

光纤耦合器对光谱响应的研究*

崔静, 蔡志岗, 王福娟, 曹源

(中山大学光电材料与技术国家重点实验室, 广东 广州 510275)

摘要:通过对耦合的理论分析,模拟了实际的拉锥过程,构建了光纤耦合器对光谱响应特性的理论模型。详细分析了不同熔烧长度和不同拉伸距离对光谱响应的影响,熔烧长度越短,拉锥曲线震荡越剧烈,到达归一化光功率为0.5所需要的拉伸长度越短,会出现更多的震荡包络;拉伸距离越长,产生的包络震荡越多,波长间隔越密,对光谱响应越为敏感,从实验中验证其合理性。这一模型的建立将大大减少实际工作中的盲目性,对光纤耦合器制作有一定的指导意义。

关键词:光纤耦合器;熔融拉锥;光谱响应

中图分类号: TN252 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2011) 02-0058-04

Study on Spectrum Response of Fused Optical Fiber Coupler

CUI Jing, CAI Zhigang, WANG Fujuan, CAO Yuan

(The State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technology,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on the theoretical analysis of fiber-optical coupling, the spectral response of fused optical fiber coupler has numerically modeled by simulating the fabricating process of fiber tapers. The influence of different fusion lengths and drawing distances on the spectral response has been analyzed in details. The results indicate that a shorter fusion length leads to a stronger vibration of the curves of normalized power vs. drawing distance and thus a shorter time for reaching a normalized power of 0.5, which results in more envelopes in the curves. Also, a longer drawing distance leads to more envelopes, smaller wavelength intervals and thus a more sensitive spectral response. The validity of the theoretical results has been confirmed by the experiments. This theoretical model is potentially useful for fabricating fused optical fiber couplers.

Key words: fused optical fiber coupler; fused biconical taper; spectrum response

作为构成光纤网络重要的组成部分,单模光纤耦合器是光纤测量技术、光纤传感器^[1-2]、光纤接入系统等领域中的一种应用十分广泛的无源器件^[3]。国内外普遍采用熔融拉锥法(FBT)制作光纤耦合器,用这种方法制作的光纤耦合器,具有低成本、低损耗、易制作且高性能等特点。目前国内的研究范围主要集中在分光比^[4]、制作工艺和相关光纤器件研究等方面^[5-8],而在光纤耦合器对光谱响应的研究较少,更没有较为符合实际情况的理论模型依据,这使得在研究和制作光纤耦合器存在

一定的盲目性。

本文通过对熔融拉锥的理论分析,模拟实际的拉锥过程,提出了光纤耦合器对光谱响应特性的理论模型,并从实验中予以验证其合理性和实效性。这将大大减少目前实际器件研制中的盲目性,对将来更进一步的研究有一定的指导意义。

1 耦合器结构模型及偏振调制分析

熔融拉锥法是将除去涂覆层的光纤以一定的方式靠拢,在高温下熔融,并同时顺轴线向两侧拉

* 收稿日期: 2010-04-19

基金项目: 广东省科技计划资助项目(2005B10201040)

作者简介: 崔静(1982年生),女,硕士;通讯作者: 蔡志岗; E-mail: lasers@netease.com

伸, 最终在加热区形成双锥形式的特殊波导结构, 从而实现耦合的一种制作方法。

图1为耦合器的结构模型, l_b 为融锥区长度, 即为火焰宽度, l 为拉伸长度, 假设融锥前后体积不变, 则光纤半径为^[9]:

$$a(z) = \begin{cases} a_0 \exp[-l/(2l_b)] & |z| \leq l_b/2 \\ a_0 \exp[-(l+l_b-2|z|)/(2l_b)] & l_b/2 < |z| \leq (l+l_b)/2 \\ a_0 & |z| \geq (l+l_b)/2 \end{cases} \quad (1)$$

