

用于光分插复用器的一体化光纤光栅耦合器 制备工艺及实验研究

杨华勇 姜 暖 张学亮 胡永明

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 基于熔融拉锥耦合器制作工艺及相位掩模布拉格光纤光栅制作工艺,初步制作了一体化光纤光栅耦合器(FGC),通过对影响初制器件特性的工艺因素进行分析和实验验证,提出了改进的一体化光纤光栅耦合器制备工艺,成功制成了一体化光纤光栅耦合器,进行了器件特性测试实验研究,即光波上行复用(OAM)、光波下行复用(ODM)实验,为一体化光纤光栅耦合器的制备提供了参考。

关键词 光纤通信;一体化光纤光栅耦合器;制备工艺;光分插复用器

中图分类号 TN929 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201138.0405006

Study on Fabrication Technics and Testing Experiments of Integrative Fiber Bragg Grating Used as OADM

Yang Huayong Jiang Nuan Zhang Xueliang Hu Yongming

(College of Optoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology,
Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract The fabrication technics of fiber grating coupler(FGC) based on fused biconical taper coupler and phase mask fiber grating technics is designed through the improvement of trial-manufacture and the analysis of influencing factors in detail. The FGC which can be used as optical add-drop multiplexer(OADM) is successfully produced and the experiments of optical add multiplexer(OAM)/ optical drop multiplexer(ODM) are all carried out. The valuable reference for the design and fabrication of FGC is provided.

Key words fiber optical communication; integrative fiber grating coupler; fabrication technics; optical add-drop multiplexer

OCIS codes 060.3735; 060.4510; 230.2285

1 引言

在波分复用光纤通信、传感系统中,光分插复用器(OADM)是一个核心器件。目前,常用的 OADM 主要由多个分立的光学元器件组合搭建而成,这种结构的 OADM 有一些不可避免的缺陷,如结构复杂、尺寸较大、非全光纤器件、插入损耗大、稳定性差等。1994 年, J. L. Archambault 等^[1]提出光纤光栅耦合器(FGC)的概念,将光纤光栅和光纤耦合器(FC)两个器件融为一体,综合了光纤光栅优良的波长选择特性和光纤耦合器的多端口特点,轻松实现了光分插复用。到目前为止,国外学者已经提出了

几种结构的光纤光栅耦合器:1)基于 Mach-Zehnder 干涉仪结构的分离型光纤光栅耦合器^[2],其总体性能虽然较好,但是由于要保证两臂完全平衡而需要对两臂进行紫外补偿,所以制作困难而且性能不稳定,况且它不是真正意义上的光纤光栅耦合器;2)基于 100%耦合^[1]以及基于 0 耦合^[3]非对称结构的光纤光栅耦合器,这种结构的器件不但总体性能不够理想,而且制作工艺复杂;3)基于对称结构的光纤光栅耦合器^[4-6],其制作工艺简单,只是器件性能有待提高。

本文基于熔融拉锥耦合器制备工艺和相位掩模光纤光栅制备工艺,研究了一种一体化光纤光栅耦

收稿日期: 2010-07-15; 收到修改稿日期: 2010-11-17

基金项目: 国家自然科学基金(60507010)资助课题。

作者简介: 杨华勇(1974—),男,博士,副教授,主要从事光纤信息技术和光纤光栅传感等方面的研究。

E-mail: yanghuayong@21cn.com(中国光学学会会员号:4105030)

合器的制备工艺,分析并实验验证了影响器件性能的工艺因素,进行了器件制备和特性测试实验研究。

2 一体化光纤光栅耦合器的结构和工作原理

一体化光纤光栅耦合器是一种将光纤光栅和光纤耦合器结合在一起的全光纤无源器件,直接在光纤耦合器耦合区写入布拉格光栅,它既具有光纤布拉格光栅(FBG)的良好波长选择特性,又拥有光纤耦合器的多端口特性,可以简单地实现特定波长光的上载和下载。

