

# 中国激光

## 20 W 中红外 2.8 $\mu\text{m}$ 全光纤激光器研究

在 2.8  $\mu\text{m}$  附近工作的中红外(mid-IR)激光器由于与水分子的  $\text{OH}^-$  振动模式共振而在生物材料中显示出强吸收性。2.8  $\mu\text{m}$  中红外激光器的这一特性使其被广泛应用于生物医学和遥感领域。2.8  $\mu\text{m}$  中红外激光可以通过多种途径实现,例如,量子级联激光器、气体激光器(CO, HeNe)、化学激光器(HF, DF)、非线性频率变换激光器(OPO/OPA/OPG)、Cr:ZnSe 激光器和掺铈氟化物光纤激光器。与其他中红外激光器相比,掺铈氟化物光纤激光器具有电光转换效率高、结构稳定、光束质量好等优点,因此受到了研究人员的广泛关注。近年来,2.8  $\mu\text{m}$   $\text{Er}^{3+}:\text{ZBLAN}$  光纤激光器的输出功率得到了显著提高。在连续波输出方面,当前国际上 2.8  $\mu\text{m}$  单向和双向泵浦方式下的连续波激光输出功率纪录为 20 W 和 41.6 W,而国内报道的最高功率为 10 W,并且是空间结构,受限于光纤热效应,功率很难进一步提高。

为了获得较高的输出功率,深圳大学和深圳技术大学采用特殊的光纤冷却技术和低损耗异质光纤熔接技术,研制了单向泵浦的全光纤结构中红外激光器,如图 1 所示。该激光器具有高效率和高稳定性的优点,在国内首次实现了全光纤结构 20 W 高功率 2.8  $\mu\text{m}$  单模激光输出。实验所用增益光纤为 Le Verre Fluoré 公司研制的掺铈氟化物光纤( $\text{Er}^{3+}:\text{ZrF}_4$ , 掺杂铈的物质的量分数为 7%),纤芯

直径为 15  $\mu\text{m}$ ,数值孔径 NA 约为 0.12,总长度为 6.5 m,该光纤对 976 nm 激光的平均吸收系数为 2~3 dB/m。高反光栅(HR-FBG)和低反光栅(OC-FBG)直接刻写在增益光纤上,与  $\text{Er}^{3+}:\text{ZBLAN}$  光纤共同构成激光谐振腔。高反和低反光栅的反射率分别为 99% 和 10%,中心波长为 2825 nm。采用自主研发的石英光纤与氟化物光纤熔接技术,将 3 束 976 nm 稳波长的半导体激光器泵浦光通过 1 个(6+1) $\times$ 1 泵浦合束器注入到增益光纤中。激光谐振腔输出的激光依次经过自主研发的包层光滤除器(CLS)和  $\text{AlF}_3$  光纤端帽(end-cap)输出,以防止氟化物光纤端面在长期工作中发生潮解。当激光二极管泵浦功率为 140 W 时,振荡器输出功率  $P_{\text{avg}}$  为 20.3 W,光光转换效率为 14.5%;当泵浦功率低于 80 W 后,斜率效率  $\eta$  为 18.6%;继续增大泵浦功率,斜率效率明显降低,如图 2 所示,功率曲线后半段的斜率效率仅为 11.4%。激光器稳定运行 10 min,功率涨落( $\Delta_{\text{RMS}}$ )小于 0.4%,如图 2 所示。对不同功率激光器的输出光谱进行测量后发现,随着激光功率的增大,输出光谱轻微红移,如图 3 所示。利用 Xenics 公司 Tigris-640 中红外探测器测量并计算得到了激光光束质量  $M^2 = 1.3$ 。随着氟化物光纤及中红外光纤器件制备技术的发展,中红外光纤激光器的性能将会进一步提高,并将实现产业化应用。

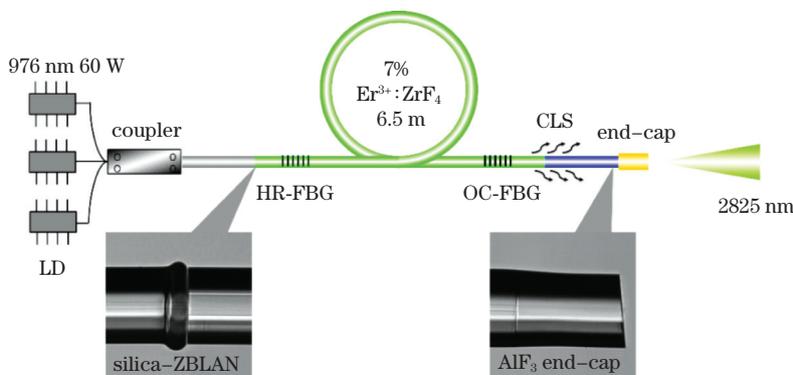


图 1 2.8  $\mu\text{m}$  全光纤单模激光器系统结构

Fig.1 Structure of 2.8  $\mu\text{m}$  all-fiber single-mode laser system

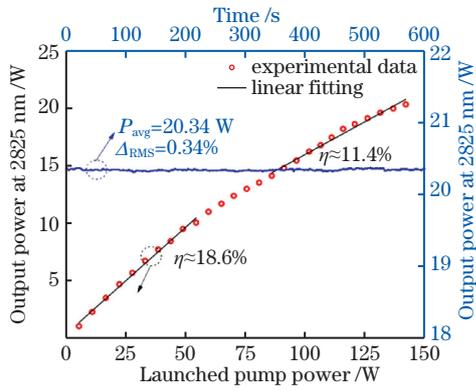


图 2 激光功率输出特性

Fig. 2 Laser power output characteristics

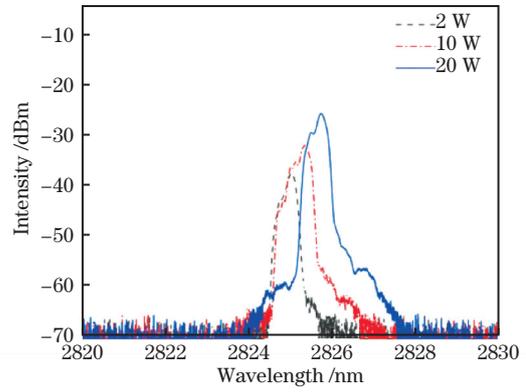


图 3 激光光谱和光斑

Fig. 3 Laser spectrum and spot

郭春雨<sup>1</sup>, 董繁龙<sup>1,2</sup>, 沈鹏生<sup>1</sup>, 李殿甲<sup>1,2</sup>, 闫培光<sup>1</sup>, 王金章<sup>1</sup>, 阮双琛<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>深圳大学物理与光电工程学院, 深圳市激光工程重点实验室, 广东 深圳 518061;

<sup>2</sup>深圳技术大学先进光学精密制造技术广东普通高校重点实验室, 广东 深圳 518118;

通信作者: \*scruan@sztu.edu.cn

收稿日期: 2021-03-17; 修回日期: 2021-03-26; 录用日期: 2021-04-13