

燃烧温度对双锥光纤光学特性的影响*

陈智浩 顾东华 彭江得 周炳琨

(清华大学电子工程系 北京 100084)

提要 实验研究了燃烧温度对双锥光纤光学特性的影响。结果表明, 燃烧温度影响输出功率随拉伸长度振荡的曲线形状及调制度。为获得一定的透过谱周期, 所需的振荡次数随燃烧温度的升高而减小。

关键词 光纤滤波器, 燃烧温度, 拉锥

1 引言

常规单模光纤是宽谱元件。但是, 若在一段光纤上拉锥, 那么其谱特性将发生明显的变化: 在某些波段光几乎可无损耗地通过, 而另一些波段的光则被严重损耗掉。在锥腰区域, 纤芯因收缩得很细而在波导中已不起主要作用, 代之的是光纤包层与周围媒介组成的新波导。这些特征使双锥光纤可作为光学滤波器和迅衰场器件而获得重要应用。其优点是, 制作简单, 与光纤系统兼容, 附加损耗小, 对偏振不敏感, 背向反射小, 成本低。最近, 关于双锥光纤在掺铒光纤放大器增益谱平坦化、新型迅衰场光纤激光器、光纤生物传感技术方面的研究, 受到人们的关注^[1-4]。

在双锥光纤研制工艺中, 燃烧器大小以及与光纤的距离、气流量、拉伸速度等都是很重要的工艺参数^[5-8]。在这些参数中, 燃烧温度是最重要的参数之一。研究表明, 在一定范围内, 拉伸速度对双锥光纤成形影响不大^[7]。气流量、燃烧器大小以及与光纤的距离最终都体现在燃烧温度上。因此, 研究燃烧温度对双锥光纤光学特性的影响具有重要的意义。本文报道这方面的实验研究结果。

2 实验结果

2.1 输出功率随拉伸长度的关系

图 1 是三种不同燃烧温度下双锥光纤输出功率与拉伸长度的关系, 其中 T_s 是光纤变形温度。从图 1 可以看出, 当燃烧温度为 $T_s + 25^\circ\text{C}$ 时, 第一个振荡调制度比后面的要小。当燃烧温度为 $T_s + 80^\circ\text{C}$ 时, 第一个振荡调制度比后面都要大。当燃烧温度为 $T_s + 130^\circ\text{C}$ 时, 振荡曲线基本特征与图 1(a)、(b) 不同。从图 1(c) 可以看出, 振荡曲线在多处出现拐点。这表明, 出现了

* 863 高技术计划资助课题。

HE₁₃ 等高阶包层模。当拉伸长度较长时, 振荡调制度变小直至看不出振荡, 如图 1(b) 所示。通常熔烧温度在 $T_s < T < T_s + 50^\circ\text{C}$ 之间时, 输出功率随拉伸长度的振荡曲线类似图 1(a)。当熔烧温度在 $T_s + 50^\circ\text{C} < T < T_s + 100^\circ\text{C}$ 时, 振荡曲线类似图 1(b)。当熔烧温度 $T > T_s + 100^\circ\text{C}$ 时, 振荡曲线类似图 1(c)。本文中的熔烧温度是指光纤锥区中心(最高)温度。熔烧温度范围可在 1200~ 2000 $^\circ\text{C}$ 之间。

