

# 双尾纤式多功能光隔离器研究\*

田燕宁<sup>1</sup> 方强<sup>2</sup> 王永昌<sup>1</sup> 孙爱晶<sup>2</sup> 白菊蓉<sup>2</sup>

(1 西安交通大学现代物理研究所, 西安 710049)

(2 西安邮电学院电信系, 西安 710061)

**摘要** 提出并成功研制了一种具有功能复用的新型的多功能光隔离器结构,对其进行了传输特性性能理论分析,分析表明,该器件具有与单尾纤光隔离器相同的低插入损耗,高隔离度等特性,实验结果显示,所设计的 1550 nm 双通道多功能光隔离器插入损耗分别为 0.28 dB 和 0.11 dB,隔离度分别为 55 dB 和 54 dB,达到了隔离器需要满足的标准,性能良好,同时具有成倍降低器件制造成本的效用。

**关键词** 光隔离器; 双尾纤光纤头; 琼斯矩阵; 隔离度; 插入损耗

**中图分类号** O436 **文献标识码** A

## 0 引言

光隔离器是一种非互易型光无源器件,具有光信号沿规定的方向正向传输导通,反向禁止的特性,广泛应用于光纤通信和光纤传感系统中<sup>[1~8]</sup>,目前实用型晶体光隔离器均由单尾纤、双折射晶体及旋光器件组成,限制了应用。本文提出的双通道光隔离器输入输出端口由传统单尾纤转换为双尾纤,并增加了与双尾纤对应的透镜对,在这些新器件的应用基础上,双折射晶体及旋光器等器件的功能复用,使得双通道光隔离器在单尾纤光环行器具有的高隔离度和低插入损耗的良好性能参数上,大幅度降低光隔离器的相对制造成本和占空比。

## 1 多功能光隔离器的结构设计和工作原理

### 1.1 多功能光隔离器的结构组成

所设计的双尾纤多功能光隔离器如图 1。

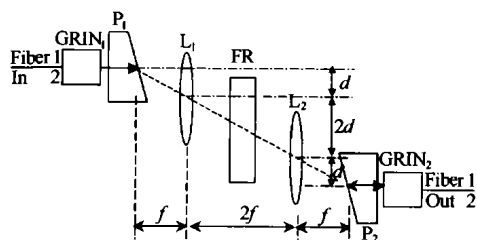


图 1 多功能光隔离器结构

Fig. 1 Proposed structure of the double function optical isolator

图 1 中 Fiber 为双尾纤式结构,  $P_1$  和  $P_2$  为一对双折射晶体,在结构中二者光轴夹角为  $45^\circ$ , FR 是  $45^\circ$  法拉第旋光器, GRIN<sub>1</sub> 和 GRIN<sub>2</sub> 为两个自聚焦

棒,  $L_1$  和  $L_2$  是透镜对.  $L_1$  和  $L_2$  焦距相同,光轴方向相同,相邻焦面重合. 双尾纤与透镜对的组合使得光在传播路径中有空间交叉功能,从而双折射晶体和旋光晶体具有功能复用的作用,在双通道基础上制成多功能光隔离器。

### 1.2 多功能光隔离器的工作原理

如图 2 和图 3,由光纤 In<sub>1</sub> 和 In<sub>2</sub> 正向输入的两束光入射进隔离器中,在晶体  $P_1$  中分为 o 光和 e 光,再以不同的夹角由  $P_1$  另一面出射进入透镜对  $L_1$  和  $L_2$  中,两束光经过透镜对后汇聚到  $P_2$  入射面上与  $P_1$  面相对应的点上,且在经过 FR 时, o 光和 e 光的偏振面旋转  $45^\circ$ ,入射到与  $P_1$  光轴夹角为  $45^\circ$  的晶体  $P_2$  上,此两组光经过  $P_2$  合成两束光分别耦合到出射端口光纤 out<sub>1</sub> 和 out<sub>2</sub> 光纤中. 实现多功能光隔离器的正向导通作用。

