

一种制作大芯径光纤的新工艺

高亚明,冯光,刘永建,李昌峰,周述文,刘笑东
(中国电子科技集团公司第四十六研究所,天津 300220)

摘要:与传统的大芯径光纤不同,纯石英芯掺氟玻璃包层光纤是一种新结构的大芯径光纤,主要用于光能传输和传感。在国外这种光纤是采用 POD(等离子体外相沉积)技术生产的,由于目前国内没有这种设备,本文采用管棒套装技术,即 PCVD(等离子体化学气相沉积)工艺制作掺氟石英管,MCVD(改进的化学气相沉积)工艺在高温条件下把石英芯棒和掺氟石英管熔融烧结在一起,制成了与国外采用 POD 工艺生产的相同类型的光纤,经测试和使用表明,与国外的产品性能相差不大。

关键词:纯石英芯;掺氟包层;大芯径;传能光纤

中图分类号:TN929.11 **文献标识码:**A

New technique to make optical fiber with large core

GAO Ya-ming, FENG Guang, LIU Yong-jian, LI Chang-feng, ZHOU Shu-wen, LIU Xiao-dong
(The 46 Institute of China Electronic Science and Technic Group Corporation, Tianjin 300220, China)

Abstract: Different from the optical fiber with large core made with traditional technique, optical fiber with large pure quartz core and Fluorine-doped glass cladding is a new structure of large core fiber, it is used mainly in the fields of light energy transfer and light sensing. It is made by POD(plasma outside deposition) technique abroad. As we don't have the equipments in domestic, we creatively used the rod in tube method to do that, i. e use PCVD(plasma chemical vapor deposition) technique to make F-doped quartz tube, and jacketed a pure quartz rod as the fiber core inside the F-doped quartz tube to form the fiber with the same structure as that from POD technique in high temperature condition by MCVD(modified chemical vapor deposition) technique. Measurements and results show that our products have the same performance with those made abroad.

Key words: pure quartz core; cladding with F-doped glass; large core diameter; energy transfer optical fiber

1 引言

自从人们采用传统的 MCVD 工艺制作大芯径光纤开始,进行光纤光能传输研究就是一个重要的课题^[1]。MCVD 工艺是向光导级石英管内通入气态的化学反应物,如 SiCl_4 , GeCl_4 , SF_6 , O_2 等,石英管用氢氧焰进行加热,当温度高于 $1300\text{ }^\circ\text{C}$ 时,它们在高温条件下分解,并重新化合成新的物质,如 SiO_2 , GeO_2 , SiF_4 等,并以疏松团聚颗粒的形态沉积在石英管的内壁上,在高温条件下形成透明玻璃。通过向 SiO_2 中掺入不同的杂质,我们可以提高或降低玻璃的折射率。如在光纤芯部玻璃中,掺入 GeO_2 以提高其折射率,最终达到提高光纤数值孔径的目的,

形成导光波导进行传光。但 MCVD 工艺有几个缺点:光纤的芯径较小,成本较高;预制件容易炸裂;工艺过程长且复杂。

目前国外开发出一种新的工艺方法进行大芯径光纤的制作,即 POD(等离子体外相沉积)工艺,光纤结构明显不同,纤芯材料为光导级纯石英玻璃,包层材料为一薄层低折射率的掺氟石英玻璃,纤芯直径与包层直径比为 1:1.1,芯、包两部分形成导光波

作者简介:高亚明(1960-),高级工程师,主要从事特种光纤的研制工作。E-mail: gym46@yahoo. cn

收稿日期:2010-09-14;修订日期:2010-10-08

导^[2],可以完全代替传统的大芯径光纤使用。

立足于国内现有的工艺设备条件,我们独立开发出一套新的管棒套装工艺方法,与POD和MCVD都不同,制作的光纤预制件的结构与国外采用POD工艺制作的相同,再通过拉丝工艺就制成了同样结构的光纤。该方法具有工艺简单、成本低、制作时间短、光纤参数易于控制、工艺重复性好、成品率高、适于大批量生产等特点,制作的光纤“纤芯直径/包层直径”比大、损耗低^[3]。

2 试验

2.1 大芯径光纤的制作工艺

国外是采用POD设备和技术来制作纯石英芯掺氟玻璃包层结构光纤,如图1所示,它的工艺过程是将一根做为光纤芯的光导级石英棒固定在可以旋转和移动的POD玻璃车床上,使芯棒靠近等离子体发生设备的喷头,在沉积过程中,该喷头就会喷射出SiCl₄,O₂和含F气体等,在喷头处局部微波环境条件下,它们进行分解和重新化合反应,以二氧化硅和四氟化硅等掺杂玻璃形态一层层沉积生长在石英芯棒表面上^[4],形成光纤预制件。

