

快报

自研万瓦级同带泵浦掺镱石英玻璃光纤

高聪*, 代江云, 李峰云, 刘念, 沈昌乐, 贺红磊, 张立华, 李好, 吕嘉坤,

黎玥, 李雨薇, 姜蕾, 林宏奂, 王建军**, 景峰***

中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900

摘要 同带泵浦具有泵浦源亮度高、量子亏损低等优点,是实现光纤激光器功率提升的有效措施。采用稀土螯合物全气相掺杂技术和改进的化学气相沉积工艺(MCVD)制备了适用于同带泵浦的镱掺杂铝磷硅体系光纤。所研制 的 50/400 光纤构建的全光纤结构主振荡功率放大器采用同带泵浦方式,实现了 9.82 kW 的激光功率输出,激光中心波长为 1080.08 nm,3 dB 带宽为 1.62 nm,斜率效率为 86.8%。研究结果表明镱掺杂的铝磷硅光纤激光材料是同带泵浦高功率光纤激光系统的优选增益介质,稀土螯合物全气相掺杂技术和 MCVD 是获得该种材料的有效手段。

关键词 光纤光学; 光纤激光器; 掺镱石英玻璃光纤; 同带泵浦; 螯合物气相掺杂技术

中图分类号 TN244

文献标志码 A

doi: 10.3788/CJL202047.0315001

Homemade 10-kW Ytterbium-Doped Aluminophosphosilicate Fiber for Tandem Pumping

Gao Cong*, Dai Jiangyun, Li Fengyun, Liu Nian, Shen Changle, He Honglei,
Zhang Lihua, Li Hao, Lü Jiakun, Li Yue, Li Yuwei, Jiang Lei, Lin Honghuan,
Wang Jianjun**, Jing Feng***

Laser Fusion Research Center, China Academy of Engineering Physics (CAEP), Mianyang, Sichuan 621900, China

Abstract Tandem pumping is characterized by high pump-source brightness and low quantum defect, which are beneficial for power scaling of fiber laser. By combining the modified chemical vapor deposition (MCVD) method with the chelate precursor doping technique, we fabricated an ytterbium (Yb)-doped aluminophosphosilicate fiber suitable for tandem pumping. Laser performances of the fiber were demonstrated in an all-fiberized master oscillator power amplifier (MOPA) laser system. Tandem pumped by 1018 nm fiber laser, 9.82 kW laser output at 1080.08 nm has been achieved with 86.8% slope efficiency. The 3-dB bandwidth is 1.62 nm at the maximum laser power. Our results indicate that the Yb-doped aluminophosphosilicate laser material is the optimal gain medium for the tandem pumping of high-power fiber laser systems. The chelate precursor doping technique combined with MCVD is an effective method for obtaining this type of material.

Key words fiber optics; fiber laser; Yb-doped silicate optical fiber; tandem pumping; chelate precursor doping technique

OCIS codes 060.3510; 060.2320; 140.3615

光纤激光器具有电光效率高、结构紧凑、热管理方便、光束质量好等优点,在工业加工、军事领域具有广阔的应用前景。作为高功率光纤激光器的核心组件,稀土掺杂的石英玻璃光纤一直都是研究热点,近年来国内的相关研究取得了快速发展。2018年,

林宏奂等^[1]使用国产 30/900 μm 光纤,采用波长为 976 nm 的半导体激光器(LD)直接泵浦获得了 10.6 kW 的激光输出,放大级斜率效率为 86.12%。2019年,中国科学院上海光学精密机械研究所的陈晓龙等^[2]采用 976 nm 的 LD 双端泵浦 30/900 μm

收稿日期: 2019-12-11; 修回日期: 2020-01-03; 录用日期: 2020-01-08

基金项目: 中国工程物理研究院创新发展基金培育项目(CXFZ1907)

