

宽温低损耗单模光纤定向耦合器

陆善达 冯明和 黄 勇
(上海科学技术大学物理系)

提 要

本文报道了用熔融法由常规的单模通信光纤制造宽温工作的低损耗单模光纤定向耦合器。工作波长为 $1.52\mu\text{m}$, 分束比为 50% 的封装器件, 工作温度在 $-30\sim+70^\circ\text{C}$ 范围, 分束比容差小于 $\pm 5\%$, 插入损耗 $< 0.2\text{dB}$, 隔离度 $> 40\text{dB}$ 。工作波长的变化对分束比影响十分明显, 但入射光的偏振态对其无实际影响。
关键词: 熔融法, 单模光纤, 定向耦合器。

一、引 言

单模光纤定向耦合器是光纤通信系统、光纤传感器、光纤测量技术和信号处理系统中一种应用十分广泛的无源器件。它是一些高性能的光纤通信系统、光纤陀螺仪和光纤水听器中的关键部件。

这种器件的制造方法主要有三种。一种是腐蚀法^[1], 工艺简单, 但器件性能并不稳定; 第二种是研磨拼接法^[2], 加工精度要求高, 器件的温度稳定性差。第三种即本文介绍的熔融法^[3], 这种方法工艺简单, 容易得到插入损耗小、温度稳定性好的器件。

二、制 备 工 艺

我们所用的拉制单模光纤耦合器的装置如图 1 所示。拉制前先将两段光纤的二端和需熔融的中间部分剥去塑料包层。中间部分的裸光纤进行清洁处理后绞合几圈, 置于可绕轴转动的清洁石英管中。任选一根作主光纤, 在其输入端 1 耦合进所需工作波长的激光。它的输出端为 2。石英管下端的下垂光纤上, 挂上合适的重物。氢氧焰移近转动的石英管, 间接熔融绞合光纤。在重力的作用下, 熔融光纤被拉成双锥形。当主副光纤 2、4 端输出信号之比第一次达到 1 时, 即撤离火焰, 这时耦合器的插入损耗最小。取下光纤, 将中间部分放到玻璃片上, 涂上双组份硅橡胶固化封装。在固化过程中如发现分束比偏离 1:1,

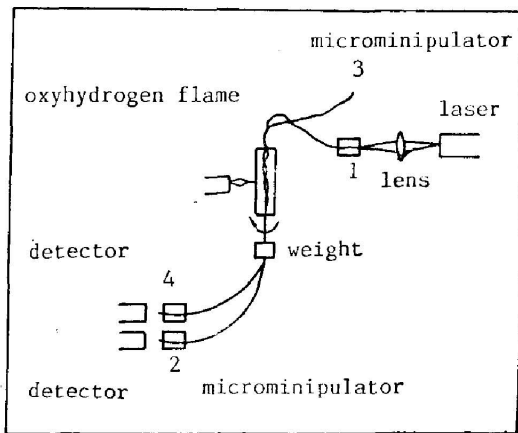


Fig. 1 Fusing arrangement

微调封装光纤的位置,即可得到性能良好的单模光纤定向耦合器。为保证测试结果的正确性,两光纤的二端均应预先去除包层模。

三、结果和讨论

实验采用 $1.52\ \mu\text{m}$ 的 He-Ne 激光作为光源来控制 2×2 单模光纤耦合器,当然也可以使用其它波长的激光器来制造相应工作波长的器件。器件性能指标如表 1 所示。其中 P_1 为端 1 的入纤功率; P_2 、 P_3 和 P_4 分别为端 2、3 和 4 的出纤功率。测量隔离比和插入损耗时,除入射端 1 和被测端外,其余端均应浸入匹配液中,防止这些端的端面反射对测试结果的影响。器件指标不因调换输入端而变,且其时间稳定性也很好,放置一个多月的封装器件指标未变。

