

文章编号: 1001-5078 (2006) 08-0691-03

# 聚合物光纤热预拉锥工艺实验研究

曾永西, 庄其仁, 张淑贤, 阮思旭, 于百英  
(华侨大学信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

**摘 要:**文中研究了重力垂直熔融拉锥法中不同温度、不同拉伸力工艺条件对聚合物光纤热预拉锥特性的影响。实验表明:加热区中心温度为 214 附近和拉伸力为 1.40g 左右时, PMMA 聚合物光纤拉伸过程容易控制, 并且具有良好的光学质量。

**关键词:**聚合物光纤; 熔融拉锥; 表面形貌

**中图分类号:** TN253      **文献标识码:** A

## Technical Experiment of POF Thermal Pre-elongated Taper

ZENG Yong-xi, ZHUANG Qi-ren, ZHANG Shu-xian, RUAN Si-xu, YU Bai-ying  
(College of Info. Sci. & Eng., Huaqiao Univ., Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** The fabrication of polymer optical fiber coupler needed thermal pre-elongated taper on the part which would be wired. When gravity pulled vertically fused elongated taper, the influence of polymer optical fiber characteristic in the different temperature and different stretch strength was studied. It is found when the heating zone center temperature is about 214 and the stretch strength is about 1.40g, the process of the PMMA polymer optical fiber stretches is easy to be controlled and the PMMA POF has good optics quality.

**Key words:** polymer optical fiber; fused elongated taper; surface morphology

### 1 引言

聚合物光纤 (Polymer Optical Fiber, - POF, 也称为塑料光纤) 是一种良好的光学材料, 由于它具有芯径粗 (典型值为 1mm)、对接容易、价格低、可挠性好等优点, 在短距离通信和光纤传感方面较石英光纤有明显的优势, 是未来光接入网的一种重要媒质<sup>[1-3]</sup>。聚合物光纤局域网中需要使用大量的光纤互连器件, 比如耦合器、连接器、波分复用器等, 其中光纤耦合器是最常用的器件之一<sup>[4]</sup>。熔融拉锥法是目前制备石英光纤耦合器的常用方法<sup>[5-8]</sup>, 这种方法也可以用来制备聚合物光纤耦合器<sup>[9]</sup>。但用这种方法制备聚合物光纤耦合器主要存在两个问题<sup>[9]</sup>: 1) 聚合物光纤软化温度低, 软化温度范围比较窄, 加热温度难以控制; 2) 聚合物光纤的数值孔径大, 纤芯模与包层模的转换效率比较低, 虽然增加扭转长度可以增加模式转换效率, 但同时又增加了损耗。改进的方法是先把每根光纤需要扭转的部位

预先加热拉锥, 然后把光纤束在拉锥的部位扭转, 再给扭转部位加热再拉锥。增加了这道预拉锥工序后, 耦合器中纤芯模与包层模的转换效率可得到明显提高。因此, 研究聚合物光纤热预拉锥特性对设计和制作聚合物光纤耦合器具有重要意义。

### 2 实验方法

#### 2.1 实验材料及装置

实验用聚合物光纤纤芯材料为聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA),  $n = 1.491$ ,  $d = 0.25\text{mm}$ , 包层为氟树脂,  $n = 1.380$ , 厚度  $5\mu\text{m}$ , 白光透射率  $95\% / \text{m}$  ( $570\text{nm}$ ), 损耗  $200\text{ dB/km}$  ( $570\text{nm}$ ), 数值孔径 0.5。实验中我们采用电阻加热器对聚合物光纤进行加热, 用重力垂直拉伸的方法对聚合物光纤进行拉

基金项目: 福建省自然科学基金计划资助项目 (No. A0410019)。

作者简介: 曾永西 (1980 - ), 男, 国立华侨大学硕士, 研究方向为光纤通信与光纤传感。E-mail: ctmzyx@163.com

收稿日期: 2006-01-21

锥。实验装置如图 1 所示,电阻加热器用电炉丝绕成中间密度比两端密度大,内径为 5mm,长度为 15cm 的螺线管。由于电炉丝是紧密环绕,而且用绝缘套管束缚,减少了气流影响,所以电阻加热器内部温度场较为稳定。