如图 1 所示,当从 1 端口输入多波长光信号时,与光纤布拉格光栅中心波长 λ_B 一致的光信号被光栅反射在 2 端口处输出,其余波长的光在 4 端口处输出,实现了特定波长光信号的下载[光波下行复用(ODM)]。如果与布拉格光栅中心波长 λ_B 一致的另一光信号从 3 端口注入时,经光纤光栅的反射作用,与其他从 4 端口输出的光信号合并输出,实现了特定波长光信号的上载[光波上行复用(OAM)]。

与现有的 OADM 相比,光纤光栅耦合器具有许多独特优点,如结构简单紧凑、尺寸较小、制作成本低、全光纤构成,易于在全光纤系统中和其他光纤器件互连。正因为具有以上一系列优点,光纤光栅耦合器在现代光通信和光纤传感领域将有广阔的前景。

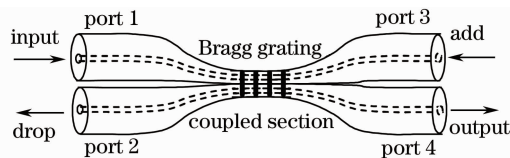


图 1 一体化光纤光栅耦合器典型结构

Fig. 1 Sketch structure of polarization-maintaining FGC

3 试制及试制后的影响因素分析和工艺改进

制作熔锥型单模光纤光栅耦合器初步考虑的工艺路线如图 2 所示,选用康宁 SMF28 普通光纤先用熔融拉锥工艺制作光纤耦合器,不经过任何封装,直接在耦合器的耦合区写入光纤光栅,最后再进行封装。

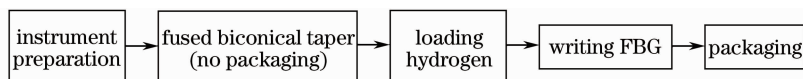


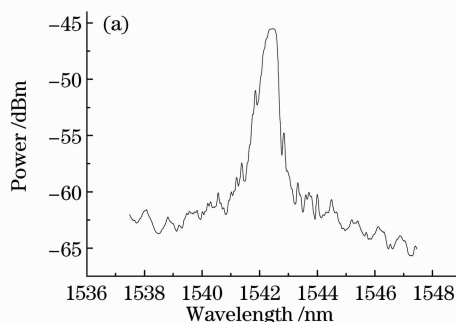
图 2 熔锥型光纤光栅耦合器制备的初步工艺

Fig. 2 Flow chart of trial-manufacture fused-tapered FGC

实验发现,不加任何封装的光纤耦合器的分束比和损耗是不稳定的,受外界因素的影响在变化,且其在载氢和刻栅的过程中极易损坏。分析试制的过程和结果,影响器件性能的因素可能存在以下几个方面:

3.1 光纤耦合器的一次封装

不加封装的光纤耦合器不仅易断,而且不封装的光纤耦合器分光比变化导致器件无法正常工作。



如果在裸的熔融拉锥耦合器制成后,采用 V 型玻璃槽进行一次封装,合适的刻写光路设置很可能不会影响 FBG 的正常刻写。

为验证 V 型玻璃槽封装后的光纤耦合器刻写光栅的可行性,将一根单模光纤用 V 型玻璃槽工艺封装,用于模拟耦合器的 V 型玻璃槽封装,相位掩模工艺采用 248 nm KrF 准分子激光器刻写光栅,图 3 是刻栅后的光谱图,FBG 反射率大于 99%。所

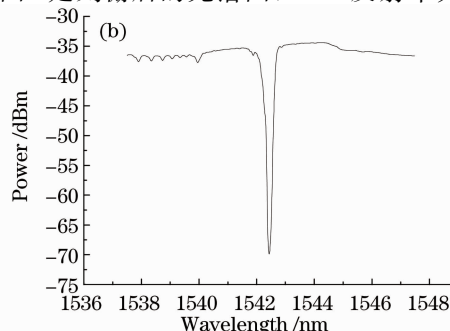


图 3 单模光纤 V 型玻璃槽封装后刻栅得到的光谱图。(a)光栅的反射谱,(b)光栅的透射谱

Fig. 3 Spectra after writing grating on a single-mode fiber packaging by V-glass-groove. (a) reflected spectra, (b) transmission spectra

