

文章编号: 0258-7025(2002)05-0433-03

# 双层反射膜空芯传能光纤

侯峙云, 周桂耀, 侯蓝田

(燕山大学红外光纤与传感研究所, 河北秦皇岛 066004)

**提要** 利用化学气相沉积法, 在毛细石英管内沉积  $\text{GeO}_2/\text{Al}$  双层反射膜结构, 增加内表面膜的反射率, 降低传输损耗, 该光纤可传输功率大于 80W 的连续  $\text{CO}_2$  激光。

**关键词** 双层反射膜, 传能空芯光纤,  $\text{CO}_2$  激光

**中图分类号** TN 253; TN 012 **文献标识码** A

## Dual-layer Reflection Film Transmitting Energy Hollow Fiber

HOU Zhi-yun, ZHOU Gui-yao, HOU Lan-tian

(Infrared Optical Fibers & Sensors Institute of Yanshan University, Qinghuangdao 066004)

**Abstract** The dual-layer dielectric reflection film of  $\text{GeO}_2/\text{Al}$  is deposited on inner wall of the quartz capillary by CVD. The inner surface reflectivity is increased, and transmission losses are decreased. The transmitting energy hollow fiber can transmit more than 80 W power of CW carbon dioxide laser.

**Key words** dual-layer reflection film, transmitting energy hollow-core fiber,  $\text{CO}_2$  laser

## 1 引 言

利用光纤实现柔性传输高能量  $\text{CO}_2$  激光是世界主要发达国家正在研究和发展的项目。而传输高能  $\text{CO}_2$  激光光纤必须具备在红外波段有极高的透射率或高反射率并能自由弯曲。由于光纤材料和结构对光纤的传输性能起决定性作用, 因而通常选取红外晶体材料<sup>[1,2]</sup>、各种金属及其氧化物<sup>[3]</sup>、硫化物、氟化物玻璃材料<sup>[4,5]</sup>、陶瓷材料等制造光纤。而这些材料都有各自不同的优缺点, 对于制造空芯光纤而言, 只有综合它们的优点, 选用组合材料是最有前途的。

多晶  $\text{GeO}_2$  的折射率  $n = 0.57$ , 吸收常数  $k = 0.82$  (在  $10.6 \mu\text{m}$  波长处)<sup>[6]</sup>, 根据反射原理, 当光从空气进入  $\text{GeO}_2$  膜时, 入射角  $\theta > \theta_0$  ( $\theta_0 = 34^\circ 50'$  全反射临界角) 时, 光束会产生全反射<sup>[7,8]</sup>。因此, 它具有良好的传输红外辐射性能。但实际上, 在制造工艺上很难得到光滑表面膜和满足全反射条件的膜厚。若膜层太薄, 透射损失太大; 而太厚又会变得疏松, 造成激光光束的散射损耗。因此仅靠单层膜制成

的光纤限制了高能量的传输。

我们以空芯石英毛细管作为基体, 制备出  $\text{GeO}_2/\text{Al}$  的双层反射膜空芯光纤, 在传输高功率  $\text{CO}_2$  激光方面取得了较大的进展。

## 2 光纤的制造方法

采用 CVD 方法, 在内径为  $10 \sim 20 \text{ mm}$  的石英管内壁沉积一层多晶态  $\text{GeO}_2$  膜, 然后在拉丝机上拉成所需要的空芯光纤<sup>[6]</sup>, 但所沉积的多晶  $\text{GeO}_2$  膜均匀性差, 表面很难保持光滑。为此采用化学气相沉积的方法, 通过控制  $\text{GeCl}_4$  与  $\text{O}_2$  的摩尔比及混合气的流速, 通过调节高温炉与冷却器的温度差, 可在光纤内壁上生成约  $6.0 \mu\text{m}$  左右厚的纳米级的多晶  $\text{GeO}_2$  膜<sup>[9]</sup> (见图 1), 增加了内表面的光滑度。然后通过气相沉积, 用氩气作  $\text{AlCl}_3$  的载气进入空芯光纤内与  $\text{O}_2$  在  $800 \sim 850 \text{ C}$  下反应生成  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜 (如图 2)。图 2 是装有两个加热炉的沉积 Al 膜的实验装置, 外面的长电炉将整根光纤的温度保持在

