

一种新型全光纤隔离器的设计

孙友文¹, 薛瑞丽², 柳春郁³, 刘文清¹, 汪世美¹

- (1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所 中国科学院环境光学与技术重点实验室, 安徽 合肥 230031 ;
2. 中国航天科技集团 513 所, 山东 烟台 264000 ;
3. 黑龙江大学 电子工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 目前使用的晶体型光隔离器通常体积较大、插入损耗大且成本较高。为此, 提出了一种由单模和多模光纤共同构成的混合型全光纤隔离器的设计方法。利用耦合波方程理论分析了其工作原理; 采用熔融拉锥法制作工艺, 完成了全光纤隔离器的制作; 利用 1 550 nm 激光器测试了全光纤隔离器的隔离度、方向性、插入损耗; 采取弯曲、扭转的方法提高了全光纤隔离器的隔离度。实验结果表明: 所设计的全光纤隔离器的插入损耗比晶体型隔离器低, 隔离度可与其相比拟, 且这种隔离器结构相对简单、体积小、成本低。

关键词: 光纤光学; 光纤隔离器; 光纤耦合器; 熔融拉锥

中图分类号: O439 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2011)11-2187-04

Design of a new type of all-fiber isolator

Sun Youwen¹, Xue Ruili², Liu Chunyu³, Liu Wenqing¹, Wang Shimei¹

- (1. Key Laboratory of Environmental Optics and Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;
- (2. 513# Institute of China Aerospace Science and Technology Corporation, Yantai 264000, China;
- (3. Department of Electronic Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

Abstract: The crystal-type isolators used in communication systems nowadays typically have lots of imperfections such as large size, great insertion loss and high cost. Therefore, a design method of mixed all-fiber isolator which was made of single-mode fiber and multi-mode fiber was proposed. The coupling principle was theoretically analyzed by the coupling wave equation. The coupler was obtained with the fused taper technology. The performance of the designed all-fiber isolator such as the isolation, directivity and insertion loss were tested using a 1 550 nm laser. The isolation of the all-fiber isolator was enhanced by bending or distorting the fiber. The experimental results show that this type of all-fiber isolator has a comparable isolation to the crystal-type one, but with smaller size, simpler structure, lower cost and insertion loss.

Key words: fiber optics; fiber optical isolator; fiber coupler; fused biconical taper

收稿日期: 2011-03-22; 修订日期: 2011-04-19

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(kzcx1-yw-06-01)

作者简介: 孙友文(1985-), 男, 博士生, 主要从事光学检测和光谱学方面的研究。Email: ywsun@aiofm.ac.cn

导师简介: 刘文清(1954-), 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事光学检测和光谱学方面的研究。Email: wqliu@aiofm.ac.cn

0 引言

光学隔离器是一种用于隔离光通信系统中返回的反向光以保证光源工作稳定的光无源器件。对系统中的正向传输光波,隔离器具有较小的插入损耗,而对反向传输光波具有很大的衰减,是一种非互易器件^[1-2]。

随着光纤通信日新月异的发展,通信系统的自动化、系列化、小型化一直是人们追求的方向。缩小系统中各个器件的体积、成本以及减小其在系统中的损耗等是人们所能采取的手段^[3]。因此,光通信系统中的隔离器也必须朝着小型化、集成化、结构简化的方向努力^[4-6]。但是,当前隔离器的生产很大程度上还依赖于人的技能和经验,这对提高器件的性能、减小尺寸、降低成本具有很大的限制,所以有必要开发新的生产技术。

文中提出了一种减小光学隔离器体积、成本和损耗的方案。该方案利用熔融拉锥法制作全光纤型隔离器,与以往的晶体型隔离器相比,具有本质的不同。

1 基本原理

制作全光纤型隔离器,前期准备工作为制作混合型光纤耦合器,所以光纤耦合器的耦合理论同样适用于全光纤型隔离器。单模与多模光纤熔融拉锥制作而成的耦合器,光纤的芯径、材质均不同,传播常量在拉锥初期显然不匹配。理论计算得出,单模光纤基模 LP_{01} 与多模光纤一阶模 LP_{11} 的传播常量随光纤锥区半径的变化如图 1 所示,当两根光纤芯径变为原有尺寸的 30% 时,单模光纤 LP_{01} 与多模光纤

