



# 熔锥型光纤耦合器的工艺与显微形貌研究

帅词俊, 段吉安, 苗建宇, 蔡国华

(中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:** 以六轴光纤耦合机为实验平台,研究了熔融拉锥光纤耦合器的工艺、性能、显微形貌三者之间的相关规律。利用热电偶和电位差计测得了熔融拉锥时火焰的温度场分布,利用扫描电子显微镜观察了光纤耦合器的显微形貌。经大量观测实验研究发现:在光纤耦合器的锥形区域,存在破裂,并且拉伸速度越快,破裂越明显;在光纤耦合器的耦合区域,光纤表面存在微小晶粒,而内部没有发现微晶,即光纤耦合器玻璃表面发生了析晶现象,且拉伸速度越慢,晶粒越大。

**关键词:** 显微形貌; 耦合器; 熔融拉锥

**中图分类号:** TN253 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5868(2005)02-0108-04

## Technology and Micromorphology of Fused Taper Fiber Coupler

SHUAI Ci-jun, DUAN Ji-an, MIAO Jian-yu, CAI Guo-hua

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, CHN)

**Abstract:** Using the six-axes optic fiber coupler machine as experiment platform, the rule between the three of technology, performance and microstructure of optical fiber coupler is investigated. By using thermocouple and potentiometer, the flame temperature in fused biconical taper (FBT) region is measured. The structural shape of the optical fiber coupler is observed by using scanning electron microscope (SEM). Through a large amount of experiments, it is found that there exist the cracks in the taper region. And the faster to draw is the more obvious to cracks will be. In the coupling region, there are little crystallines on the surface of the coupler, and there isn't little grain inside, namely the coupler surface happened to the crystallizing phenomenon in coupling region. And the lower to draw is, the bigger the crystalline grain will be. The production of the cracks may be caused by the heat stress.

**Key words:** micromorphology; fiber coupler; fused elongated taper

## 1 引言

光纤耦合器是一种光分路与合路的重要光无源器件,已经广泛应用于光纤通信网、光纤传感器以及相干光检测中<sup>[1,2]</sup>。而生产这种光纤耦合器的基本技术是熔融拉锥分支(Fused Biconical Taper, FBT)技术,熔融拉锥技术就是利用熔融拉锥两根单模(或多模)光纤,产生一段双向圆锥结构。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<sup>[3~5]</sup>。采用这种技术制造的全光纤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>[6~9]</sup>。但目前市场上广为应用的光纤耦合器有两方面的问题,其一,成品率不高所反映的制备工艺优化与稳定的问题,其二,合格产品的光学性能差异问题。本文拟通过研究制备工艺与结构形状的关系,找到解决问题的方案。

收稿日期:2004-07-29.

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(50235040);中南大学创新工程资助项目(030616).

## 2 光纤耦合器的制备

### 2.1 实验台

本文选用直径为  $125\ \mu\text{m}$ , 纤芯经过渗  $\text{GeO}_2$  处理, 包层为纯  $\text{SiO}_2$ , 采用 MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition) 法制作的单模光纤作为原材料。以 XYGD-SA2002 型六轴光纤耦合机为实验平台, 如图 1 所示。

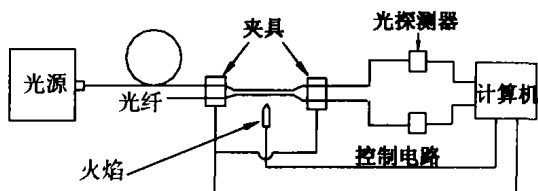


图 1 实验台示意图

### 2.2 实验方法与实验条件

试验流程见图 2, 包括光纤的剥覆、打结、清洁, 均用手工完成。在耦合器拉制过程中, 光功率探测器将探测到的光功率转换成电信号, 经过数模转换电路转换成数字信号传送到计算机系统, 计算机将这些数据处理后, 计算出相应的分光比、插入损耗、附加损耗等参数, 并实时显示出来。当输出端达到操作者预先设定的分光比时, 计算机发出停机指令, 主拉锥平台自动停止拉锥, 并且退出火炬。取出没