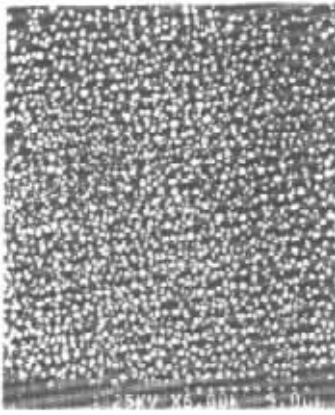


图 1 光纤内表面多晶 GeO<sub>2</sub> 膜的电镜照片  
Fig. 1 SEM of polycrystalline GeO<sub>2</sub> film on the inner surface of the optical fiber

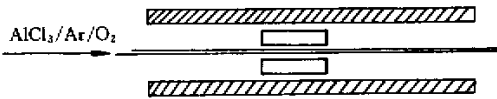


图 2 沉积铝膜实验装置  
Fig. 2 Device for depositing Al film

200~300℃, 中间的小炉将光纤的温度加热到 800~850℃, 并且来回不断移动。沉积完成 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜后, 关上 AlCl<sub>3</sub> 及 O<sub>2</sub>, 接着通入 Ar, 并将中间小炉的温度调至 600℃, 恒温后, 通入 H<sub>2</sub>, 调节其含量为 4%, 因此可将 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜完全还原成 Al 膜。从而制成了由金属膜到介质膜的双层反射膜的传能光纤。

### 3 光纤性能测试

#### 3.1 光纤的红外谱图

分别对内径和长度一样的单层多晶 GeO<sub>2</sub> 空芯光纤和 GeO<sub>2</sub>/Al 双层空芯光纤, 用 FT-IR 红外谱仪对光纤在各波段的光谱传输效率进行分析, 如图 3 (a), (b) 所示。

由图中可看出, 由于 Ge—O 键的伸展振动在 882 cm<sup>-1</sup> 处存在一强的共振吸收峰。在它的高频端 890~960 cm<sup>-1</sup> 区光纤的传输率都很高。这是 GeO<sub>2</sub> 剩余射线带。纯 GeO<sub>2</sub> 膜光纤在 943 cm<sup>-1</sup> 的传输率为 72%; 而带有金属 Al 膜的光纤传输率达到 85%, 明显高于纯 GeO<sub>2</sub> 膜光纤的性能。

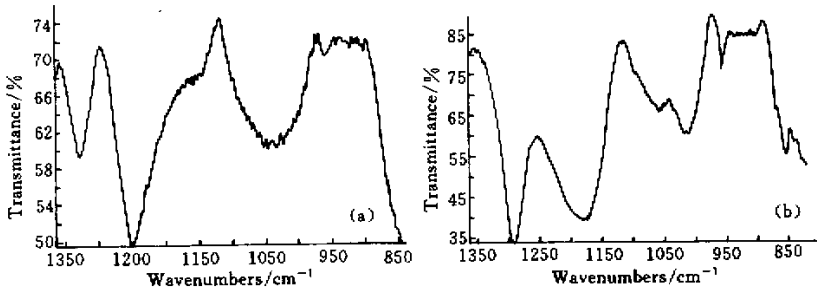


图 3 单层 GeO<sub>2</sub> (a) 和双层 GeO<sub>2</sub>/Al (b) 介质膜传能空芯光纤的红外谱图

g. 3 IR transmission spectrum of monolayer GeO<sub>2</sub> (a) and double-layer GeO<sub>2</sub>/Al (b) transmitting energy hollow-core fiber

#### 3.2 光纤的传输损耗测试

测试装置如图 4。使用 ZL-50 型 CO<sub>2</sub> 激光器, 输出功率为 0~100 W, 光束直径 φ11 mm, 光斑为 TEM<sub>00</sub> 模式, 用焦距 f = 150 mm 的透镜先对输出的激光进行聚焦, 然后将光纤的输入端对准焦点, 光纤的输出功率用 891 型功率计测量, 首先对芯径为 1.0 mm, 长度为 1.8 m 的双层 GeO<sub>2</sub>/Al 反射膜传能空芯光纤进行测试。图 5 为直的传能光纤的测试结果, 光纤可以在非冷却的条件下传输 100 W 激光能量, 输出 80 W, 传输损耗为 0.54 dB/m, 并由图 5 也可看出随输入功率的减少, 损耗值也在减少。

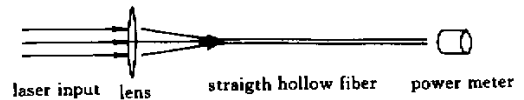


图 4 光纤传输损耗测试实验装置

Fig. 4 Experimental test facility for measurement of transmission loss of hollow fiber