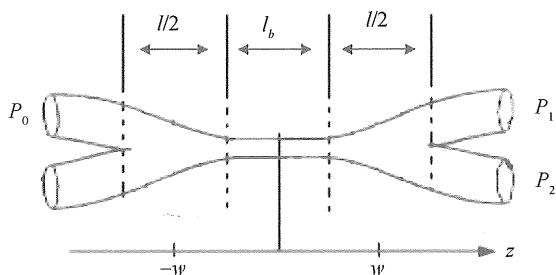


图1 耦合器的结构模型

Fig. 1 Model structure of the couplers

由于拉伸的过程会使光纤的直径变小, 在强耦合条件下, 光纤纤芯的效应可以被忽略, 认为绝大部分的功率将由光纤包层和周围的介质(一般为空气)所传导, 形成了新的光波导结构。这时波导的归一化频率 V 和相对折射率差都比较大, 实质上是一个多模波导, 但是由于激励模式是基模, 其在波导中主要激励起一阶对称模和反对称模^[10]。假设输入光 $P_0 = P_{ox} + P_{oy}$, 则直通臂 P_1 和耦合臂 P_2 的输出功率为^[11]:

$$P_1 = P_{1x} + P_{1y} = P_{ox} \cos^2 \Delta\phi_x + P_{oy} \cos^2 \Delta\phi_y \quad (2a)$$

$$P_2 = P_{2x} + P_{2y} = P_{ox} \sin^2 \Delta\phi_x + P_{oy} \sin^2 \Delta\phi_y \quad (2b)$$

其中 $\Delta\phi_x$ 和 $\Delta\phi_y$ 分别是对称模和反对称模在 x 和 y 偏振方向的相位差, 表示为

$$\Delta\phi_i = \int [(\beta_e^i - \beta_o^i)/2] dz = \int C_i dz \quad (3)$$

这里 $C_i = (\beta_e^i - \beta_o^i)/2$ 定义为 i (x 或者 y) 偏振方向的耦合强度, 而 β_e^i 和 β_o^i 分别为对称模和反对称模的传播常数。假设 P_0 为非偏振光, $P_{ox} = P_{oy} = P_0/2$, 则(2a)式可转化为

$$P_1 = \frac{1}{2} [1 + \cos \int_{-w}^w (C_x(z) + C_y(z)) dz \cdot \cos \int_{-w}^w (C_x(z) - C_y(z)) dz] \cdot P_0 \quad (4)$$

考虑强耦合理论条件^[12]

$$C_x + C_y = \frac{3\pi\lambda}{32n_1 a^2} [(1 + \frac{1}{V})^{-2} + (1 + \frac{n_2^2}{n_1^2} \frac{1}{V})^{-2}]$$

$$C_x - C_y = \frac{3\pi\lambda}{16n_1 a^2} \frac{1}{V} [1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}]$$

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

这里, V 为归一化频率, λ 为波长, n_1 为光纤的包层折射率, n_2 为空气折射率。

从(4)式可看出直通臂 P_1 的光功率变化是被余弦慢包络调制的快速振荡的余弦曲线, 耦合的偏振灵敏主要是由于耦合区内的几何双折射和应力双折射导致的对称模和反对称模分别在 x 偏振方向和 y 偏振方向上的传播常数差不一致造成的。而调制慢包络由 $C_x - C_y$ 决定, 包络里的快速振荡由 $C_x + C_y$ 决定; 其中 $C_x - C_y$ 是由于双折射造成的, 和偏振态有关。

2 理论模拟和实验分析

2.1 拉锥过程的实验与模拟

在制作耦合器时, 如果在得到所需要的分光比之后并不停止而是继续控制光纤时, 会在输出端口出现光功率振荡现象, 并且振荡周期越来越短, 振荡的包络越来越小, 在归一化光功率为 0.5 之后, 则会出现更多的振荡包络, 功率变化更剧烈, 振荡周期更短, 图2分别是 $l_b = 5$ mm, 拉伸长度 $l = 22$ mm 直通臂 P_1 实验和理论拉锥曲线。

