

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0056-03

偏振光合束器的设计与研制

王素芹¹, 阮玉¹, 汪宇翔¹, 陈斯杰²

(¹华中科技大学光电子工程系, 湖北 武汉 430074

²福州康顺光通讯有限公司, 福建 福州 350014)

摘要 提出了偏振光合束器(PBC)的两种设计结构;用高斯光学和矩阵光学的方法给出了偏振光合束器中关键元器件保偏双光纤准直器的相关理论计算;报道了实验结果和研究成果。

关键词 光学技术与仪器; 偏振光合束器; 高斯光学; 矩阵光学; 保偏双光纤准直器

中图分类号 TN253 文献标识码 A

Design and Manufacture of Polarization Beam Combiner

WANG Su-qin¹, RUAN Yu¹, WANG Yu-xiang¹, CHEN Si-jie²

(¹Optoelectronic Department, Huazhong University of Sciences and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China

²Koncent Communication Inc., Fuzhou, Fujian 350014, China)

Abstract This paper provides two kinds of design of Polarization Beam Combiner, gives the theoretical calculation of its key component, PM dual fiber collimator, with the method of Gauss optics and matrix optics. The experimental result is also reported.

Key words optical technique and instrument; polarization beam combiner; Gauss optics; matrix optics; PM dual fiber collimator

1 引言

由于拉曼光纤放大器^[1,2]可以放大掺铒光纤放大器(EDFA)所不能放大的波段,使用多个抽运源还可得到比EDFA宽得多的增益带宽(后者由于能级跃迁机制所限,增益带宽只有80nm)(图1),因此,对于开发光纤的整个低损耗区1270~1670nm具有无可替代的作用。而且因为光纤分布式拉曼放大是沿光纤分布而不是集中作用,光纤中各处的信号光功率都比较小,从而可降低非线性效应尤其是四波混频(FWM)效应的干扰。另外当拉曼放大器与常规EDFA混合使用时可大大降低系统的噪声指数,增加传输跨距。正是由于其上述突出优点,拉曼放大器在1999年一经成功应用于密集波分复用器(DWDM)系统,就立刻受到了广泛关注和深入研究。光纤拉曼放大器实现的关键是高抽运功率,本文中研究的偏振光合束器^[3,4](PBC)就是基于给拉曼放大器提供高抽运功率而设计的一种新型光无源器件。

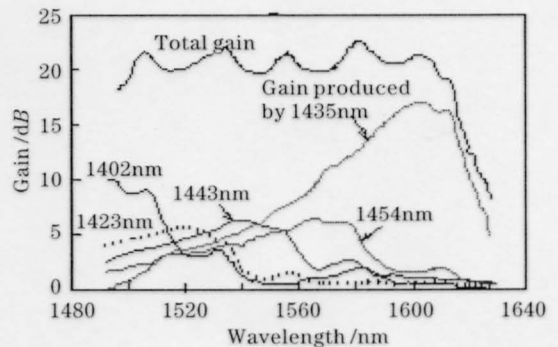


图1 拉曼总增益是各个抽运波长产生增益的和
Fig.1 Raman total gain is the sum of all pump wavelength gain

目前很多公司PBC产品已研制出或正处在研发阶段,如Oplink(称之为Polarization Maintaining Beam Combiner or PMBC), OZ Optics(称之为Fiber Optic Beam Splitter/Combiner), E-Tek(已与JDSU合并)(称之为Micro-Optic Polarization Division Multiplexer or MPDM), Corning(称之为

作者简介: 王素芹(1980.1-),女,华中科技大学光电子工程系硕士研究生,主要从事偏振光合束器、磁光开关等光无源器件的研究。

Pmux), Koncent 等公司。虽然各公司用的名字不一致,但都是指同一种器件。它对于提高 DWDM 系统的传输容量和带宽具有重要意义和实用价值。

2 PBC 的原理与方案

2.1 工作原理

顾名思义,偏振光合束器中必然要用到偏振光。它的工作原理就是使两束偏振态互相垂直的线偏光通过棱镜、晶体等,利用光在其中的双折射、透射、反射等特性把两束光合为一束,并把它耦合进单模光纤,其主要目的是获得较大的光功率。

2.2 两种设计结构

作者曾设计了三种方案,由于成本、性能以及可行性等多方面的原因,最后只成功实现了其中两种方案,下面分别介绍这两种 PBC 方案。

方案 1:利用沃拉斯顿棱镜(Wollaston Prism)进行合束。

如图 2 所示,PBC 的 Core 部分是由两块光轴方向互相垂直并且平行于各自的通光面的钽酸钷(YVO₄)楔角片组成。它是利用 YVO₄ 晶体的双折射进行合光的。组成 Wollaston Prism 的两块楔角片的楔角和尺寸可根据要求而定,楔角一般为 9.0°左右。

