

## 熔融拉锥型单模光纤光功率比耦合器的研制\*

戴建广<sup>1,2</sup> 陈江博<sup>1</sup> 王丽<sup>1</sup><sup>(1)</sup>北京工业大学应用物理系,北京 100022; <sup>(2)</sup>洛阳工业高等专科学校自动化系,河南 洛阳 471003)

**摘要** 本文由耦合波方程出发推导了熔融拉锥单模光纤耦合器的功率耦合比与拉伸长度的关系,并数值计算了光纤耦合器的光功率分配。实验上利用实验室现有的设备制作出 $2 \times 2$ 型、单窗口 $1 \times 2$ 型 $1550\text{nm}$ 宽带耦合器,并完成了对制备出的光纤耦合器的光功率检测。通过理论与实验的比较得出熔融拉锥机制备的单模光纤光功率比耦合器的耦合曲线与理论上的耦合曲线基本一致,制备出的耦合器符合耦合器检验标准。

**关键词** 熔融拉锥机 光无源器件 耦合波理论 光纤耦合器

## Manufacture of optical power couplers on all-fiber by fused biconical taper

Dai Jianguang<sup>1,2</sup> Chen Jiangbo<sup>1</sup> Wang Li<sup>1</sup><sup>(1)</sup>Department of Applied Physics, Beijing University of Technology, Beijing 100022,<sup>(2)</sup>Luoyang College of Technology, Henan Luoyang 471003)

**Abstract** In this paper, the relations of the ratio of power coupling and length of drawing in the standard fused and tapered coupler were obtained using the coupling wave equation, and the distribution of optical fiber coupling was simulated. The optical powers with the finished coupler were analyzed, and have finished  $2 \times 2$ , single-window  $1550\text{nm}$   $1 \times 2$  wide band couplers in the experiment. These results of all-fiber power couplers of manufactured in experiment are according with theories results and the proof-test standard.

**Key words** fusing and tapering instrument parts of apparatus without light coupling wave theory optical fiber coupler

全光纤耦合器已经被广泛地应用于不同的光通信系统中,而生产这种耦合器几乎是百分之百地采用熔融拉锥分支(Fused Biconical Taper, FBT)技术,采用这种技术制造的全光纤型耦合器具有很低的插入损耗,精确的分光比,良好的一致性和稳定性以及很高的性价比<sup>[1]</sup>。入射的光功率在这个双锥体结构的耦合区发生功率再分配,一部分光功率从“直通臂”继续传输,另一部分光从“耦合臂”传输到另一光路,实现光功率的耦合。利用 FBT 技术来制造高隔离度的波分复用器和滤波器等光通信系统中所需的重要无源器件<sup>[2]</sup>。本文在理论和实验上完成了熔融拉锥单模光纤耦合器的功率耦合比与拉伸长度的关系,并数值计算了光纤耦合器的光功率分配。

## 功率耦合比与拉伸长度的关系

熔锥法制作光纤耦合器,是将打结或平行放置的两根同质光纤置于氢氧焰下加热,通过拉锥,得到按一定比例分光的光束耦合器件。光纤被加热后纤芯扩散,由原来的芯-包层全反射变为纤芯-空气全反

射。如图1所示, $L$ 为耦合区轴向长度, $P_0$ 、 $P_1$ 、 $P_2$ 分别为输入、输出光功率。理论上,假设光功率由一根光纤注入,则初始条件为 $P_1(0) = 1$ ,  $P_2(0) = 0$ ,则耦合器两输出端的光功率为:

$$\begin{cases} P_1(z) = |A_1(z)|^2 \approx 1 - F^2 \sin^2\left(\frac{Cz}{F}\right) \\ P_2(z) = F^2 \sin^2\left(\frac{Cz}{F}\right) \end{cases} \quad (1)$$

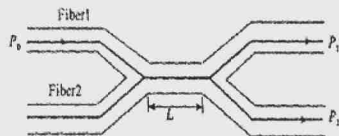


图1 熔锥型光纤耦合器原理图

当两根光纤选用相同时,波导常数 $\beta_1 = \beta_2$ ,耦合功率 $F^2 = \left[ 1 + \frac{(\beta_1 - \beta_2)^2}{4c^2} \right]^{-1} = 1$ ,则(1)式变为

