

文章编号:1001-5078(2007)03-0259-03

铒镱共掺双包层光纤的研究

衣永青,周述文,宁 鼎,郑风振
(中国电子科技集团公司第四十六研究所,天津 300220)

摘 要:文中主要介绍了用 MCVD 工艺结合溶液掺杂技术制备铒镱共掺双包层光纤的设计、制作及性能。通过铒镱掺杂浓度的对比实验以及制备工艺的改进,找到了合适的铒镱掺杂浓度比,提高了铒镱掺杂浓度,有效防止了预制棒芯部的凹陷,最终制作出铒镱掺杂浓度高(吸收系数 $\geq 2\text{dB/m}$)(976nm)、内包层形状为 D 形的铒镱共掺双包层光纤。

关键词:光纤激光器;双包层光纤;铒镱共掺

中图分类号:TN253 **文献标识码:**A

Study of the Ytterbium-erbium Co-doped Double-clad Optical Fibers

YI Yong-qing, ZHOU Shu-wen, NING Ding, ZHENG Feng-zhen
(The 46th Research Institute of Chinese Electronic Technology Group, Tianjin 300220, China)

Abstract: The design, fabrication and properties of the ytterbium-erbium co-doped double-cladding fiber are reported, which is made by method of a combination of the MCVD and solution doping technique. By comparing the concentration of Erbium ion and ytterbium ion and improving the manufacture technique, the optimal concentration ratio of $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ is gotten, and the two kinds of doped ions' concentration are improved. Furthermore, the depressed center of perform is avoided, and the satisfying double-cladding erbium-ytterbium co-doped fiber is fabricated finally. The fiber's doped ion concentration is very high (the absorption ratio $\geq 2\text{dB/m}$, 976nm), and the inner cladding is D-shape.

Key words: fiber laser; double-cladding fiber; erbium-ytterbium-codoped

1 引言

掺稀土离子石英光纤放大器和激光器因体积小、光束稳定、功耗低等优点而得到广泛应用。掺铒光纤激光器与放大器由于其运转波长与光通讯的第三窗口(1.55 μm)相一致^[1],近几年发展迅速,但由于随着铒浓度的进一步提高, Er^{3+} 会发生聚集,引发 Er^{3+} 对的上转换效应,导致成对浓度淬灭,直接影响了 EDFA 的泵浦转换效率和增益提高^[2]。同时,单纯掺铒光纤激光器使用的泵浦源受波长限制。随着研究的深入,人们发现如果在 Er^{3+} 光纤中同时掺入 Yb^{3+} ,由于 Yb^{3+} 具有很宽的吸收带(800~1064nm)和相当宽的激发带,而且 Yb^{3+} 的吸收截面比 Er^{3+} 大得多,不会出现浓度淬灭,可以达到较高的 Yb^{3+} 浓度,不会出现边缘效应,容易吸收 980nm 附近的泵浦能量,从而提高 Er^{3+} 的掺杂浓度,缩短光纤的长度^[3]。铒镱共掺光纤的吸收谱图如图 1 所示。特别

是 Yb 的 $2F_{5/2}$ 的能带和 Er 的 $4I_{11/2}$ 能带非常接近,而且 Er 的 $4I_{11/2}$ 能带上寿命比 Yb 的 $2F_{5/2}$ 的能带上的寿命短的多,所以其离子能量很容易从 Yb 的 $2F_{5/2}$ 的能带转移到 Er 的 $4I_{11/2}$ 能带上,再无辐射跃迁到 $4I_{13/2}$ 。最后辐射出光子,回到 $4I_{15/2}$,其能级、泵浦、转移和跃迁的过程如图 2 所示。同时利用镱吸收曲线的长波长区的吸收,拓宽了泵浦光源的范围,除了使用 980nm 泵浦源外,可以使用辐射 1053nm 波长的大功率 Nd:YLF 固体激光器作泵浦源,大大提高了 EDFA 的输出功率^[4]。采用双包层结构的 Er-Yb 共掺双包层光纤,泵浦源输出的泵浦光直接耦合入直径为几十到几百微米的内包层中,比传统的 EDFA

基金项目:天津自然科学基金项目资助(No. 043602311)。

作者简介:衣永青(1975-),女,工程师,研究方向为光纤。

E-mail: zqb01@126.com

收稿日期:2006-09-07; **修订日期:**2006-10-25

耦合面积增加了2个数量级,耦合效率远远高于传统的EDFA,所以Er-Yb共掺双包层光纤的研究成为目前的研究热点。本文从Er-Yb共掺双包层光纤的吸收谱和能级结构的分析入手,论述了铒镱共掺双包层光纤的制造、性能和光纤的结果分析,研制出性能优良的铒镱共掺双包层光纤。

