

中国激光

基于中心掺杂的 3.5 kW 窄线宽光纤激光器

目前,进一步提升光纤激光器的输出功率的有效方案是光束合成,主要包括相干合成和光谱合成。而光束合成要求激光光束具有窄线宽、高功率、高光束质量的特性。随着输出功率的提升,窄线宽光纤激光器受到受激布里渊散射(SBS)、受激拉曼散射(SRS)和模式不稳定性(MI)的限制越来越明显。

为了平衡光纤激光器中的 SBS、SRS 和 MI 的矛盾、进一步提升窄线宽光纤激光器的输出功率,中国工程物理研究院激光聚变研究中心设计了一种中心掺杂增益光纤,对该光纤的模场重叠因子进行了优化,通过将掺杂离子进行直径裁剪,使得基模在模式竞争中处于优势地位并抑制高阶模的增益,从而提升 MI 的阈值。如图 1(a)所示,中心掺杂(Yb)区域半径 $r_1 = 9 \mu\text{m}$,非掺杂区域半径 $r_2 = 15 \mu\text{m}$,包层半径 $r_3 = 200 \mu\text{m}$,纤芯数值孔径 $NA = 0.065$,L1 指纤芯掺杂区域,L2 指纤芯非掺杂区域,L3 指包层。折射率分布的测试曲线如图 1(b)所示。理论上,这种光纤的模场等效于纤芯、包层直径分别为 $30 \mu\text{m}$ 和 $400 \mu\text{m}$ 的传统阶跃光纤,还能够有效抑制 SBS、SRS 等非线性效应。

在此基础上,搭建了一种基于级联种子相位调制

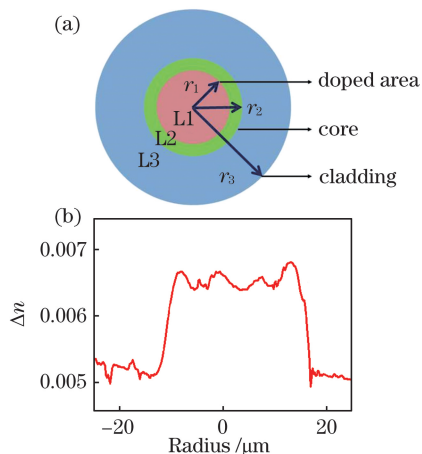


图 1 中心掺杂光纤。(a) 光纤结构图;(b) 折射率分布
Fig. 1 Confined-doped fiber. (a) Structure of fiber;
(b) distribution of refractive index

主振荡放大(MOPA)技术的全纤化结构光纤激光器。915 nm 和 976 nm LD 反向混合泵浦中心掺杂的有源光纤(YDF-18/30/400 μm)组成了主放大级的光学结构,通过优化主放大级结构和盘绕方式并抑制放大器的 SRS 效应,成功提升了 MI 阈值。实验实现了最高输出功率为 3.57 kW 的窄线宽连续光纤激光输出,斜效率达到 61%,输出功率曲线如图 2 所示。

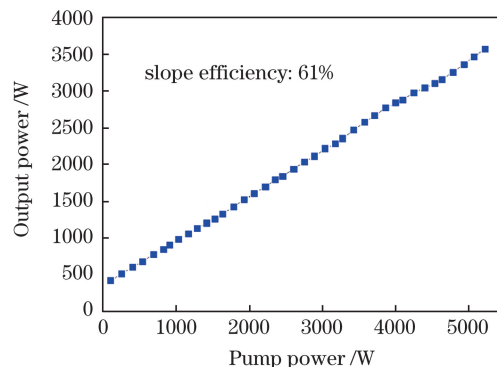


图 2 输出功率随泵浦功率的变化曲线

Fig. 2 Variation in output power with pump power

激光输出中心波长为 1063.70 nm,光谱宽度(3 dB)为 0.32 nm,拉曼抑制比为 50 dB,光谱成分不含残余泵浦功率,输出光谱如图 3 所示。

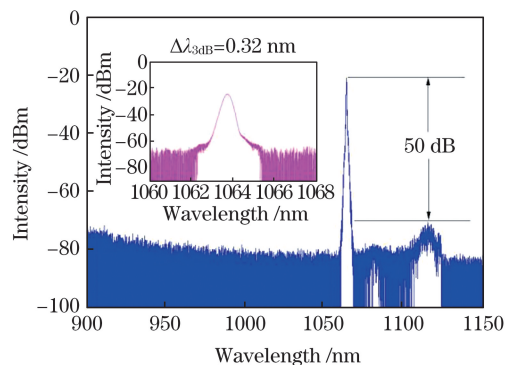


图 3 3.57 kW 输出功率时的输出光谱
(插图为精细光谱)

Fig. 3 Output spectrum for 3.57 kW output power
(inset is fine spectrum)

采用 4-sigma 法测试得到,当输出功率为 3.57 kW 时, x 方向的光束质量 M_x^2 约为 1.942,

y 方向的光束质量 M_y^2 约为 1.774, 输出光斑形貌如图 4 所示。

以上结果表明, 中心掺杂光纤在实现高功率、高光束质量、窄线宽光纤激光输出中具有较大的潜力, 3.57 kW 也是基于国产中心掺杂光纤可实现的最高输出功率。下一步将继续优化光纤的相关参数, 以提高激光器的功率、效率和光束质量。

本文所采用的中心掺杂增益光纤材料由中国电子科技集团第四十六研究所负责拉制。

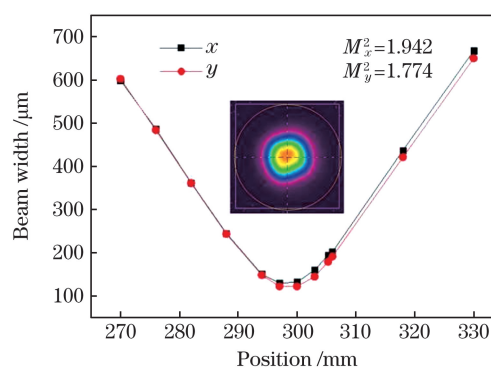


图 4 光束质量

Fig. 4 Beam quality

黄智蒙*, 舒强, 楚秋慧, 张昊宇, 陶汝茂, 颜冬林, 罗韵, 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 成都 630021

基金项目: 军科委重点基金(2019JCJQ-JJ-420)、国家重点研发计划(2017YFB114401)

* E-mail: huangzhimeng@caep.cn; ** E-mail: wjjcaep@caep.cn

收稿日期: 2021-01-14; 修回日期: 2021-01-28; 录用日期: 2021-02-22