

# 中国激光

## LD 包层泵浦拉曼光纤激光器首次实现千瓦输出

将无源光纤中受激拉曼散射效应作为激光增益的拉曼光纤激光器(RFLs),无需掺杂稀土元素,且具有波长选择灵活、无光子暗化、增益瞬时响应、无放大自发辐射等优势。高功率半导体激光器(LD)具有便于系统集成、电光转换效率高的特点,是一种较为理想的泵浦源,已成为掺铒光纤激光器功率提升的关键,将其与 RFLs 结合实现激光输出将有“性能倍增”的效果。然而,高功率 LD 的亮度远低于光纤激光,直接泵浦产生的拉曼增益过低,需要长达千米级的无源光纤,难以实现 RFLs 的有效运转。目前,LD 直接泵浦 RFLs 的最高输出功率仅为 154 W,进一步的功率提升受限于 LD 自身亮度以及由此导致的高损耗,而且自由空间结构不利于系统集成。此外,由于寄生振荡的存在,1020 nm 波段掺铒光纤激光器(YDFL)的最高输出功率也仅为 520 W。

近期,国防科技大学课题组利用 LD 直接泵浦全光纤结构 RFLs 实现了千瓦级 1020 nm 波段激光输出,该结果是当前公开报道的同波段及同类激光器功率的最高纪录。RFLs 系统结构示意图如图 1 所示,该系统采用的是由光纤布拉格光栅(FBG)对形成的全光纤振荡器结构。波长范围为 954~991 nm 的 15 个不同波长的 LD 组成阵列,单个 LD 输出的激光经准直后通过体布拉格光栅(VBG)进行光谱合成,合成后

的泵浦光经准直镜耦合进入直径为 100  $\mu\text{m}$  的光纤纤芯,光谱合束后得到的最高泵浦功率为 2190 W,泵浦光束的质量因子  $M_p^2$  约为 35。高反 FBG 的反射率大于 99%,中心波长为 1019.7 nm,3 dB 带宽为 4.7 nm;用作输出耦合器的低反 FBG 的反射率经优化后为 5%,中心波长为 1019.7 nm,3 dB 带宽为 0.8 nm。产生拉曼增益的无源光纤是一段 500 m 长的三包层光纤(TCF),纤芯和内包层的直径分别为 50、100  $\mu\text{m}$ ,数值孔径(NA)分别为 0.06、0.22,泵浦光的光纤传输损耗为 2.7 dB/km。泵浦光注入到 TCF 的内包层,并在腔中形成激光振荡。低反 FBG 输出端接有光纤端帽(EC)。此外,为避免光纤熔接的模场失配,端帽以及 FBGs 输出尾纤均采用与拉曼增益光纤同类型的无源 TCF(50/100/500  $\mu\text{m}$ ),且 FBGs 通过紫外刻写在 TCF 纤芯上。图 2(a)为 RFLs 输出功率随注入泵浦光总功率的变化趋势。信号光和剩余泵浦光通过二色镜(950~990 nm 高透,1020 nm 高反)分光后分别进行测量。中心波长为 1019.7 nm 的信号光在泵浦光功率为 743 W 左右时开始出光,之后信号光功率迅速增大,而剩余泵浦光功率则逐渐下降,当注入的泵浦总功率达到 2190 W 时,得到的信号光功率为 1082 W,剩余泵浦光功率为 424 W,光-光转化效率(相对于注入泵浦光)为 49.4%,信号