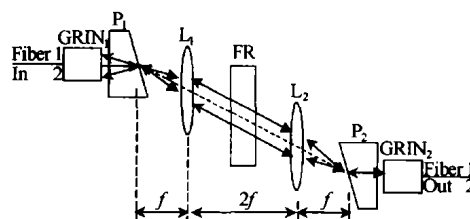


图 2 多功能光隔离器光路传输侧视图

Fig. 2 The side view of light transmission forward in the double function optical isolator

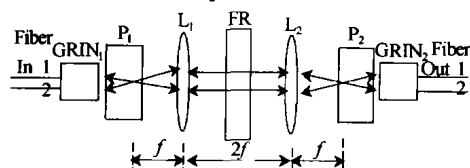


图 3 多功能光隔离器光路传输俯视图

Fig. 3 The top view of light transmission forward in the double function optical isolator

反向输入光如图 2 所示经由  $P_1$ 、透镜对  $L_1$  和  $L_2$ , 汇聚到  $P_1$  面上相应点,但是由于 FR 非互易性旋光特性,所以到达  $P_1$  面上的两组光的偏振方向与正

\*国家自然科学基金资助项目(60277003)和国家“十五”科技攻关资助项目(2002BA106B07-5)

Tel: 029-85383281 Email: tianniu@mailst.xjtu.edu.cn

收稿日期: 2004-06-07

向传输到此的两组光的偏振方向互相垂直,使得两组光不能和成为两束光出射,而是与正向输入光束有一定的夹角,因而不能耦合进光纤,实现了多功能光隔离器的反向隔离的功能.

## 2 多功能光隔离器的性能分析

在光通信中,隔离器的主要性能参数为隔离度和插入损耗,而影响这两个性能参数的因素有器件的透射比、消光比和各旋转器件的旋转误差,下面则从器件的透射比,消光比,旋转误差三方面对器件的插入损耗及隔离度进行讨论.

依据坐标系选取,由矩阵光学推得: $P_1$  晶体中  $o, e$  光的琼斯矩阵分别为

$$C_o = t_p \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e_p \end{bmatrix}, C_e = t_p \begin{bmatrix} e_p & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$P_2$  晶体中  $o, e$  光的琼斯矩阵分别为

$$C_o' = \frac{1}{2} t_p \begin{bmatrix} 1 + e_p & 1 - e_p \\ 1 - e_p & 1 + e_p \end{bmatrix},$$

$$C_e' = \frac{1}{2} t_p \begin{bmatrix} 1 + e_p & e_p - 1 \\ e_p - 1 & 1 + e_p \end{bmatrix}$$

$t_p, e_p$  分别为  $P_1$  和  $P_2$  晶体的透射比与消光比.

法拉第旋光器的琼斯矩阵为

$$F(\beta) = t_f \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -j e_f \\ j e_f & 1 \end{bmatrix}$$

$t_f, e_f$  分别为法拉第旋光晶体的透射比与消光比,  $\beta$  为旋光角度.

透镜对是各向同性器件,表示其光束传输的矩

$$阵为: L = t_l \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### 2.1 消光比和旋光角度误差对插入损耗影响

#### 2.1.1 消光比对插入损耗的影响

$$E_{out} = E_o + E_e = C_o' F(45^\circ) L C_o E_{in} + C_e' F(45^\circ) L C_e E_{in} = \frac{\sqrt{2}}{2} t_p^2 t_f t_l \begin{bmatrix} 1 + e_p^2 + 2j e_f e_p & 1 + e_p^2 - 2j e_f e_p \\ -1 - e_p^2 + 2j e_f e_p & 1 + e_p^2 + 2j e_f e_p \end{bmatrix} E_{in}$$

插入损耗

$$IL = -40 \lg t_p - 20 \lg t_f - 20 \lg t_l - 20 \lg (1 + e_p^2 - e_p^4 + 8e_p^2 e_f^2) = L_0 + L_e \quad (1)$$