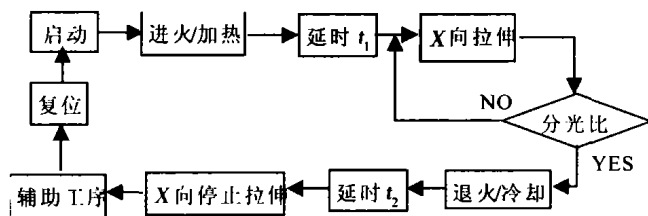


图 2 实验流程

有封装的耦合器作为测试样, 改变拉伸速度, 获得不同拉制工艺条件下的试样。预设分光比设定为 44, 预热延时  $t_1$  设定为 18 s。

### 2.3 实验温度的测定

熔融温度是选用 99.999% 的丙烷和 99.99% 的氧气燃烧获得, 并利用 K 系热电偶和 UJ-33 型电位差计对温度进行测量。由于火焰的温度分布是中央对称的, 故采取从火焰的中心位置开始, 沿着 X 方向测量, 每隔 0.1 mm 计数一次, 测得火焰的温度分布如图 3。由图 3 可得, 火焰中央位置 ( $X=0$ ) 的温度最高, 并随着位置远离中央位置, X 增大, 火焰的温度逐渐降低, 在  $X=4.1\ \text{mm}$  时, 火焰的温度只有  $656\ ^\circ\text{C}$ , 已远远低于光纤的熔融温度, 所以这里只测了 X 从 0~4.1 mm 区间内的温度。

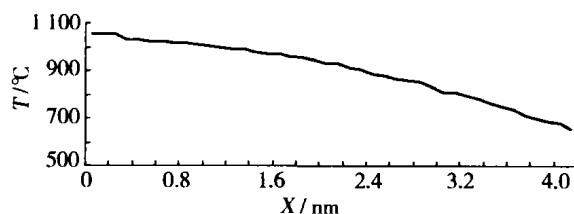


图 3 火焰温度场分布

## 3 实验过程与结果

### 3.1 不同拉伸速度下的损耗与分光比

为防止引进不必要的误差, 如制造的温度、湿度等, 速度从  $50\ \mu\text{m/s}$  到  $400\ \mu\text{m/s}$  每隔  $25\ \mu\text{m/s}$  做一组数据, 做完一组后, 再重新做另一组实验, 本实验共做了 10 组 150 个实验数据取平均值, 如表 1 所示。

表 1 实验数据

预设分光比	分光后拉伸长度/ $\mu\text{m}$	拉伸速度/ $(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	开始分光时间/s	总时/s	实际分光比	插入损耗/dB
44	13 500	50	245	286	50.98	0.45
44	13 800	75	169	198	50.11	0.44
44	13 700	100	135	154	50.12	0.42
44	13 100	125	105	122	50.5	0.20
44	14 500	150	99	114	51.17	0.11
44	14 400	175	87	100	51.53	0.23
44	15 500	200	83	95	52.52	0.48
44	14 900	225	73	84	52.2	0.50
44	14 600	250	67	76	53.1	0.73
44	14 800	275	63	72	53.2	0.78
44	14 900	300	60	68	53.13	0.98

续表 1

预设分光比	分光后拉伸长度/ $\mu\text{m}$	拉伸速度/ $(\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	开始分光时间/s	总时/s	实际分光比	插入损耗/dB
44	14 200	325	55	62	52.21	1.72
44	14 400	350	53	60	52.7	1.32
44	14 600	375	51	57	53.82	1.63
44	14 300	400	49	55	51.74	1.71