双层 GeO<sub>2</sub>/Al 反射膜空芯传能光纤在弯曲时, 虽然也按 1/R 规律增加弯曲附加损耗, 但损耗系数

减少了许多。利用同芯径的光纤进行弯曲测量,激光输入功率为 30 W 时,测量结果如图 6 所示。由图可见,弯曲半径为 800 mm 时损耗为 1.25 dB,当弯曲半径为 300 mm 时,损耗为 2.2 dB,传输损耗随着弯曲半径的缩小而逐渐增加。

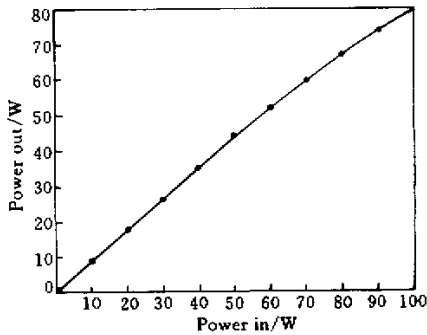


图 5 双层 GeO<sub>2</sub>/Al 直空芯传能光纤传输损耗

Fig. 5 Transmission loss of dual-layer GeO<sub>2</sub>/Al straight hollow fiber

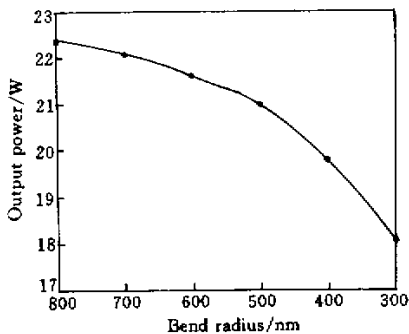


图 6 光纤的弯曲半径与传输功率的关系

Fig. 6 Relation between bend radius and output power

## 4 结 论

根据光线反射原理,我们采用折射率不同的双层反射膜制备了空芯传能光纤,降低了光纤的传输损耗,保证光纤在使用过程中不会因为损耗太大而烧坏。传输高能光纤的冷却系统也是必须的,它保

持了光纤的工作温度,使光纤在长时间工作时,不会受到损坏。空芯传能光纤内壁反射膜,除了可以为二层之外,还可以制成三层或三层以上,但反射膜层越多也给制造工艺带来困难就越大,并且膜层越厚,这样很难保持反射膜的光滑度,还容易脱落,反而影响光纤能量的传输。而且多层膜光纤以介质/金属交替层较好,这样充分利用金属膜有利于电场分量的传输,而介质膜有利于磁场分量的传输,从而改善空芯光纤的传输性能。

## 参 考 文 献

- 1 D. Bunimovich, S. Shalem, A. Katzir. Effects of thermal treatment on the infrared transmission of polycrystalline silver halide fibers [J]. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(1):285~290
- 2 S. Silberstein, J. Kastner, M. Tack *et al.*. Propagation of infrared radiation in silver halide optical fibers [C]. *SPIE*, 1997, **2977**:74~81
- 3 M. Miyagi, A. Hongo, Y. Aizawa *et al.*. Fabrication of germanium-coated nickel hollow waveguides for infrared transmission [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **43**(5):430~432
- 4 J. Colaizzi, M. J. Matthewson, T. Iqbal *et al.*. Mechanical properties of aluminum fluoride glass fibers [C]. *SPIE*, 1991, **1591**:26~33
- 5 D. C. Tran, G. H. Sigel, B. Bendow. Heavy metal fluoride glasses and fibers: A review [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1984, **LT-2**(5):566~586
- 6 Hou Lantian, Fu Lianfu, Lu Ping *et al.*. Pure germanium dioxide hollow-core fiber for transmitting CO<sub>2</sub> laser [J]. *Science in China A*, 1995, **38**(6):749~756
- 7 Lantian Hou, Lianfu Fu, Ping Lu *et al.*. Polycrystalline germanium dioxide hollow-core fibers and their performance [J]. *Infrared Physics & Technology*, 1997, **38**(3):193~199
- 8 Zhou Guiyao, Hou Zhiyun, Hou Lantian *et al.*. Study on reflection characteristics of Hexagonal Polycrystal GeO<sub>2</sub> [J]. *Journal of Yanshan University* (燕山大学学报), 2000, **24**(4):338~341 (in Chinese)
- 9 Zhou Guiyao, Hou Zhiyun, Hou Lantian *et al.*. Experimental study on chemical vapor deposition of polycrystalline GeO<sub>2</sub> thin film in hollow-core optical fibers [J]. *Materials Science and Technology* (材料科学与工程), 2001, **9**(1):52~55 (in Chinese)