以可以推断,在同样的刻栅条件下是可以写入高反射率的光纤光栅的,说明V型玻璃槽封装不影响光纤光栅的刻写。

3.2 掩模板和耦合区的相对位置关系

在对耦合器的耦合区刻写光栅时,紫外光通过相位掩模板照射耦合区,调节转动耦合器,使相位掩模板和耦合区分别处于图4所示的两种相对位置,在这两种情况下进行光栅刻写实验,通过对刻写之后的光纤光栅耦合器的性能测试,表明两种相对位置写入效果相同。

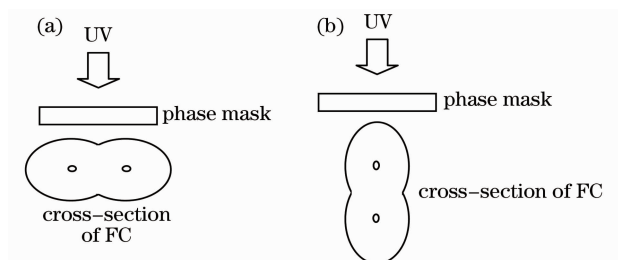


图4 相位掩模板和耦合区的不同相对位置示意图。(a)耦合区两纤芯平行放置,(b)耦合区两纤芯一上一下放置

Fig. 4 Relative position between phase mask and coupled section. (a) parallel, (b) vertical

3.3 光栅刻写在耦合区的位置

图5是光纤耦合器的耦合区波导结构的简单示

意图,II表示耦合区中部的均匀波导部分,I和III分别表示耦合区左侧和右侧的非均匀波导部分,以这种结构为参考模型,耦合区中写入光栅的位置大致可以分为以下3种类型:光栅写在均匀波导区域II,光栅写在I和II或者II和III区域,光栅写在I,II和III整个区域。

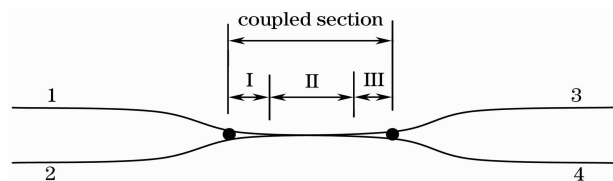


图5 耦合区的结构简图

Fig. 5 Structure sketch of coupled section

1)光栅写在均匀波导区域II。1端口入光时,2端口的典型谱出现与FBG中心波长匹配的反射峰,实现该波长光信号的下载,4端口的光谱在该波长处有一波谷,同时若从3端口输入与FBG中心波长匹配的光信号,它可以被光栅反射而与1端口输入未被反射的光信号合并从4端口输出,这就是最理想的OADM。

