

掺 Yb^{3+} 双包层大模面积光子晶体光纤 激光器的研究*

林浩佳 阮双琛** 程超 于永芹 杜晨林 刘承香

(深圳大学工程技术学院, 深圳 518060)

摘 要 采用多模大功率半导体激光器泵浦掺镱双包层大模面积光子晶体光纤, 应用 5 m 长光子晶体光纤, 在泵浦功率为 22 W 的条件下, 获得了 1.03 μm , 功率为 65 mW 的单横模激光输出, 同时实验研究了输出功率与泵浦功率的关系, 并观察到掺 Yb^{3+} 光子晶体光纤侧面有绿色荧光出现.

关键词 掺 Yb^{3+} ; 光子晶体光纤激光器; 双包层

中图分类号 TN248.1

文献标识码

A

0 引言

光纤激光器以其效率高、阈值低、窄线宽、可调谐、紧凑小巧和性能价格比高等众多的优良特点受到普遍关注. 稀土掺杂光纤激光器在测量、通信、传感、材料加工和医疗等方面具有十分广泛的用途. 尤其 80 年代后期包层泵浦技术的发展和半导体激光器工艺的成熟, 使光纤激光器得到长足的发展. 与常规光纤相比, 双包层光纤多了一个作为泵浦光通道的内包层, 这一内包层环绕纤芯将激光辐射限制在纤芯中, 内包层有较大的横向尺寸和数值孔径, 使泵浦光在内包层和外包层的界面来回反射, 多次穿过掺杂的单模纤芯, 从而大大提高了泵浦效率. 常规光纤是利用材料差异来控制光纤包层和纤芯之间的折射率差, 受这种波导结构的固有限制, 常规光纤包层的数值孔径和维持单模传输的纤芯面积难以有效地增加, 而且材料掺杂不均也会引入散射损耗. 这些缺点限制了光纤激光器性能的进一步提高. 90 年代中期, 第一根光子晶体光纤的诞生, 为人们构建光纤有源器件提供了一种新的载体.

光子晶体光纤 (PCF), 又称多孔光纤 (HF) 或微结构光纤 (MOF), 是近年来很热门的研究课题. 这类光纤是由在纤芯周围沿着轴向规则排列微小空气孔构成, 通过这些微小空气孔对光的约束, 实现光的传导. 独特的波导结构, 灵活的制作方法, 使得 PCF 与常规光纤相比具有许多奇异的特性, 有效地扩展和增加了光纤的应用领域. 在光纤激光器这一领域内, PCF 经专门设计可具有大模面积^[1]且保持无限

单模的特性^[2], 有效地克服了常规光纤的设计缺陷. 以这种具有新颖波导结构和特性的光纤作为有源掺杂的载体, 并把双包层概念引入到光子晶体光纤中, 将使光纤激光器的某些性能有显著改善. 近年来, 国内外的很多大学和科研单位都在积极开展光子晶体光纤激光器的研究工作. 目前, 国外输出功率达到几百瓦的光子晶体光纤激光器已有报道^[3]. 国内在 PCF 激光器的研究刚刚起步, 我们曾采用掺 Yb^{3+} 双包层光子晶体光纤, 长度为 20 m. 内包层为 200 μm , 外包层为 380 μm , Yb_2O_3 浓度为 1.5 mol%. 20m, 获得了 3.4 W 激光输出^[4-6], 据我们所知, 这是国内最好结果的相关报道. 活性掺杂大模面积微结构光纤的实现^[7,9], 使得掺 Yb^{3+} 双包层大模面积 PCF 激光器的研究成为光纤激光器研究领域最新的研究热点^[3,10,11]. 采用这种具有新颖纤芯结构的 PCF 使该激光器的功率比以前报道的 PCF 激光器的功率大了一个数量级^[10]. 本文采用多模大功率半导体激光器泵浦 5 m 长的掺镱双包层大模面积光子晶体光纤, 获得了 1.03 μm 、功率为 65 mW 的单横模激光输出, 同时实验研究了输出功率与泵浦功率的关系, 并观察到掺 Yb^{3+} 双包层大模面积光子晶体光纤侧面有绿色荧光出现.

1 实验

1.1 激光器的构成

实验装置采用典型的 F-P 腔结构, 分别采用二色镜和光纤端面作为高反射腔镜和激光输出腔镜. 一端二色镜紧贴光纤的入射端面, 它对激光的反射率大于 99%, 对 976 nm 泵浦光透射率为 93%; 另一端利用光纤端面 4% Fresnel 反射作为输出端反馈与二色镜构成了线形谐振腔. 实验采用掺镱双包层大模面积光子晶体光纤, 长度为 5 m, 横截面如图 1. 纤芯直径为 28 μm , 形状为三角形, 模场面积大约

*广东省自然科学基金(031809)、广东高校自然科学研究(Z02062)项目、广东省“千百十工程”优秀人才基金(Q02118)、深圳市科技局项目资助

** Tel:0755-26536215 Email:scruan@szu.edu.cn

收稿日期:2003-12-18

350 μm^2 , 数值孔径 $NA = 0.05$; 内包层直径为 150 μm , 数值孔径 $NA = 0.55$; Yb^{3+} 浓度为 0.6 at%. 泵浦激光器采用的是美国 Coherent 公司提供的大功率 LD 阵列, 中心波长位于 972 nm 附近, 尾纤输出的光斑直径为 800 μm , 经过由会聚透镜构成的耦合系统注入掺镱双包层大模面积光子晶体光纤中, 整个装置如图 2 所示.