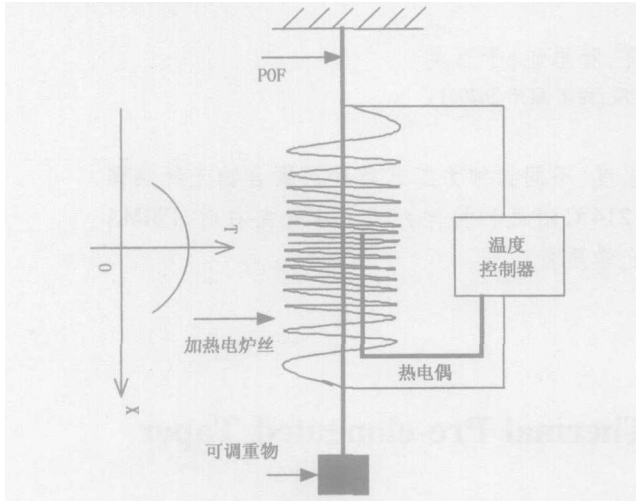


图 1 聚合物光纤热预拉伸实验示意图

## 2.2 实验温度的测定

PMMA 芯聚合物光纤软化温度为 160 ~ 180 左右,熔融温度为 240 ~ 270 ,我们选用 K 系热电偶(测量范围 0 ~ 700 ,测量精度 0.1 )对加热区的温度场进行测量。加热区的温度分布是中央对称的,沿着  $x$  方向测量,每隔 2mm 测量一次,测得加热区的温度分布如图 2。

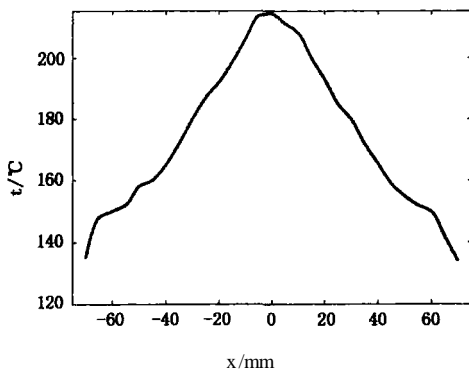


图 2 加热区温度场分布

可见,加热区中央位置 ( $x = 0\text{mm}$ ) 的温度最高,并且温度随偏离中央位置  $|x|$  的增大而逐渐降低,轴向温度梯度  $1.13 \cdot \text{mm}^{-1}$ ,在离中央位置  $|x| = 70.0\text{mm}$  时,加热区的温度只有 135.0 ,已低于 PMMA 光纤的软化温度。

## 3 实验过程与结果

### 3.1 不同加热温度、不同拉伸力条件的拉伸过程

对 PMMA 芯聚合物光纤进行加热时,当温度达到软化温度,如果拉伸力不够,由于表面张力的作

用,光纤首先产生收缩,若温度继续升高,接近熔融温度时,表面张力迅速减小,光纤在拉伸力作用下开始伸长。我们做了很多实验,研究了不同温度、不同拉伸力条件下对聚合物光纤拉伸效果的影响。图 3 所示为拉伸力等于 1.40g 时,不同加热区中心温度下 PMMA 聚合物光纤拉伸过程曲线,其中横坐标为光纤长度开始发生变化后的时间  $t$ ,纵坐标为光纤长度增量  $L$ ,拉伸速度为  $v = \frac{d(L)}{dt}$ 。图 4 所示为加热区中心温度 214.0 时,不同拉伸力条件下的拉伸过程曲线。

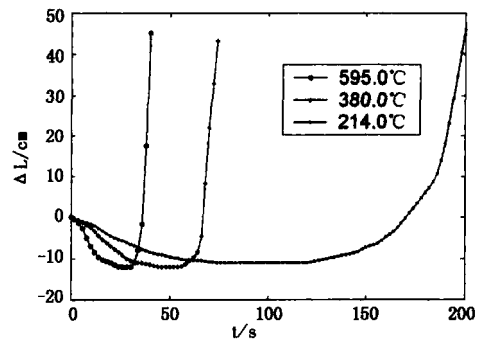


图 3 1.40g 拉伸力时,不同加热温度的拉伸过程曲线

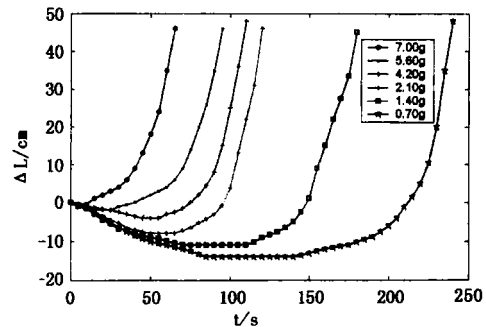


图 4 不同拉伸力的拉伸过程曲线(中心温度 214.0 )