Table 1 Coupler Specifications

Operating wavelength (μm)	1.52
Splitting ratio $P_2/P_1(P_4/P_1)$	50%
Operating temperature range	-30 to +70°C
Splitting ratio tolerance $\frac{(P_2 - P_4)}{P_1/2}$	< $\pm 5\%$
Directivity $-10 \log P_3/P_1$	> 40 dB
Insertion loss $-10 \log \frac{(P_2 + P_4)}{P_1}$	< 0.2 dB

Table 2 Coupler cross-section at waist

$D(\mu\text{m})$	28.1
$C(\mu\text{m})$	16.7
$\rho(\mu\text{m})$	1.1

解释熔融型耦合器中光功率在两根光纤间转换的物理机理时,根据其几何结构,目前最能接受的是在耦合器组合波导内两个最低阶模,即对称模 LP_{01} 和反对称模 LP_{11} 的相拍^[4,5]。我们用 vickers 公司光纤截面尺寸测试测得耦合器腰部横截面参数见表 2。其中 D 为腰部两熔融光纤的中心间距, ρ 、 c 分别为腰部单根光纤的芯半径和包层外半径,如图 2 所示。如果耦合发生在变细的二光纤芯(折射率为 n_1)和石英包层(折射率为 n_2)构成的组合波导内,则此组合波导反对称模的规格化截止频率 V_{c0} 为

$$V_{c0} = \left[\frac{8}{1 + 4 \ln(D/\rho)} \right]^{1/2}$$

而变细光纤的规格化频率 V_0 为

$$V_0 = \frac{2\pi\rho}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

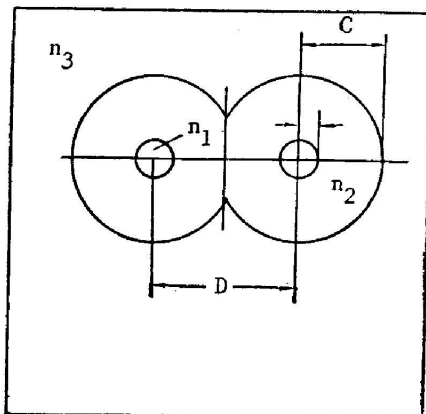


Fig. 2 The coupler cross-section

所以,对我们所制的耦合器, V_0 明显地小于,反对称模将成为漏模,耦合器应有很大的损耗。然而,我们测得这一器件的插入损耗仅为 0.1 dB。若考虑组合波导是由熔融的两光纤中折

射率为 n_2 的原包层构成哑铃形芯, 折射率为 n_3 的周围介质(空气或硅橡胶)构成包层的新波导, 则这一组合波导的规格化截止频率 V_{c1} 为

$$V_{c1} = \left[\frac{8}{1 + 4 \ln(D/c)} \right]^{1/2},$$

新组合波导的规格化频率为

$$V_1 = \frac{2\pi c}{\lambda} \sqrt{n_2^2 - n_3^2},$$

当 $V_1 \gg V_{c1}$, 这时反对称模为低损耗传输。所以我们的耦合器也应是后一种组合波导内两个最低阶模的相拍, 与文献[5]的结果相符。

目前国内生产的常规单模通信光纤, 为改善传输特性, 具有内凹型折射率分布。实验表明, 这种光纤在熔融拉锥过程中, 两光纤间不能有效地进行功率转换, 插入损耗很大。若选用实测折射率近似为阶跃型分布的常规通信光纤, 如图 3 所示, 则拉制时两输出端光功率随拉伸时间的变化如图 4 所示, 两光纤间功率转移效果极好, 损耗很小。我们采用图 3 折射率分布的光纤获得了宽温低损耗单模耦合器。

