

LD 泵浦拉曼光纤放大器首次实现高亮度激光输出

姚天甫, 范晨晨, 肖 虎, 黄良金, 冷进勇, 周 朴*

(国防科技大学 前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073)

中图分类号: TN248 文献标志码: A DOI: 10.3788/IRLA20220293

拉曼光纤激光器 (Raman fiber lasers, RFLs) 利用无源光纤中受激拉曼散射 (stimulated Raman scattering, SRS) 效应产生激光增益。与掺镱光纤激光器 (Yb-doped fiber lasers, YDFLs) 相比, 不仅具有波长选择灵活、量子亏损低、无光子暗化等优势, 而且能够提升输出激光亮度, 在获得特殊波长高亮度激光方面潜力巨大。此外, 半导体激光器 (Laser Diode, LD) 作为泵浦源, 有着电光效率高、系统集成度高等显著优势, 将其与 RFLs 结合将带来“性能倍增”的效果。目前, LD 直接泵浦 RFLs 的最高输出功率为 50 W, 激光器结构为基于光纤光栅提供反馈的振荡器结构。然而, 光纤光栅在高功率运行时的稳定性使得功率提升面临挑战。相比而言, 拉曼光纤放大器 (Raman Fiber Amplifier, RFA) 通过注入种子来引导信号波光长的功率放大, 无需光纤光栅提供反馈, 在功率提升过程中有利于保持系统稳定性。

近期, 笔者课题组首次开展了 LD 直接泵浦 RFA 研究, 利用光谱合成技术提升泵浦源亮度, 获得了最高功率 373 W 的拉曼激光输出, 该结果为目前公开报道 LD 直接泵浦拉曼光纤激光的最高功率记录。

实验采用图 1(a) 所示的 RFA 结构。RFA 中泵浦和种子由不同波长的 LD 提供。其中, 泵浦源包括波长分别为 954、957、960、964 nm 的四个 LD, 种子源为波长为 991 nm 的单个 LD。泵浦 LD 与种子 LD

输出激光经准直后通过体光栅光谱合成实现合束, 合束后最大输出泵浦功率为 544 W, 种子功率为 113 W。光谱合束后的泵浦与种子光通过聚焦透镜耦合进一段 350 m 的渐变折射率 (graded-index, GRIN) 无源光纤, 利用 GRIN 光纤中的拉曼增益对种子功率进行放大。GRIN 光纤的纤芯直径为 100 μm , 数值孔径为 0.29。GRIN 光纤的输出端接有一个镀膜端帽 (1 000~1 200 nm 波段增透) 降低信号光的端面反馈。RFA 输出的信号光、剩余泵浦光功率以及信号光光谱随泵浦功率的变化情况分别如图 1 (b)、(c) 所示。得益于 GRIN 光纤中的拉曼增益, 信号光功率随着泵浦功率迅速增加。当泵浦功率为 544 W 时, 输出最高信号光功率达到 373 W, 此时剩余泵浦光为 157 W, 对应光-光转换效率为 67.2% (信号光与吸收泵浦光功率之比)。最大功率下输出信号光光束质量 M^2 因子为 3.9。

下一步将继续对 GRIN 光纤的背景损耗、折射率分布等参数进行优化, 以实现更高的输出功率以及更优的光束质量。

致谢: 感谢国家自然科学基金基金 (11704409, 62061136013, 12174445) 对本文工作的支持; 感谢陈子伦副研究员提供光纤端帽, 感谢肖亮在实验过程中提供的帮助。