由图 3 可以发现,当加热区温度为 380.0 和 595.0 时,其温度高于 PMMA 熔融温度,聚合物光纤在拉伸力作用下迅速伸长,拉伸速度在  $L = 15\text{cm}$  时,  $v = \frac{d(L)}{dt} = 100\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ,聚合物光纤极易拉断,不好控制;当加热区中心温度低于 160 时,由于温度低于 PMMA 软化温度,聚合物光纤在拉伸力作用下几乎没有变化。

由图 4 可以发现,不同的拉伸力条件下,在  $L = 15\text{cm}$  时,拉伸速度相差不大,  $v = \frac{d(L)}{dt} = 30\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。拉伸力对加热收缩过程影响较大,拉伸力小,光纤收缩幅度大;拉伸力大,光纤收缩幅度小。当拉伸力为 7.00g 时,收缩力与拉伸力达到平衡,光纤几乎没有收缩过程,直接下坠拉伸。我们对

不同拉伸力条件下所拉伸的光纤进行测试,发现当拉伸力 2 10g时,光纤的透光性开始变差,这是因为光纤没有达到完全均匀熔融状态就被拉伸,产生内部不均匀现象,引起散射损耗。

多次重复实验发现,当加热区中心温度维持在 214 附近,温度介于 PMMA 软化温度和熔融温度之间,此时用拉伸力 1. 40g时,聚合物光纤拉伸速度适中,比较容易控制,拉伸后的光纤光学质量好。

3.2 测试与分析

预拉锥 PMMA 光纤可分成两部分,长为  $w$  的耦合区域和两个长为  $L$  的锥形区域<sup>[7,10]</sup>,如图 5 所示。

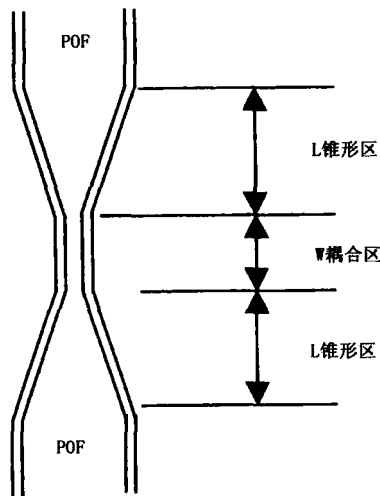


图 5 预拉锥 PMMA 光纤示意图

在耦合区域,复合波导由两平行熔锥光纤相互重叠组成,其横截面尺寸只有微小的锥度。在锥形区域,纤芯沿纵向呈梯度缓慢变化,锥度角在  $0.1^{\circ} \sim 0.3$  范围内。表 1 为不同锥度角和耦合区中心直径的 PMMA 光纤的透射率比较。

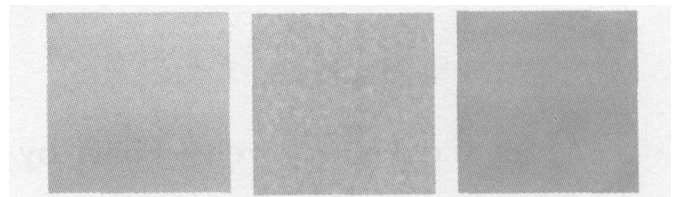
表 1 不同锥度角和耦合区中心直径的 PMMA 光纤的透射率

锥度角	耦合区中心直径 /mm	透射率 /%
0	0.250	97.0
0.229	0.177	87.2
0.255	0.088	74.5
0.268	0.063	59.6
0.273	0.055	53.2
0.280	0.044	42.6

从表 1 可以看出,耦合区中心直径越小,锥度角越大,光纤的透射率越低。这里的透射率变化主要是由于多模 PMMA 光纤的模式耦合产生模式泄漏引起的,其值可影响光纤耦合器的耦合比。