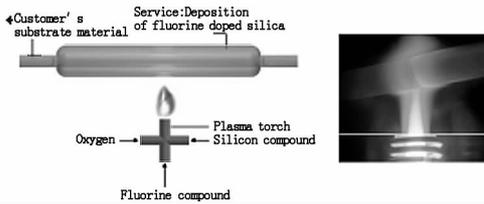


图1 POD工艺示意图

由于国内没有POD设备和技术,为了制作出同样结构的光纤,我们在国内首次大胆地将已有的PCVD与我们的MCVD工艺结合起来进行制作,具体工艺路线是:首先采用PCVD工艺在石英基底管的内表面沉积一定厚度的掺氟石英玻璃,然后将一根纯石英芯棒放入该石英管内,用MCVD工艺在高温条件下把它们烧结在一起,如图2所示,然后再设法去掉光纤预制件最外面的基底管石英材料部分,形成我们需要的纯石英芯掺氟玻璃包层结构光纤预制件,整个加工工艺过程及最终光纤预制件的断面几何结构如图3所示。光纤结构及其对应的各部位折射率分布如图4所示右侧S-type所示,图4中左侧的光纤结构和折射率分布图表示的是采用传统工艺制作的多模光纤,光纤芯部折射率的提高是由于向SiO₂中掺入了GeO₂杂质的结果,低折射率的包层材料为纯石英玻璃,它们组成光波导;而右侧图中的芯部材料为纯石英玻璃,而与其形成

光波导的包层材料折射率的降低是通过向SiO₂中掺入F杂质的结果。传统工艺是提高光纤芯部材料的折射率,而纯石英芯光纤工艺是降低包层材料的折射率,图4中的虚线标出了两种光纤中石英玻璃折射率的位置,这就是两种工艺设计的实质差别。

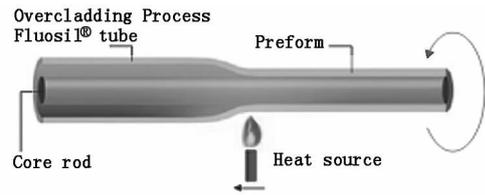
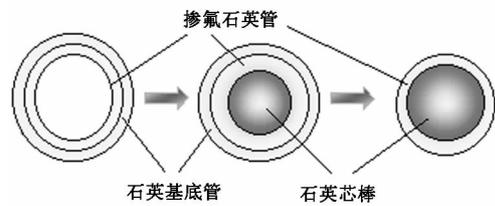


图2 管棒熔融套表示意图



(a) 石英管内生长 (b) 掺氟管与石英芯 (c) 去掉石英基底管材料
掺氟玻璃层 棒熔融套在一起 料后光纤预制件结构

图3 制作纯石英芯掺氟玻璃包层光纤预制件流程及其断面结构示意图

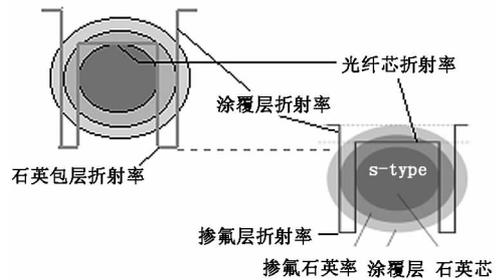


图4 传统工艺多模光纤与纯石英芯掺氟玻璃包层光纤结构及其对应的折射率分布示意图

2.2 试验结果

我们对采用上述工艺制作的光纤预制件进行了折射率分布测量,采用的测试仪器为英国YORK公司生产的P104预制棒分析仪,图5给出该光棒的测量曲线。图6是用该光棒拉制的光纤的损耗谱测量曲线,光纤芯径/包层直径为100/110 μm,使用的测试仪器为PK2500光纤综合参数测试仪。表1列出了用该类型光纤预制件拉制的3种直径规格光纤测试参数,芯径/包层直径分别为200/220 μm, 500/550 μm和800/880 μm,测试仪器为大芯径光纤损耗测试仪,光源波长为808 nm,光纤损耗测试方法为截断法。

