

一种新型结构的单模光纤 1×4 分束器

黄 勇 曾庆济

(上海交通大学光纤技术研究所, 上海 200052)

摘 要 以线性耦合波方程为基础, 分析了具有平面型结构的五光纤耦合系统的功率耦合特性, 提出了研制新型结构的单模光纤 1×4 分束器的方法, 并经实验验证。所研制的 1×4 分束器的性能和外形尺寸与常规的 2×2 单模光纤耦合器相比, 都较为接近。

关键词 单模光纤, 分束器。

1 引 言

单模光纤分束器是光纤通信^[1]、光交换^[2]、及光纤传感系统^[3]中极为关键的元件, 受到国内外学者的重视, 并已研制出一系列商品化产品, 其中也包括 1×4 单模光纤分束器。 1×4 分束器的结构可分为两种, 第一种是由 3 个 2×2 耦合器串接而成的二级型器件^[4]。这种器件体积较大, 波长灵敏度较高, 生产工艺复杂且成本较高。但由于 2×2 耦合器的工艺较为成熟, 因此目前商品化的极大多数 1×4 分束器产品是二级型结构的。1990 年 Mortimore 首次报道了单级型 1×4 器件^[5]。1991 年, 本文作者研制成功了具有类似结构的 1×4 器件^[6]。但由于实际生产中, 很难得到较为均匀分束比的器件。除非特殊需要^[1], 一般不采用这种方法。基于上述原因, 需研制性能可靠的新一代实用 1×4 器件。根据作者多年来研究平面型结构单模光纤分束器所积累的经验^[6~8], 提出一种工艺简单, 适合于大规模生产 1×4 分束器。

2 基本理论

平面型结构的五光纤耦合系统的横截面如图 1 所示。假定该耦合系统是由全同的阶跃型折射率分布单模光纤构成的无损耗耦合系统, 并且只考虑相邻光纤之间的耦合。假定耦合系统的初始激励条件是只在光纤 3(见图 1)内存在单位激励功率, 则根据耦合系统的结构及激励条件的对称性, 可将耦合波方程写成

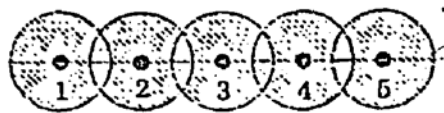


Fig. 1 The cross-section of coupling system consisting of five optical fibers

$$\frac{da_1}{dz} = -i(\beta a_1 + ca_2), \quad \frac{da_2}{dz} = -i(ca_1 + \beta a_2 + ca_3), \quad \frac{da_3}{dz} = -i(2ca_2 + \beta a_3). \quad (1)$$

这里 $a_j(j=1,2,3)$ 为耦合区第 j 根光纤内所传输的场振幅, β 为耦合区任意孤立光纤的单模传播常数, c 为相邻光纤之间的耦合系数^[9], 而 $i = \sqrt{-1}$.

通过求解(1)式, 得到该耦合系统各输出端口(见图 2)的场振幅分别为

$$\begin{aligned} a_1(z) &= -\frac{2}{3} \left[\sin^2 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} cz \right) \right], \\ a_2(z) &= -i \frac{\sqrt{3}}{3} \sin(\sqrt{3} cz), \\ a_3(z) &= -\frac{2}{3} \left[\cos(\sqrt{3} cz) + \frac{1}{2} \right], \\ a_4(z) &= a_2(z), a_5(z) = a_1(z). \end{aligned} \quad (2)$$

因此, 根据(2)式, 得到每根光纤内所传播的光功率分别为

$$P_j(z) = a_j(z) a_j^*(z), \quad j = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (3)$$

由(3)式画出分束器各输出端口输出的光功率随归一化拍长的变化关系, 如图 3 所示。从图中发现, 光纤 3 和光纤 1、5 的功率耦合拍长是相同的, 而且光纤 1、5 的光功率随传输距离的变化较为平坦, 具有一定的宽带特性。而 2、4 的光功率耦合拍长比前者短一半。光纤 1、5 的输出功率波长灵敏度要比光纤 2、4 低一半。同时从图 3 中看出, 要想得到一个理想的 1×4 分束器, 必须使得光纤 3 的输出功率在使用波长处趋于零。另外, 由(2)式可知, 这种结构的耦合系统, 其光功率耦合拍长 $L_B = (2\pi/c)(\sqrt{3}/3)$, 略长于常规 2×2 耦合器的耦合拍长。因此, 估计这类器件的耦合区不会太长, 便于封装。

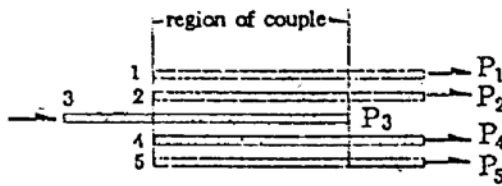


Fig. 2 The coupling system consisting of five optical fibers

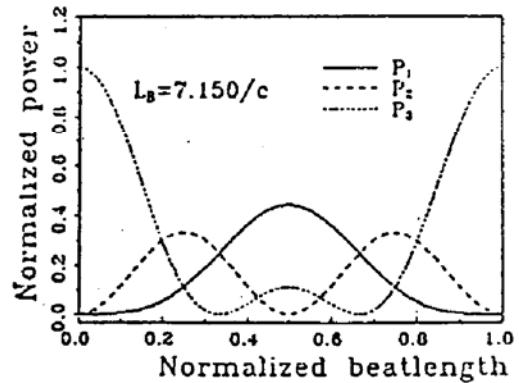


Fig. 3 The relation between normalized power and beatlength

3 实验结果与讨论

图 4 是自行设计的拉制平面型分束器系统简图。选用美国 Corning 公司生产的单模光纤(SMF 28™ CPC₃), 剥去需熔拉区域的塑料外套, 经清洁处理后, 平行且相互紧靠地安置在可滑动的小平台上, 如图 5 所示。然后以丁烷作为燃烧原料, 加热熔拉区, 并开动步进马达, 直至光纤 3 的

