

文章编号:1004-4213(2010)02-0247-4

掺杂对光纤紫外传输性能的影响*

钱新伟^{1,2}, 涂峰^{1,2†}, 刘德明^{1,2}, 汪洪海³, 罗杰³

(1 武汉光电国家实验室, 武汉 430074)

(2 华中科技大学 光电子科学与工程学院, 武汉 430074)

(3 长飞光纤光缆有限公司, 武汉 430073)

摘要:对光纤紫外传输特性进行了研究和分析. 利用下陷内包层结构设计, 对芯层采用不同含量的锗元素和氟元素掺杂, 用等离子体化学汽相沉积工艺进行光纤研制, 用相同光纤拉丝工艺制备了样品光纤. 通过对所制备样品光纤的光学特性、传输损耗谱、紫外传输效率和稳定性等性能的对比分析测试, 得到了光纤芯层不同掺杂含量对光纤紫外性能的影响, 并使用光纤芯层中的缺陷对这些测试结果进行了分析, 结果表明: 光纤的紫外传输效率直接受芯层掺锗的影响, 但紫外传输稳定性还受到光纤芯层中其他掺杂元素的影响, 有新的缺陷产生作用.

关键词:紫外传输性能; 光纤; 掺杂

中图分类号: TN929.11

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103902.0247

0 引言

石英光纤有重量轻, 直径小, 无电磁感应等现象^[1], 被广泛地应用于各种工业领域, 如通信、图像传输和能量传输等^[2]. 用光纤来进行紫外波段激光的传输, 可以在医疗和精密加工领域得到很好的预期应用^[3]. 虽然石英光纤被紫外光照射时, 性能会退化, 传输损耗会增加. 但石英芯层光纤的紫外传输损耗比多组分玻璃芯层光纤的小, 所以使用石英芯层光纤作为紫外激光的传输介质将更加适合^[4].

在短波长紫外光照射下, 空气中的氧气会产生分解, 紫外光所导致的石英光纤的性能退化能够被减少, 石英光纤将能够达到很好的紫外光传输效果, 可以被用来传输紫外波段的激光(特别是准分子激光光束的紫外波段激光), 例如: 激光微加工、树脂的紫外光固化、医疗处理等.

在石英光纤中, 锗离子的掺入将会产生紫外波段和可见光波段的吸收带, 导致这些光波段的传输性能劣化^[5]. 当短波长, 高能量紫外光通过石英光纤进行传输时, 光纤中的结构缺陷将会劣化传输效果. 当紫外光的波长越短、能量越大, 这种劣化效应就会越明显^[6]. 例如, 当准分子激光器被用来当作激光光源, 石英光纤作为传输介质, 当光源由 KrF 准分子激光器(波长 248 nm)过渡到 F₂ 准分子激光器(波长 193 nm)时, 传输性能会变差. 当传输能量变大

(例如卤素灯, 氙灯等被用来当作光源的时候)传输性能也会劣化^[7]. 因此石英光纤的紫外光传输性能需要通过光纤折射率剖面的设计和光纤制造工艺的优化来进行改进, 以满足工业应用的需求.

本文采用下陷掺氟内包层设计, 降低了光纤芯层的掺杂量, 从而减少了光纤芯层的缺陷含量. 采用等离子体化学汽相沉积工艺进行光纤制造, 通过精确的工艺控制, 减少了光纤芯层中缺陷的产生量、光纤拉丝过程中的拉丝张力和光纤芯层缺陷的产生量, 通过改变光纤中的掺杂比例得到了不同批次的 3 种光纤样品, 并对它们的紫外光传输性能进行了对比测试.

1 光纤的紫外传输性能

为了增强石英光纤的紫外光传输性能, 减少传输过程中的性能劣化, 可以在石英光纤芯层中增加羟基(OH)的含量. 但是随着羟基含量的增加, 石英光纤的紫外吸收带边沿将会被展宽, 将导致短波长(特别是真空紫外波段)的紫外光无法传输^[7].

研究表明, 石英光纤在紫外光传输过程中传输性能劣化产生的原因主要是由于玻璃结构中存在缺陷^[8-9]. 在所有形式的 SiO₂ 结构中, 最常见的缺陷是 E' 心(≡Si·), 可用符号 ≡Si· 代替, ≡表示跟氧结合的三个键, ·表示一个未配对的电子. 相对来说, E' 心在掺氟的石英材料中会减少. 玻璃中平面环结构受应力的影响, 成为 E' 心生成的前驱体, 使 E' 心的含量增加. 当石英玻璃材料被紫外光照射时会生成多种结构的缺陷, 这些缺陷可以在紫外光照射的

* 国家高技术研究发展计划(2007AA01Z229)资助

† Tel: 027-67887638 Email: tufeng.hust@gmail.com

收稿日期: 2009-02-16

修回日期: 2009-04-17

过程中或之后被热处理所消除^[10]. 当高能量的紫外光从光纤的一端射入光纤时, 将造成结构缺陷, 使传输性能的劣化只发生在被照射的那一端. 这样, 就只能处理长度很短的一段光纤, 不能处理一段光纤全部的长度. 可以通过改变光纤芯层中的掺杂来改变, 即光纤芯层的缺陷掺错会增加光纤中的缺陷, 掺氟将会减少光纤中的缺陷.