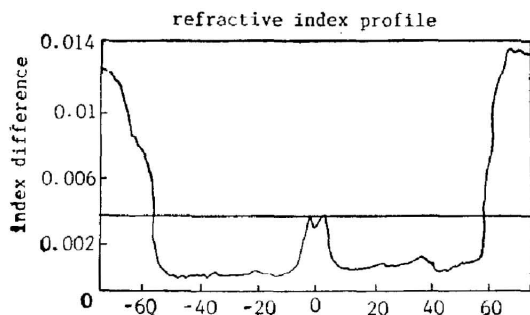


Fig. 3 The fiber with approximate step-index profile

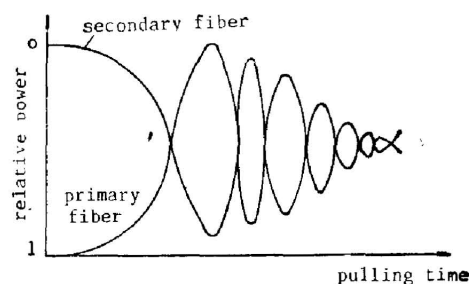


Fig. 4 The coupling curve between two fibers with approximate step-index profile

当输入光的偏振面方向改变时, 测得耦合器分束比的变化均在测试误差以内。这种不敏感性与文献[3]的结果相符。其原因是由于采用的为非保偏光纤, 而且在器件制造过程中两输出功率之比第一次达到 1 时即撤离火灾, 所以耦合区不长, 形成的组合波导中 LP_{01} 和 LP_{11} 模的二个偏振方向的传播常数差还不能分离^[6]。

另外这种耦合器属对称臂型, 分束比随波长的变化相当敏感。我们的工作于 $1.52 \mu\text{m}$ 的 3dB 耦合器, 当波长偏离 $0.02 \mu\text{m}$ 时, (P_2/P_4) 将偏离 20%, 与文献[7]、[8]的结果相符。

感谢谢敏和戴兰发同志分别为本工作研制了测试线路和机械装置。感谢蔡英时、周书铨和陈锡坤同志对本工作的多方面支持。同时感谢上海光纤技术和现代通信研究所、上海光机所、电子工业部 23 所和上海石英玻璃厂在光纤和器件特性测试方面所给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] S. K. Sheem *et al.*; *Opt. Lett.*, 1979, 4, No. 10 (Oct), 322~324.
- [2] M. Digonnet *et al.*; *Appl. Opt.* 1983, 22, No. 3 (Feb), 484~491.
- [3] T. Bricheno *et al.*; *Electron. Lett.*, 1984, 20, No. 6 (Mar), 230~232.
- [4] J. Bures *et al.*; *Appl. Opt.*, 1983, 22, No. 12, Jun, 1918~1922.

- [5] R. G. Lamont *et al.*; *Appl. Opt.*, 1985, **24**, No. 3 (Feb)327~332.
[6] A. W. Snyder; *Electron. Lett.*, 1985, **21**, No. 14 (Jul)623~625.
[7] C. Ragdale *et al.*; «*Proc of 1st International Conference on Optical Fiber Sensors*», London, 1983, 75~78.
[8] D. B. Mortimore; *Electron Lett.*, 1985, **21**, No. 17 (Aug), 742~743.

Wide-Temperature And Low-Loss Single-Mode Directional Coupler

LU SHAN DA, FENG MING HE, HUANG YONG

(*Department of Physics, Shanghai University of Science and Technology*)

(Received 9 November 1987; revised 14 March 1988)

Abstract

This paper describes the fabrication of a wide-temperature and low-loss fused single-mode optical fibre coupler. The device is fabricated from standard communication fibre. The specifications of the package device at $1.52\ \mu\text{m}$ are as follows: splitting ratio $\approx 50\%$, splitting ratio tolerance $< \pm 5\%$, operating temperature range from -30 to $+70^\circ\text{C}$, insertion loss $< 0.2\ \text{dB}$, directivity $> 40\ \text{dB}$. The splitting ratio is highly sensitive to operating wavelength, but insensitive to polarization of input light.

Key words: fused fabrication method, single-mode fiber, directional coupler.