

室温下 10 W 级高效率 2.8 μm 掺 Er^{3+} 氟化物 光纤激光器

中红外光纤激光器在激光医疗、聚合物加工、气体探测、定向干扰等领域具有重要应用,而更高功率、更高效率则是研究人员一直追求的目标。目前,基于掺 Er^{3+} 氟化物光纤 $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ 能级跃迁的 2.8 μm 激光器是中红外波段成熟度最高、性能最好的光纤激光系统。借助高浓度掺杂下离子间高效的能量传递过程,加拿大拉瓦尔大学研究团队利用 980 nm 激光二极管(LD)泵浦掺杂 Er^{3+} 的摩尔分数为 7% 的氟化物光纤,在 2824 nm 获得了 41.6 W 的连续激光,斜率效率为 22.9%,这是目前中红外连续光纤激光器的最高功率水平^[1]。为了降低系统热载,该团队又利用 980 nm LD 泵浦掺杂 Er^{3+} 的摩尔分数为 1% 的氟化物光纤,通过构建复合腔级联 1.6 μm 激光,借助再吸收过程对粒子进行循环利用来提升 2.8 μm 波段的斜率效率,最终在 2825 nm 获得了约 13 W 的连续激光输出,斜率效率为 49.5%^[2]。最近,电子科技大学研究团队利用 1.69 μm 随机光纤激光器泵浦掺杂 Er^{3+} 的摩尔分数为 1.5% 的氟化物光纤,利用共振级联的基态(GSA)和激发态(ESA)吸收过程(如图 1 插图所示),

在 2783 nm 获得了输出功率大于 6 W 的连续激光,斜率效率为 58.4%,这也是目前报道的该波段下的最高效率水平^[3]。

电子科技大学研究团队在之前工作^[3]的基础上对系统进行了优化和改进,通过优化泵浦波长、提升泵浦功率,同时加强光纤端面的抗损伤能力,进一步提升了 2.8 μm 激光的输出功率。搭建的系统装置如图 1 所示。为了降低光纤泵浦端热载,泵浦源采用共振吸收带内吸收更弱的 1.65 μm 短波随机光纤激光器;增益光纤采用掺杂 Er^{3+} 的摩尔分数为 1% 的双包层氟化物光纤,纤芯直径为 16.5 μm ,数值孔径为 0.12,包层直径为 240/260 μm ,数值孔径为 0.4,长度为 10 m,以保证足够的吸收。其两端各熔接一段垂直切割的 AlF_3 端帽,用于保护光纤端面,防止水汽吸收导致的损伤。光纤泵浦端采用加工的 V 形夹具进行固定夹持,并且无额外的水冷或风冷系统。整个系统采用纤芯耦合方式,谐振腔由对泵浦光高透对激光高反的二色镜以及垂直切割的光纤端面构成。