收稿日期: 2022-05-10; 修订日期: 2022-05-20

作者简介: 姚天甫, 女, 副研究员, 博士, 主要从事拉曼光纤激光技术的研究。

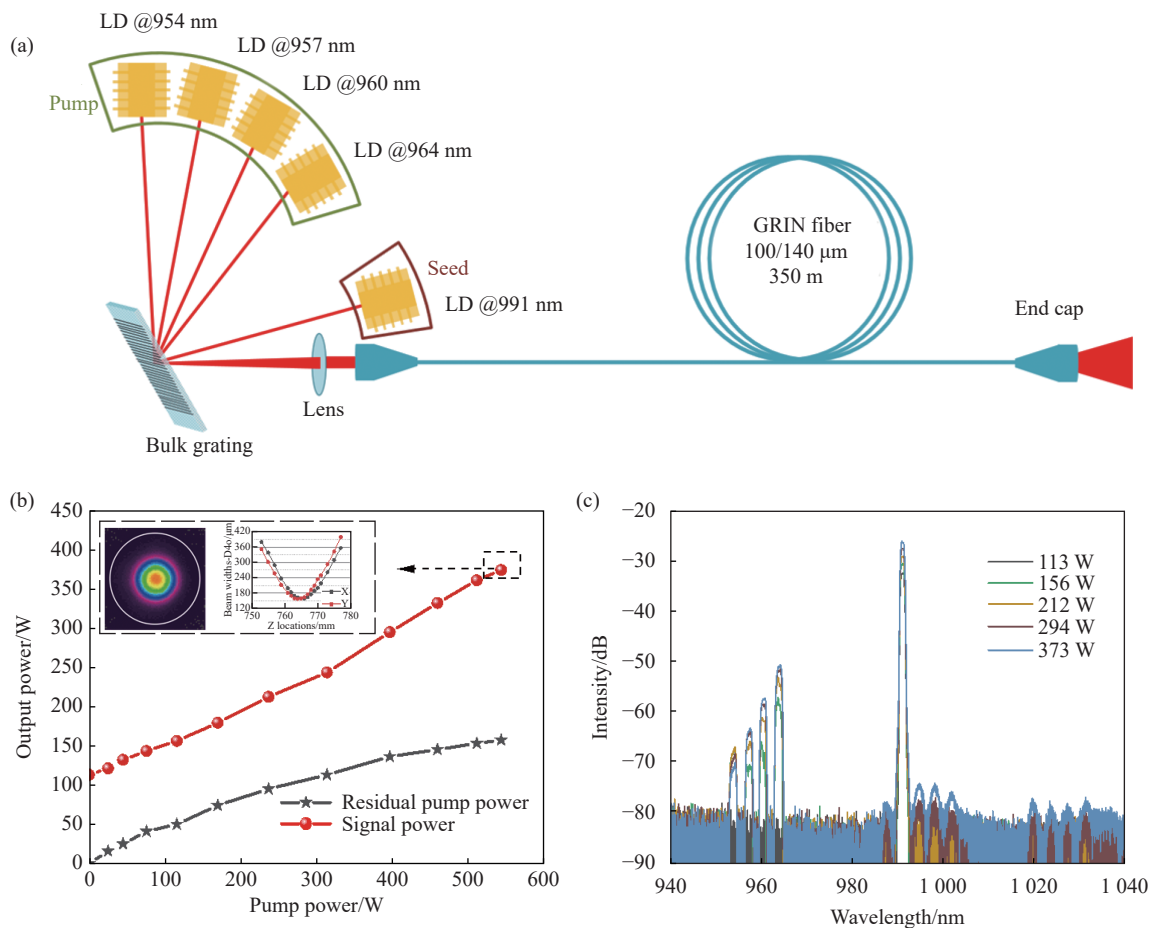


图 1 (a) LD 直接泵浦 RFA 实验结构示意图; (b) RFA 输出信号光以及剩余泵浦光功率随泵浦功率的变化情况 (左插图: 束腰位置光斑形态, 右插图: 光束质量测量结果); (c) 不同信号光功率下的输出光谱

Fig.1 (a) Schematic of experimental setup of LD pumped RFA; (b) RFA output power and residual pump power versus input pump power (left inset: beam profile at focal point, right inset: beam quality parameter M^2 measurement result); (c) Output spectrum evolution at different signal laser power levels