2)光栅写在I-II区域或者II-III区域,即光栅偏离中心区。由于耦合器的对称性,这两种情况是相同的。图6就是一个光栅写在I-II区域的例子,

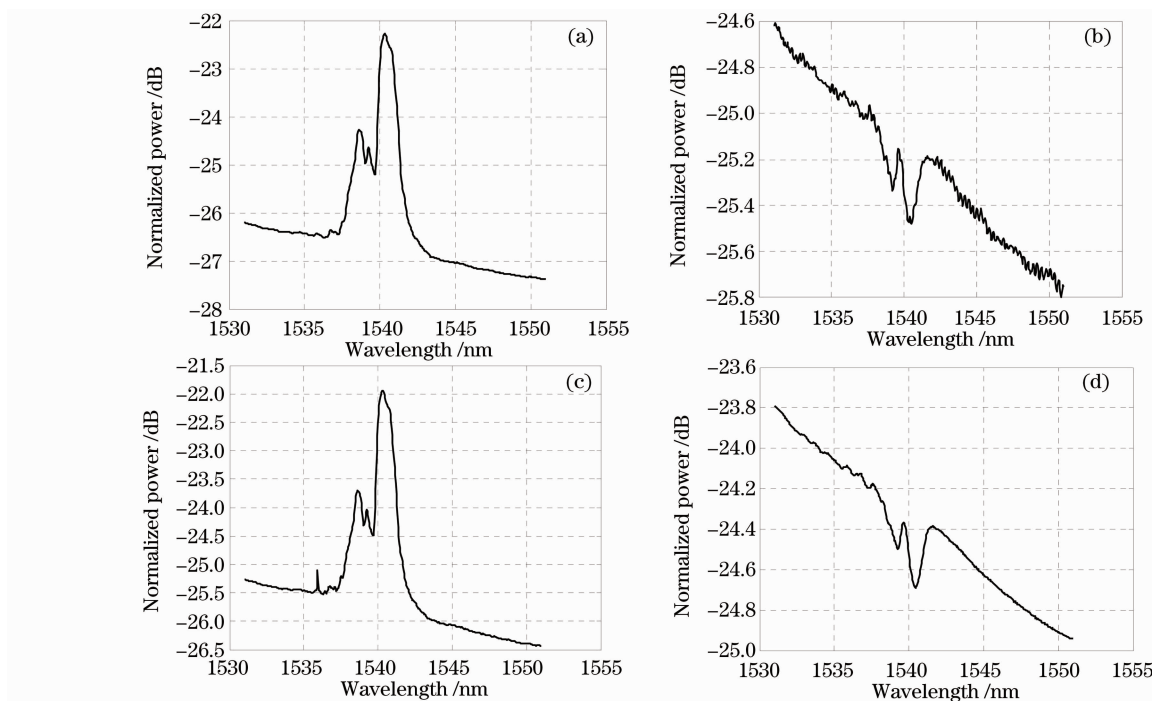


图6 光栅刻在I-II区域的光谱图。(a)1端口入光时2端口光谱,(b)3端口入光时4端口光谱,(c)2端口入光时1端口光谱,(d)4端口入光时3端口光谱

Fig. 6 Spectra of writing grating on I-II section. (a) spectra of port 2 when laser input at port 1, (b) spectra of port 4 when laser input at port 3, (c) spectra of port 1 when laser input at port 2, (d) spectra of port 3 when laser input at port 4

由于不均匀区域的引入,写入的光栅不再是均匀的,出现啁啾现象,这种光栅的中心波长随写入的轴向位置不同而变化,出现了不只一个反射峰。因此从1端口入光,2端口可下载对应波长的光信号,但由于结构上的非对称无法同时实现上、下载,只能单独用作 ODM。

3)光栅写在 I, II 和 III 整个区域。由于其不均匀性,写入的光栅是啁啾光纤光栅,图 7 是一个典型

例子,可以看到,反射峰不是很规则,有可能会连续出现连续的宽带峰,而且输出端口找不到明显的波谷,实验结果与文献[7]的理论分析相符。

在上述分析和实验验证基础上,改进了制作工艺,如图 8 所示。将制作的光纤耦合器用 V 型玻璃槽封装后,进行载氢和刻写光栅,在刻写光栅的过程中仔细调整光纤耦合区与相位掩模板的位置,保证光纤光栅刻写在光纤耦合器耦合区的 II 区域。