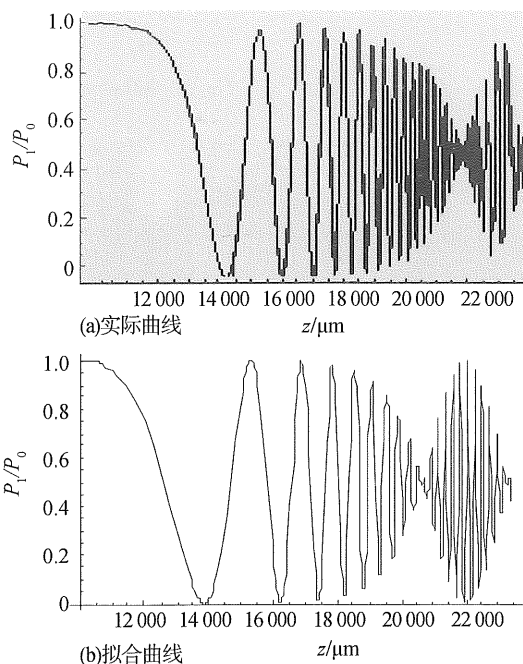


图2 直通臂的拉锥实际曲线和理论拟合曲线

Fig. 2 The experimental curve and fit curve of the direct arm

2.2 不同火焰宽度对拉锥过程曲线的影响

从(1)式可知, 不同的火焰宽度使得光纤半

径 a 有所不同, 则直接影响了直通臂的输出光功率, 图 3 为不同火焰宽度 l_b 在相同拉伸长度 25 mm 下的光功率曲线。

从图 3 中可以看出, 火焰宽度越窄, 拉锥曲线震荡越剧烈, 到达归一化光功率为 0.5 所需要的拉伸长度越短, 会出现更多的震荡包络。

2.3 不同火焰宽度对光谱响应曲线的影响

图 4 为不同火焰宽度 l_b 在相同拉伸长度 25 mm 下的光谱响应曲线, 正是由于图 3 拉锥过程中的震荡, 使得耦合器本身对不同波长有了不同的响应, 拉锥时震荡越剧烈, 产生的波长响应调制周期越小。

