

中国激光

国产高亮度准连续掺镱光纤激光振荡器

近年来,准连续(QCW)光纤激光器凭借其峰值功率高、脉冲能量大、成本低廉等一系列优势迅速获得市场青睐,在激光切割、精密焊接、特殊材料打孔、增材制造等领域崭露头角。国内外激光器制造商相继推出了重复频率 0.5~50.0 kHz 可调、脉宽 0.05~50.00 ms 可调、最大单脉冲能量达数十焦耳的 QCW 光纤激光器。其中美国 IPG 公司推出的 YLS-2300/23000-QCW 产品最高峰值功率可达 23 kW,是目前峰值功率最高的 QCW 光纤激光器产品。然而市场上的高功率(>5 kW)产品均为多模输出,光束质量因子 M^2 均大于 2。近期,国防科技大学课题组

在 2022 年初实现的峰值功率为 9713 W、光束质量因子 M^2 为 2.3 的环形光斑 QCW 光纤激光振荡器基础上,首次通过激光二极管(LD)泵浦直接调制实现了国产万瓦级 QCW 高亮度光纤激光振荡器,光束质量因子 $M^2 \sim 1.61$ 。实验采用后向泵浦的振荡器结构,如图 1(a)所示,36 台 976 nm 稳波长 LD 经方波调制后,通过定制的 $(36+1) \times 1$ 合束器进入谐振腔;高反(HR)光栅和输出耦合(OC)光栅均采用 $30 \mu\text{m}/400 \mu\text{m}$ 商用光栅,中心波长为 1070 nm,反射率分别为 99.5% 和 5%;增益介质采用有效模场面积约为 $350 \mu\text{m}^2$ 的掺镱光纤(YDF),在准连续模式下的等效

