

分光比连续可调的光纤定向耦合器

宋晏蓉 朱力力 王 勇 周国生

(山西大学物理系, 太原 030006)

提要 讨论了耦合面积对耦合器分光比的影响, 从理论上进行了计算, 并实际制作出分光比连续可调的光纤定向耦合器。

关键词 光纤定向耦合器, 耦合面积, 分光比

1 引言

光纤定向耦合器的研制工作一直很重要, 耦合器的性能直接影响着光纤传输系统的性能及应用范围, 尤其分光比连续可调的耦合器在检测、控制系统中又有其特殊用途。文献[1]中提到了一种通过耦合光纤的磨削深度来改变分光比的方法, 这种方法每改变一个分光比值就需换一块磨削光纤, 很麻烦且不易重复。文献[2]是通过改变耦合器匹配液的折射率来改变耦合器的分光比, 但对于不同的分光比都需要换一种匹配液, 实际操作起来也较麻烦。本文提到的装置克服了上述两种装置的缺点, 制作出两种简单、易行的分光比连续可调的光纤定向耦合器, 即通过机械装置直接改变两耦合光纤间的耦合面积以改变分光比。操作简单, 是一种实用的分光比连续可调的光纤定向耦合器。分光比可在 $1/1 \sim 0/1$ 之间变化, 并从理论上用计算机进行了数值分析, 得出的数据与实验相比基本吻合。

2 实验装置

如图1所示, 采用 632.8 nm 的 He-Ne 激光器, 光纤芯径为 $75 \mu\text{m}$, 外径为 $125 \mu\text{m}$, 光纤耦合器外型尺寸为 $2 \times 2 \times 3 \text{ cm}^3$, 安装在有刻度的、可旋转的五微微调架上(另配机械装置)。出射光由透镜会聚后由光功率计接收, 上、下两光纤的形状、磨削深度等参数完全相同且两接触面经抛光处理, 中间可加折射率完全相同的匹配液润滑。两种耦合器的实验装置基本相同, 不同的是两耦合光纤间的位置的改变方法, 一种是两光纤相对平移, 一种是相对旋转。

3 理论计算

图2、图3分别为两种分光比可调耦合器结构图, 图2(a), (b) 为两耦合光纤相对平移 H

收稿日期: 1993年5月3日, 收到修改稿日期: 1993年10月18日

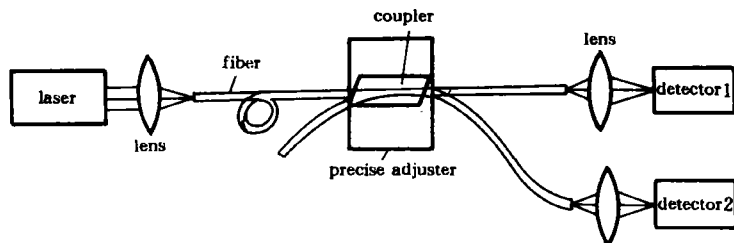


Fig. 1 Experimental equipment

距离时的情况,图 3 为两光纤相对旋转一角度 θ_1 的情况。

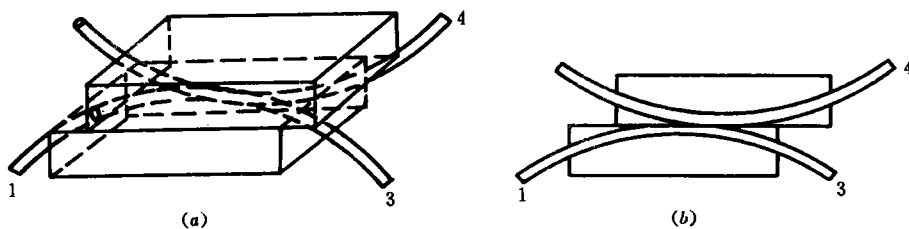


Fig. 2

(a) Structure; (b) Side view

假如光从下面的光纤 1 端进入,3、4 端输出,称下面的光纤为主光纤,其输出功率为 P_m ,上面的光纤为副光纤,其输出功率为 P_s 。输出功率可由主、副光纤中功率密度 $A(\theta, \phi)$, $B(\theta, \phi)$ 积分求得^[1]

$$A(\theta, \phi) = [1 - k(\phi)]A(\theta, \phi - r(\theta)) + k(\phi)k'(\phi)B[\theta + \alpha, \phi - r(\theta + \alpha)] \quad (1)$$

$$B(\theta, \phi) = k(\phi)k'(\phi)A[\theta + \alpha, \phi - r(\theta + \alpha)] + [1 - k(\phi)]B[\theta, \phi - r(\theta)] \quad (2)$$