用显微镜观察比较 PMMA 光纤拉伸前后的表

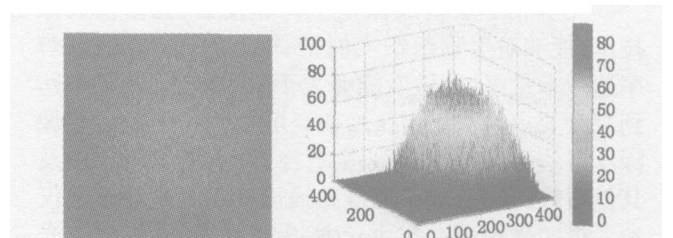
面形貌,图 6(a)是 PMMA 光纤拉锥前的原始表面,可以看出光纤的原始表面是很光洁的。图 6(b)是拉伸力为 5.60g,加热区中心温度为 214.0 条件下 PMMA 光纤拉锥后的表面形貌,可以看到光纤表面有不均匀颗粒出现,这是因为光纤没有达到完全均匀熔融状态就被拉伸,内部应力不均匀产生的表面不均匀现象。图 6(c)是拉伸力为 1.40g,中心温度为 214.0 条件下 PMMA 光纤拉锥后的表面形貌,光纤表面基本是光滑的,说明拉伸力较小时 PMMA 光纤有足够时间的收缩过程,内部应力均匀,拉伸后光纤表面质量好。



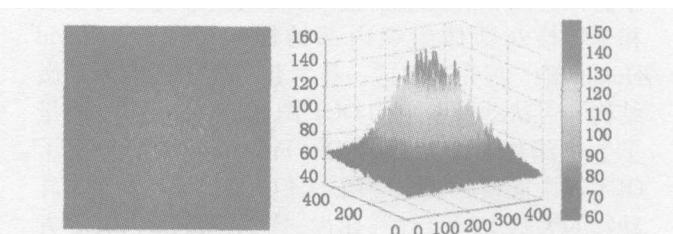
(a) PMMA 光纤拉锥前的原始表面  
(b)拉伸力 5.60g,温度 214.0 条件拉锥后的表面形貌  
(c)拉伸力 1.40g,温度 214.0 条件拉锥后的表面形貌

图 6 显微镜观察 PMMA 光纤表面形貌 (500倍)

用 CCD 观察 PMMA 光纤出射模场如图 7 所示,入射光源为 650nm 的半导体激光器,CCD 距离光纤出射端面 2mm。图 7(a)是 PMMA 光纤拉锥前的模场照片和强度分布曲线,图 7(b)是耦合区中心直径为 0.044mm 时的模场照片和强度分布曲线。



(a)拉锥前聚合物光纤的模场照片和强度分布



(b)聚合物光纤耦合区中心直径为 0.044mm 的模场照片和强度分布

图 7 模场照片和强度分布曲线

从图 7 中我们可以看出,PMMA 光纤拉锥后的出射模式数(横模)明显减少,并且出射模模场强度集中到低阶模(光斑中心)。

(下转第 698 页)

影响三维重建精度的主要因素包括 CCD 和图像卡的噪声、相位测量精度、相位展开算法、结构光图像对比等。如果采用高功率的光源和调制度相位展开算法的话,另外在试验中在 CCD 镜头前加入红外带通滤波片,从而削弱外界光的干扰,这样的话图像效果会更好。此外,采用噪声相对较少 CCD 和图像采集卡的话,图像质量会进一步提高。

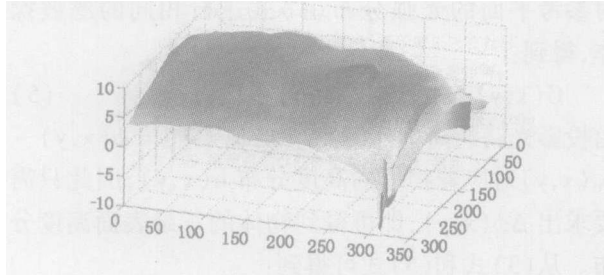


图 3 人脸的三维重建

## 5 结论

通过投影红外条纹在人脸表面,采用傅立叶变换轮廓术方法获取人脸三维信息,对检测对象不具有侵犯性,也满足特定环境隐蔽测量的要求。试验结果表明:采用红外结构光的三维人脸测量是可行的,这种方法在三维人脸识别领域具有明显的应用前景。