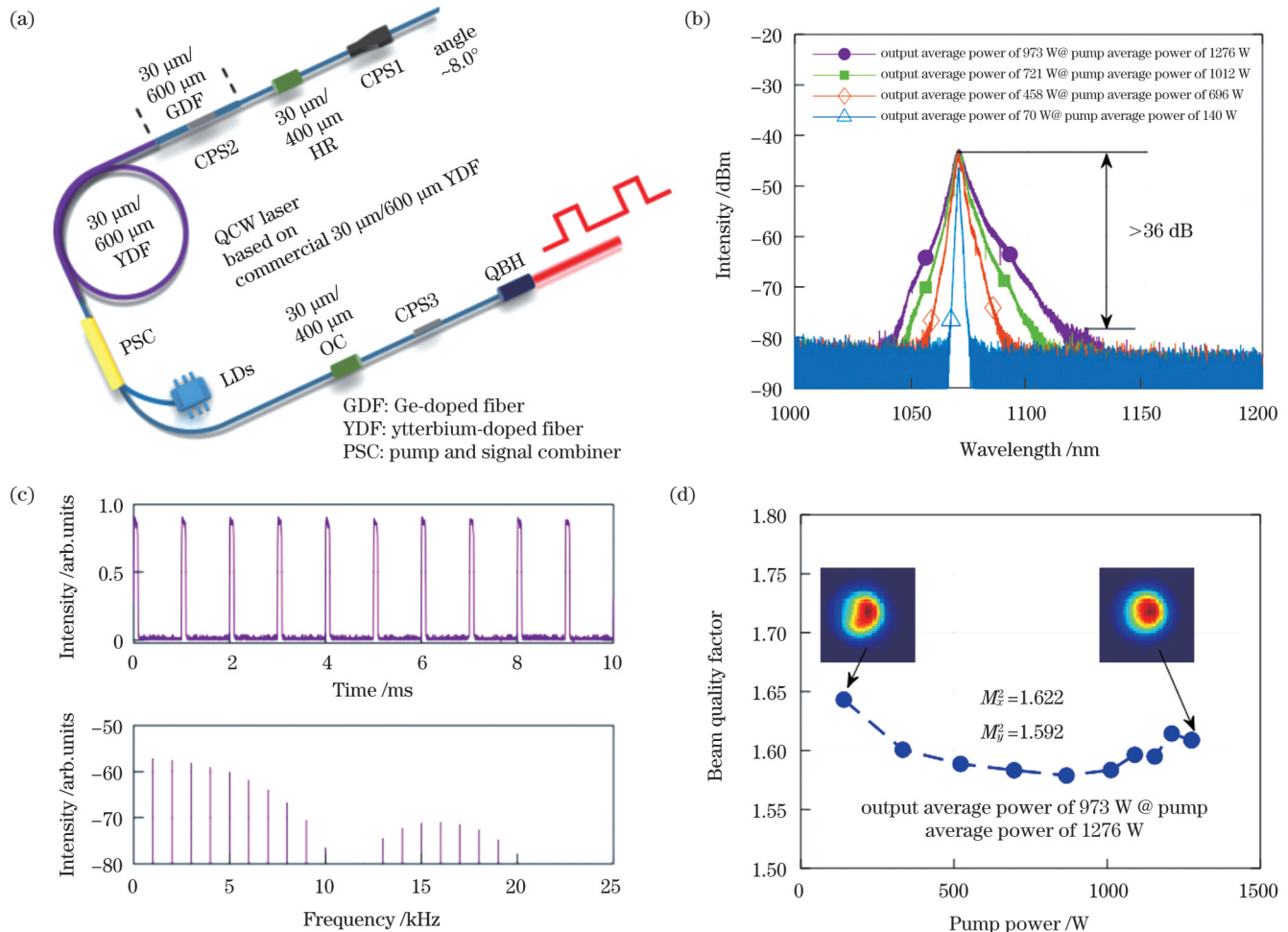


图1 国产 10 kW 峰值功率高亮度准连续光纤激光振荡器。(a)实验结构;(b)输出光谱;(c)最高输出功率下的脉冲形态及其傅里叶变换;(d)光束质量

Fig.1 Domestic 10 kW peak-power high-brightness quasi-continuous-wave fiber laser oscillator. (a) Experimental setup; (b) output spectra; (c) pulse morphology and its Fourier transform at highest output power; (d) beam quality

泵浦吸收为 11.1 dB; 残余泵浦光由包层光滤除器 (CPS1~CPS3) 严格滤除, 回光端切 8° 角以减小反射回光; 产生的激光从商用 $30\ \mu\text{m}/400\ \mu\text{m}$ 光纤端帽 (QBH) 输出。在泵浦重复频率为 1 kHz 的条件下, 实现了平均输出功率为 973 W、峰值功率为 10.75 kW 的准连续激光输出。在最大功率下, 拉曼抑制比 $>36\ \text{dB}$ [图 1(b)], 光光转换效率 $\sim 76\%$, 脉冲序列幅

值稳定, 单脉冲宽度 $\sim 90\ \mu\text{s}$, 无模式不稳定现象 [图 1(c)], 横向光束质量因子 $M_x^2=1.622$, 纵向光束质量因子 $M_y^2=1.592$, 光束质量因子 $M^2\sim 1.61$ [图 1(d)], 相对亮度高达 36.2, 是目前公开报道的准连续光纤激光器的最高亮度。下一步工作将继续优化光纤的参数, 以进一步提高光纤激光器的效率、功率和光束质量。

王力¹, 张汉伟^{1,2*}, 王鹏^{1,2}, 王小林^{1,2**}, 宁禹^{1,2}, 韩凯^{1,2}, 许晓军^{1,2***}

¹国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073;

²国防科技大学南湖之光实验室, 湖南 长沙 410073

通信作者: *zhanghanwei100@163.com; **chinaphotonics@163.com; ***xuxj@163.com

收稿日期: 2022-11-16; 修回日期: 2022-11-29; 录用日期: 2022-12-12; 网络首发日期: 2022-12-22