

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0260-03

大数值孔径多组份玻璃非相干柔性光纤的研究

于凤霞, 周艳艳, 于立亭, 王新伟, 刘禹, 唐吉龙, 张文涛

(长春理工大学材料与化工学院, 吉林 长春 130022)

摘要 用 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-RO}$ 系统玻璃作纤芯, 用低折射率材料作包层相匹配拉制的非相干柔性光纤的数值孔径为 0.8725, 光的接受角为 122° 。扩大了医用光纤内窥镜对人体脏器内腔病变的观察范围, 满足了医疗仪器观察诊断的特殊需要。给出了 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-RO}$ 系统的基本组成范围, 讨论了制作大数值孔径光纤对材料性能的要求, 分析了影响光纤性能的一些因素, 并给出了初步研究结果。

关键词 大数值孔径; 多组分玻璃; 非相干光纤; 柔性光纤

中图分类号 TQ343

文献标识码 A

Research on Large Numerical Aperture Multiple-Composition Glass Incoherent Flexible Fibre

YU Feng-xia, ZHOU Yan-yan, YU Li-ting, WANG Xin-wei, LIU Yu,

TANG Ji-long, ZHANG Wen-tao

(Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jiling 130022, China)

Abstract The incoherent flexible fibre, made through matched drawing by using $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-RO}$ systematic glass as core and using low refractive index material made by ourselves as cladding, has a numerical aperture of 0.8725 and an angle of light reception of 122° . It enlarges the observing scope of the medical fabric endoscope on the pathological changes of inner cavities of human viscera. It satisfies the special requirement of observation and diagnosis on medical apparatus and instruments. In this article, the scope of the fundamental composition of $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-RO}$ system is desigvened, the requirement on the properties of the materical which is used to make large numerical aperture fibre is discussed, some factors which have influence on the performance of fibre are analysed, and the result of preliminary research is given at the end.

Key words large numerical aperture; multiple-composition glass; flexible fibre; incoherent fibre; glass fibre

1 引言

众所周知, 光纤的数值孔径(NA)表示光纤的集光能力, 是光纤的重要性能参量之一。根据光纤的数值孔径定义

$$NA = n_0 \sin \phi_c = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} [1]$$

式中 n_0 为入射光线所处媒质的折射率, n_1, n_2 分别为光学纤维纤芯和包层玻璃的折射率, ϕ_c 为子午光线的孔径角。只要改变光纤的纤芯和包层玻璃的折射率, 就可以制成具有不同数值孔径的光纤。当纤芯和包层玻璃的折射率差值越大, 光纤的数值孔径值就越大, 光纤的集光能力也就越强。

因此, 要提高仪器视觉的观察范围必须增加被观察物体照明面的直径, 要做到这一点, 用大数值孔

径光纤能够容易实现。

大数值孔径多组分玻璃非相干柔性光纤在医用光纤内窥镜和工业自动化检测设备中具有广阔的应用前景, 因而受到重视, 据报道国外这种多组分玻璃非相干柔性光纤的数值孔径值已经达到了 0.866, 光的接受角为 120° , 并已得到应用。目前国内最大做到了 0.668, 光的接受角为 83° , 已不能满足医疗仪器观察和诊断病变的特殊需要, 显然增大光纤的数值孔径对光纤的实际应用有重要意义。

2 大数值孔径光纤对材料性能的要求

为保证光纤具有较大的数值孔径, 良好的透光性能和机械强度, 对纤芯和包层玻璃的性能提出如

作者简介: 于凤霞(1950-), 女, 长春理工大学材料与化工学院教授, 主要从事光纤材料与工艺方面的研究。

E-mail: yufengxia2@yahoo.com.cn

下几方面的要求。

2.1 光学性能的要求

1) 对材料折射率的要求

制作大数值孔径光纤首先要求光纤的纤芯玻璃应具有较高的折射率,包层玻璃具有较低的折射率。通常纤芯、包层玻璃的折射率不仅同材料的化学成分有关,而且还同传输波长、透光性能和温度等因素有关。这里采用 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-RO}$ 系统玻璃作纤芯,是由于其具有较高的折射率,可与自制低折射率材料相匹配制成大数值孔径光纤。与此同时,还要求这两种玻璃的光学均匀性要好,因为这两种玻璃的光学性能微小变化会导致其数值孔径的变化,从而影响光在光纤中的传输。