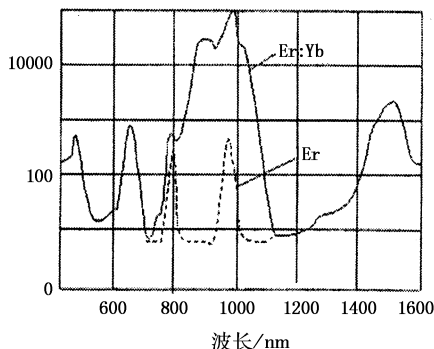


图1 铒镱共掺光纤的吸收谱图

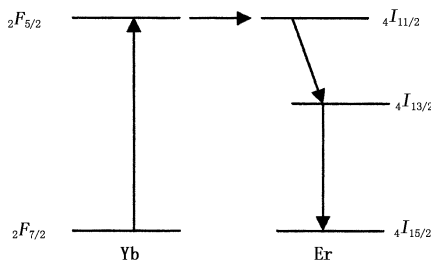


图2 铒镱共掺光纤的能级图

2 实验

2.1 铒镱掺杂浓度的配比实验

铒和镱的浓度对掺杂光纤的性能有显著的影响。浓度过高或过低均不利于形成激光放大。铒和镱的合适浓度比是我们研究的关键。镱离子浓度必须达到一定值才能有效地激发铒离子。而镱离子浓度过高又会出现光纤铒离子作用被弱化,激光实验效率降低。我们改变铒和镱的浓度比进行了实验研究,在镱离子浓度不变的情况下逐渐增加铒离子浓度,通过激光实验和浓度测试的联合比较来寻找铒和镱的合适浓度比。

2.2 光纤制备实验

我们采用MCVD工艺及溶液掺杂法制备掺Yb³⁺双包层石英光纤。工艺过程简述如下:

①配制YbCl₃、ErCl₃溶液。溶液的配制要求较高,必须控制好溶液的酸碱度。

②用MCVD工艺制作光纤的内包层和疏松芯层。内包层组分为SiO₂-P₂O₅-F,其折射率与石英反应管匹配。低温沉积疏松芯层组分为:SiO₂-GeO₂-P₂O₅。

③溶液掺杂。将反应管放入已配制好的溶液中浸泡1h左右,使稀土离子均匀地吸附在疏松芯层上。

④脱水。将已浸泡好的反应管重新接到车床

上,在适宜的温度下通入高纯Cl₂、O₂的混合气体进行干燥脱水处理约0.5h。

⑤缩棒。将经过脱水干燥的反应管在高温下烧缩成透明的具有掺Er³⁺、Yb³⁺芯层的预制棒。

⑥根据设计对预制棒进行加套至所需的芯包比后,将预制棒进行设计加工,处理成所需的内包层结构,然后拉制成铒镱共掺双包层光纤。

3 试验结果及讨论

3.1 铒和镱掺杂浓度

通过试验,我们发现在铒浓度比较低的情况下,光纤几乎没有铒现象,随着铒离子浓度的逐渐增加,当镱铒离子浓度比达到13:1时,开始出现铒镱共掺光纤的性能。当镱铒离子浓度比达到8:1时,光纤的性能在镱离子浓度不变的情况下达到最佳。

3.2 预制棒及光纤的基本特性

铒镱共掺双包层光纤是高功率光纤激光器和放大器的关键部件。我们从MCVD工艺和溶液掺杂法入手,深入研究了光纤的制备工艺。同时对制棒、溶液掺杂、光学加工及拉丝等各个工序进行优化。采用前面描述的制作技术,我们制作出来含有高铒镱浓度且均匀无析晶的光纤预制棒。

光纤预制棒芯部的凹陷也是影响光纤性能的重要因素,为了解决这一问题,我们在制备光纤时在纤芯掺入Al₂O₃和P₂O₅,这两者的掺入不但可以有效增加镱和铒的掺杂浓度,而且P₂O₅的掺入对镱和铒之间有效的能量转换有至关重要的作用,并且实验表明通过这两者的掺入有效地降低了预制棒芯部的凹陷。图3和图4分别为工艺改进前后P104所测折射率分布图。

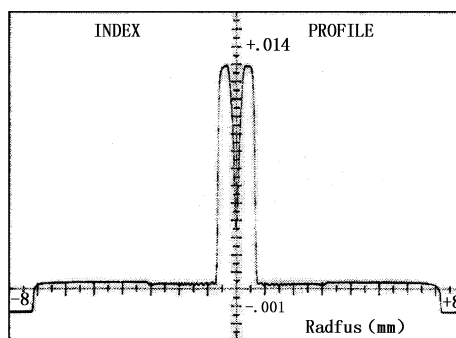


图3 工艺改进前的折射率分布图

为了提高光纤激光器的性能,我们设计制作了D形双包层结构铒镱共掺双包层光纤,所拍摄的光纤内包层形状见图5。由于拉丝温度的原因拉出的光纤内包层结构略有变形并不影响光纤性能。

经过实验,所做Er/Yb共掺双包层光纤的参数如下:

芯径:23.0μm

内包层形状:D形

内包层尺寸: $359.3\mu\text{m} \times 402.9\mu\text{m}$
 数值孔径: 芯 NA: 0.18; 内包层 NA: 0.41
 有效吸收系数(976nm): $\geq 2\text{dB/m}$