其中  $L_0 = -40 \lg t_p - 20 \lg t_f - 20 \lg t_l = L_p + L_f + L_L$

#### 2.1.2 旋光角度误差对插入损耗的影响

设旋转角度误差为  $\Delta\beta, \beta = 45^\circ + \beta; e_f = 0, e_c = 0$

$$E_{out} = E_o + E_e = C_o' F(\beta) L C_o E_{in} + C_e' F(\beta) L C_e E_{in} = \frac{\sqrt{2}}{2} t_p^2 t_f t_l \begin{bmatrix} \cos \Delta\beta & \cos \Delta\beta \\ -\cos \Delta\beta & \cos \Delta\beta \end{bmatrix} E_{in}$$

插入损耗

$$IL = L_0 - 10 \lg (\cos^2 \Delta\beta) \quad (2)$$

由式(1)和(2)可以得到,除了器件透射比引起的固有插入损耗  $L_0$  外,附加插入损耗由两部分组成:一部分为消光比引起的插入损耗,由  $L_e$  表示;另一部分为旋光角度误差引起的. 由于消光比的数值  $e_c \approx 10^{-5}$ ,对插入损耗的影响远小于各器件透射比的影响;而旋光角度误差为  $5^\circ$  引起的插入损耗 (0.066 dB) 相应也远小于透射比引起的插入损耗,因而一般忽略掉. 所以插入损耗由各器件透射比引起的固定插入损耗决定.

### 2.2 消光比和旋光角度误差对隔离度影响

#### 2.2.1 消光比对隔离度的影响

$$E'_{out} = E'_o + E'_e = C_o F(\alpha) L C_o' E_{in} + C_e F(\alpha) L C_e' E_{in} = \frac{\sqrt{2}}{2} t_p^2 t_f t_l \begin{bmatrix} 2e_p + j e_f + 2j e_f e_p^2 & 2e_p - j e_f - 2j e_f e_p^2 \\ -2e_p + j e_f + 2j e_f e_p^2 & 2e_p + j e_f + 2j e_f e_p^2 \end{bmatrix} E_{in} \quad (3)$$

#### 2.2.2 旋转角度误差对隔离度的影响

$$E'_{out} = E'_o + E'_e = C_o F(\beta) L C_o' E_{in} + C_e F(\beta) L C_e' E_{in} = \frac{\sqrt{2}}{2} t_p^2 t_f t_l \begin{bmatrix} -\sin \Delta\beta & \sin \Delta\beta \\ -\sin \Delta\beta & -\sin \Delta\beta \end{bmatrix} E_{in} \quad (4)$$

由式(3)式和(4)可以得到,隔离度除了器件透射比引起的固有插入损耗  $L_0$  外,附加隔离度由两部分组成:一部分为消光比引起的插隔离度,由  $S_e$  表示;另一部分为旋光角度误差引起的. 由于消光比的数值  $e_c \approx 10^{-5}$ ,理论计算上对隔离度的影响远大于各器件透射比的影响所以要得到高隔离度光环形器,就需要用高消光比晶体光学材料;同样由式(4)可得,当  $\Delta\beta = 5^\circ$  时,附加隔离度为 21 dB,所以旋光角度误差对隔离度的影响很大,旋光角度误差越小,隔离度性能越好.

## 3 实验结果

设计出来的 1550 nm 波长多功能光隔离器隔离器,用 SOF-155-D DFB Laser Source 1550 nm 光源和波长范围在 0.6 ~ 1.75 nm 安立产 MS9710B 光谱仪进行检测.

表中  $In_1$  和  $In_2$  是设计的多功能光隔离器正向传输的两个输入通道,表中  $In_1$  和  $In_2$  是设计的多功能光隔离器正向传输光束的两个输出通道. 由表中可以看到双通道多功能光隔离器的插入损耗分别为

表 1 光隔离器端口间各光纤之间光束传输性能

测试结果		单位: dB		
	$In_1$	$In_2$	Out <sub>1</sub>	Out <sub>2</sub>
$In_1$	-	-	0.28	62
$In_2$	-	-	60	0.11
Out <sub>1</sub>	55	60.7	-	-
Out <sub>2</sub>	61	54	-	-

别为 0.28 dB 和 0.11 dB; 反向隔离比分别为 55 dB 和 54 dB, 性能参数良好. 两个通道间的串扰也都  $\geq 60$  dB.

