

超大模场双包层光纤的制备与性能测试

潘 蓉, 王东波, 宁 鼎, 段云锋

(中国电子科技集团公司第四十六研究所, 天津 300220)

摘 要:阐述了大模面积有源光纤的基本原理,介绍了有源光纤的制备过程。针对目前国内大模场有源光纤制备技术中存在的问题,从传统结构大模面积光纤的制备工艺入手,对有源光纤预制棒制备工艺进行了理论分析和实验优化,通过采用多次沉积等新技术,解决了有源区面积难以增大等问题。最终制备出纤芯直径 95 μm 的传统结构的超大模场有源光纤,并实现了激光输出。

关键词:有源光纤;预制棒;大模面积;高功率激光器

中图分类号:TN253

文献标识码:A

Research and fabrication of large mode area fiber

PAN Rong, WANG Dong-bo, NING Ding, DUAN Yun-feng

(The 46th Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Tianjin 300220, China)

Abstract: The fundamental principle of large mode area (LMA) fiber was discussed and the fabrication process of active optical fiber was introduced. For solving the problems existed in domestic LMA fiber preparing technology, theoretical analysis and experimental optimization on active optical fiber preparation process were carried out, and a multi-deposition new technology was also used to increase the doped area. Finally, the LMA fiber with 95 μm core diameter has been prepared successfully and realized the laser output.

Key words: active optical fiber; fiber preforms; large-mode-area; high-power lasers

1 引 言

随着二极管泵浦技术的蓬勃发展和光纤制备工艺的不断改进,以有源光纤作为激光介质的光纤激光器技术研究取得了飞速的发展^[1]。目前光纤激光器已实现了单纤近万瓦量级的激光输出^[2]。随着输出功率的进一步提高,作为激光增益介质和传输介质的有源双包层光纤不再能够满足高功率激光输出的要求。因为在连续输出高功率激光时,光纤中的激光功率密度达到一定阈值,纤芯中开始出现非线性效应。非线性效应不但降低了连续激光的输出功率,同时还严重影响了输出激光的光谱特性。

为了降低高功率输出时光纤中的功率密度,人们开始探索大模场面积(LMA)的双包层有源光纤技术,试图通过增大纤芯的面积的方法来降低纤芯中单位面积上的功率密度,从而提高产生光纤非线性

性效应的阈值。正是由于大模面积有源光纤能够满足更高功率激光输出的要求,因而成为目前光纤激光器领域研究的热点之一。

本文阐述了大模场有源光纤的基本原理,介绍了大模场有源光纤的研制过程,通过技术改进自行研制了纤芯直径近百微米的传统结构的大模场有源光纤并实现了激光输出。

2 大模场有源光纤的研究现状

在高功率条件下,光纤中的激光功率密度达到一定阈值,部分激光功率将转换到频率较低的布里渊散射光和拉曼散射光中,这不但降低了激光输出功率,还严重影响了输出激光的光谱特性。为了降

作者简介:潘 蓉(1980-),女,硕士,工程师,主要从事特种光纤研发及相关技术方面的研究。E-mail:pprr-0305@163.com

收稿日期:2009-11-19;**修订日期:**2010-01-14

低高功率工作时光纤中的功率密度,人们开始研制 LMA 双包层有源光纤。大模场有源光纤具有较大的纤芯直径和较小的纤芯数值孔径。通过增大纤芯直径、增大纤芯模场面积,减少单位面积的功率密度,提高了光纤非线性效应的阈值,并且增大了纤芯承受功率的能力。同时,较小的纤芯数值孔径(NA),减少了纤芯中传输的模式数量,使激光保持单模或近似单模的传输,从而获得高光束质量、高功率激光输出。

目前国外开展 LMA 双包层有源光纤研制的公司很多,特别是美国的 IPG、NUFERN 公司以及芬兰的 LIEKKI 公司,均已有芯径为 $30\mu\text{m}$ 的光纤产品销售。相比之下,国内开展 LMA 双包层有源光纤的研制工作起步较晚,存在的主要问题有:稀土离子掺杂均匀性较差、掺杂区面积较小和光纤高功率密度下热损伤较大等。目前从事该方向研究的单位主要有中

国电子科技集团公司第四十六研究所和烽火公司。

LMA 双包层有源光纤已广泛地应用于高功率连续和脉冲光纤激光器、放大器中。2004 年,Jeong 等人成功研制出功率 1.36 kW 的大模场掺镱双包层光纤激光器^[3]。2005 年,IPG 公司利用种子光振荡放大技术实现了单根光纤高达 2 kW 的准单模激光输出^[4]。近几年国内有关 LMA 双包层有源光纤激光器实验研究也取得了近千瓦高功率输出。