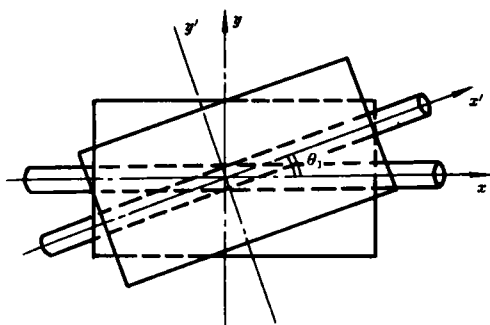
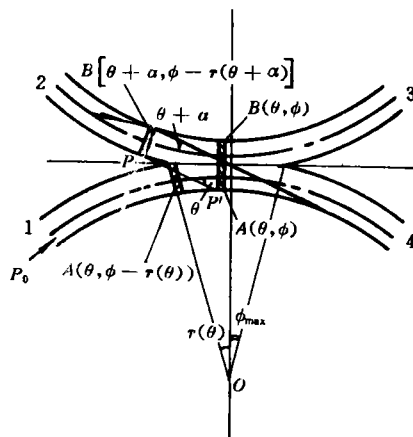
Fig. 3 Vertical view of coupler rotating an angle (θ_1)

Fig. 4 Power density transform diagram

见图 4 所示,其中 θ, ϕ 是用来确定光线位置的,传输角 θ 是光线与光纤轴间夹角,中心角 ϕ 表示光线与耦合面相交点的张角,在中心轴 OO' 右边定义 ϕ 为正,左边为负。 $k(\phi), k'(\phi)$ 为两耦合光纤间的耦合系数, $k(\phi)$ 为无光纤间相对移动时的值,其值为

$$k(\phi) = \begin{cases} \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{R+a-D}{a \cos \phi} - \frac{R}{a} \right) & \alpha \leq 0 \\ 0 & \alpha > 0 \end{cases}$$

其中 a 为纤芯半径, D 为磨削深度, R 为曲率半径, $\alpha \approx 2\phi$ ($R \gg a$)。

$k'(\phi)$ 为两光纤间有相对移动的附加耦合系数, 文献[1]只讨论了理想情况, 即无相对移动情况, 本文则着重讨论有相对移动的情况。

(1) 对于两耦合光纤相对平移时的情况, 其横截面如图 5(a) 所示。图中阴影部分耦合面积为, 因被磨削光纤的截面图近似椭圆, 且此椭圆的长短轴之比非常大(120:1), 因此耦合面积亦可看成椭圆, $k'(\phi)$ 即为此面积与光纤磨削面积之比, 经计算得

$$k'(\phi) = \frac{1}{\pi} \left\{ \sin \left[2 \sin^{-1} \left(\frac{h}{2b} \right) \right] - \sin \left[2 \sin^{-1} \left(\frac{h}{b} - 1 \right) \right] \right\} + \frac{2}{\pi} \left[\sin^{-1} \left(\frac{h}{2b} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{h}{2b} - 1 \right) \right]$$