根据表 1 可得到不同拉伸速度下的损耗曲线(如图 4)。

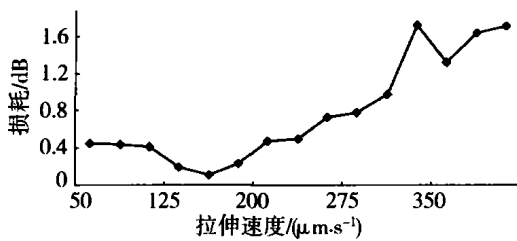


图 4 拉伸速度与损耗

由表 1 和图 4 可得,在当前的实验条件下,当拉锥速度小于  $150 \mu\text{m/s}$  时,损耗随着速度的增加而逐渐减小,当速度大于  $150 \mu\text{m/s}$  时,损耗随着速度的增加而逐渐增大,在拉锥速度小于  $200 \mu\text{m/s}$  时,损耗相对较小,而在  $150 \mu\text{m/s}$  时,损耗最小,为  $0.11 \text{ dB}$ 。可见与当前火焰温度( $1054 \text{ }^\circ\text{C}$ )相搭配的拉伸速度为  $150 \mu\text{m/s}$ 。

### 3.2 测试与分析

由上述两熔锥光纤融合而成的光纤耦合器相应地可分成两部分,长为  $W$  的耦合区域和两个长为  $L$  的锥形区域,如图 5 所示。在耦合区域,复合波导由两平行熔锥光纤相互重叠组成,其横截面尺寸可视为恒定,在锥形区域,纤芯沿纵向呈梯度缓慢变化,锥度角在  $0.1^\circ \sim 0.3^\circ$  范围内<sup>[10,11]</sup>。

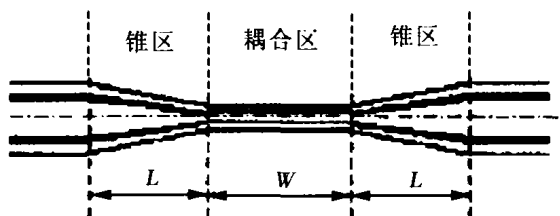
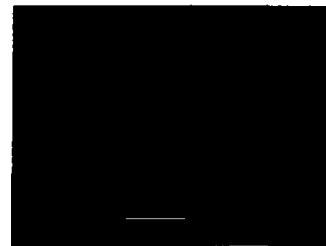
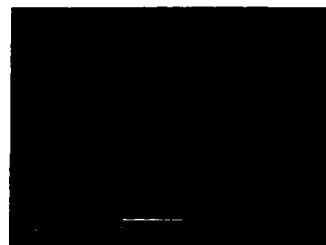


图 5 熔锥型光纤耦合器的结构示意图

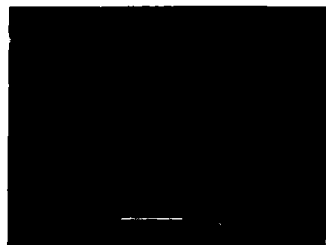
图 6(a)是光纤耦合器没有拉锥的原始表面,可以看出光纤的原始表面是很光洁的,图 6(b)、(c)和(d)是光纤耦合器耦合区的表面形貌,拉锥速度分别为  $75, 150$  和  $300 \mu\text{m/s}$ 。可以看出,光纤耦合器耦合区表面有很小的晶粒析出,并随着拉锥速度的增大,晶粒逐渐变小。



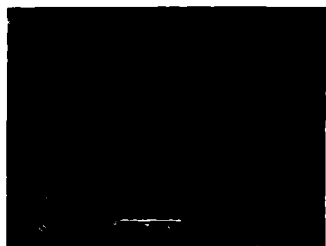
(a) 没有拉锥时光纤的表面形貌



(b) 拉锥速度为  $75 \mu\text{m/s}$  时耦合区的表面形貌



(c) 拉锥速度为  $150 \mu\text{m/s}$  时耦合区的表面形貌



(d) 拉锥速度为  $300 \mu\text{m/s}$  时耦合区的表面形貌



(e) 拉锥速度为  $150 \mu\text{m/s}$  时耦合区的截面形貌

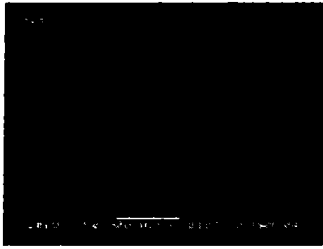
(f) 拉锥速度为 75  $\mu\text{m/s}$  时锥区的表面形貌(g) 拉锥速度为 150  $\mu\text{m/s}$  时锥区的表面形貌(h) 拉锥速度为 300  $\mu\text{m/s}$  时锥区的表面形貌