2) 对纤芯、包层玻璃透光性能的要求

制造纤芯和包层玻璃时应该选择纯净度高的原材料,避免带进一定量的过渡金属杂质,因为这些过渡金属离子(如 Cr^{3+} , Mn^{3+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{3+} , Co^{3+} , V^{3+} 等)即使在光纤中只有 10^{-9} 的含量,它对光纤中光的传输也会产生吸收损耗,从而显著降低光纤的透光性能。因此要求纤芯和包层玻璃在可见光范围内具有很高的透光性能。

2.2 热学性能的匹配

制作大数值孔径光纤,纤芯和包层玻璃选择除折射率要求匹配外,还必须要求纤芯和包层玻璃的热膨胀系数相互匹配,一般要求纤芯玻璃比包层玻璃的热膨胀系数大几个或十几个单位,这样在拉丝时,由于纤芯玻璃受到包层玻璃的压应力作用,从而使纤芯和包层玻璃牢固地粘结在一起,同时可保证光纤有一定的机械强度、柔软性及在不同温度下使用的稳定性。与此同时,纤芯玻璃的软化温度 T_f 要比包层玻璃高几十度,才能保证在拉丝时使光纤的结构完整,使得传输光在纤芯和包层界面上通过全反射从一端传到另一端。

2.3 良好的化学稳定性

要求纤芯和包层玻璃具有良好的化学稳定性,在拉丝温度以上不会出现结晶等迹象。此外还要求这两种玻璃具有耐酸、耐碱及耐水性能,常规条件下使用性能稳定。

3 光纤材料的基本组成及物理性能

3.1 纤芯及包层玻璃的基本组成

为了提高纤芯玻璃的折射率并要求其具有良好的化学稳定性,在确定纤芯玻璃的基本组成时,首先考虑在纤芯玻璃中引入高价大半径离子氧化物,如

La_2O_3 , Nb_2O_5 等因阳离子半径大,充填网络空间会使玻璃结构趋于紧密,有利于提高玻璃的折射率及化学稳定性。因此,纤芯玻璃采用 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ 系统,包层玻璃采用 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-RO}$ 系统,其基本组成范围见表 1。

表 1 纤芯、包层玻璃的基本组成

Table 1 Composition parts of Core and cladding glasses

Compositions /wt.-%	Core glass	Cladding glass
SiO_2	11~14	60~65
B_2O_3	7~10	10~15
PbO	2~5	
ZnO	1~3	1~2
La_2O_3	15~18	
Al_2O_3	3~7	5~7
BaO	30~35	
Nb_2O_5	11~15	
RO		15~18

3.2 物理性能

光纤纤芯和包层玻璃有关物理性能见表 2。

从表 2 可以看出,用于拉制大数值孔径光纤的纤芯和包层玻璃具有相匹配的软化温度 T_f 和热膨胀系数 α ,两者的折射率 n_D 相差 0.234,因此可以匹配成大数值孔径、多组份玻璃光纤。

表 2 光纤纤芯和包层玻璃的物理性能

Table 2 Physical properties of core and cladding glass

Refractive indices / n_D	1.74397	1.51
Transition temperature $T_f / ^\circ\text{C}$	620	586
Softening temperature $T_f / ^\circ\text{C}$	683	665
Expansion index $\alpha \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$	91	81
Numerical aperture	0.8725	

4 光纤制备工艺及性能参量

4.1 光纤制备工艺

将高折射率透明纤芯玻璃棒,套上低折射率的包层玻璃管,组成棒管组合体,将其一端固定在专用拉丝机上,另一端置于温度场分布均匀的管式电炉中,加热至软化温度以上便可以拉制出 $30\sim 55\ \mu\text{m}$ 的单根纤维。为了防止纤芯和包层玻璃间接触的不良或有

残留气体存在,可从棒管的另一端抽负压,这样可提高纤维的机械强度。

在拉丝过程中,对丝径要进行适时检测,当发现所测丝径同所要求的丝径有偏差时,通过控制送棒速度和收丝筒的收卷速度,使其达到所要求的范围。由于采用镧系玻璃作纤芯,其料性短,因此要尽量降低拉丝温度,提高拉丝速度保证拉丝工艺顺利进行。此外,管式电炉应具有很高的温控精度,防止温度波动及周围空气对流造成的丝径偏差。