* E-mail: gaoc0013@yinhe596.cn; ** E-mail: wjjcaep@caep.cn; *** E-mail: jingfeng09@sina.cn

光纤,获得了 10.14 kW 的激光输出。

和传统的 LD 泵浦方式相比,同带泵浦使用光纤激光光源作为泵浦源,具有更高的亮度,可实现更高的泵浦功率注入,有利于提升光纤激光器的泵浦效率和输出功率^[3-6]。同时,同带泵浦使用的泵浦源的波长与信号光波长更近,同带泵浦光纤激光器具有更低的量子亏损和热负荷,能够实现更好的热管控^[3-6]。然而,石英玻璃基质材料中的镱离子在 1000~1030 nm 同带泵浦波长范围内的吸收能力要比 976 nm 的低一个数量级^[7]。这就意味着需要更高的镱离子掺杂浓度、更长的光纤长度,才能实现足够的泵浦光吸收。更高的掺杂浓度会引起光纤折射率偏高,数值孔径难以满足要求,更长的光纤又会导致非线性效应^[6-7]。所以,采用同带泵浦技术获得前述优势的同时也给光纤材料带来了新的挑战。目前,国际上同带泵浦光纤激光的最高纪录仍是 IPG 公司所保持的 20 kW 单模激光输出^[8]。近期,清华大学的研究团队^[3]基于商用光纤采用同带泵浦方式实现了 5.4 kW 的激光功率输出,基于国产光纤采用同带泵浦方式实现的激光输出功率最新结果为 3 kW^[6],尚未见到万瓦级国产同带泵浦光纤的公开报道。

中国工程物理研究院激光聚变研究中心基于 MCVD(modify chemical vapor deposition)设备和稀土螯合物全气相掺杂技术成功研制出了适用于同带泵浦的镱掺杂铝磷硅体系激光光纤(Yb-APS 光纤)。于 2019 年 11 月,使用自研 Yb-APS 光纤,采用同带泵浦方式实现了 9.82 kW 的激光稳定输出,中心波长为 1080.08 nm,3 dB 带宽为 1.62 nm,斜率效率 η 为 86.8%。该光纤的折射率分布如图 1 所示(Δn 表示纤芯和包层之间的折射率差),光纤主要参数如下:纤芯直径约为 50 μm ,数值孔径 NA 约为 0.072,包层直径为 400 μm ,横截面为正八边形结构,包层数值孔径为 0.46。光纤激光测试系统为 MOPA(master oscillator power amplifier)全光纤结构,结构图可参阅文献^[3,6],自研 Yb-APS 光纤作为放大级增益介质,种子光注入功率为 150 W,1018 nm 泵浦光注入总功率为 11.36 kW,激光输出总功率为 10.39 kW,激光输出结果如图 2 所示。最高输出功率时的光谱如图 3 所示,残余泵浦光功率占比为 3.7%,拉曼成分的功率占比为 1.8%,信号光输出功率为 9.82 kW。该激光系统已在 10 kW 功率输出下累计出光超过 10 min,且未出现功率衰减,这在一定程度上证明了 Yb-APS 体系光纤材料具有优异的暗化抑制能力。

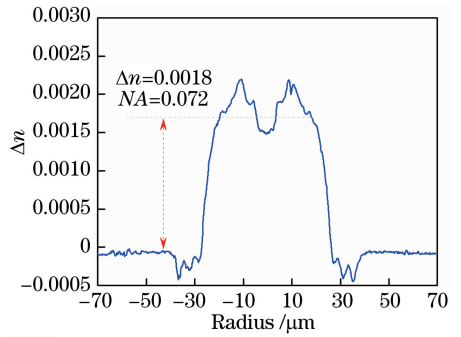


图 1 自制 Yb-APS 光纤纤芯折射率分布图
Fig. 1 Refractive index profile of homemade Yb-APS fiber core

