

中国激光

飞秒激光刻写光纤布拉格光栅实现 8 kW 光纤振荡器

高功率光纤振荡器具有结构紧凑、控制逻辑简单、抗回光能力强、稳定性好等特点,在工业加工与国防科研等领域具有重要的应用价值。光纤布拉格光栅(FBG)作为腔镜,是光纤振荡器中至关重要的器件。目前,高功率 FBG 主要通过紫外曝光法制备,在刻写前后需要分别对光纤进行载氢和退火处理,大大增加了 FBG 的制作周期与成本。基于飞秒激光刻写 FBG 可以有效解决这一问题。耶拿大学于 2015 年利用飞秒激光在大模场双包层光纤上刻写 FBG 实现了 1 kW 的光纤振荡器,并于 2020 年将光纤振荡器的功率提升至 5 kW。国内从事飞秒激光刻写高功率 FBG 研究的单位较少。最近,国防科技大学在“飞秒激光刻写 FBG 实现 3.2 kW 单模光纤振荡器”和“飞秒激光刻写 FBG 实现 5 kW 近单模光纤振荡器”研究的基础上,将 515 nm 飞秒激光与线性啁啾相位掩模板相结合,通过进一步调试优化刻写平台,在更大纤芯的光纤上刻写了高反(HR)和低反(LR)FBG。随后,基于这对 FBG 搭建了全光纤振荡器,并实现了 8 kW 激光输出,这是目前国内公开报道的最高功率的全光纤振荡器。

在刻写 FBG 前需剥除光纤的涂覆层,HRFBG 和 LRFBG 的纤芯/包层直径分别为 30 μm /600 μm 和 30 μm /250 μm ,其反射谱如图 1 所示。HRFBG 的反射率大于 99%,中心波长为 1080 nm,3 dB 带宽为 3.6 nm;LRFBG 的反射率约为 10%,中心波长为 1079.8 nm,3 dB 带宽为 2 nm。图 2 为全光纤振荡器示意图。掺镱光纤(YDF)的纤芯/包层直径为 30 μm /600 μm ,长度约为 40 m。一个(18+1) \times 1 合束器熔接于谐振腔内,其信号输入/输出纤的纤芯/包层直径分别为 30 μm /600 μm 和 30 μm /250 μm 。泵浦源是波长为 981 nm 的稳波长半导体激光器(LD),振荡器输出的激光通过包层光滤除器(CLS)后由光纤端帽

(QBH)输出。反向输出端的光纤切斜角。输出激光由准直器(CO)准直后经过高反射镜(HRM)和分束镜(BS),最后进入功率计(PM)、光束质量分析仪(测试 M^2)和光谱仪(OSA)中进行测量。当泵浦功率为 10248 W 时,正向输出功率为 7920 W,对应的光光转换效率为 77.3%,如图 3(a)所示。输出功率的进一步提高受限于模式不稳定效应。图 3(b)为最大功率下的正向输出光谱和输出激光远场形态。输出光谱中只有信号谱线,没有观察到泵浦谱线和明显的拉曼谱线,信号光的 3 dB 带宽约为 4.9 nm。测量得到输出激光的光束质量因子 $M^2 \approx 2.53$ 。FBG 简单地贴在水冷板上,且与水冷板之间没有填充热界面材料,最大功率下 HRFBG 和 LRFBG 的温度分别为 92 $^{\circ}\text{C}$ 和 55 $^{\circ}\text{C}$ 。此温度在飞秒激光刻写 FBG 的承受范围内,FBG 的性能稳定,不会对振荡器运行造成不良影响。若对 FBG 进行封装,其温升系数将会得到极大改善。此外,通过优化光纤振荡器的结构,有望进一步提升振荡器的输出功率并优化光束质量。