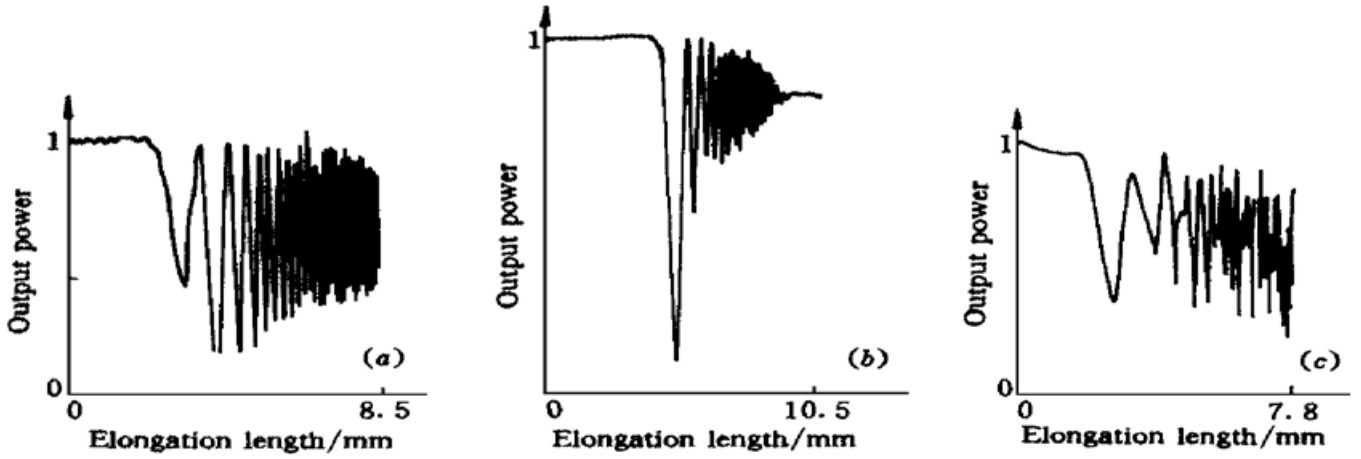


图 1 在不同熔烧温度拉锥时的输出功率曲线

Fig. 1 Output power during tapering of a single-mode fiber at different fusion temperatures
(a) $T_s + 25^\circ\text{C}$; (b) $T_s + 80^\circ\text{C}$; (c) $T_s + 130^\circ\text{C}$

理论分析表明, 在光纤拉锥过程中, 随着光纤锥腰的减少, 输出芯模功率呈振荡变化。这与实验结果一致。但是, 从理论上如何解释熔烧温度影响输出功率随拉伸长度的振荡曲线形状, 有待进一步研究。

2.2 拉伸长度与振荡次数的关系

图 2 是拉伸长度与振荡次数(定义为输出芯模功率最大值的个数)的关系曲线。从图 2 可以看出, 对于不同熔烧温度, 各曲线近似重合。这表明, 熔烧温度对拉伸长度与振荡次数的关系曲线影响很小。从图 2(b) 可以看出, 当振荡次数较多时, 拉伸长度与振荡次数近似呈线性关系。进一步的实验结果表明, 不同拉伸速度(如 $2 \times 3.5 \text{ mm/min}$ 至 $2 \times 11 \text{ mm/min}$) 对拉伸长度与振荡次数关系曲线影响也很小。

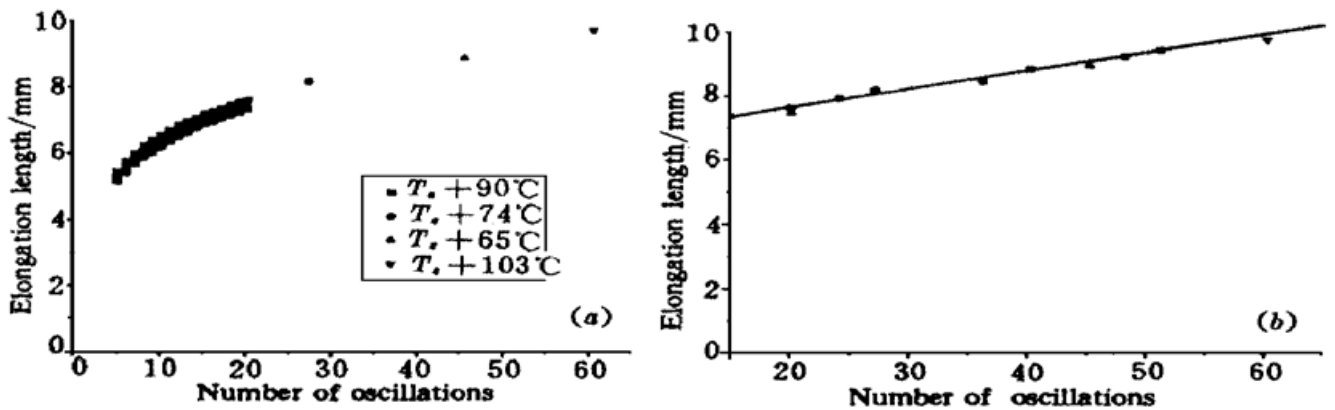


图 2 在不同熔烧温度下拉伸长度与振荡次数的关系

Fig. 2 Elongation length as a function of the number of oscillations at different fusion temperatures

2.3 透过谱周期与振荡次数的关系

图 3 是不同熔烧温度下双锥光纤透过谱周期的倒数与振荡次数的关系。从图 3 可以看出, 为获得谱周期等于 20 nm 的透过谱, 当熔烧温度 $T = T_s + 132 \pm 20^\circ\text{C}$ 时, 振荡次数只需 35 次左右; 而当 $T = T_s + 22 \pm 15^\circ\text{C}$ 时, 振荡次数需高达 55 次。这可用以下的理论模型^[8] 来解释。

设 V_i 为一段长为 l_i 的体积元, F 为拉伸力, $A_i = V_i/l_i$, η_i 为光纤的粘度。粘度随温度的上升而下降。在 Δt 时间间隔内, V_i 体积元的伸长量为

$$\Delta l_i = F \Delta t \frac{l_i}{3\eta_i A_i} \quad (1)$$

此时光纤的直径 d_i 为(假设体积不变)

$$d_i = \sqrt{\frac{4V_i}{\pi(l_i + \Delta l_i)}} \quad (2)$$

从式(1), (2) 可以看出, 熔烧温度越高, 由于粘度越小, 所以 Δl_i 变大, 则 d_i 变小。 d_i 越小, 谱周期就越短^[9]。因此, 为获得一定透过谱周期, 熔烧温度越高, 所需的拉伸长度就越短, 即所需的振荡次数就越小。