紫外传输光纤使用等离子体化学汽相沉积(PCVD)的工艺进行开发, 工艺原理如图 1. 使用 PCVD 工艺制造光纤时, 光纤的掺杂元素主要包括锗和氟, 达到改变光纤折射率的目的, 通过控制掺杂的比例, 得到所需的光纤参量.

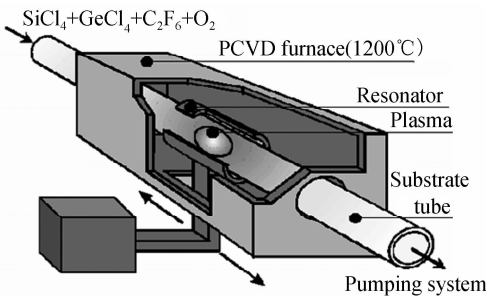


图 1 PCVD 工艺原理
Fig. 1 The PCVD process sketch

光纤采用阶跃结构, 芯层掺锗和氟, 内包层掺入氟成为下陷环状包层, 与芯层构成所需要的波导结构, 外包层为纯石英结构, 主要起保护作用, 光纤剖面设计如图 2.

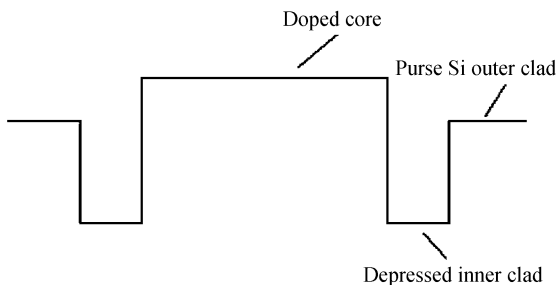


图 2 紫外光纤的剖面结构
Fig. 2 The profile of the UV fiber

根据图 2 所示的光纤剖面结构设计, 调整芯层的不同掺杂量, 制备出了 3 个不同批次的光纤样品. 光纤样品的掺杂比例如表 1.

表 1 不同光纤样品的芯层掺杂含量

Table 1 The doping content of different fiber samples

Fiber sample	GeCl ₄ /(%)	F/(%)
1#	8	4
2#	8	10
3#	11	10

通过选择不同的掺杂量, 可以使光纤芯层的折射率产生变化, 同时光纤芯层的缺陷含量也将发生变化. 保证光纤芯棒熔缩和拉丝工艺一致, 就可以

比较不同掺杂对光纤芯层缺陷的影响, 得出掺杂对光纤紫外光传输性能的影响.

2 掺杂对光纤紫外传输性能的影响

对光纤样品 1#~3# 进行性能测试, 测试项目包括光纤剖面、衰减谱和紫外传输性能等.

2.1 常规测试数据

用 Nettest 公司的光纤折射率剖面分析仪 (NR9200) 对光纤样品的折射率剖面进行的测试, 从光纤的端面进行扫描, 得到光纤端面的折射率剖面分布测试图, 见图 3. 从图中可以看出光纤经过芯层不同的掺杂, 芯层折射率值有明显的变化. 下陷内包层的折射率变化主要是为了保证光纤一致的数值孔径值, 相同直径的芯层在比较紫外传输性能的时候能够提供一致的测试水平, 保证测试数据的可比性.

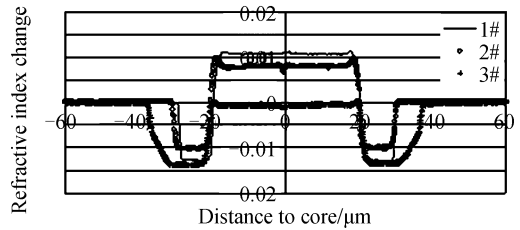


图 3 三种光纤样品的折射率剖面测试
Fig. 3 The three fiber's refractive index profiles

用 PK 公司的光纤衰减谱测试设备 (PK2200) 对相同长度的 3 种光纤样品进行传输损耗测试, 测试波长范围为 600~1 600 nm, 每隔 10 nm 测试一个光纤的衰减值, 测试结果见图 4.