这种方案的优点是可以使 PBC 的结构非常紧

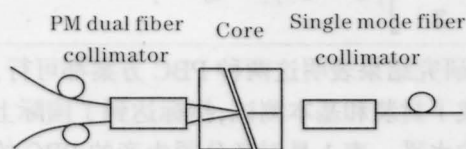


图 2 方案 1 光路结构图

Fig.2 Structure of the first design

凑,鉴于现在的光电子器件有逐步向小型化过渡的趋势,这一点是非常具有吸引力的。而且由于内部结构简单,成本较低,只需找到一种好的粘胶方案,将两块楔角片粘在一起而不影响其通光性能,使它可以通过各种可靠性测试;然后设计一种金属桥使两准直器和 Wollaston Prism 的相对位置固定,就可以保证此种结构 PBC 性能的稳定。

方案 2: 利用双折射晶体进行合束。

本方案如图 3 所示,从保偏双光纤准直器出来的两束有一定夹角的偏振光,先经过屋脊棱镜变为平行光,再经过晶体进行合束。其中屋脊棱镜的顶角设计与从保偏双光纤准直器出来两束光的夹角相匹配。型号为 2×2×1.5,即通光面为 2×2,所用材料为 K9 玻璃;起合束作用的是一块 2×2×6 的 YVO₄ 晶体。

方案 2 的优点是光路易于调节,做成的偏振光

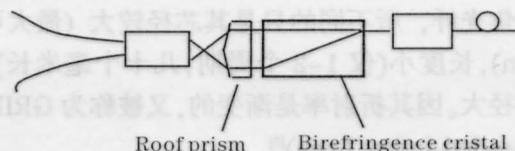


图 3 方案 2 光路结构图

Fig.3 Structure of the second design

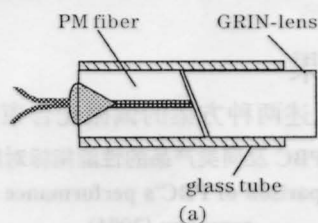
合束器性能稳定。难点在于从双光纤准直器出来的两束光的夹角与屋脊棱镜的顶角不好匹配。

3 保偏双光纤准直器的结构与理论计算

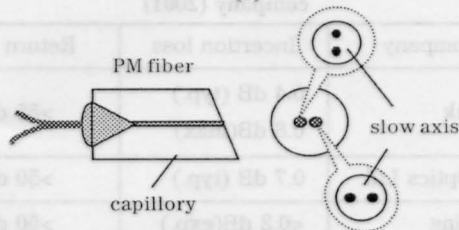
从 PBC 的结构图可以看出其光路部分其实并不复杂。事实上,在 PBC 的研制过程中面临的主要困难就是如何获得两束偏振态互相垂直的线偏光,并在入射到合束元件之前保持其偏振态不变。这里,设计了一种保偏双光纤准直器来实现这一功能。它在 PBC 器件中起着准直和耦合的作用,直接影响到整个系统的插损、回损等各项主要光学指标,并和屋脊棱镜、合束晶体一起决定着 PBC 的最终性能。

3.1 保偏双光纤准直器的结构

在保偏双光纤准直器的设计过程中主要应考虑两个问题,首先是两光纤慢轴方向要满足 PBC 对两入射光的要求,其次要根据 PBC 对两入射光夹角的要求选择组成元件的型号。图 4(a)所示为所设计的保偏双光纤准直器的结构图,它主要由保偏双光纤头(图 4(b))和自聚焦透镜组成。其中采用 8 度楔角面是为了降低器件的回波损耗。



(a)



(b)

图 4 (a)保偏双光纤准直器结构示意图;(b) 保偏双光纤头

Fig.4 (a) Schematic of PM dual fiber collimator;

(b) PM dual fiber pigtail

3.2 理论计算

准直器中的自聚焦透镜实际上可以看成是一段

自聚焦光纤,所不同的只是其芯径较大(最大可达5 mm),长度小(仅1~2个周期,几十个毫米长),数值孔径大。因其折射率是渐变的,又被称为GRIN透镜(Graded-Index Lens)^[5]。