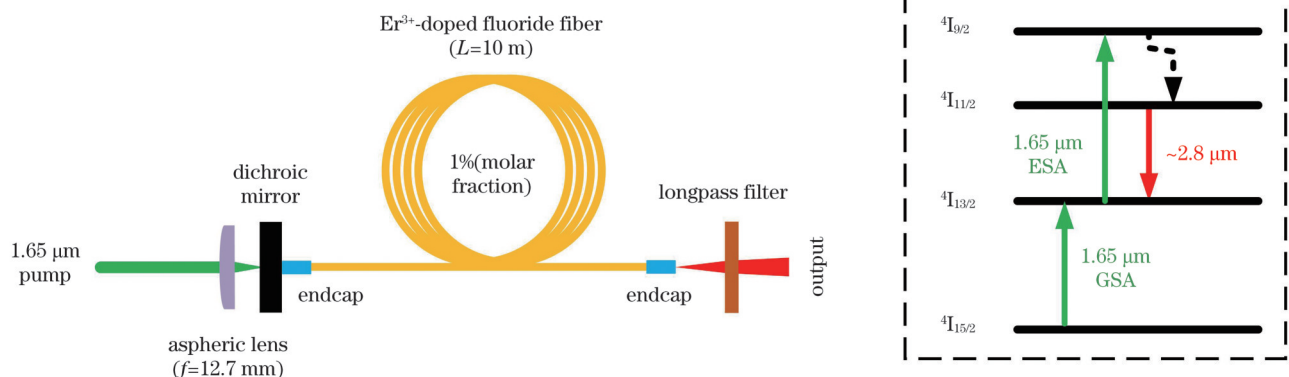


图 1 1.65 μm 泵浦的 2.8 μm 掺 Er^{3+} 氟化物光纤激光器装置示意图,插图为掺 Er^{3+} 氟化物光纤的简化能级图

Fig. 1 Diagram of $\sim 2.8 \mu\text{m}$ Er^{3+} -doped fluoride fiber laser pumped at 1.65 μm , where the inset is simplified energy level diagram of the Er^{3+} -doped fluoride fiber

随着泵浦功率增加,激光输出功率几乎呈线性增长,如图 2(a)所示。在 20.5 W 的最大 1.65 μm 泵浦功率下,可以获得 10.2 W 的激光功率,斜率效率(η)为 50.8%。相比之前的工作^[3],斜率效率有所下降。主要原因是:有源光纤泵浦端因熔接光纤端帽导致二色

镜与有源光纤端面贴合不紧,进而导致二色镜反馈下降。激光中心波长为 2796.5 nm,带宽为 3 nm,如图 2(b)所示。在整个过程中,光纤端面温度始终保持在 60 $^{\circ}\text{C}$ 以下的安全水平。

本文展示了一种室温条件下获得 10 W 级 2.8 μm

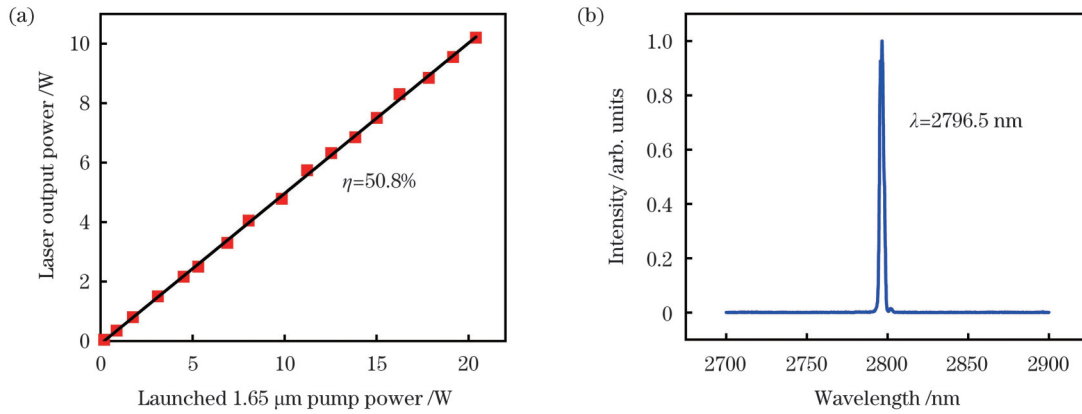


图 2 激光输出特性。(a)输出功率随泵浦功率的变化;(b)激光光谱

Fig. 2 Laser output characteristics. (a) Output power as a function of launched pump power; (b) laser optical spectrum

光纤激光高效输出的有效方案,未来通过进一步优化系统和光纤光栅刻写,有望在全光纤结构下实现功率和效率的进一步提升。

参 考 文 献

[1] Aydin Y O, Fortin V, Vallee R, et al. Towards power scaling of 2.8 μm fiber lasers[J]. Optics Letters, 2018, 43(18): 4542-4545.

[2] Aydin Y O, Fortin V, Maes F, et al. Diode-pumped mid-infrared fiber laser with 50% slope efficiency[J]. Optica, 2017, 4(2): 235-238.

[3] Luo H Y, Shi J C, Chen J S, et al. Towards high-power and -efficiency ~2.8 μm lasing: lightly-erbium-doped ZrF₄ fiber laser pumped at ~1.7 μm[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2024, 42(1): 316-325.

石俊川, 罗鸿禹, 陈俊生, 李剑峰*

电子科技大学光电科学与工程学院, 四川 成都 610000

通信作者: *lijianfeng@uestc.edu.cn

收稿日期: 2024-02-20; 修回日期: 2024-03-11; 录用日期: 2024-03-27; 网络首发日期: 2024-04-12