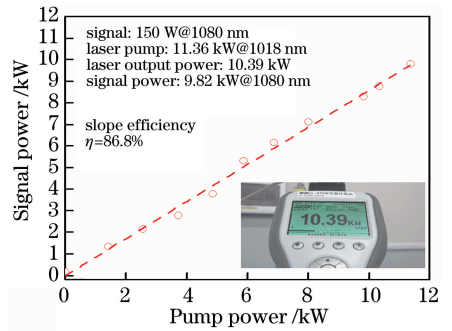


图 2 激光输出总功率曲线
Fig. 2 Curve of total laser output power

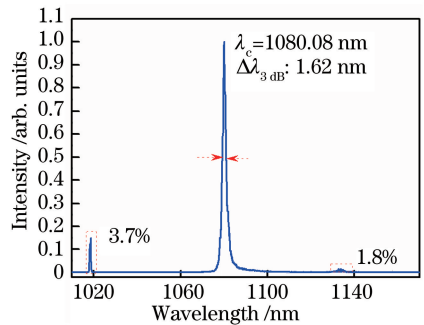


图 3 输出总功率为 10.39 kW 时的光谱图
Fig. 3 Spectrum at total output power of 10.39 kW

研究表明镱掺杂的铝磷硅光纤激光材料是同带泵浦高功率光纤激光系统的优选增益介质,稀土螯合物全气相掺杂技术和 MCVD 是获得该种材料的有效手段。10 kW 级同带泵浦激光光纤的成功研制是我国高功率光纤激光材料领域的重大进步。研制这种光纤所用的高纯稀土螯合物为中国工程物理研究院自研产品,标志着高功率光纤激光材料的国产化进程再向前迈进了一步。

参 考 文 献

[1] Lin H H, Tang X, Li C Y, et al. The localization

- single-fiber laser system obtained 10.6 kW laser output[J]. Chinese Journal of Lasers, 2018, 45(3): 0315001.
- 林宏奂, 唐选, 李成钰, 等. 全国产单纤激光系统获得 10.6 kW 激光输出[J]. 中国激光, 2018, 45(3): 0315001.
- [2] Chen X L, Lou F G, He Y, et al. Home-made 10 kW fiber laser with high efficiency [J]. Acta Optica Sinica, 2019, 39(3): 0336001.
- 陈晓龙, 楼风光, 何宇, 等. 高效率全国产化 10 kW 光纤激光器[J]. 光学学报, 2019, 39(3): 0336001.
- [3] Wang X J, Yan P, Wang Z H, et al. The 5.4 kW output power of the ytterbium-doped tandem-pumping fiber amplifier [C] // CLEO: Applications and Technology 2018, May 13-18, 2018, San Jose, California. Washington, D. C.: OSA, 2018: AM2M.5.
- [4] Codemard C A, Sahu J K, Nilsson J. Tandem cladding-pumping for control of excess gain in ytterbium-doped fiber amplifiers[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 2010, 46(12): 1860-1869.
- [5] Zhu J J, Zhou P, Ma Y X, et al. Power scaling analysis of tandem-pumped Yb-doped fiber lasers and amplifiers [J]. Optics Express, 2011, 19(19): 18645-18654.
- [6] Wang Z H, Xiao Q R, Wang X J, et al. 3000 W tandem pumped all-fiber laser based on domestic fiber [J]. Acta Physica Sinica, 2018, 67(2): 024205.
- 王泽晖, 肖起榕, 王雪娇, 等. 国产光纤实现同带抽运 3000 W 激光输出[J]. 物理学报, 2018, 67(2): 024205.
- [7] Johannes K, Unger S, Anka S, et al. Dopant interactions in high-power laser fibers [J]. Proceedings of SPIE, 2005, 5723: 261-272.
- [8] Shiner B. The impact of fiber laser technology on the world wide material processing market [C] // CLEO: Applications and Technology 2013, June 9-14, 2013, San Jose, California. Washington, D. C.: OSA, 2013: AF2J.1.