\* 北京市自然科学基金(4062008)资助项目

2006年9月26日收稿

标准熔融拉锥单模光纤耦合器功率耦合比与拉伸长度的关系:

$$\begin{cases} P_1(z) = \cos^2(cz) \\ P_2(z) = \sin^2(cz) \end{cases} \quad (2)$$

对(2)式数值计算,得到光纤间最大耦合功率与光纤耦合区拉伸长度的关系曲线,如图2所示。由图2可知,如拉伸终止点在C点,则器件对于工作波长敏感性逐渐增大,若使C点处于我们所希望的分光比的位置,就能在相应的中心波长获得最大的工作带宽,获得“单窗口宽带耦合器”。如果将拉伸终止点选在D点,就可以改善两个中心波长的工作带宽,获得“双窗口宽带耦合器”。也就是说,能够将C点或D点调整到所希望的功率分配位置,实质上就是使两根光纤之间不完全功率转换,即光纤间的最大耦合功率 $F^2 < 1$ 。当两根光纤的波导常数 $\beta_1$ 与 $\beta_2$ 不相同,可以保证 $F^2 < 1$ ,因此通过改变两根光纤的传播常数,可以实现宽带器件的制备。

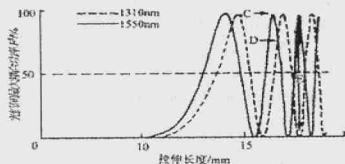


图2 耦合比与拉伸长度的关系

## 实验结果

### 1. X型耦合器制作及检测

实验上采用美国BAYSPEC公司生产的熔融拉锥机,激光光源为1310nm和1550nm的半导体激光器,当两根单模光纤经过熔融拉锥机的熔融拉锥,制作成3dB的X型耦合器。拉锥机记录的耦合曲线,如图3所示,其具体参数设置如表1所示。

采用EXFO光纤功率能量计测得X型功率比耦合器的输出端光功率实验曲线,如图4所示。

表1 熔融拉锥参数设置

H <sub>2</sub> Flow Set(H <sub>2</sub> 流量)	75
Position(火头位置)	200
Pull Cycle	5
Coupling Ratio(耦合比率)	0.5
Motion Speed(拉锥速度)	0.6
Band Index	78.5

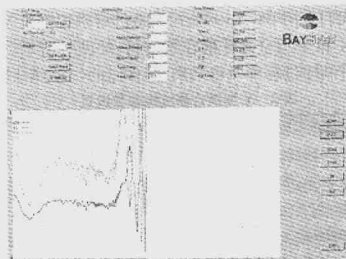


图3 制作X型耦合器的拉锥曲线

由图4可知,制作出的该3dB X型耦合器插入损耗小于0.4dB,附加损耗小于3.7dB,方向性大于57dB以及分光比均达到了X型(2×2)耦合器的检验指标要求。

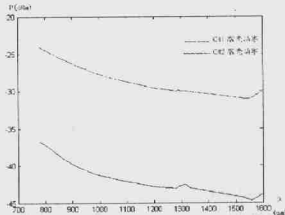


图4 X型光功率耦合器输出端光功率

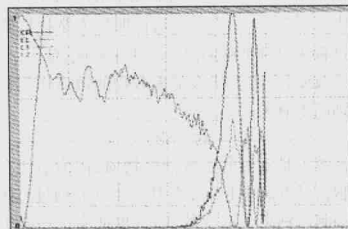


图5 制作Y型耦合器的拉锥曲线

### 2. Y型耦合器制作及检测

采用1550nm半导体激光器为光源,使用BAYSPEC熔融拉锥机制作3dB的Y型耦合器,其预置拉锥参数如表2所示。拉锥机记录的拉锥曲线,如图5所示。对制作的Y型耦合器进行输出端功率测量,其检测结果,如图6所示。由图可知,以波长为1550nm半导体激光器为光源的耦合器参数符合Y型(1×2)耦合器的主要技术指标。

我们采用 Bay Spec 公司制造的熔融拉锥机制作出的 X 和 Y 型全光纤耦合器实物,如图 7 所示。通过分析制作过程和所得结果,制作出的二种耦合器

表 2 Y 型耦合器拉锥参数设置

H2 Flow Set	75
Position	201
Pull Cycle	5
Coupling Ratio	0.5
Motion Speed	0.7
Band Index	78.5