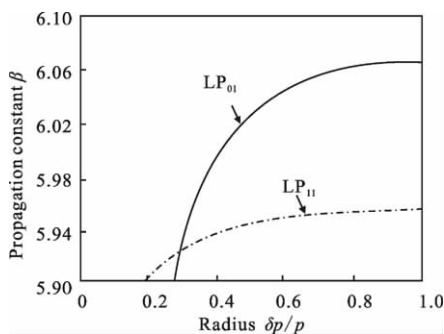


图 1 传播常量随光纤半径变化关系图

Fig.1 Relationship between fiber radius and propagation constant

LP_{11} 的传播常量相等,这时满足传播常量匹配条件,也就是说能够实现百分之百的光束耦合,但这是在不同模式之间实现的光功率耦合,即 LP_{01} 模到 LP_{11} 的耦合^[2,4]。当在单模光纤与多模光纤中同时注入 LP_{01} 模式光束时,多模光纤有较大光功率输出,单模光纤只有少部分光能量,即从单模光纤输入的光功率大部分从多模光纤输出,成功实现了光束耦合。

2 设计方案

先采用熔融拉锥法将康宁 SMF28 光纤与烽火 62.5 μm 多模光纤制作混合型全光纤耦合器,然后再以布鲁斯特角截掉耦合器的两个端口便得到所需全光纤型隔离器。实验中所用熔融拉锥机实验平台如图 2 所示,选用高纯氢气燃烧获得熔融火焰^[7-8],其操作流程如图 3 所示^[9-10],制作的光纤型隔离器如图 4 所示。表 1 是经过反复实验设置的熔融拉锥机参数,此条件下制作的光纤耦合器性能最佳。

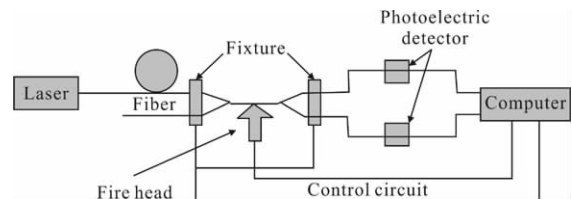


图 2 熔融拉锥机实验框图

Fig.2 Experimental diagram of conic clinker

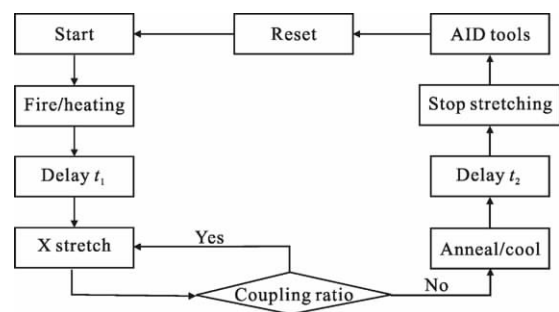


图 3 熔锥型光纤耦合器制作流程图

Fig.3 Flow chart of fused-tapered optical fiber coupler

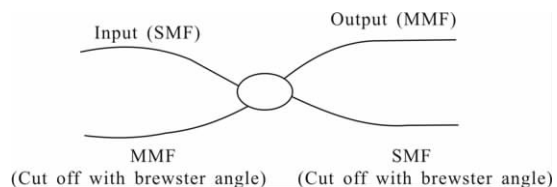


图 4 全光纤型隔离器示意图

Fig.4 Diagram of designed optical fiber isolator

表 1 拉锥机参数设置

Tab.1 Parameter settings of fused biconical taper

Parameter (1)	Value	Parameter (2)	Value
Splitting ratio (1)	16.00	Splitting ratio (2)	84.00
Stretching velocity (1)	2 600	Stretching velocity (2)	900
H ₂ flow (1)	75	H ₂ flow (2)	65
Fire head (1)	30 000	Fire head (2)	30 000

3 性能测试与结果分析

3.1 性能参数测试

全光纤型隔离器的性能测试分为正向测试和反向测试。所用器件包括:1 550 nm 激光器、4 端口耦合器、尾纤、探测器和适配器。首先对已知耦合器进行分光比测量,该测量为待测隔离器的方向性测试做准备。图 5 为分光比测试图,端口 3 为输入端,端口 2 为输出端。记录输入端光功率 P_{in3} 和输出端光功率

