for hybrid WDM system with analog and digital channels. *IEEE Photon Technol Lett*, 1998, **10**(5): 737 ~ 739
- 11 瞿荣辉, 赵浩, 方祖捷, 等. 一种新型可配置光分插复用器的设计. *光子学报*, 2001, **30**(3): 340 ~ 342
- 12 Qu R H, Zhao H, Fang Z J, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30**(3): 340 ~ 342

## Study of a Novel Bi-Directional Optical ADD/DROP Multiplexer

Han Yishi<sup>1</sup>, Qiang Zexuan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> College of Electronics and Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643

<sup>2</sup> Institute of Optical Communication Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093

Received date: 2004-10-11

**Abstract** A novel BOADM structure based on fiber gratings and circulators and two experimental structures are proposed. The experimental result shows that the heterodyne crosstalk and homodyne crosstalk of BOADM are -21.4 dB and -32 dB at the channel space of 100 GHz. Moreover, the BOADM, which used unidirectional EDFA is simple, cost-effective and easy fit to other equipments, besides, it has self-healing ability.

**Keywords** Fiber grating; Optical circulator; Bi-Directional optical add-drop multiplexer; Crosstalk



**Han Yishi** received the Ph. D. and M. S. degree in optical engineering from Zhejiang University in 1999 and 2004. His research interests include all optical network design, all optical wavelength conversion and OADM design.