

## 光纤耦合器结构的红外光谱研究\*

帅词俊, 蔡国华, 苗建宇

(中南大学机电工程学院, 湖南长沙 410083)

**摘要:**为获得性能优良的熔锥型光纤耦合器,利用740 FT-IR显微红外光谱仪,研究了不同制作工艺条件下耦合器中石英玻璃结构的差异。测定了在不同拉伸速度时制作的光纤耦合器,石英玻璃在650~2000  $\text{cm}^{-1}$ 波数范围内的红外吸收光谱,观察到了石英光纤玻璃的两个特征峰,由Si-O-Si反对称伸缩振动引起的特征峰940~950  $\text{cm}^{-1}$ 和由Si-O-Si对称伸缩振动引起的特征峰770~780  $\text{cm}^{-1}$ 。由于工艺条件的不同,特征峰的强度和位置都发生了变化,并测量了其变化的大小。拉伸速度越快,石英玻璃中Si-O-Si键的不对称伸缩振动越强,且波数的移动与光纤耦合器的性能密切相关。

**关键词:**熔融拉锥; 耦合器; 红外光谱; 结构

**中图分类号:** TN253 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)05-0553-03

## Structure of optical fibre coupler with the infrared spectrometer\*

SHUAI Ci-jun, CAI Guo-hua, MIAO Jian-yu

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

**Abstract:** To obtain excellent performance optical fiber couplers, the structural difference of  $\text{SiO}_2$  in couplers under different manufacturing technique was investigated with 740 FT-IR micro infrared spectrometer. The infrared absorption spectra of  $\text{SiO}_2$  in couplers fabricated at different drawing velocities was measured. Two characteristic peaks in 650~2000  $\text{cm}^{-1}$  are observed. One characteristic peak is at about 943  $\text{cm}^{-1}$ , which attributes to Si-O-Si bond asymmetric stretching vibration, the other is at about 773  $\text{cm}^{-1}$ , which attributes to Si-O-Si bond symmetric stretching vibration. From the infrared spectrum, it is found that the characteristic peaks changes while the manufacturing technique is different. And the changing amount is measured. It is concluded that the asymmetric vibration of Si-O-Si is stronger in the glass of fiber coupler, and the wavenumber shift is the most important to the performance of the optical fiber couplers.

**Key words:** Fused biconical taper; Optical fiber coupler; Infrared spectrometer; Structure

收稿日期: 2004-12-14; 修订日期: 2005-01-18

\* 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)

作者简介: 帅词俊(1976-), 男, 湖南浏阳人, 讲师, 博士生, 主要研究领域为光电子器件制造, 计算机辅助工程, 发表论文30余篇, 其中7篇被SCI、EI检索。

## 0 引言

光纤耦合器是一种光功率、波长和偏振光分路与合路的重要光无源器件<sup>[1-3]</sup>,广泛用于光纤通信、光纤传感以及相干光检测中,目前主要用熔融拉锥法制作。这种耦合器具有良好的光学性能,拉制设备简单、成本低廉。其性能指标由熔锥区的形状与结构决定<sup>[4,5]</sup>。红外光谱是测定材料结构特征和光学性能的一种有效方法,常用于研究石英玻璃的结构、应力松弛、羟基含量、掺杂离子对网络结构的改性<sup>[6-8]</sup>等,红外光谱包括红外吸收、红外透射和红外反射三种方式,这三种方式的特征振动谱带位置大体一致。我们测定了三种不同拉伸速度时制作的光纤耦合器熔锥区的红外吸收光谱,并分析了石英玻璃的结构特征。

## 1 样品制备

### 1.1 实验装置

熔锥型光纤耦合器是利用“熔融拉锥”法在熔融拉锥机上拉制而成的,其方法是将两根(或以上)去除涂覆层的光纤以一定的方式靠拢,在高温加热下熔融,同时向两侧拉伸,最终在加热区形成双锥体形式的特殊波导结构,从而实现传输光功率耦合<sup>[9-11]</sup>。实验中,由高纯 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 和纯 O<sub>2</sub> 燃烧获得熔融火焰,利用 K 系热电偶和 UJ-33 型电位差计测得火焰的温度为 1200℃左右,实验装置如图 1 所示。