其中 h 为相对移动距离, b 为磨削长度的一半。

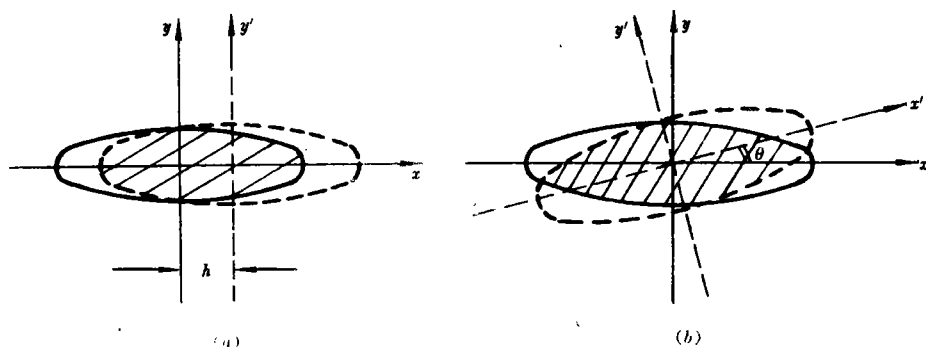


Fig. 5

(a) The cross-section of the coupler with fiber translational moving (H)

(b) The cross-section of the coupler with fiber rotating an angle (θ_1)

(2) 对于两耦合面相对旋转一角度 θ_1 时, 如图 5(b), 用相似的方法亦可算出其附加耦合系数 $k'(\phi)$ 为

$$k'(\phi) = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta_1 + (a^2/b^2) \sin^2 \theta_1}} \left(\frac{\pi}{4} \cos \theta_1 - \sin \theta_1 \right) \rightarrow \theta_1$$

式(1), (2) 中的 $r(\theta)$ 为传输角 θ 的子午光线 PP' 的中心张角为

$$r(\theta) = \begin{cases} \cos^{-1} \left(\frac{R \cos \theta}{R+a} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{R \cos \theta}{R-a} \right); & \theta \geq \cos^{-1} \left(1 - \frac{a}{R} \right) \\ \cos^{-1} \left(\frac{R \cos \theta}{R+a} \right); & \theta < \cos^{-1} \left(1 - \frac{a}{R} \right) \end{cases}$$

这样就可求出主、副光纤中的输出功率、分光比、损耗

$$P_m = \int_0^{\phi_{\max}} \int_{\phi_{\min} - r(\theta)}^{\phi_{\max}} A(\theta, \phi) d\phi d\theta$$

$$P_s = \int_0^{\phi_{\max}} \int_{\phi_{\min} - r(\theta)}^{\phi_{\max}} B(\theta, \phi) d\phi d\theta$$

$$\text{分光比} = P_a/P_m$$

$$\text{损耗} = \frac{P_0 - (P_a + P_m)}{P_0}, \quad P_0 \text{ 为输入总功率}$$

在公式 P_m, P_a 中, 因 $A(\theta, \phi), B(\theta, \phi)$ 无解析式, 所以 P_m, P_a 无解析解, 只有用计算机进行数值分析。图 6(a), (b) 分别为平移、旋转时的曲线图, 其中虚线为理论计算曲线, “x” 代表多次实验结果的平均值。

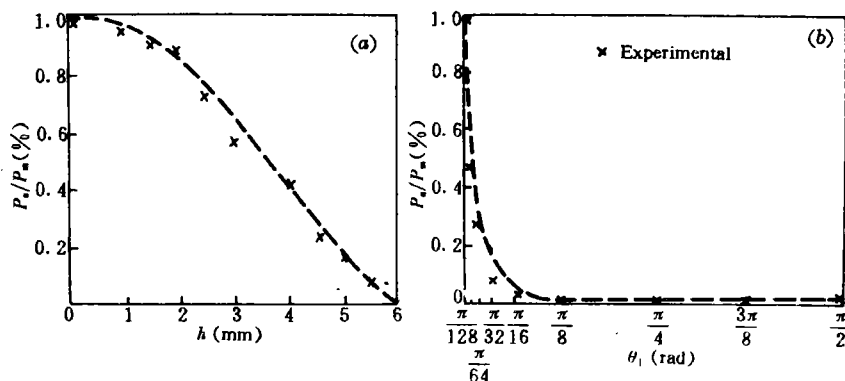


Fig. 6

(a) Branching ratio vs translational moving distance (H); (b) Branching ratio vs rotating angle (θ_1)