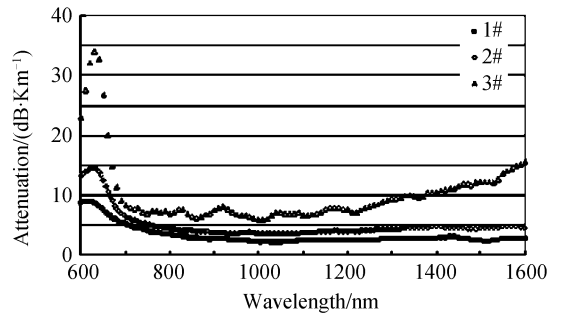


图 4 三种光纤样品的衰减谱测试对比
Fig. 4 The three fiber's attenuation spectrum

由图 4 可以看出, 不同掺杂的光纤表现出明显的性能差异, Si-O 缺陷的吸收峰在 630 nm 处, 光纤中 Si-O 缺陷是影响光纤紫外传输性能的主要缺陷之一, 它可以表征光纤芯层中 Ge-O 缺陷的含量, Ge-O 缺陷含量越高, 相应的 Si-O 缺陷的含量也会增高. 由于 Ge-O 缺陷的含量是劣化光纤紫外传输性能最重要的缺陷, 因此可以通过光纤在 630 nm 波长处的衰减值判断出光纤芯层的缺陷含量, 从而对光纤紫外传输特性做一个定量的对比.

1#~3# 光纤在 630 nm 波长处的衰减值见表

2,可以看出,1#光纤样品的衰减值最低,在整个测试波段范围内的整体衰减水平最低.随着光纤芯层中掺入 Ge 离子的增加,光纤芯层玻璃的网络结构逐渐被破坏,产生了多种缺陷,直接反映在光纤的衰减曲线中,因此 2#和 3#光纤的衰减值明显上升.

表 2 三种样品在 630 nm 波长处的衰减值

Table 2 The attenuation value@630 nm of three fiber sample

Fiber sample	1#	2#	3#
Attenuation@630 nm/(dB·Km ⁻¹)	7.68	13.56	32.89

2.2 光纤的紫外传输性能

对于光纤的紫外传输性能,重要的判断因素是光纤的紫外光传输效率(T)和传输的稳定性(S),这两个因子关系为

$$T = P_{out} / P_{in}$$

$$S = 1 - [(P_{outmax} - P_{outmin}) / P_{outave}]$$

式中 P_{out} 为光纤传输紫外光时出射端的出光功率, P_{in} 为光纤传输紫外光时入射端的入光功率.在测试紫外光传输稳定性时,需将紫外光长期(大于 14 日的时间)注入光纤中,观察光纤出射端的输出功率 P_{outmax} , P_{outmin} , P_{outave} 即为光功率的最大值,最小值和平均值.测试时将所取光纤样品两头进行打磨,连接头均制作成 FC/PC 式样,将跳线的一端接插在 305 nm 紫外激光器的输出端口上,保证激光能量输入稳定一致;另一端用光具座和夹具固定,对准功率计的探测面;光具座和探测器均固定在光学平台上,测试阶段保持所有物品位置固定,隔一定时间读取实验数据.

表 3 三种光纤样品的紫外传输性能测试结果对比

Table 3 The UV transmission performance contrast of three fiber sample

Fiber sample	1#	2#	3#
Transmission efficiency@305 nm(T, %)	99.3	98.5	97.8
Transmission stability@305 nm(S, %)	90.4	94.8	97.2

将 3 种光纤样品各取 10 m 在 305 nm 波段进行传输性能测试,得到如表 3 的测试对比结果.从表 3 中的数据可以看出,三种不同掺杂的光纤样品在相同传输波段,相同传输条件下,所表现出来的传输特性有明显的差别,随光纤芯层掺杂量的不断增加,光纤的紫外波段传输效率出现下降的趋势.

光纤的紫外光传输稳定性测试结果表明,随着 Ge 掺入量的增加,光纤的紫外光传输稳定性表现出相反的趋势.即光纤在紫外光长期照射的过程中,光纤中的缺陷经过吸收紫外光进行了转化,从而出现

了非紫外波段的吸收缺陷,导致光纤紫外光传输稳定性与传输效率呈相反的变化趋势.

3 结论

用等离子体化学汽相沉积工艺制备了光纤芯层不同掺杂量的三种光纤样品.测试了这三种样品的光学特性、衰减特性、紫外传输特性等性能,得到了不同掺杂对光纤各种性能的影响.结果表明,光纤的紫外传输效率受芯层掺锗的影响,紫外传输稳定性受光纤芯层中其他掺杂元素的影响,有新的缺陷产生作用.