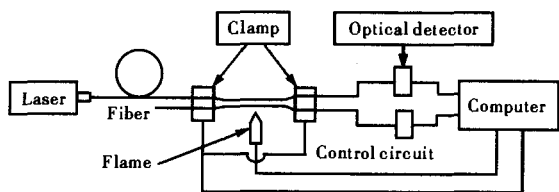


图 1 实验装置工作图  
Fig.1 Experimental table

### 1.2 实验流程

实验流程包括光纤的剥覆、打结、清洁,如图 2 所示,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并传送到计算机系统,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,当分光比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,并且退出火焰。取出没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。

在本试样中,预设分光比设定为 44,预热延时  $t_1$  为 18 s,  $t_2$  为 1 s。

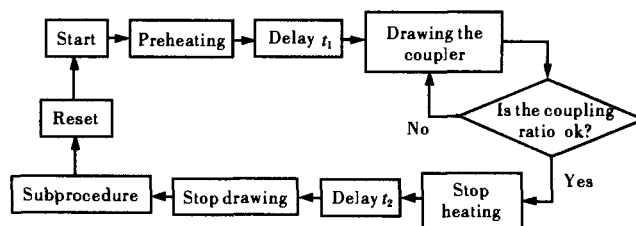


图 2 实验流程图  
Fig.2 Experimental flow chart

### 1.3 实验结果

为防止引进不必要的误差,如制造的温度、湿度等干扰,从 50~400 μm/s 每隔 25 μm/s 做一组数据,做完一组后再重新做另一组,本实验共做了 10 组 150 个实验数据,取平均值得到表 1。

表 1 测试样品的工艺与性能

Tab.1 Technology and performance of the samples

Set coupling ratio	Practic coupling ratio	Stretch elongation /μm	Drawing speed/ μm·s <sup>-1</sup>	Total time/s	Insertion loss/dB
44	50.98	13500	50	245	0.45
44	50.11	13800	75	169	0.44
44	50.12	13700	100	135	0.42
44	50.5	13100	125	105	0.20
44	51.17	14500	150	99	0.11
44	51.53	14400	175	87	0.23
44	52.52	15500	200	83	0.48
44	52.2	14900	225	73	0.50
44	53.1	14600	250	67	0.73
44	53.2	14800	275	63	0.78
44	53.13	14900	300	60	0.98
44	52.21	14200	325	55	1.72
44	52.7	14400	350	53	1.32
44	53.82	14600	375	51	1.63
44	51.74	14300	400	49	1.71

由表 1 可得不同拉伸速度时的损耗分光比曲线(见图 3)。由表 1 和图 3 得知,在当前的实验条件下,当拉锥速度小于 150  $\mu\text{m}/\text{s}$  时,损耗随着速度的增加而逐渐减小,当速度大于 150  $\mu\text{m}/\text{s}$  时,损耗随着速度的增加而逐渐增大,在速度小于 200  $\mu\text{m}/\text{s}$  时,损耗相对较小,而在 150  $\mu\text{m}/\text{s}$  时,损耗最小,为 0.11 dB。可见与当前火焰温度相搭配的拉伸速度为 150  $\mu\text{m}/\text{s}$ 。

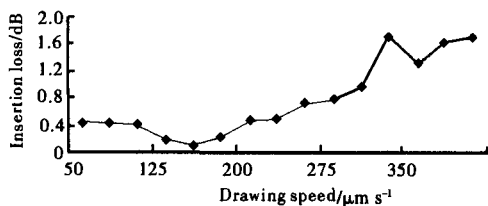


图 3 拉伸速度与损耗

Fig.3 Drawing speed and insertion loss

## 2 样品的选用

耦合器在拉伸速度为 150  $\mu\text{m}/\text{s}$  时损耗最低,为了考察光纤耦合器  $\text{SiO}_2$  微观结构对器件性能的影响,这里选择了三组典型试样,即拉锥速度分别为 50、150 和 400  $\mu\text{m}/\text{s}$ ,并对其进行了红外光谱测试。用美国 Nicolet 公司的 740FT-IR 傅里叶变换红外光谱仪,选定耦合器的熔融中心为测试点。测定了这三组试样的石英玻璃在波数为 650~2000  $\text{cm}^{-1}$  范围内经多次扫描得到的红外吸收光谱。