3 大模场有源光纤的制备

大模场有源光纤的制备方法主要有外气相沉积法(OVD)、等离子体化学气相沉积工艺(PCVD)和 MCVD 工艺结合溶液掺杂法等。本文是采用 MCVD 工艺结合溶液掺杂法制作掺镱光纤预制棒,再将光纤预制棒进行拉丝,最终得到有源光纤的。制作具有较大掺杂面积的光纤预制棒的工艺是制备超大模场光纤的关键工艺,其具体的工艺过程如图 1 所示。

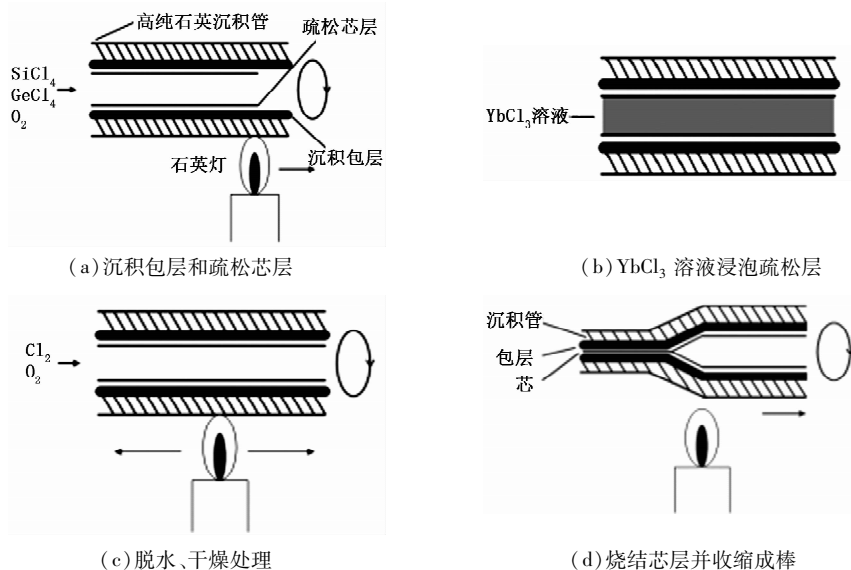


图1 MCVD 工艺结合溶液掺杂法工艺示意图

将石英反应管紧固在玻璃车床上不断旋转,由高纯 O_2 把原料 SiCl_4 , GeCl_4 , POCl_3 等载入反应管内,由氢氧焰提供原料反应和沉积所需的高温并沿反应管方向往复运动,使进入反应管的原料反应沉积在石英反应管内壁。沉积一定厚度后,降低火焰温度到适宜范围($1300 \sim 1500\text{ }^\circ\text{C}$),按相同沉积工艺沉积未烧结、不透明、疏松多孔状的芯层。将带有疏松芯层的反应管浸入预先配制好的 YbCl_3 溶液中,使 Yb^{3+} 均匀地吸附在疏松芯层上。浸泡一定的时间后将溶液取出,在较低温度下通入高纯 Cl_2 与 O_2 的混合气体对反应管进行脱水、干燥处理,然后在近 $1800\text{ }^\circ\text{C}$ 下烧结芯层。最后在近 $2000\text{ }^\circ\text{C}$ 下烧结石英

反应管使之收缩成光纤预制棒。

由于采用 MCVD 工艺制备的纤芯尺寸较小,为获得大芯径有源光纤,本文设计开发了多次沉积、多次浸泡的工艺制备方法。但是这对沉积工艺提出了新的要求,为此我们调整了沉积时的工艺参数和物料配比,改进了浸泡时的工艺方法,有效地避免了在多次沉积、多次浸泡过程中由于热膨胀系数不匹配产生的应力作用,这种应力作用可能导致疏松芯层脱落或反应管炸裂。

为了保证激光输出时的光束质量,在纤芯面积增加的同时,还需要降低纤芯 NA。为此,将溶液掺杂技术与高温汽相掺杂工艺相结合,将汽相的 Al^{3+}

优先掺入熔融石英组成的四面体网络结构,形成稳定的铝氧四面体[AlO_4]。这样可以更有效地阻止 Yb^{3+} 团聚现象的发生,同时还可以防止收棒时由于物料挥发造成的芯部折射率凹陷,不但降低了纤芯的 NA,还实现了高浓度和均匀的稀土离子掺杂。