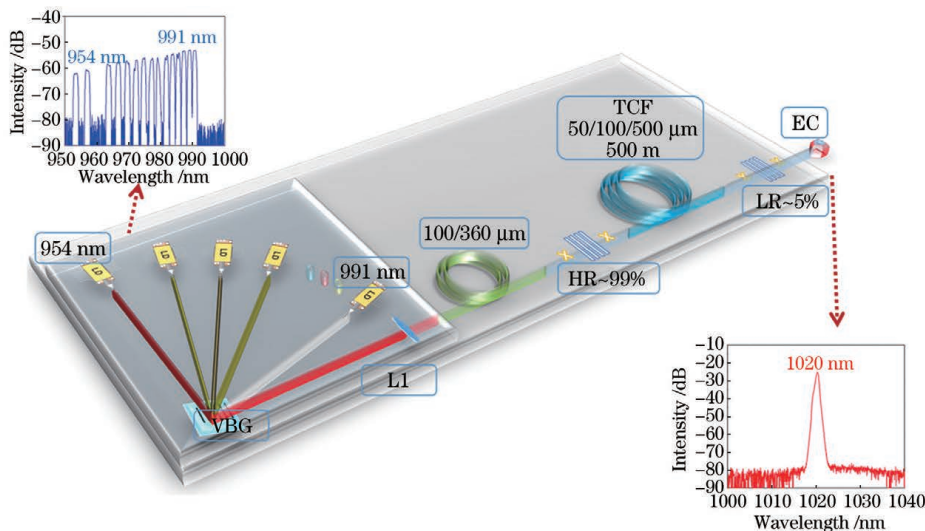


图 1 LD 直接泵浦 RFLs 的实验结构装置图

Fig. 1 Schematic of experimental setup of LD pumped RFLs

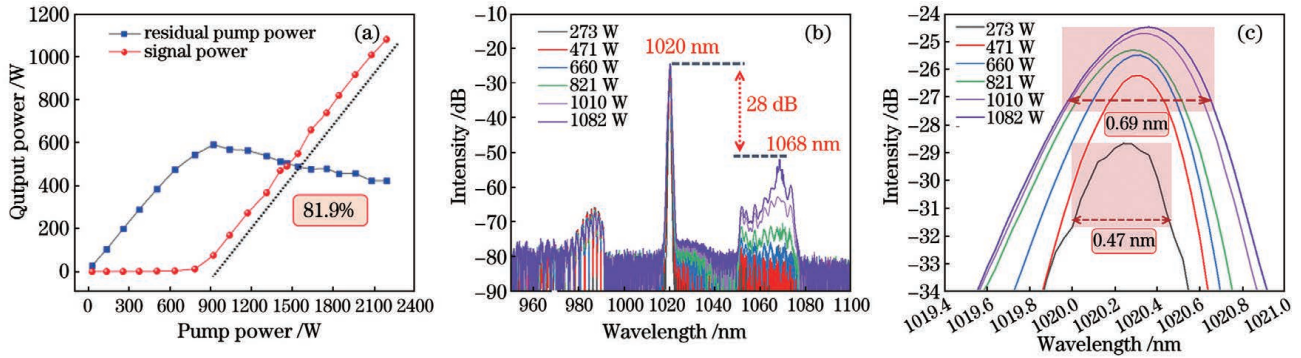


图 2 实验结果。(a)RFLs 输出功率随注入泵浦光总功率的变化趋势;(b)不同信号光功率下的全局光谱;(c)不同信号光功率下的局部光谱

Fig. 2 Experimental results. (a) Variation trend of RFLs output power with total injection pump power; (b) output signal laser global spectra at different signal powers; (c) output signal laser detail spectra at different signal powers

光的斜率效率为 81.9%。最高功率下输出光束的质量因子  $M_s^2$  为 7,亮度提升因子为 11.3。图 2(b)、(c) 为不同信号光功率水平下的光谱图,最高功率下的高阶拉曼峰值低于信号光约 28 dB。在信号光功率从

273 W 增大到 1082 W 过程中,对应的 3 dB 线宽从 0.47 nm 逐渐展宽到 0.69 nm。通过优化 TCF 折射率分布和传输损耗等参数,有望进一步提高输出功率和光束质量。

郝修路<sup>1</sup>, 李阳<sup>1</sup>, 范晨晨<sup>1</sup>, 潘志勇<sup>1,2</sup>, 冷进勇<sup>1</sup>, 姚天甫<sup>1\*</sup>, 周朴<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073;

<sup>2</sup>国防科技大学南湖之光实验室, 湖南 长沙 410073

通信作者: \*yaotianfumary@163.com; \*\*zhoupu203@163.com

收稿日期: 2022-10-14; 修回日期: 2022-10-24; 录用日期: 2022-10-31