参考文献

- [1] ROTHSCHILD M, EHRLICH D J, SHAVER D C. Eximer laser induced damage in fused silica [J]. *Microelectronic Engineering*, 1990, **11**: 167-172.
- [2] LI Yan, XU Xiao-feng, KANG Zhi-hui, et al. Interrogation technique for diametric load on fiber Bragg grating[J]. *Acta Photonica Silica*, 2008, **37**(4): 717-720.
李岩,徐晓峰,康智慧,等.光纤光栅径向受力检测技术[J]. *光子学报*, 2008, **37**(4): 717-720.
- [3] URANO Akira, DANZUKA Toshio, SAITO Tatsuhiko, et al. Silica glass article and manufacturing process therefore; US, 6333283[P]. 2001-04-12.
- [4] SKUJA Linards, HOSONO Hideo, HIRANO Masahiro. Laser-induced color centers in silica[C]. *SPIE*, 2001, **4347**: 155-168.
- [5] TU Feng, HAN Qing-rong, LUO Jie, et al. The influence of fiber's photosensitivity by doping process [C]. *SPIE*, 2007, **6433**: 81-85.
- [6] WU Mao-liang, ZHAO Wan-hua, YU Dian-hong, et al. Coupling research on the UV light and optic fiber in stereo lithography[J]. *Acta Photonica Silica*, 2001, **30**(11): 1366-1371.
吴懋亮,赵万华,于殿泓,等.光固化成型中紫外光源-光纤耦合研究[J]. *光子学报*, 2001, **30**(11): 1366-1371.
- [7] KAYA Nagasawa, YUTAKA Hoshi, YOSHIMICHI Ohki, et al. Improvement of radiation resistance of pure silica core fibers by hydrogen treatment [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 1985, **24**(9): 1224-1226.
- [8] SKUTNIK Bolesh J, Neuberger WOLFGANG, Castro Jose L, et al. Silica fibers with enhanced UV performance[C]. *SPIE*, 1992, **1649**: 55-62.
- [9] MEN Zhi-wei, ZHANG Xi-he, FANG Wen-hui, et al. Study on the characteristic of fiber Bragg grating sensing in low temperature[J]. *Acta Photonica Silica*, 2008, **37**(6): 1191-1194.
门志伟,张喜和,房文汇,等.光纤布喇格光栅低温传感的特性研究[J]. *光子学报*, 2008, **37**(6): 1191-1194.

Study of Doping Influence the Fiber's UV Transmission Performance

QIAN Xin-wei^{1,2}, TU Feng^{1,2}, LIU De-ming^{1,2}, WANG Hong-hai³, LUO Jie³

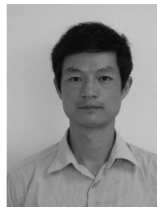
(1 Wuhan National Laboratory for Optoelectronic, Wuhan, Hubei 430074, China)

(2 College of Optoelectronic Science and Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

(3 Yangtze Optical Fibre and Cable Co., Ltd, Wuhan, Hubei, 430074, China)

Abstract: Study the optical fiber's UV transmission performance, utilize the depressed inner clad design, with different doping content of Ge and F in fiber's core, use the Plasma Chemical Vapor Deposition process to develop the sample fiber, and adopt the same drawing process control to fabricate the fiber sample. Through contrast the samples' optical characters, attenuation spectrum and UV transmission efficiency and stability, get the influence of the fiber's UV transmission performance by the doping content. With the increase of the Ge and F doping content the fiber's 305 nm laser transmission efficiency would decrease obviously. The UV laser transmission efficiency changed from 99.3%~97.8%. This would be caused by the increase of the defects content in the fiber's core, and then it would decrease the UV laser transmission efficiency. However, with the increase of the Ge doping content, the fiber's UV transmission stability would increase from 904%~97.2%. The results indicate that; the fiber's UV transmission efficiency was directly influenced by the Ge doping process, then the transmission stability was influenced by the other doping element, the new defects have been generated.

Key words: UV transmission performance; Optical fiber; Doping process



QIAN Xin-wei was born in Oct. 1974. He received his Master degrees from Wuhan University of Science and Technology in 2001. His current research interests are in the field of optical fiber fabrication, optical fiber communication, fiber sensor and specialty optical fiber.



LIU De-ming was born in Jan. 1957. He is a professor of Huazhong University of Science and Technology. His current research interests are in the field of Amplifier and dispersion compensation technique in fiber communication system, active and passive optical device technique, DWDM system and network, as well as distribute fiber sensing detect and optical wave-guide sensing technique for environment protection and monitoring.