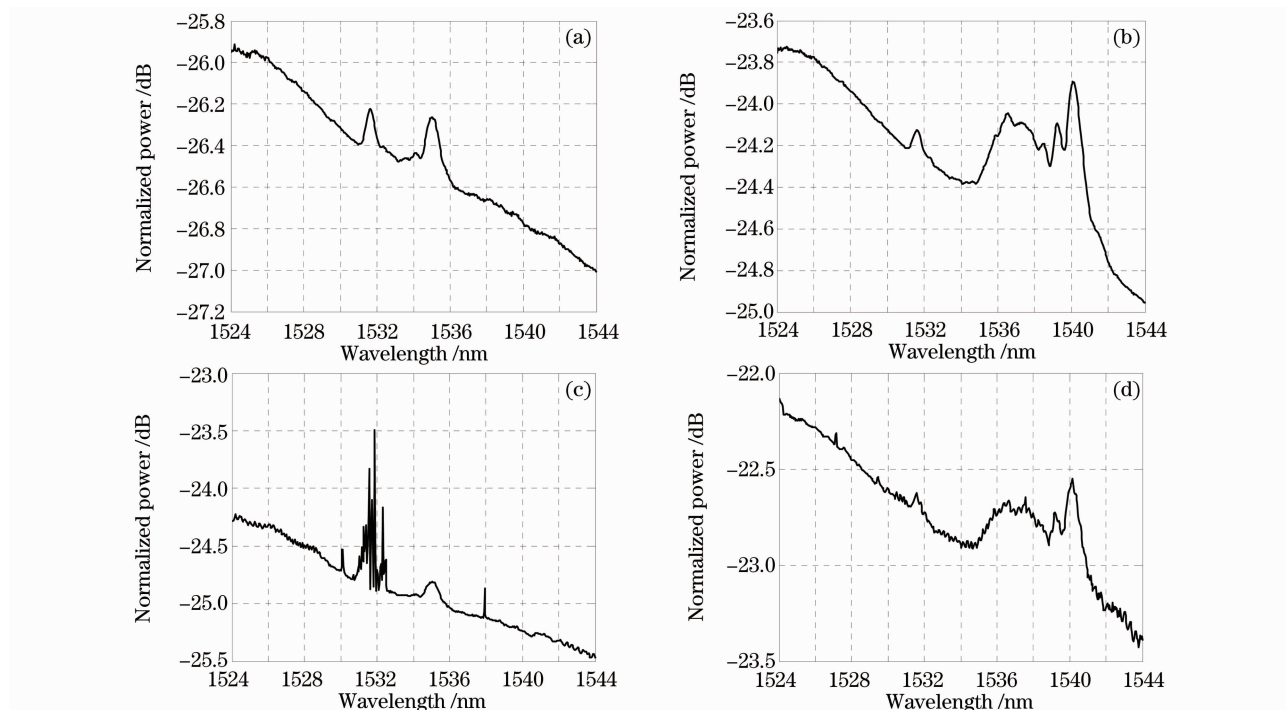


图 7 光栅刻在 I-II-III 区域的光谱图。(a)1 端口入光时 2 端口光谱,(b)3 端口入光时 4 端口光谱,(c)2 端口入光时 1 端口光谱,(d)4 端口入光时 3 端口光谱

Fig. 7 Spectra of writing grating on I-II-III section. (a) spectra of port 2 when laser input at port 1, (b) spectra of port 4 when laser input at port 3, (c) spectra of port 1 when laser input at port 2, (d) spectra of port 3 when laser input at port 4

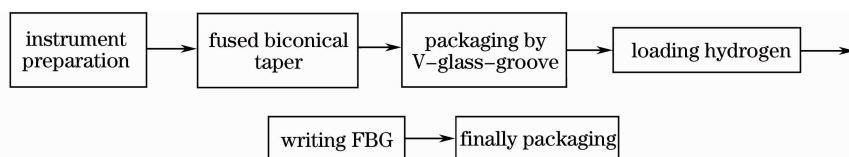


图 8 改进后的熔锥型光纤光栅耦合器制作流程图

Fig. 8 Flow chart of improvement manufacture fused-tapered FBG

4 一体化光纤光栅耦合器特性测试实验

按图 8 所示的改进后的工艺流程,成功制作了一体化的光纤光栅耦合器,并对其进行了上、下载实验研究。

4.1 光下载实验

如图 9 所示,窄线宽可调谐激光器 Plus10 输出

光波长设为与 FBG 的布拉格波长 1536.6 nm 重合,另一分布式反馈 (DFB) 光源设定中心波长为 1553.1 nm,波分复用器(WDM)的合波端接光纤光栅耦合器的 1 端口,用光谱仪(OSA)观察 2 端口的输出光谱。