4.2 性能参量

表征非相干柔性光纤性能的性能参量有透光率、数值孔径及单根光纤直径等,见表3。

从表3可以看出,实测光纤的数值孔径比理论值要低,这是因为在光纤的拉制过程中,存在诸如光纤直径的偏差、光纤内部的缺陷以及光纤入射端面不平等因素引起光纤数值孔径的变化所致^[2]。

表3 光纤的性能参量

Table 3 Characteristics of optical fiber

Length /mm	Single fiber diameter / μm	Light transmittance / %/meter	Numerical aperture /(NA)
500	55	48	0.8625

5 影响光纤性能的因素

5.1 玻璃的折射率不均对数值孔径的影响

玻璃的折射率不均匀一方面指在玻璃的熔制过程中,由于玻璃液表面各有效成分的挥发或搅拌的不够均匀,而引起材料折射率的变化将直接影响光纤的数值孔径。另一方面,在高温下,当纤芯和包层间某种成分存在浓度差时会通过界面发生物质的相互渗透,这就是扩散。扩散不仅与材料成分有关,而且与温度有关,温度越高,扩散越强。在存在扩散的情况下,纤芯和包层界面的折射率不再呈阶跃变化而是渐变的,这样就造成光纤数值孔径的变化。因此,为保证光纤具有一定的数值孔径,必须要求光纤的纤芯和包层玻璃的光学均匀性要好^[3],在保证顺利拉丝的前提下尽量降低拉丝温度,防止材料间的扩散。

5.2 影响光纤透光性能的因素

光纤的透光性能是光纤传输特性的重要特性之

一。影响光纤透光性能的主要因素有:纤芯和包层玻璃中含有气泡、条纹、结石和结晶区域,纤芯和包层界面粗糙不均、包层结构不完整等。玻璃中的这些缺陷虽然不是同时存在,但即便存在某一种缺陷,也会产生散射损耗。因为当光在光纤内部传输过程中,要在纤芯、包层界面发生全反射现象,在反射过程中,当入射光遇到光纤界面粗糙不均或上述某一缺陷时,将会穿透纤芯、包层界面和包层,造成光的散射损耗,因此,对纤芯、包层玻璃的要求应不含有质量和几何缺陷,以保证光纤的透光性能。

此外,光纤在加工过程中,由于光纤端面的不平整、表面粗糙度不高或中心轴线不垂直等因素,都会影响光纤的透光性能。因此,要提高光纤的各项性能,首先要提高材料的质量,防止光纤侧面漏光,同时还要提高光纤端面的研磨精度。

6 结果与讨论

1) 用 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-RO}$ 系统玻璃作纤芯,用自制低折射率材料作包层,可以拉制出数值孔径 $(NA) \geq 0.8$ 的柔性光纤。

2) 为防止纤芯、包层玻璃在高温下扩散,在保证拉丝工艺顺利进行的前提下,尽量降低拉丝温度,提高拉丝速度。

3) 为了保证光纤的数值孔径及透光性能,首先要求光纤的纤芯和包层玻璃的折射率差值一定,并选用高纯度、透光性能好、不含有质量和几何缺陷的玻璃拉制光纤。

参 考 文 献

- 1 Jiang Yuan, Zou Ningning. *Polymeric Fibre*[M]. Beijing, Chemical Industry Publishing House, 10-19
江 源, 邹宁宇. *聚合物光纤*[M]. 北京 化学工业出版社, 10-19
- 2 Zhang Kang, Du Fang. The testing technology and research on the numerical aperture of Multimodal fibre [J]. *Optical Fibre, Electrical Cable and Applied Technology*, 1992, 9(3):70-76
张 慷, 杜 芳. 多模光纤数值孔径测试技术研究[J]. *光纤与电缆及其应用技术*, 1992, 9(3):70-76
- 3 Zhang Jingxian, Gao Yue. The measure of improving the exactitude of testing on the numerical aperture of optical fibre panel[J]. *Peking University of Science and Technology*, 1993, 2(4): 1-2
张敬贤, 高 岳. 提高光纤面板数值孔径(NA)测试精度的措施[J]. *北京理工大学*, 1993, 2(4):1-2