#### 4 结论

实验结果和理论分析表明, 多功能光隔离器虽然增加了透镜对等器件, 但在器件表面镀增透膜减小固有插入损耗情况下, 插入损耗和隔离度性能好, 双通道间串扰很小, 大于 60 dB, 而且我们可以将双尾纤改为多尾纤, 进一步提高功能复用的作用.

#### 参考文献

- 1 Masataka S, Kunihiko A. Compact optical isolator for Fibers using birefringent wedges. *Applied Optics*, 1982, **21**(23): 4296 ~ 4299
- 2 向清, 黄德修. 钒酸钇晶体楔型光隔离器. *中国激光*, 1996, **23**(3): 225 ~ 228  
Xiang Q, Huang D X. *Chinese J of Lasers*, 1996, **23**(3): 225 ~ 228
- 3 Michael N Z. Efficient erbium-doped fiber amplifiers incorporating an optical isolator. *IEEE J Quantum Electron*, 1995, **1**(3): 472 ~ 479
- 4 Haruo I, Kazuhiro N, Katsumi M. Optical isolators using Bi-substituted rare-earth iron garnet films. *Opt and Quant Electron*, 1990, **22**(6): 517 ~ 528
- 5 Kaoru M, Hisashi M, Osamu K, et al. Temperature-stabilized optical isolator for collimated light using  $(\text{BiLuGd})_3\text{Fe}_3\text{O}_{12}/(\text{BiGd})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$  composite film. *Appl Opt*, 1988, **27**(7): 1329 ~ 1333
- 6 王吉明, 吴福全, 孔伟金, 等. 波片型光隔离器隔离性能分析. *光子学报*, 2004, **33**(7): 830 ~ 834  
Wang J M, Wu F Q, Kong W J, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(7): 830 ~ 834
- 7 马晓明. 带光隔离器的掺钕光纤放大器性能分析. *光子学报*, 2002, **31**(2): 178 ~ 182  
Ma X M. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(2): 178 ~ 182
- 8 马晓明. 两段级联掺钕光纤放大器的优化研究. *光子学报*, 2003, **32**(6): 687 ~ 692  
Ma X M. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(6): 687 ~ 692

## Double-function Optical Isolator Utilizing two Fiber Tips and Lens Twice

Tian Yanning<sup>1</sup>, Fang Qiang<sup>2</sup>, Wang Yongchang<sup>1</sup>, Sun Aijing<sup>2</sup>, Bai Jurong<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of modern physics, school of science, Xi'an jiaotong university, Xi'an 710049

<sup>2</sup> Xi'an institute of posts and telecommunications, Xi'an 710061

Received date: 2004-06-07

**Abstract** Using two-fiber tips and lens twice, An innovated double-channel optical isolator has been advanced and fabricated, which duplicates the function in comparison with conventional optical isolator with single fiber tip. The typical insertion loss and isolation of the developed isolator are as good as that of the conventional optical isolator in theory. It was experimentally confirmed that forward insertion loss of two channels at 1550 nm are lower than 0.28 dB and 0.11 dB, backward isolation of that are over 55 dB and 54 dB respectively. It's most important that the isolator, which can be fabricated with duplicated function and high characteristics, also have a low cost and a small volume comparatively.

**Keywords** Optical isolator; Double fiber-tip; Jones matrix; Isolation; Insertion loss



**Tian Yanning** was born in 1974. She received her Ph. D form Northwest University in June, 2000. Now she is doctor degree candidate in Xi'an Jiaotong University. Her research interest is study of passive components in fiber-optic system.