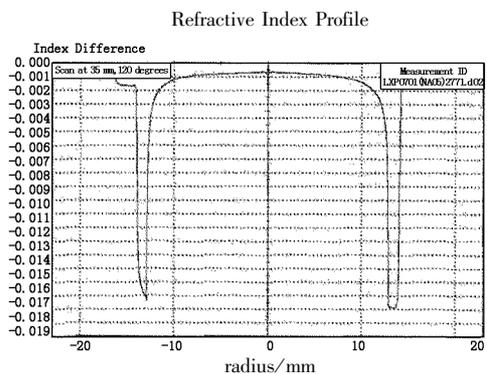


图5 大芯径光纤预制件的P104折射率分布测试图

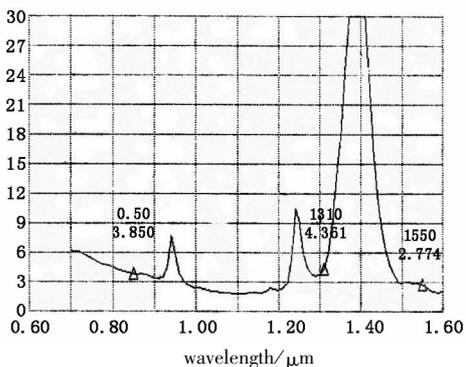


图6 大芯径光纤的损耗谱图

3 讨论

从图5中我们可以看出,石英芯部与掺氟玻璃包层间的折射率差为0.017,根据数值孔径的计算公式 $NA = (n_1 - n_2)^{1/2}$ 可以得到它的数值孔径为0.22,拉制成光纤后的数值孔径,可以从表1中的光纤测试结果中得到验证。从图5中测试曲线可以看出,芯与包层间的界面平滑,在转角处折射率的圆滑是由于掺氟管中氟杂质在高温条件下向石英芯中的外扩散造成的^[5],随着向光纤芯部的延伸,氟的浓度逐渐降低,折射率逐渐恢复为石英本身的折射率。从图6中可以看出,损耗曲线很标准,在808 nm波长处的损耗为4.5 dB/km左右;如果我们把光导级石英管,在高温条件下进行缩管成棒,并用作芯棒,与掺氟管制成石英芯掺氟玻璃包层光纤预制件,拉制光纤,其损耗谱曲线极不标准,究其原因,可能在缩管的过程中,引入了一些不明杂质。从表1中可以看出,拉制的3种规格的光纤中,数值孔径一致性很好,φ220 μm和φ550 μm两根光纤的损耗一致性也很好,但φ880 μm光纤的损耗较高,原因是直径过粗,拉丝张力过大,不得不大幅度调整拉丝温度,故改变了拉丝条件,使得光纤损耗明显增大。

表1 光纤产品测试参数

光纤参数	光纤产品编号		
	Xp0402(NA03) (06)-1	Xp0402(NA02) (06)-4	Xp0402(NA02) (06)-5
芯径/μm	200.1	505.5	802.0
外径/μm	220.4	546.0	890.0
数值孔径	0.23	0.22	0.21
损耗(dB/km) (0.808 μm)	4.2	4.6	6.6
芯/包同心度误差/μm	3.37	9.60	12.3
包层不圆度%	0.82	0.37	0.11

4 结论

国外使用POD技术进行纯石英芯掺氟玻璃包层光纤的生产,而我们在国内首次开发的制作方法与其明显不同,采用的是棒管熔融套装法,测试数据和用户多年使用表明,与从国外进口的光纤没有差别,反应良好,说明我们开发的这种工艺方法是可行的。由于这种方法简单,可靠性和重复性好,制作成本低,必然取代传统的大芯径光纤的制作工艺,使得该类型光纤的应用前景更加光明。

参考文献:

- [1] Blomster Ola I, Roos Sven-Olove. Fiber optic for high-power diode lasers[J]. High-Power Diode Laser Technology and Application, 2003, 4973: 54-59.
- [2] Suzannf R N, Macchesney J B, Walker K L. An overview of the modified chemical vapor deposition (MCVD) process and preform[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1982, MTT-30(4): 305-321.
- [3] Gao Yaming, Feng Guang, Liu Yongjian, et al. Optica fiber with pure quartz core and fluorine-doped glass cladding [C]. 14th optica fiber communication & 15th integrated optics science meeting, Oct, 2009, 10: 43-46. (in Chinese) 高亚明, 冯光, 刘永建, 等. 纯石英芯掺氟玻璃包层光纤 [C]. 全国第14次光纤通信暨第15届集成光学学术会议, 2009, 10: 43-46.
- [4] Paul M C, Sen R, Yopadhyay T B. Fluorine incorporation in silica glass by MCVD process a critical study [J]. J Materials Sci, 1997: 3511-3516.
- [5] Li Jian, Zheng Kai, Chang Deyuan, et al. The fabrication of optica fiber with pure core [J]. China Science, Part E: Technic science, 2007, 37(9): 1170-1174. (in Chinese) 李坚, 郑凯, 常德远, 等. 纯石英芯光纤的研制 [J]. 中国科学, E辑: 技术科学, 2007, 37(9): 1170-1174.