## 参考文献:

[1] F Chen, GM Brown, M Song Overview of three-dimen-

sional shape measurement using optical methods[J]. Opt Engng, 2000, 39(1): 10 - 22

[2] Srinivasan V, Liu H C, Halioua M. Automated phase measuring profilometry of 3-D diffuse object[J]. Appl Opt, 1984, 23(18): 3105 - 3108

[3] Su Xianyu, Bally G V, Vukicevic D. Phase stepping grating profilometry: Utilization of intensity modulation analysis in complex objects evaluation [J]. Opt Commun, 1993, 98(1): 141 - 150.

[4] S Yoneyama, Y Morimoto, M Fujigaki, et al Phase-measuring profilometry of moving object without phase-shifting device [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2003, 40: 153 - 161.

[5] Mitsuo Takeda, Kazuhiro Mutoh. Fourier Transform Profilometry for the auto measurement of 3-D object shapes [J]. Applied Optics, 1983, 22(24): 3977 - 3982

[6] Su Xianyu, Chen Wenjing. Fourier transform profilometry: a review [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2001, 35: 263 - 284.

[7] 苏显渝,谭松新,向立群,等. 基于傅里叶变换轮廓术方法的复杂物体三维面形测量 [J]. 光学学报, 2000, 18(9): 1228 - 1233.

[8] 苏翠平,苏光大. 人脸识别技术综述 [J]. 中国图像图形学报, 2000, 5(11): 885 - 894.

[9] 林家明. 黑白 CCD 摄像机的近红外特性及应用 [J]. 激光与红外, 1996, 26(4): 258 - 259.

(上接第 693 页)

## 4 结论

研究了不同温度、不同拉伸力工艺条件对聚合物光纤热预拉锥特性的影响。温度过高或过低、或者拉伸力过大或过小,都会导致光纤拉锥过程难以控制,并且增大了聚合物光纤的散射损耗。实验研究表明:加热区中心温度在 214 附近和拉伸力为 1.40g 左右时,PMMA 聚合物光纤拉伸过程容易控制并且具有高的表面质量。研究聚合物光纤重力自拉伸工艺目的是提供相关参数,为聚合物光纤耦合器的实际生产提供参考。

## 参考文献:

[1] 曾永西,庄其仁,张淑贤. 新一代塑料光纤接入网 [J]. 光通信技术, 2005, 29(7): 59 - 61.

[2] MingHai, Xu Xingsheng, Wang Pei, et al Polymer optical fiber and its application [A]. Ninth National Opto-electronics Technology and System Conference [C], Invited Report, 2001, 12(2): 55 - 6

[3] Koike Y. Giga-island concept realized with high-speed GI plastic optical fiber[A]. Second Asia-Pacific Polymer Fibre Optics Workshop [C], 2003, 4 - 7.

[4] 柳春郁,余有龙,高应俊. 单模与多模光纤耦合器的光束合波 [J]. 光学学报, 2005, 25(6): 743 - 745.

[5] 帅词俊,段吉安,苗建宇,等. 熔锥型光纤耦合器的工艺与显微形貌研究 [J]. 半导体光电, 2005, 26(2): 108 - 111.

[6] 许强,黄肇明,黄勇. 2 × 6 熔融拉锥型单模光纤耦合器的特性分析 [J]. 光学学报, 2005, 25(6): 751 - 754.

[7] 帅词俊,段吉安,钟掘. 熔锥型光纤耦合器流变成形的工艺敏感性研究 [J]. 光学精密工程, 2005, 13(1): 40 - 46.

[8] 林小莉,李平,王强,等. 熔锥型光纤耦合器的扭转响应 [J]. 光子学报, 2004, 33(5): 540 - 543.

[9] 陈新桥,林如俭,代康. 塑料光纤耦合器制备方法探讨 [J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2005(2): 5 - 9.

[10] 薛春荣,汪洁,吴文娟. 光纤型光可变衰减器的探索 [J]. 激光与红外, 2005, 35(4): 265 - 268.