2.4 不同拉锥距离对光谱响应的影响

图 5 为火焰宽度 5.0 mm, 拉伸长度为 19.5 mm 时模拟和实验的光谱响应曲线, 其拉锥位置如图 3(d) 所示。

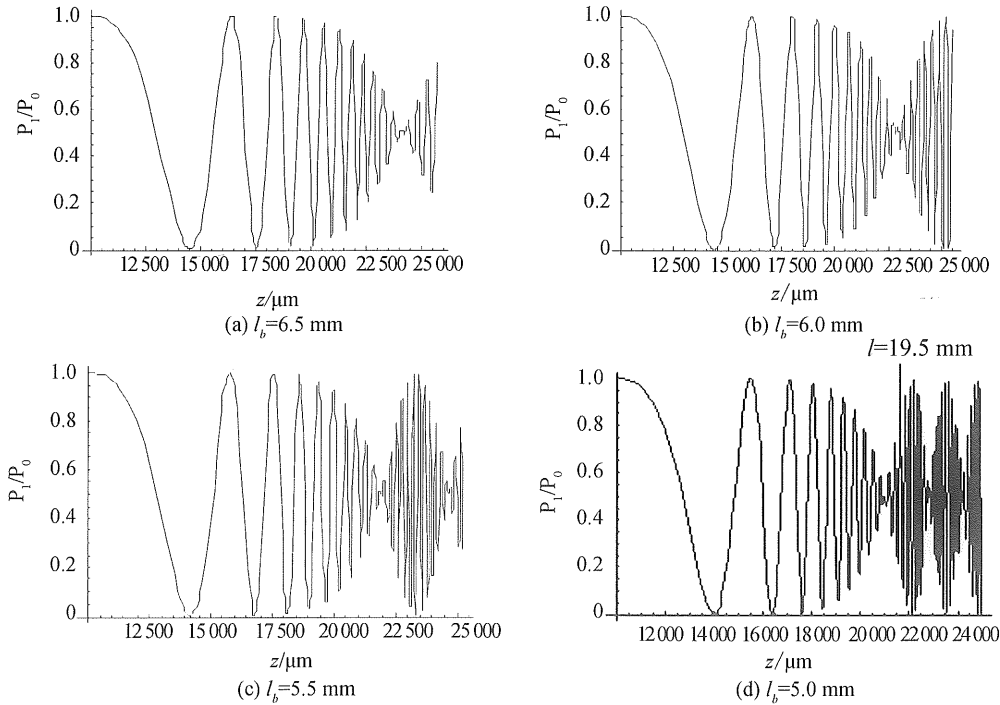


图 3 不同火焰宽度对拉锥过程影响曲线图

Fig. 3 Influence of the burned length in the process of the FBT

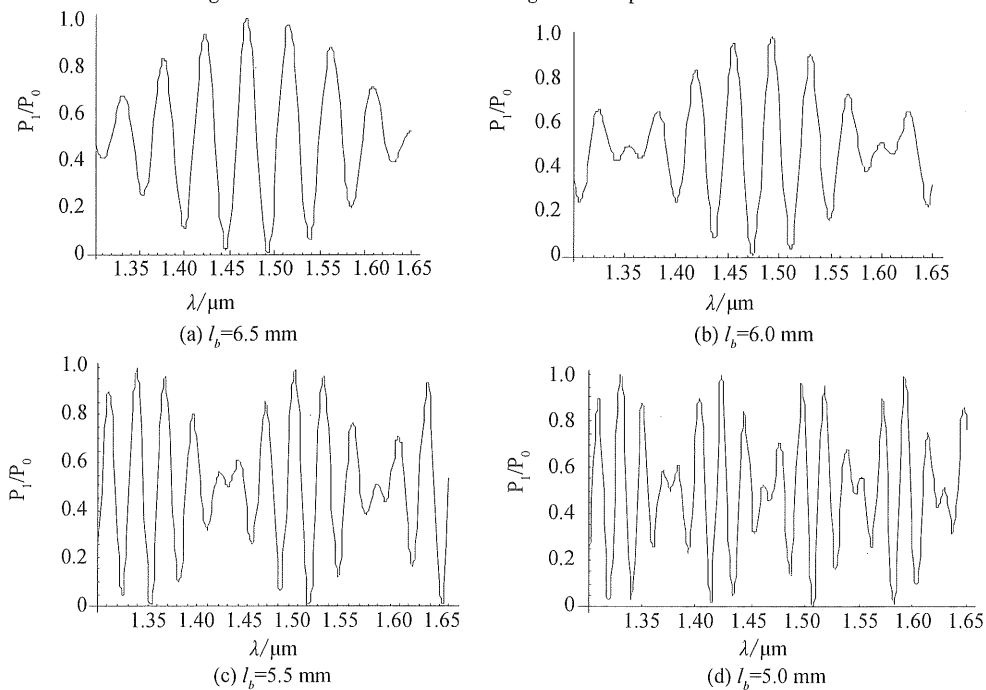


图 4 不同火焰宽度对光谱影响曲线图

Fig. 4 Influence of the burned length to the spectrum

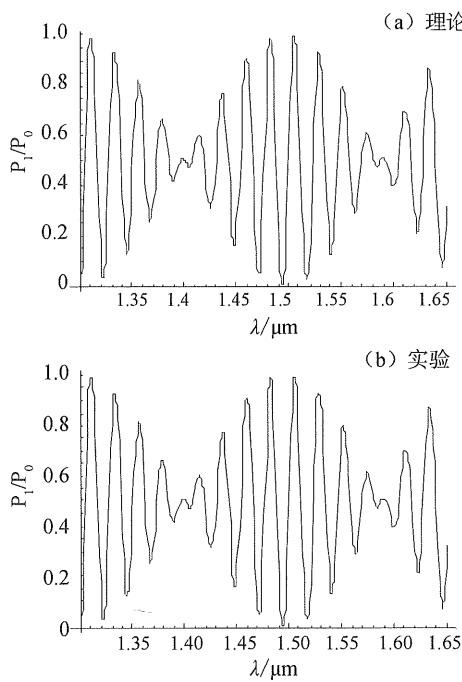
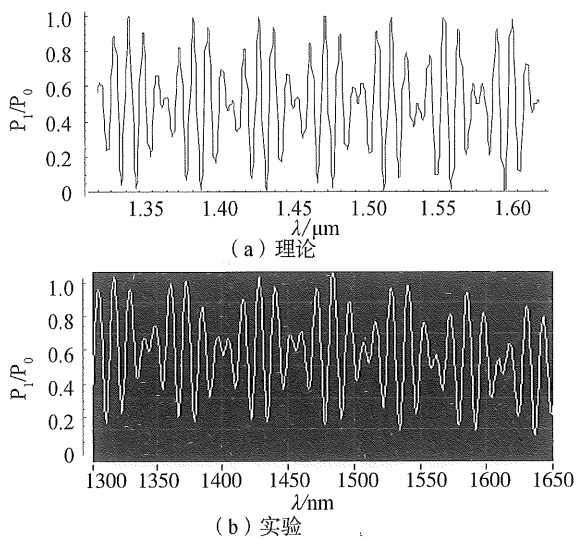
图5 光谱响应曲线 ($l=19.5$ mm)Fig. 5 The spectrum when l equals 19.5 mm