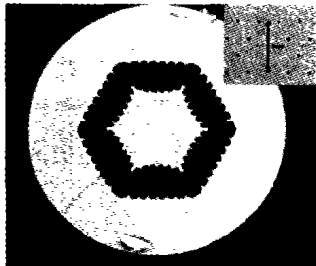


图 1 掺 Yb^{3+} 双包层大模面积 PCF 示意图
Fig. 1 Scanning electron microscope images of the Yb^{3+} -doped double clad large-mode-area photonic crystal fiber

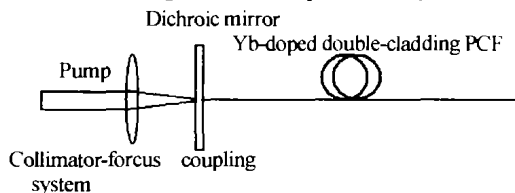


图 2 实验装置
Fig. 2 Experiment setup

1.2 实验结果

对上述激光腔进行精细调整, 当泵浦功率为 0.3 W 时, 开始观察到有荧光出现; 当泵浦功率超过 0.55 W 时, 在 1.03 μm 附近有 Yb^{3+} 的激光发射产生. 随着泵浦功率的增加, 发射功率迅速增大. 当泵浦功率为 22 W 时, 获得了 65 mW 激光输出, 其光谱峰值位于 1.03 μm . 利用 Spectra-Physics model407A 激光功率计测量了激光器的输出功率, 输出功率随泵浦功率的变化如图 3 所示, 输出激光光谱如图 4 所示.

实验中我们发现, 当激光耦合进掺 Yb^{3+} 双包层大模面积光子晶体光纤后, 在光纤的侧面肉眼可直接观测到绿色的荧光, 随着泵浦光功率的提高, 光纤侧面的绿色荧光的长度也随之增加, 用 S2000 光谱

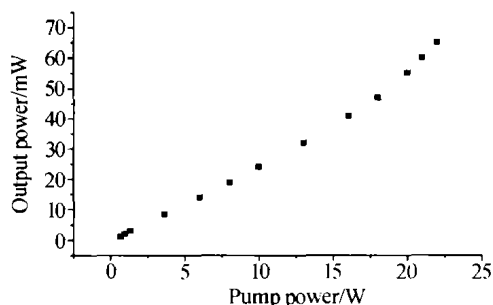


图 3 掺 Yb^{3+} 双包层大模面积光子晶体光纤激光器的输出功率特性曲线
Fig. 3 Output power versus the input power of the Yb^{3+} -doped double clad large-mode-area PCF laser

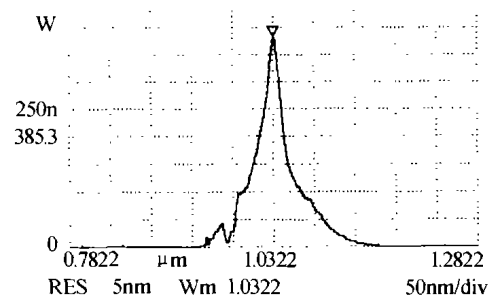


图 4 掺 Yb^{3+} 双包层大模面积光子晶体光纤激光器的输出光谱

Fig. 4 Output spectrum of the Yb^{3+} -doped double clad large-mode-area PCF laser

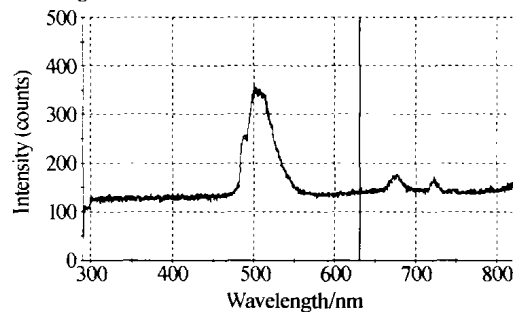


图 5 掺 Yb^{3+} 双包层大模面积光子晶体光纤激光器的荧光光谱

Fig. 5 Luminescence spectrum of the Yb^{3+} -doped double clad large-mode-area PCF laser

仪测得绿色荧光的光谱如图 5 所示.