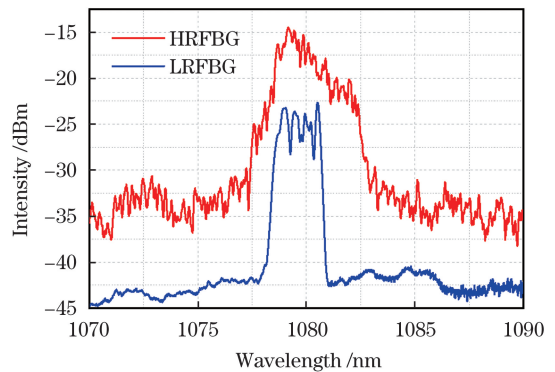


图 1 FBG 对的反射谱

Fig. 1 Reflection spectra of FBGs

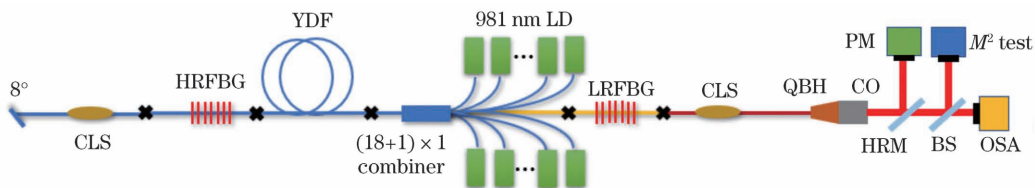


图 2 全光纤振荡器结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of all-fiber oscillator

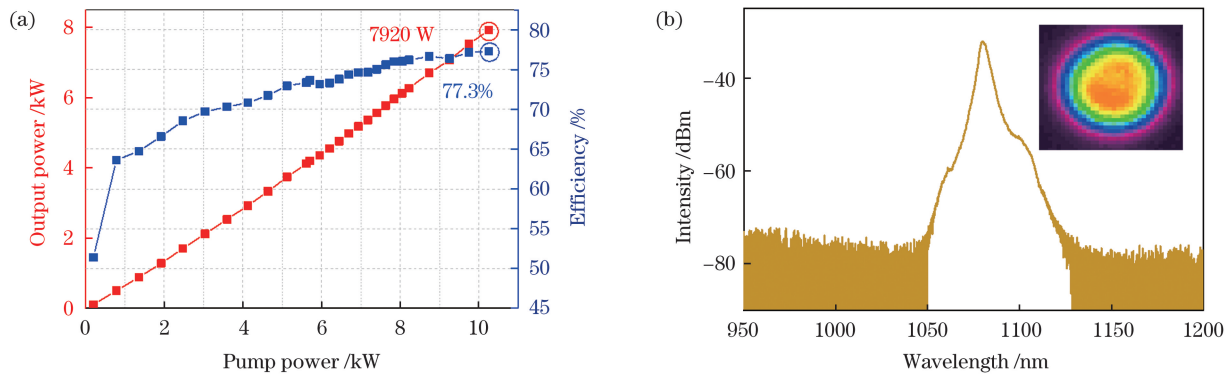


图 3 全光纤振荡器的实验结果。(a)输出功率和光光效率;(b)输出光谱和光斑远场图

Fig. 3 Experimental results of all-fiber oscillator. (a) Output power and optical-to-optical efficiency; (b) output spectrum and far-field pattern of output laser

李昊^{1,2}, 叶新宇^{1,2}, 王蒙^{1,2,3}, 武柏屹^{1,2,3}, 曾令筏^{1,2}, 高晨晖^{1,2}, 田鑫^{1,2}, 王鹏^{1,2,3},
杨保来^{1,2,3}, 奚小明^{1,2,3}, 王小林^{1,2,3}, 陈子伦^{1,2,3}, 潘志勇^{1,2,3}, 王泽锋^{1,2,3*}, 陈金宝^{1,2,3}

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;

³脉冲功率激光技术国家重点实验, 湖南 长沙 410073

通信作者:*zefengwang_nudt@163.com

收稿日期: 2022-08-30; 修回日期: 2022-09-23; 录用日期: 2022-10-19