图6 拉伸速度对光纤微观结构的影响

把光纤耦合器从耦合区剪断,观察耦合区的截面,如图6(e),没有发现晶粒,即只在耦合区的表面发生了析晶现象,而内部没有发生析晶。发生析晶的原因可能是拉锥的温度恰好在石英玻璃的退火温度,石英玻璃的退火温度为1100℃左右,这时光纤玻璃会发生再结晶,而由于拉锥速度越慢,石英玻璃在高温下的时间越长,晶粒长得越大。

图6(f)~(h)是光纤锥区的表面形貌,可以发现,在锥区光纤没有析晶,可能是锥区的温度相对较低,时间较短,没有达到析晶的条件,而是发生了微裂纹,并且随着拉伸速度的增大,微裂纹也越来越明显。微裂纹的产生,可能是由于锥区处于火焰的边焰,温度较耦合区低,但温差较大,产生了较大的热应力,而导致光纤产生微裂纹。如果微裂纹继续扩展,或拉伸速度过快,将导致光纤耦合器拉断。

## 5 结论

拉锥速度对光纤耦合器的损耗等性能影响较大,在一定的火焰温度条件下,拉锥速度过高或过低,都会导致损耗增加,耦合器性能愈不稳定。

发现了光纤耦合器耦合区表面有微晶析出,并随着拉锥速度的增大,微晶逐渐变小。发现了光纤耦合区的锥区有微裂纹的产生,并随着拉锥速度的增大,微裂纹逐渐变大。

光纤耦合器耦合区表面的析晶与锥区微裂纹等缺陷的发现,以及与工艺参数对应的相关规律,对光纤耦合器实际生产有重要的指导意义。

## 参考文献:

- [1] 宋金声. 我国光无源器件的技术进展和发展趋势[J]. 世界宽带网络, 2002, 9(11): 16-18.
- [2] 杨伟. 光纤无源器件技术发展趋势[J]. 宽带世界, 2003, (3): 38-40.
- [3] WEI Dao-ping, ZHAO Yu-cheng. Study on novel  $2 \times 2$  single-mode biconical optical fiber couplers [J]. J. Northern Jiaotong University, 1998, 22(3): 56-58.
- [4] Diaouov E M. The different condition influence in the process drawing fiber from prefabricate stick[J]. Glass Technol., 1998, 12, 29(6): 123-129.
- [5] HU Xian-zi, ZHI Jing-jing. Research development of optical fibre material[J]. Optical Fiber Communication Technique, 1999, 29(1): 86-89.
- [6] 敖晖军. 全球光纤耦合器市场浅析[J]. 光纤通信, 2001, 23(2): 41-43.
- [7] Wong W, Choy Y L K. The manufacturing of an optical fiber coupler by the fusion elongation method [J]. J. Materials Processing Technology, 1999, 63(1): 325-331.
- [8] WU Xi-ming. Some key species of optical fiber couplers [J]. Optical Fiber Communication, 2002, 24(1): 41-436.
- [9] HONG Li-feng, GE Chun-feng. The full wave optical fiber coupler of the fused taped [J]. Acta Physica Sinica, 2003, 52(2): 390-394.
- [10] Payne F P, Hussey C D, Yataki M S. Modeling fused single-mode-fibre couplers[J]. Electron. Lett., 1985, 21(11): 461-462.
- [11] 鄢达, 李铮, 唐丹.  $2 \times 2$  熔锥型单模光纤耦合器的模型[J]. 光子学报, 2003, 32(11): 1316-1320.

## 作者简介:

帅词俊(1976—),男,湖南浏阳人,中南大学博士研究生,主要研究领域为光纤器件制造,计算机辅助设计与制造。

E-mail: shuaicijun@163.com