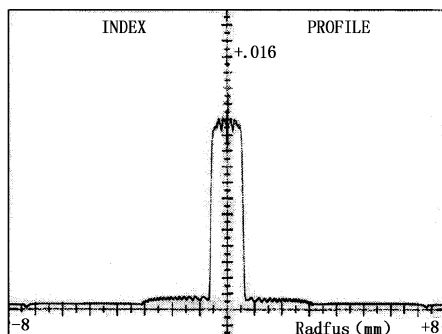


图4 工艺改进后的折射率分布图

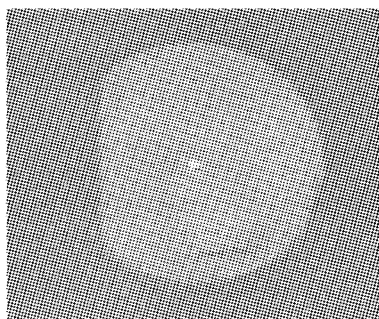
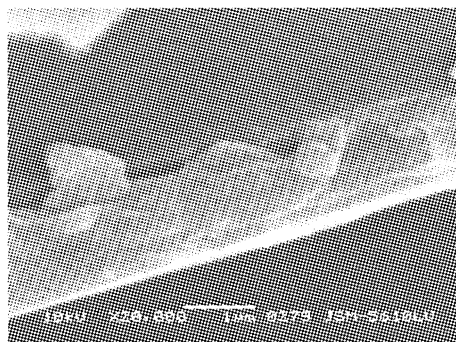
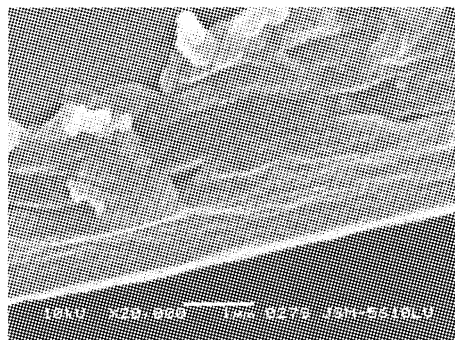


图5 D形光纤内包层图

(上接第258页)



(a) 浓度为0.5%的有机膜断面 SEM 图



(b) 浓度为0.25%的有机膜断面 SEM 图

图11 有机膜断面 SEM 图

参考文献:

[1] 李伟,那艳玲.空芯塑料光纤传光机理及制备工艺

4 结论

我们采用 MCVD 工艺结合溶液掺杂技术,通过对掺杂物浓度、折射率剖面图及光纤制备工艺过程的改进,成功地制作出了钇镱掺杂浓度高(吸收系数 $\geq 2\text{dB/m}$)(976nm)、内包层形状为 D 形的钇镱共掺双包层光纤。该光纤在光通信、材料加工与处理、航天航空、医学等领域有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] Guo Jianping, Chen Weicheng, Luo Aiping. Latest development of fiber laser[J]. New Production for Fiber Communication, 2001, 3: 30-34.
- [2] J E Townsend, et al. Yb^{3+} sensitized Er^{3+} doped silica optical fibre with ultrahigh transfer efficiency and gain [J]. Electron. Lett. 27. 1958 (1991).
- [3] W L Barnes, S B Poole, J E Townsend, et al. Er^{3+} - Yb^{3+} and Er^{3+} doped fiber lasers [J]. Journal of Lightwave Technology, 1989, 7(10).
- [4] Ivan Kasik, Vlastimil Matejec, Jioi Kanka, et al. Properties and fabrication of ytterbium-erbium co-doped silica fibres for high-power fibre lasers [J]. Pure Appl. Opt. 1998, 7: 457-465.
- [5] [J]. 沈阳建筑工程学院学报, 2001, 17(3): 213-215.
- [2] 谢福瑶, 郑勤红. 光纤传输太阳能的原理及其应用技术[J]. 新能源, 1997, 19(8): 26-29.
- [3] 李宝俊, 曹文济. 地下建筑太阳能光导采光的实验研究[J]. 太阳能学报, 1993, 14(1): 48-52.
- [4] Christopher Gregory. Hollow waveguides [A]. CRC Press LLC, 1998.
- [5] 赵英时, 等. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 16-17.
- [6] 陈衡. 红外物理学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1985: 300.
- [7] M Miyagi, A Hongo, S Kawakami. Transmission characteristics of dielectric-coated metallic waveguide for infrared transmission; slab waveguide model [J]. Quantum Electron, 1983, QE-19: 136-145.
- [8] 顾培夫. 薄膜技术 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1990: 94.
- [9] Boca Raton, FL. Handbook of optical materials [M], CRC Press, 2001: 300
- [10] 郑武城, 等. 光学塑料及其应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1993: 8.
- [11] Rubii, Christopher D, James A Harrington. Processing and characteristics of silver films used to fabricate hollow glass waveguides [J]. Applied Optics, 1999, (38): 4486-4493.