P_{out2} , 计算比值: $\eta = P_{out2}/P_{in3} = 0.480\ 7/1.112 = 42.84\%$ 。

图 6 为截断法测输入功率,先在“×”处剪断,然后在熔接区的右边处理一段光纤,用适配器连接到探测器,记录此时的测量光功率,并计算:插入损耗、方向性、隔离度等参数。记录数据和计算结果如表 2 所示。

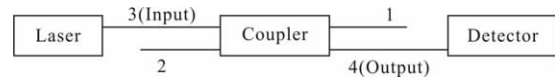


图 5 隔离器性能参数测试光路图

Fig.5 Optical path for testing the isolator performance parameters

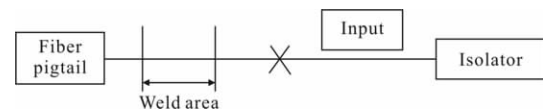


图 6 截断法测试图

Fig.6 Diagram for truncation approach test

表 2 测试结果

Tab.2 Measurement results

No.	P_{sin} /mW	P_{mout} /mW	P_{min} /mW	P_{sout} /mW	P_{out3} /mW	Insertion loss /dB	Direction /dB	Isolation /dB
1	0.474 39	0.422 54	0.392 41	0.007 148	0.016 92	0.502 67	14.476 6	17.395 3
2	0.475 65	0.403 84	0.440 59	0.054 666	0.018 76	0.710 75	14.042 4	20.129 8
3	0.426 84	0.418 49	0.428 18	0.011 504	0.015 04	0.085 86	14.528 7	10.482 6
4	0.211 38	0.177 78	0.216 18	0.003 519	0.009 13	0.750 99	17.883 1	13.646 7
5	0.229 50	0.189 93	0.210 55	0.012 257	0.009 26	0.821 93	13.943 3	12.349 3
6	0.226 38	0.207 20	0.215 28	0.002 485	0.011 57	0.384 48	12.913 8	19.376 4

其中, P_{out3} 为实验中测试的数据 P_{out2} 除以耦合器的比值 η 所得。1、2、3 组和 4、5、6 组分别为使用不同输出功率的光源获得的测量值。从表中可看出第 1、3、6 组的插入损耗比晶体型隔离器的插入损耗(通常为 0.6 dB)还要低。

3.2 隔离度的改善

从表 2 还可以看出,全光纤型隔离器的隔离度比晶体型隔离器的隔离度要小很多,经过假设运算,即使耦合比达 99%,其隔离度最多也只能达到 20 dB 左右,这就需要寻求其他方法来提高隔离度。经过多组实验发现,对光纤进行弯曲、扭转可在一定程度上提高光纤型隔离器的隔离度。然而,光纤的弯曲或扭

转会增大光纤损耗,即增大了光纤型隔离器的插入损耗。即便如此,对具有理想插入损耗的光纤型隔离器,仍可通过牺牲一定插入损耗来提高隔离度。

按图 7 所示连接光路图,输入端为耦合臂多模光纤,输出端为直通臂单模光纤。在标记处对光纤进行扭转、弯曲。同时观察单模和多模光纤的输出光功率变化,记下反向输出光功率 P_{sout} 和反向输入光功率 P_{min} ,如表 3 所示。从表 3 可以看出,这种对光纤进行扭转、弯曲的方法可明显提高光纤型隔离器的隔离度。实验中使用的光源为 1 550 nm 的激光器,其输出模式为 LP_{01} ,通常,光波进入多模光纤后模式会发生变化,变为各类高阶模。然而,光纤的扭转和弯曲

可在一定程度上抑制各类高阶模。实质上,用扭转、弯曲的方法来测量隔离度是通过消耗高阶模实现的。

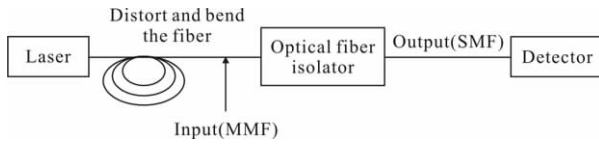


图 7 扭转和弯曲光纤测量隔离度

Fig.7 Bending and distorting the fiber to make the isolation measurements

表 3 测量数据

Tab.3 Measurement data

No.	P_{out}/mW	P_{in}/mW	Isolation/dB
1	0.000 516	0.303 393	27.689 61
2	0.000 378	0.306 178	29.090 27
3	0.000 395	0.308 418	28.926 65
4	0.000 289	0.308 793	30.289 84
5	6.58E-05	0.211 122	35.062 04
6	1.1E-05	0.208 496	42.789 19
7	2.93E-05	0.209 362	38.547 52