表 2 测试样品的工艺与性能

Tab.2 Technology and performance of the IR samples

Sample number	Drawing speed/ $\mu\text{m s}^{-1}$	Optical performance	
		Insertion loss/dB	Coupling ratio
1	50	0.14	50.4
2	150	0.01	51.76
3	400	1.79	52.77

## 3 测试结果与讨论

图 4 是石英玻璃在 650~2000  $\text{cm}^{-1}$  波数范围内的红外吸收光谱,观察到了两个主要的特征峰,高频峰  $\approx 940 \text{ cm}^{-1}$ ,低频峰  $\approx 779 \text{ cm}^{-1}$ ,且高频峰的强度比

低频峰的强。石英玻璃红外吸收光谱中 940  $\text{cm}^{-1}$  谱带归于硅氧四面体中 Si-O-Si 键的不对称伸缩振动,该吸收谱带位置移动主要是由 Si-O-Si 键角大小的变化决定,键角增大时,谱带移向高频波数,键角减小时,谱带移向低频波数。770  $\text{cm}^{-1}$  谱带归属于两个硅氧四面体之间的 Si-O-Si 键的对称伸缩振动。该谱带位置移动主要是由 Si-O 键的键长变化引起<sup>[12,13]</sup>。而键长键角的变化对材料的物理性能和光学性能影响很大。

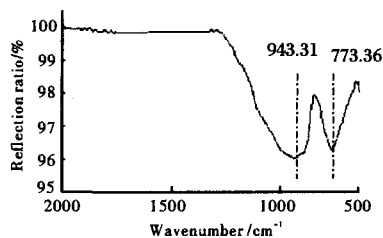


图 4 试样 3 的 FT-IR 吸收光谱

Fig.4 IR spectrum of coupler of sample 3

当拉伸速度增大,光纤中的拉应力增大,从图 5 可以看出,随着速度的增加,940  $\text{cm}^{-1}$  特征峰相对于 770  $\text{cm}^{-1}$  特征峰逐渐变强,当拉伸速度为 50  $\mu\text{m}/\text{s}$  时,两者的波峰差 0.11,当拉伸速度为 150  $\mu\text{m}/\text{s}$  时,两者的波峰相差 0.16,当拉伸速度为 400  $\mu\text{m}/\text{s}$  时,两者的波峰相差 0.22,即当拉伸速度增大时,Si-O-Si 键的不对称伸缩振动得到了加强。其 940  $\text{cm}^{-1}$  波数特征峰的频率在拉伸速度为 150  $\mu\text{m}/\text{s}$  时最高,为 949  $\text{cm}^{-1}$  波数,分别比 50 和 400  $\mu\text{m}/\text{s}$  时高了 6.55 和 6.9  $\text{cm}^{-1}$ 。而低频峰此时最小,为 770.91  $\text{cm}^{-1}$ 。这表明,在拉伸速度为 150  $\mu\text{m}/\text{s}$  时, Si-O-Si 的键角最大,此时光纤耦合器的损耗最小。

## 4 结论

(1) 在 650~2000  $\text{cm}^{-1}$  波数范围内,观测到了石英光纤耦合器玻璃中有两个特征峰,分别为由 Si-O-Si 键的不对称伸缩振动产生的 940  $\text{cm}^{-1}$  特征峰和由 Si-O-Si 键的对称伸缩振动产生的 770  $\text{cm}^{-1}$  特征峰。

(2) 发现了由于拉伸速度不同,而导致石英玻璃结构上的差异,随着拉伸速度的增大,石英玻璃的 940  $\text{cm}^{-1}$  特征峰逐渐变强,表明 Si-O-Si 键的不对称伸缩振动得到了加强。而在拉伸速度为 150  $\mu\text{m}/\text{s}$  时,波数最高,表明 Si-O-Si 键

(下转第 601 页)

- Optik, 1972, 35: 237-246.
- [7] Fienup J R. Phase retrieval algorithms: a comparison [J]. Applied Optics, 1982, 21 (15): 2758-2769.
- [8] Fienup J R. Reconstruction of an object from the modulus of its Fourier transform [J]. Optics Letters, 1978, 3 (1): 27-29.
- [9] Fienup J R, Wackerman C C. Phase-retrieval stagnation problems and solutions [J]. Opt Soc Am A, 1986, 3 (11): 1897-1907.
- [10] Perez-Illarbe M J, Nieto-Vesperinas M, Navarro R. Phase retrie-

val from experimental far-field intensity data [J]. Opt Soc Am A, 1989, 7 (3): 434-440.