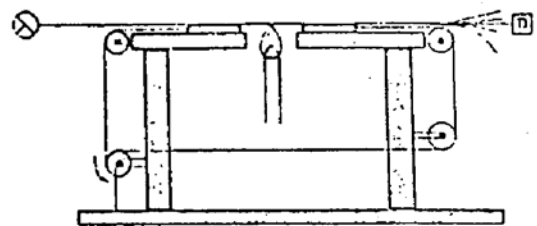


Fig. 4 The fabrication set of 1×4 planar splitters

输出功率第一次为零为止。在一般的情况下,其余四根光纤的输出功率基本相同,但是存在一定的偏差。导致其分束比不均匀的因素大致归纳为下列几个方面,1)各光纤在被安置在滑动的小平台上时,其内部存在的扭曲力是各不相同的,2)加热火焰的高温区不可能在熔拉区的绝对中心,3)拉锥长度只能在有限精度范围内得控制等等。只要注意上述几个方面,在一定程度上可降低分束比的不均匀性。

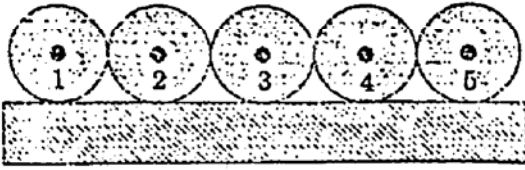


Fig. 5 Five juxtaposed optical fibers fixed on the small plate-forms moveable

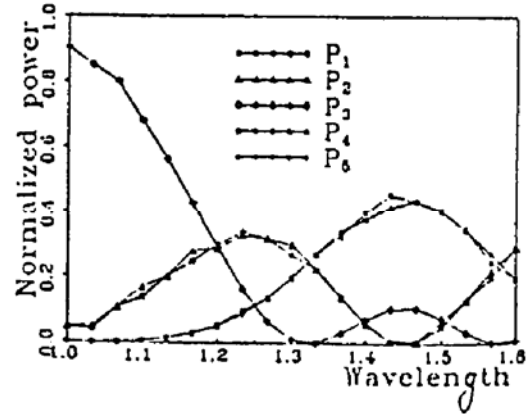


Fig. 6 The characteristics of spectral response of a practical 1×4 splitter

利用以往测量分束器谱响应的系统^[6],测得一个实际 1×4 分束器的归一化谱响应特性如图 6 所示。该器件有较好的分光比,且附加损耗较小,只有 0.5 dB 左右。它的封装尺寸与常规的 2×2 耦合器相同,为 $\phi 4 \times 40$ mm。其它指标亦与 2×2 耦合器相接近。

结 论 通过对平面型五光纤耦合系统的研究,提出了研制平面型结构的 1×4 分束器的方法,并且通过实验,加以验证。研制成功的器件体积小,生产工艺简单,便于大规模生产,有很大的实用价值和经济价值。

参 考 文 献

- [1] A. M. Holl, One-sided rearrangeable optical switching networks. *IEEE/OSA J. Lightwave Technol.*, 1986, LT-4 (5): 785~791
- [2] R. F. Kalman, L. G. Kazovsky, J. W. Goodman, Space division switchers based on semiconductor optical amplifiers. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1992, 4(9): 1047~1053
- [3] Z. Xiaopin, S. Liping, Y. Peida, New structure of optical homodyne receiver utilising a 4×4 fiber directional coupler. *Electron. Lett.*, 1988, 24(11): 1212~1213
- [4] J. R. Stern, J. W. Ballance, D. W. Faulkner et al., Passive optical local networks for telephony application and beyond. *Electron. Lett.*, 1987, 23(13): 1255~1257
- [5] D. B. Mortimore, Theory and fabrication of 4×4 single-mode fused optical fiber couplers. *Appl. Opt.*, 1990, 29 (3): 371~374
- [6] 姚寿铨, 黄勇, 谢国平, 正方分布的 4×4 单模熔锥耦合器的耦合特性分析. *光学学报*, 1991, 11(5): 460~464
- [7] 姚寿铨, 黄勇, 刘慧珍, 熔锥直线型 3×3 单模光纤定向耦合器的功率耦合分析. *光学学报*, 1990, 10 (11): 1040~1064
- [8] 黄勇, 高宏源, 姚寿铨等 平面四光纤耦合系统的研究. *光学学报*, 1994, 14(3): 275~280
- [9] A. W. Snyder, Coupled mode theory for optical fiber. *J. Opt. Soc. Am.*, 1972, 62(6): 1267~1277

A New Structure of 1×4 Single-Mode Optical Fiber Splitters

Huang Yong Zeng Qingji

(*Research Institute of Optical Fiber Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200052*)

(Received 14 October 1993; revised 13 January 1994)

Abstract Based on the linearly coupled mode equations, we have analyzed coupled power characteristics of the coupling system consisting of five optical fibers. A method to fabricate new structure of 1×4 splitters is proposed and experimentally demonstrated. The characteristics and dimensions of the obtained 1×4 splitter are almost the same as common 2×2 coupler.

Key words single-mode optical fiber, splitter.