4 结 论

利用熔融拉锥法制作了单模与多模混合型全光纤隔离器,并对器件进行了性能测试和研究。研究表明:利用光纤制作全光纤型隔离器的方案是可行的;制作的全光纤型隔离器的插入损耗比晶体型隔离器低,晶体型隔离器的插入损耗一般都大于 0.6 dB,而全光纤型隔离器的插入损耗可以达到 0.3 dB 以下;尽管全光纤型隔离器的隔离度比晶体型隔离器小,但利用扭转和弯曲的方法可有效地提高全光纤型隔离器的隔离度,改善后的全光纤型隔离器的隔离度能够达到 42 dB,可以与晶体型隔离器相比拟。由于实验条件、制作工艺、光纤处理技术的限制,实验结果还可以进一步优化。

参考文献:

[1] Cui Jiwen, Tan Jiubin, Liu Yang. Measurement of micro-hole with high aspect ratio based on double optical fiber coupling [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(1): 106-109. (in Chinese)

崔继文, 谭久彬, 刘洋. 微光学元件阵列面阵 LD 光束整形及光纤耦合[J]. 2009, 38(1): 106-109.

[2] Zhou Chongxi, Du Chunlei, Xie Weimin, et al. Beam shaping and fiber coupling for LD stacks with micro-optical elements array [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(2): 452-455. (in Chinese)

周崇喜, 杜春雷, 谢伟民, 等. 微光学元件阵列面阵 LD 光束整形及光纤耦合[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(2): 452-455.

[3] Liu Chunyu, Yu Youlong, Gao Yingjun. The combination of beams between single-mode and multimode fibers in fuses coupler[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, 25(6): 743-745. (in Chinese)

柳春郁, 余有龙, 高应俊. 单模与多模光纤耦合器的光束合波[J]. 光学学报, 2005, 25(6): 743-745.

[4] Liu Weifu, Wu Zhijian. Backbone of 21' st communication: WDM all-optical networks [J]. *Study on Optical Communications*, 1999, 3: 23-27. (in Chinese)

刘伟福, 吴志坚. 21 世纪的通信主干: 波分复用全光通信网[J]. 光通信研究, 1999, 3: 23-27.

[5] Lano Gerald E, Pinyan Christopher. Optical isolators direct light the right way[J]. *Laser Focus World*, 1995, 31(7): 125-127.

[6] Shirasaki M, Asama K. Compact optical isolator for fibers using birefringent wedges [J]. *Applied Optics*, 1982, 21: 4296-4299.

[7] Huang Min, Zhang Shouye, Wu Huixian. Faraday rotation effects of $(\text{HoYbBi})_3\text{Fe}_3\text{O}_{12}$ single crystal and its application to wideband and temperature-stabilized optical isolators [J]. *Physica Status Solid (A) Applied Research*, 1997, 163(1): 255-261.

[8] Higuchi Sadao, Fukukawa Yasunori, Takekawa Shunji, et al. Magneto-optical properties of cerium-substituted yttrium iron garnet single crystals grown by traveling solvent floating zone method [J]. *Japanese Journal of Applied Physics-Part1: Regular Papers and Short Notes and Review Papers*, 1999, 38(7): 4122-4126.

[9] Liu Jinglin, Duan Ji'an, Miao Jianyu, et al. Experimental study on fused tapered optical fiber coupler [J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2006, 37(1): 103-107. (in Chinese)

刘景琳, 段吉安, 苗健宇, 等. 熔融拉锥型光纤耦合器实验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2006, 37(1): 103-107.

[10] Xiong Renhua, Yao Shouquan. The analysis and manufacture of plastic fiber couplers [J]. *Laser Technology*, 2006, 30(1): 37-38. (in Chinese)

熊仁华, 姚寿铨. 塑料光纤耦合器的分析和研制 [J]. 激光技术, 2006, 30(1): 37-38.