- [11] ZOU Mou-yan, Rolf Unbehauen. Methods for Reconstruct ion of 2-D Sequences from Fourier Transform Magnitude [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6 (2): 222-233.
- [12] Ayers G R, Dainty J C. Iterative blind deconvolution method and its applications [J]. Optics Letters, 1988, 13 (7): 547-549.

(上接第 555 页)

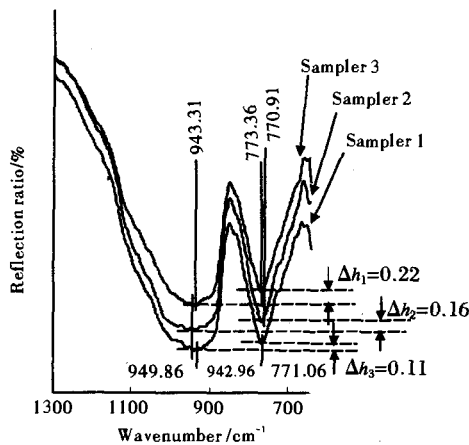


图5 试样的 FT-IR 全反射光谱

Fig.5 IR spectra of couplers at different drawing velocities

的键角在此时最大。

(3) 随着速度的不同, 光纤耦合器的两个特征吸收峰也不同。在 150  $\mu\text{m/s}$  时, 两者相差最大, 表明波数的移动与光纤耦合器的性能密切相关。

#### 参考文献:

- [1] SONG Jin-sheng. Technical evolution and developing current of optical passive device in our country [J]. International Broadband Network (宋金声. 我国光无源器件的技术进展和发展趋势. 世界宽带网络), 2002, 9(11): 16-18.
- [2] YANG Wei. Technical development current of optical passive device [J]. Broadband World Forum (杨伟. 光纤无源器件技术发展趋势. 宽带世界), 2003, (3): 38-40.
- [3] AO Hui-jun. Market analysis of fiber coupler in global [J]. Optical Fiber Communication (敖晖军. 全球光纤耦合器市场浅析. 光纤通信), 2001, 23(2): 41-43.
- [4] WU Xi-ming. Some key specs of optical fiber couplers [J]. Optical Fiber Communication, 2002, 24(1): 41-43.
- [5] 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.
- [6] WEI Dao-ping, ZHAO Yu-cheng. Study on novel 2x2 single-mode biconical optical fiber couplers [J]. Journal of Northern Jiaotong University, 1998, 22(3): 56-58.
- [7] Diaouv E M. The different condition influence in the process Drawing fiber from prefabricate stick [J]. Glass Tech, 1998, 29 (6): 123-129.
- [8] Saito K, Ogawa N. Effects of aluminium impurity on the structural relaxation in silica glass [J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2000, 270(1): 60-65.
- [9] Haken U, Humbach O, Ortner S. Refractive index of silica glass: influence of fictive temperature [J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2000, 265(1): 9-18.
- [10] Kusabiraki K. Infrared and Raman spectra of vitreous silica and sodium silicates containing titanium [J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 1987, 95(4): 411-418.
- [11] Agarwal A, Tomozawa M. Surface and bulk structural relaxation kinetics of silica glass [J]. J Non-Crystalline Solids, 1997, 209(3): 264-272.
- [12] Wong Y W, Choy L K. The Manufacturing of an optical fiber coupler by the fusion elongation method [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 63 (1): 325-331.
- [13] Agarwal A, Tomozawa M. Correlation of silica glass properties with the infrared spectra [J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 1997, 209(1): 166-174.