合束后得到的双光束光谱图如图 10 所示,图 11 为测得的 2 端口的光谱图。由图可见,波长为

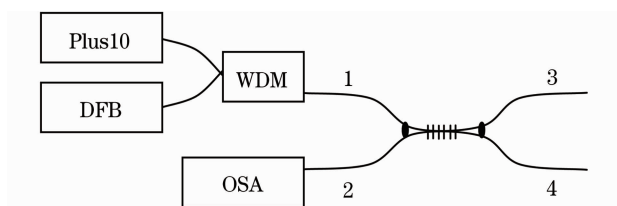


图 9 光下载实验测试系统

Fig. 9 Schematic diagram of ODM experiment

1536.6 nm 的光实现下行。通过与另一波长 1553.1 nm 的相比可得,信道隔离度大于 26 dB(间隔 16 nm)。

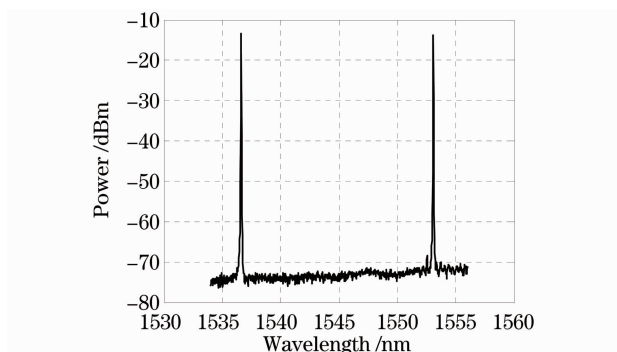


图 10 两台光源合束后的光谱图

Fig. 10 Spectra of lasers

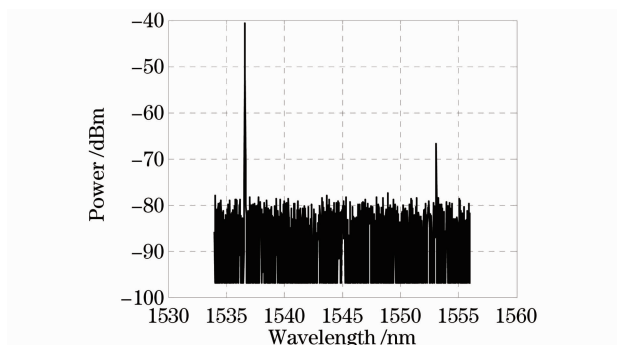


图 11 端口 2 的输出光谱图

Fig. 11 Spectra of port 2

4.2 光上载实验

如图 12 所示,将中心波长设定为 1553.1 nm 的 DFB 光源接 1 端口,中心波长为 1536.6 nm 的与 FBG 中心波长匹配的光源接 3 端口,同时光谱仪监测 4 端口的输出光谱,看是否出现双波长同时输出。

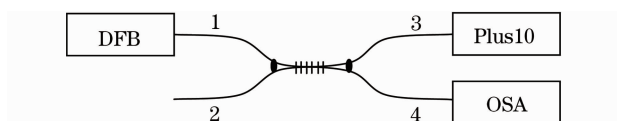


图 12 光上载实验测试系统

Fig. 12 Schematic diagram of OAM experiment

图 13,14 是两台光源各自的输出光谱图,4 端口输出光谱图如图 15 所示,可见有 1536.6 nm 波长

处的光从 4 端口输出,实现了其上载功能,只是输出的光功率很小,上行效率较低。

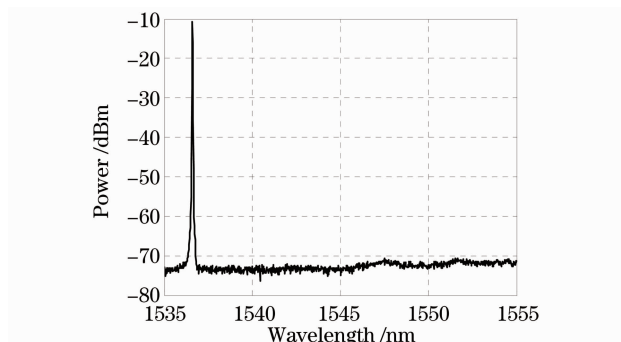


图 13 窄线宽可调谐激光器输出光谱图

Fig. 13 Spectra of laser(Plus10)