由 Yb^{3+} 的能级结构及发射谱可知, Yb^{3+} 在可见光范围内是没有跃迁发生的^[12], 因此, 绿色荧光的产生与合作荧光 (Cooperative luminescence) 现象有关^[13]; 此外, 由图 5 的光谱图可以看出, 可见荧光的产生还与频率上转换机制有关^[14]. 本文就不进行详细讨论.

2 结论

详细研究了掺镱双包层大模面积光子晶体光纤激光器, 成功地获得了输出功率 65 mW 的激光输出. 实验中, 我们观察到, 当泵浦功率从 2 W 开始上升时, 双包层光纤开始变绿, 当泵浦光越大, 绿光越强, 这与合作荧光 (Cooperative luminescence) 现象及频率上转换机制有关. 实验中所采用的泵浦聚焦系统没有经过精密的光学设计, 只是采用一般的 1:1 成像系统后, 再用常用透镜聚焦, 如果详细设计腔的结构, 可进一步提高输出功率, 这一工作正在进行中.

参考文献

- 闫培光, 阮双琛, 吕可诚. 折射率引导型光子晶体光纤. 激光与光电子学进展, 2002, 39(12): 41~45
Yan P G, Ruan S C, Lü K C. *Laser and Optonics Progress*, 2002, 39(12): 41~45
- Birks T A, et al. Endlessly single-mode photonic crystal fiber. *Optics Letters*, 1997, 22(13): 961~963
- Limpert J. 260 W high power double-cladding fiber laser

- demonstrated, www.crystal-fibre.com/news/news-text.htm, 2003, July
- 4 阮双琛, 杨冰, 朱春艳, 等. 2 W 光子晶体光纤激光器的研究新进展. 光子学报, 2003, **32**(8):1021
Ruan S C, Yang B, Zhu C Y, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(8):1021
 - 5 阮双琛, 杨冰, 朱春艳, 等. 2.2 W 光子晶体光纤激光器. 光子学报, 2004, **33**(1):15~16
Ruan S C, Yang B, Zhu C Y, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1):15~16
 - 6 阮双琛, 杨冰, 朱春艳. 3.4 W 光子晶体光纤激光器的研究. 光子学报, 2004, **33**(1):89
Ruan S C, Yang B, Zhu C Y. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1):89
 - 7 Furusawa K, Malinowski A, Price J H V, *et al.* Cladding pumped Ytterbium-doped fiber laser with holey inner and outer cladding. *Opt Express*, 2001, **9**:714~720
 - 8 Wadsworth W J, Percival R M, Bouwmans G, *et al.* High power air-clad photonic crystal fibre laser. *Opt Express*, 2003, **11**:48~53
 - 9 Wadsworth W J, Knight J C, Russell P St J. Large mode area photonic crystal fibre laser. in Conference on Lasers and Electro-Optics 2001, Vol. 56 of OSA Trends in Optics and Photonics Series (Optical Society of America, Washington, D. C., 2001), paper CWC1
 - 10 Wadsworth W J, Rercival R M, Bouwmans G, *et al.* High power air-clad photonic crystal fibre laser. *Optics Express*, 2003, **11**(1):48~53
 - 11 Limpert J, Schreiber T, Nolter S, *et al.* High-power air-clad large-mode-area photonic crystal fibre laser. *Optics Express*, 2003, **11**(7):818~823
 - 12 Pask H M, Carman R J, Hanna D C, *et al.* Ytterbium doped silica fiber lasers; versatile sources for the 1.2 μm region. *IEEE Journal of Selected Topics Quantum Electronics*, 1995, **1**(1):2~3
 - 13 杨玲珍, 董淑福, 郑瑶雷, 等. 掺 Yb^{3+} 双包层光纤中的绿光荧光分析. 光子学报, 2003, **32**(8):897~899
Yang L Z, Dong S F, Zheng Y L, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(8):897~899
 - 14 冯鸣, 阮双琛, 杜戈果, 等. 掺 Yb^{3+} 双包层光纤激光器中频率上转换产生可见光的实验研究. 光子学报, 2004, **33**(6):
Feng M, Ruan S C, Du G G, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6):

Yb^{3+} -doped Double Clad Large-mode-area Photonic Crystal Fiber Laser with a Output Power of 65 mW

Lin Haojia, Ruan Shuangchen, Cheng Chao, Yu Yongqin, Du Chenlin, Liu Chengxiang

College of Engineering and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060

Received date: 2003-12-18

Abstract A ytterbium-doped double-clad large-mode-area photonic crystal fiber laser with a output power up to 65mW is demonstrated, and the wavelength is 1.03 μm . Single transverse mode operation is achieved.

Keywords Yb^{3+} -doped; Photonic crystal fiber laser; Double clad



Lin Haojia was born in 1979 in Guangdong Province. He received the B. S. degree from the College of Engineering and Technology in Shenzhen University in 2002. Since then he has been working toward M. S. degree in the College of Engineering and Technology in Shenzhen University.