图6为火焰宽度5.0 mm, 拉伸长度为26.0 mm时模拟和实验的光谱响应曲线。

图6 光谱响应曲线 ($l=26.0$ mm)Fig. 6 The spectrum when l equals 26.0 mm

从上述两个实验结果和理论拟合可以看出, 相同的熔烧宽度, 不同的拉锥长度所制作出的光纤耦合器对光谱响应也不同, 拉锥长度越长, 产生的包络震荡越多, 波长间隔越密, 对光谱响应越敏感。

3 结论

本文通过熔融拉锥理论的研究, 实现了熔融拉

锥制作过程的模拟, 与实验结果比较相符, 能够与实际的器件研制相对应, 理论模型使用有效。提出的光纤耦合器对光谱响应特性的理论模型, 对不同熔烧距离和拉锥长度的光纤耦合器的光谱响应分析得到: 熔烧长度和拉锥距离越长, 会使光谱响应的波包数量越多, 震荡越密集, 且调制慢包络所含有的快速震荡越少, 对光谱响应越敏感, 这些模拟与实验结果相当吻合。这一模型的建立将大大减少目前实际工作中的盲目性, 对进一步的研究光谱响应特性有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 林学焯. 光无源器件[M]. 北京:人民邮电出版社, 2001:251-260.
- [2] 马宾, 隋青美, 徐健. 耦合型光纤振动传感器设计与分析[J]. 半导体光电, 2008, 29(3):430-433.
- [3] 傅思镜, 刘叶新, 童洲森. 单模光纤熔锥型 OADM 耦合率的计算[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2001, 40(2):122-124.
- [4] 柳春郁, 余有龙, 高应俊. 耦合器分光比的精确控制[J]. 光学技术, 2004, 30:743-744.
- [5] 帅词俊, 段吉安, 苗建宇. 工艺参数对光纤耦合器性能影响的实验研究[J]. 光通信技术, 2004(12):13-15.
- [6] 吕敏, 冯志江, 杨笛. 熔锥型宽带耦合器的研制[J]. 应用光学, 2007, 28(6):793-796.
- [7] 余有龙, 曹雪, 刘盛春. 熔锥型光纤反射器特性研究[J]. 物理学报, 2007, 56(11):6490-6495.
- [8] 鲁怀伟, 章宝歌, 李敏芝. 基于双耦合器的平坦型全光纤波长交错滤波器[J]. 光学精密工程, 2006, 14(2):145-150.
- [9] EISENMANN M, WEIDEL E. Single-mode fused biconical couplers for wavelength division multiplexing with channel spacing between 100 and 300 nm[J]. J Lightwave Technol, 1988, 6:113-119.
- [10] YOKOHAMA I, OKAMOTO K, NODA J. Analysis of fiber-optic polarizing beam splitters consisting of fused-taper couplers[J]. J Lightwave Technol, 1986, 4:1352-1359.
- [11] WU T L. Three-dimensional electromagnetic modeling of fiber-core effects on the coupling characteristics of weakly fused tapered fiber-optic couplers[J]. J Lightwave Technol, 2000, 18:1024-1030.
- [12] PAYNE F P, HUSSEY C D, YATAKI M S. Polarization analysis of strongly fused and weakly fused tapered couplers[J]. Electronics Letters, 1985, 21(13):561-563.