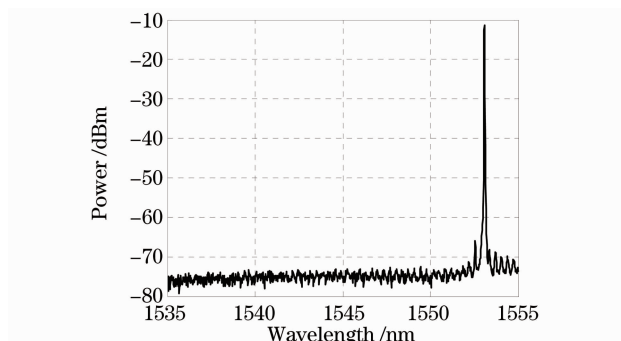


图 14 DFB 光源输出光谱图

Fig. 14 Spectra of laser(DFB)

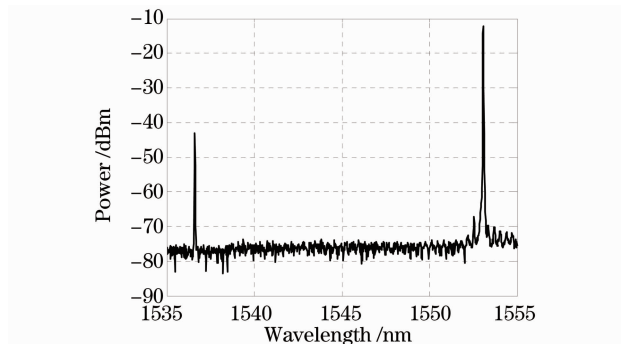


图 15 端口 4 的输出光谱图

Fig. 15 Spectra of port 4

5 结 论

通过分析和实验,可以看出采用 V 型玻璃槽对光纤耦合器进行一次封装能增强可靠性,这种一次封装方法对光纤光栅的刻写没有明显影响。光纤耦合区与相位掩模板的纵向相对位置关系对光纤光栅刻写没有明显影响。光纤光栅刻写在光纤耦合区的纵向位置对器件的光上、下行的功能特性有直接影响,必须在刻栅过程中细致调节光路,使得光纤光栅刻写在光纤耦合区的 II 区。

参 考 文 献

- 1 J. L. Archambault, P. St. J. Russell, S. Barcelos *et al.*. Grating-frustrated coupler: a novel channel-dropping filter in single-mode optical fiber[J]. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(3): 180~182
- 2 F. Bilodeau, D. C. Johnson, S. Theriault *et al.*. An all-fiber dense-wavelength-division multiplexer/demultiplexer using photoimprinted Bragg gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, **7**(4): 388~390
- 3 L. Dong, P. Hua, T. A. Birks *et al.*. Novel add/drop filters for wavelength-division-multiplexing optical fiber systems using a Bragg grating assisted mismatched coupler [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(12): 1656~1658
- 4 I. Baumann, J. Seifert, W. Nowak *et al.*. Compact all-fiber add-drop-multiplexer using fiber Bragg grating [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(10): 1331~1333
- 5 F. Bakhti, P. Sansonetti, C. Sinet *et al.*. Optical add/drop multiplexer based on UV-written Bragg grating in a fused 100% coupler[J]. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(9): 803~804
- 6 Pei Li, Zhao Ruifeng, Ning Tigang *et al.*. Wavelength-division demultiplexer based on FBG coupler [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(2): 308~311
裴 丽, 赵瑞峰, 宁提纲 等. 基于光纤光栅辅助耦合的 WDM 下话路研究 [J]. *光学学报*, 2009, **29**(2): 308~311
- 7 Dong Xiaowei. Design and Fabrication of All-Fiber Add/Drop Filter[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2006
董小伟. 全光纤型上下话路滤波器的研制 [D]. 北京: 北京交通大学, 2006