进一步实验表明, 只要熔烧温度和拉伸长度相同(对同一种光纤而言), 拉伸速度就不影响最后的谱周期。这从光学特性上进一步验证了拉伸速度对双锥光纤成形影响不大。文献[7] 仅从几何特性上进行了验证。

数十次的实验观察与测量表明, 温度控制精度及变化速度, 对透过谱周期影响不大。这从光学特性上说明了温度控制精度及其变化速度对双锥光纤成形影响不大。这一点与光导纤维拉丝十分不同。

3 结 论

对不同熔烧温度下双锥光纤光学特性的实验研究表明, 熔烧温度影响输出芯模功率随拉伸长度振荡的曲线形状及调制度。给出了三个温度范围内典型的输出功率随拉伸长度振荡的曲线。实验研究表明, 熔烧温度对拉伸长度与振荡次数的关系曲线影响很小。但是, 熔烧温度对双锥光纤透过谱周期影响很大。对于相同拉伸长度, 熔烧温度越高, 透过谱的周期就越小。拉伸速度对透过谱周期几乎没有影响。不象光导纤维拉丝, 光纤拉锥对熔烧温度的控制精度及其变化速度的要求并不苛刻。

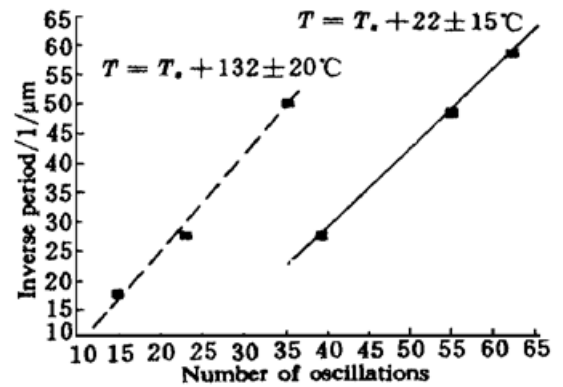


图 3 不同熔烧温度下双锥光纤透过谱周期的倒数与振荡次数的关系

Fig. 3 Inverse period in the spectral response of biconical tapers as a function of the number of oscillations at different fusion temperatures

参 考 文 献

- 1 A. V. Belov, E. M. Dianov, V. I. Karpov *et al.*. Gain spectrum flattening of erbium-doped fiber amplifier using tapered fiber filter. OSA, Proc. Topical Meeting of Optical Amplifiers and their Applications, Switzerland, OSA, 1995: 32~ 35
- 2 G. J. Pendock, H. S. Mackenzie, F. P. Payne. Dye lasers using tapered optical fibers. *Appl. Opt.*,

- 1993, **32**(27) : 5236~ 5242
- 3 A. B. Lobo Ribeiro, L. A. Ferreira, M. Tsvetkov *et al.*. All-fibre interrogation technique for fibre Bragg sensors using a biconical fibre filter. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(4) : 382~ 383
 - 4 A. Diez, M. V. Andres, D. O. Culverhouse *et al.*. Cylindrical metal-coated optical fibre devices for filters and sensors. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(15) : 1390~ 1392
 - 5 A. C. Boucouvalas, G. Georgiou. Biconical taper coaxial optical fibre coupler. *Electron. Lett.*, 1985, **21**(19) : 864~ 865
 - 6 S. Lacroix, F. Gonthier, J. Bures. All-fiber wavelength filter from successive biconical tapers. *Opt. Lett.*, 1986, **11**(10) : 671~ 673
 - 7 R. P. Kenny, T. A. Birks, K. P. Oakley. Control of optical fibre taper shape. *Electron. Lett.*, 1991, **27**(18) : 1654~ 1656
 - 8 S. Lochmann, J.-M. Labs, A. B. Sharma. Accurate physical fusion taper shape model for waveguide analyses. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(20) : 1785~ 1786
 - 9 D. T. Cassidy, D. C. Johnson, K. O. Hill. Wavelength-dependent transmission of monomode optical fiber tapers. *Appl. Opt.*, 1985, **24**(7) : 945~ 950

Effects of Fusion Temperature on Optical Properties of Biconical Fibers

Chen Zhihao Gu Donghua Peng Jiangde Zhou Bingkun

(*Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084*)

Abstract Effects of the fusion temperature on optical properties of biconical fibers are experimentally studied. It is shown that the shape of the oscillating curves of the output power versus the elongation length and its depth of modulation are influenced by the fusion temperatures. For a given period of transmission spectrum of a biconical fiber, the required number of oscillations is decreased when the fusion temperature is increased.

Key words fiber filter, fusion temperature, tapering