4 结果分析

如图 6(a) 曲线所示, 对于平移情况, 理论和实验曲线基本相符, 且曲线变化平缓, 说明通过两耦合面的相对平移较易得到分光比连续变化的耦合器。曲线的变化趋势可分为三段: H 在 $0 \sim 1.2$ mm, $1.2 \sim 5$ mm, $5 \sim 6$ mm 变化。在 $0 \sim 1.2$ mm 时, 分光比变化极缓, 即 P_a/P_m 随 H 变化不明显, 这是因为如图 5(a) 中横截面图所示, 当 H 较小时, 两磨削面相对平移, 面积相对变化不大, 即对耦合系数影响不大, 所以 P_a/P_m 曲线平缓。当 H 在 $1.2 \sim 5$ mm 间变化时, P_a/P_m 随 H 变化曲线基本是线性关系, 这是因为此时两磨削面相对移动到了磨削面的平滑地段, 随着 H 的变化, 面积也均匀地减小。当 H 在 $5 \sim 6$ mm 间变化时, 曲线又变得平缓, 这与 H 在 $0 \sim 1.2$ mm 间变化的情况基本是一致的。对于面积相对旋转这一情况而言, 理论和实验曲线变化趋势是一致的, 但实验值比理论值小。这是因为光纤本身的芯径很小 ($50 \mu\text{m}$), 所以两耦合面也较小。若要通过变化角度来改变分光比, 从实验上来说有些困难, 难免有误差, 加上附加损耗较大, 所以比理论曲线低。从图中还可看出, 在一个很小的角度内, 分光比曲线下降较陡, 因此从实际装置来说, 不如相对平移做成较稳定的分光比变化的耦合器。当然若实验装置精度较高, 也是可以实现。从图 6(a), (b) 中还可看出, 当两磨削面完全重合时 (即 H, θ_1 均为零), 分光比为 1, 当两磨削面完全不重合时, 分光比为零, 当 H, θ_1 取不同值时, 便对应一个在 $1 \sim 0$ 之间变化的分光比数值, 这从物理意义上讲也是对的。

参 考 文 献

- 1 K. Ogawa, A. R. McCormick. *Appl. Opt.*, 1978, 17(3): 2077
- 2 宋晏蓉, 王养萍, 周国生. 光学学报, 1991, 11(4): 341~346

Optical Fiber Directional Coupler with Continuously Variable Branching Ratio

Song Yanrong Zhu Lili Wang Yong Zhou Guosheng

(Physics Department, Shanxi University, Taiyuan 030006)

Abstract A detailed description of the effect of coupling area on the branching ratio of optical fiber directional coupler is given. The effect is calculated theoretically. The fiber directional couplers with continuously variable branching ratio have been fabricated.

Key words optical fiber directional coupler, coupling area

半导体激光泵浦固体激光器锁模获得成功

本文报道 LDA 侧面泵浦 Nd:YAG 板条激光器声光主动锁模、调 Q 锁模和预激光调 Q 锁模的研究结果。泵浦光源准连续输出最大平顶峰值功率约 60 W, Nd:YAG 板条几何尺寸为 $16.2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$, 板条两端平行切成布儒斯特角, 光束在激活介质内形成四次反射。声光调制器的调制频率为 48 MHz。谐振腔的腔长超过 1.5 m。静态泵浦阈值功率 20 W, 插入声光调制器后升至 30 W。实验成功地获得了声光主动锁模的脉冲序列, 用分辨率为 10 ps 的条纹相机测量单一激光锁模脉冲宽度(FWHM)为 120 ps。插入低耗的声光调 Q 调制器, 实验获得调 Q 包络宽度为 250 ns 的调 Q 锁模脉冲序列, 脉冲宽度(FWHM)为 60 ps。由于 LDA 的额定泵浦宽度和占空比的限制, 宽度 400 μs , 相应预激光时间约 350 μs 。实验获得了良好的预激光锁模调 Q 的激光输出, 脉冲宽度为 36 ps, 器件运行重复频率 50 Hz。

(中国科学院上海光机所, 上海 201800 周复正 陈有明

收稿日期: 1994 年 3 月 22 日)