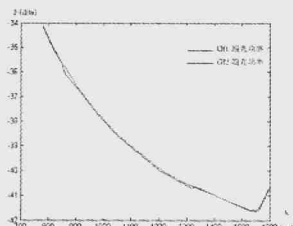


图 6 Y 型光功率耦合器输出端光功率

的主要性能参数均符合要求,也基本达到耦合器普通级检验标准,并且拉锥机显示的耦合曲线与理论上耦合曲线基本一致。通过全光纤熔融拉锥功率比耦合器的制备,体会到熔融拉锥机的主拉伸平台的移动精度、氢气的流量、光纤的清洁、耦合器的封装、拉伸速度的控制、火头位置等均会影响到耦合器的光学性能,其中最重要的是拉伸速度、火头位置以及耦合器的封装将直接影响耦合器的研制。

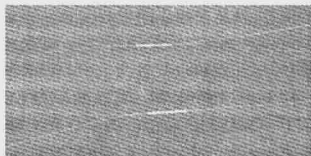


图 7 耦合器实物图(上方为 Y 型耦合器,下方为 X 型)

#### 参考文献

- [1] 林光等, 光纤与电缆及其应用技术, 2002 年第 3 期
- [2] 贾 波等, 中国激光, 2002, 29(7)
- [3] 柳春郁等, 激光杂志, 2004, 25(5)
- [4] M. Lohmeyer, et al, *Fachbereich Physik*, 2003, 7
- [5] W. shin, et al, *Optics Letters*, 2002

(上接第 461 页)

可以反映出细胞内  $[Ca^{2+}]_i$ 。检测结果表明, 给药组小白鼠脑细胞内  $[Ca^{2+}]_i$  明显低于对照组小白鼠脑细胞内  $[Ca^{2+}]_i$  (见图 1)。这说明仙人掌提取物在镇痛过程中对脑细胞钙离子产生了影响, 使  $[Ca^{2+}]_i$  发生了改变, 证实了仙人掌提取物的镇痛作用与细胞内钙离子有关。

#### 讨 论

钙离子是重要的生理活性物质, 作为信使在调节细胞信号发放中起重要作用。本实验通过直接测定脑细胞内钙离子浓度的变化, 也证实了钙离子的这种作用。

正常钙离子浓度的维持是保持细胞结构完整及功能正常的重要因素, 在正常情况下, 细胞内  $[Ca^{2+}]_i$  为 50 - 150 nmol/L, 细胞外  $[Ca^{2+}]_o$  为 1.2 - 1.3 mmol/L, 因此, 细胞内  $[Ca^{2+}]_i$  超载可导致细胞一系列代谢异常, 甚至与细胞死亡有直接关系。细胞  $[Ca^{2+}]_i$  的降低可能有 2 种途径: 以结合态形式储存在线粒体内或内质网等库中; 在细胞内“钙泵”的作用下被排出体外。本实验仙人掌提取物

镇痛作用能降低细胞  $[Ca^{2+}]_i$ , 提示在镇痛过程中, 胞浆游离钙可能通过细胞膜或线粒体膜的作用而降低的, 通过改变神经细胞膜内外  $[Ca^{2+}]_i$ , 以改变细胞膜电位, 使痛信号传递中断, 达到镇痛作用效果。

激光扫描共聚焦显微镜是在普通光学显微镜的基础上加装了激光扫描装置, 并利用计算机的图像处理技术, 不仅使光学成像的分辨率提高了 30 - 40%, 而且使其在医学和生物学、材料等研究领域有了广泛的应用前景。目前, 激光扫描共聚焦显微镜以其独特的优势已成为钙研究中的重要手段之一, 它能连续动态观察标本的特性, 在活组织上进行形态学的观察和测量, 能更实际地反映生理状态的变化, 准确地定位在细胞的某一个层面扫描, 从而克服了传统光学显微镜影像重叠的弊病, 更能精确地反映细微的变化。

#### 参 考 文 献

- [1] 韦国锋等, 右江民族医学院学报, 2003, 25(5): 597
- [2] 张祖喧等, 科学通报, 198025(8): 375
- [3] 李楠等, 激光扫描共聚焦显微术, 北京: 人民军医出版社, 1997, 26 - 72.