制备出的 D 型结构 LMA 光纤端面照片如图 2 所示。光纤芯径 $95\text{ }\mu\text{m}$;包层直径 $560\times 620\text{ }\mu\text{m}$;光纤涂覆直径 $760\text{ }\mu\text{m}$;纤芯数值孔径 0.06;包层数值孔径 0.50。

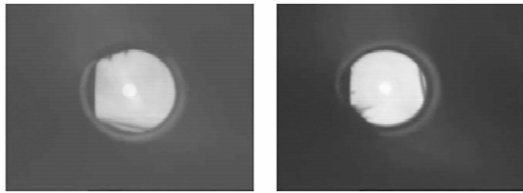


图 2 超大模场光纤端面图

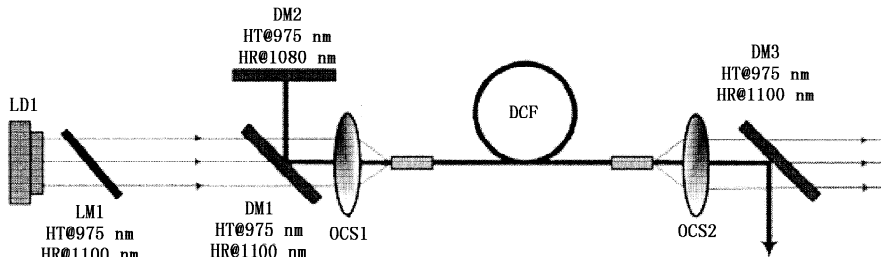


图 4 实验装置示意图

泵浦功率和激光输出功率曲线如图 5 所示。计算得到两种冷却水温下的激光的光光效率分别为 59.9% 和 67.6%。

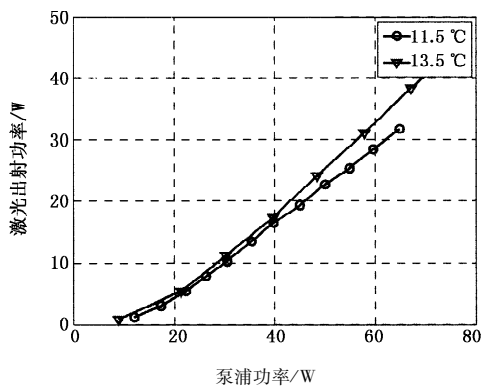


图 5 泵浦功率和激光输出功率曲线图

5 结 论

针对百微米级超大模场双包层有源光纤的制作工艺,对有源预制棒制备工艺进行了实验优化,通过采用多次沉积和高温汽相掺杂与溶液掺杂技术相结

4 激光实验

经光谱仪测试,制备出的 D 型 LMA 光纤有效吸收系数达到 5 dB/m 以上,测试数据如图 3 所示。

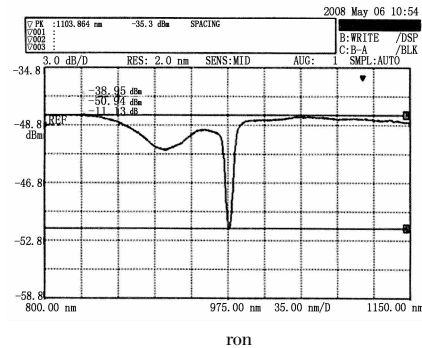


图 3 LMA 光纤吸收系数

LMA 光纤采用如图 4 所示的实验装置进行了激光实验。

合的工艺,克服了 MCVD 工艺制备有源区芯径较小的问题,使 D 型结构的大模场双包层掺镱光纤的芯径达到 $95\text{ }\mu\text{m}$,并实现了激光输出。

致 谢:感谢清华大学闫平老师在光纤激光测试方面给予的帮助!

参考文献:

- [1] 友清泽. 超高功率光纤激光器[J]. 激光和光电子学进展,1998(1):40-43.
- [2] Y Jeong, J K Sahu, D N Payne, et al. Ytterbium-doped large-core fibre laser with 1 kW of continuous-wave output power[J]. Electron. Lett., 2004, 40:470-472.
- [3] Y Jeong, J K Sahu, D N Payne, et al. Ytterbium-doped large-core fibre laser with 1.36 kW of continuous-wave output power [J]. Optics Express, 2004, 12 (25): 6088-6092.
- [4] D Gaponstev. Quasi-single-mode fiber laser nears 2 kW output with high-quality beam[J]. Laser Focus World, 2005, 41(6):9.