

中国激光

LD 直接泵浦的 8 kW 高光束质量全光纤激光器

光纤耦合半导体激光器(LD)直接泵浦光纤激光器具有高效率、小体积、低成本的优点。然而,受到非线性效应和横向模式不稳定(TMI)效应的限制,同时提升 LD 直接泵浦光纤激光器的输出功率和光束质量难度较大。目前,国内公开报道的输出功率大于 8 kW 的 LD 泵浦光纤激光器的光束质量(M^2)一般都大于 3。

本课题组利用自行提出的 981 nm 稳波长泵浦源抑制 TMI 的技术方案,在模场面积约为 $570 \mu\text{m}^2$ 的光纤中,实现了功率大于 8 kW、光束质量 M^2 约为 2.5 的激光输出。实验采用主振荡功率放大(MOPA)结构,如图 1 所示。主振荡器(MO)为一个前向泵浦的光纤激光器,三个 976 nm 稳波长 LD 经过 3×1 合束器(PC)对后,在高反射光纤光栅(HR FBG)、低反射光纤光栅(OC FBG)和掺镱光纤

(YDF1)构成的谐振腔中进行泵浦;振荡器最终输出功率为 100 W,经过包层光滤除(CLS1)后进入放大器。放大器(AMP)分别采用 6 组 LD,通过前向泵浦信号合束器(FPSC)和后向泵浦信号合束器(BPSC)对掺镱光纤(YDF2)进行前向和后向泵浦,输出激光经过包层光滤除器(CLS2)后,由光纤端帽(EC)扩束输出。实验中,首先采用 976 nm 稳波长 LD 泵浦,激光器前向和后向泵浦时的动态模式不稳定阈值分别约为 2150 W 和 3800 W。采用 981 nm 稳波长 LD 进行泵浦时,在前向和后向输出功率分别为 3670 W 和 4580 W 的条件下,没有观察到动态 TMI 的现象,TMI 阈值提高了 70% 以上。在双端泵浦的最高泵浦功率为 9141 W 时,放大器输出功率为 8060 W,光光效率为 87.5%,如图 2(a)所示。在最高输出功率下,光谱中受激拉曼散射峰

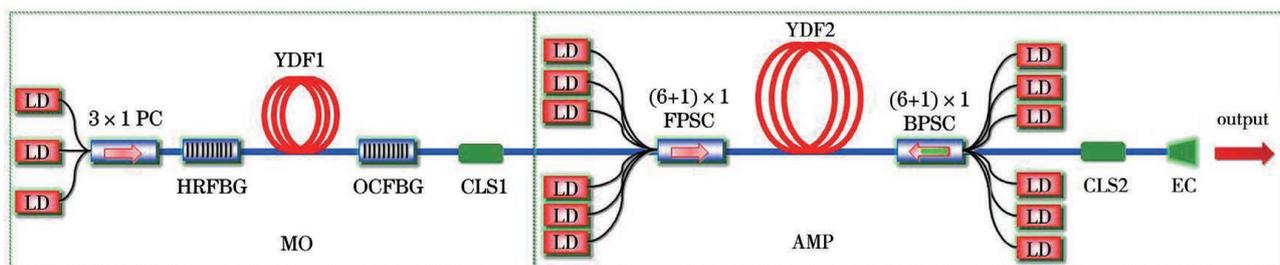


图 1 LD 泵浦 8 kW 全光纤放大器的实验结构

Fig. 1 Experimental structure of LD pumped 8 kW all fiber amplifier

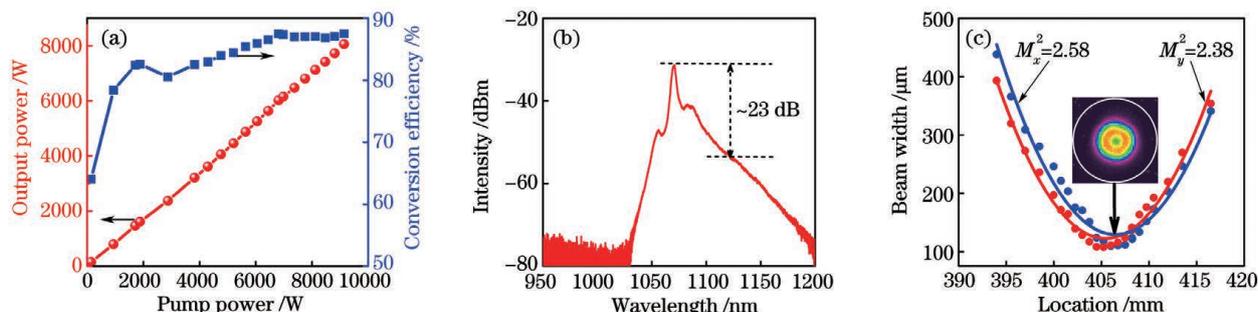


图 2 LD 泵浦 8 kW 全光纤放大器的实验结果。(a)输出功率与光光效率;(b)输出光谱;(c)最高输出功率下的光斑特性

Fig. 2 Experimental results of LD pumped 8 kW all fiber amplifier. (a) Output power and optical-to-optical efficiency ; (b) output spectrum ; (c) spot characteristics at maximum output power

值比信号激光峰值小 23 dB[如图 2(b)所示],激光器的光束质量为 $M_x^2 = 2.58$, $M_y^2 = 2.38$,典型光斑如图 2(c)所示。实验得到的光斑为中空环形光斑,在工业领域有着广泛的应用。通过增加泵浦功

率并进一步优化光纤模式控制,有望在提高激光器光束质量的同时进一步提升激光器的输出功率,实现输出功率大于 10 kW、光束质量 $M^2 < 2$ 的近单模光纤激光器。

王鹏^{1,2,3},张汉伟^{1,2,3},奚小明^{1,2,3},杨保来^{1,2,3},王小林^{1,2,3*},宁禹^{1,2,3**},许晓军^{1,2,3}

¹国防科技大学前沿交叉学科学院,湖南 长沙 410073;

²脉冲功率激光技术国家重点实验室,湖南 长沙 410073;

³高能激光技术湖南省重点实验室,湖南 长沙 410073

通信作者: *chinaphotonics@163.com; **ningyu_0205@126.com

收稿日期: 2021-10-14; 修回日期: 2021-10-16; 录用日期: 2021-10-25