GRIN透镜的两个重要参数是自聚焦常数 \sqrt{A} 和节距 P ,它们分别定义为

$$\sqrt{A} \approx \sqrt{2\Delta}/r \quad (\text{mm}^{-1}) \quad (1)$$

其中 Δ 为相对折射率差, r 为中心距。

自聚焦常数 \sqrt{A} 反映了透镜对于光线的会聚能力。 \sqrt{A} 越大则焦距越短,透镜的会聚作用就越强。

$$\text{节距} \quad P=2\pi/\sqrt{A} \quad (2)$$

光纤中光能量分布可以用高斯分布来描述

$$\varphi_0 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{w_0} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{w_0^2}\right) \quad (3)$$

其中 w_0 为高斯光束的束腰半径。

非均匀媒质中的光线方程为^[1]

$$\frac{d}{ds} \left[n \left(\frac{dr}{ds} \right) \right] = \nabla n \quad (4)$$

由(3),(4)两式可以推出自聚焦透镜中的光线传输矩阵为

$$\begin{bmatrix} r \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\sqrt{A} \cdot Z) & \frac{\sin(\sqrt{A} \cdot Z)}{n_0 \cdot \sqrt{A}} \\ -n_0 \cdot \sqrt{A} \sin(\sqrt{A} \cdot Z) & \cos(\sqrt{A} \cdot Z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_0 \times 10^{-3} \\ t_0 \end{bmatrix}$$

求得 $t=-1.844575^\circ$ 。所以从保偏双光纤准直器出来两束光的夹角为: $|2t| = |-1.84^\circ \times 2| \approx 3.7^\circ$ 。满足设计要求。

4 研究结果

分别对上述两种方案的偏振光合束器进行试验

表1 各公司PBC及同类产品的性能指标对照表(2001)

Table 1 Comparison of PBC's performance of different company (2001)

Company	Insertion loss	Return loss
Oplink	0.4 dB (typ.) 0.8 dB(max)	>55 dB
OZ Optics Ltd.	0.7 dB (typ.)	>50 dB
Corning	<0.2 dB(exp.)	>50 dB
Koncent	<0.25 dB(min) <0.35 dB(typ.) 1 st design	>50 dB
	<0.40 dB(typ.) 2 nd design	

$$\begin{bmatrix} r \\ r' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\sqrt{A} z) & \frac{1}{\sqrt{A}} \sin(\sqrt{A} z) \\ -\sqrt{A} \sin(\sqrt{A} z) & \cos(\sqrt{A} z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_0 \\ r_0' \end{bmatrix} \quad (5)$$

下面以PBC中所用的双保偏准直器为例,对它的出射光性能参数进行计算。

设PBC的工作波长 $\lambda=1.55 \mu\text{m}$,所用自聚焦类型为SLW-180,则其中心折射率

$$n_0=1.5868+8.14 \times 10^{-3}/\lambda^2=1.5902$$

选用0.23节距的自聚焦透镜,即 $Z=0.23P$ 。

GRIN透镜的焦距

$$f=[n_0 \cdot \sqrt{A} \cdot \sin(\sqrt{A} \cdot Z)]^{-1}$$

主距

$$h=[1-\cos(\sqrt{A} \cdot Z)][n_0 \cdot \sqrt{A} \cdot \sin(\sqrt{A} \cdot Z)]^{-1}$$

光纤头和自聚焦之间的装配间隙 $d_0=f-h$ 。

设入射自聚焦时的中心光线与GRIN透镜间距

$$r_0=62.5 \mu\text{m}, \quad t_0=0$$

设出射光为: $\begin{bmatrix} r \\ t \end{bmatrix}$ 。自聚焦透镜折射率分布

$$n(r)=n_0[1-(A \cdot r^2)]^{1/2}$$

自聚焦透镜近轴光线传输和成像矩阵为

研究,研究结果表明这两种PBC方案都可行,目前已完成了封装和基本测试,指标达到了国际上同类产品的水平。表1是对各公司生产的PBC的性能指标加以比较的结果,其中Koncent一栏即为本文所报道的偏振光合束器。

参考文献

- 1 Y. Emori, K. Tanaka, S. Namiki. 100 nm bandwidth flat-gain Raman amplifiers pumped and gain-equalised by 12-wavelength-channel WDM[J]. *Electron. Lett.*, 1999, 35(16):1355~1356
- 2 S. Kawai, H. Masuda, K. Suzuki *et al.*. Wide-bandth and long-distance WDM transmission using highly gain-flattened hybrid amplifier [J]. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1999, 11(7):886~888
- 3 Variable polarization beam splitter,combiner and mixer [P].US Patent5740288
- 4 Multibeam photoscanner[P]. US.Patent4637679
- 5 R. W. Gilsdorf, J. C. Palais. Single-mode fiber coupling efficiency with gradient-index rod lenses [J]. *Appl. Opt.*, 1994, 33(16):3440~3445