

简讯

基于同带抽运的 4 kW 级窄线宽全光纤放大器

受限于热效应、非线性效应、抽运源亮度等因素,单路光纤激光功率提升能力有限。相干合成和光谱合成是获得更高功率输出且同时有望保持良好光束质量的有效方案。相干合成/光谱合成系统要求其基本单元模块——单路光纤激光窄线宽输出。然而,受限于受激布里渊散射(SBS)和热致模式不稳定(TMI)的双重影响,该类光纤光源的功率提升是国际公认的研究热点和难点。

2016年,本课题组利用级联正弦相位调制抑制SBS,利用弯曲损耗机理抑制TMI,成功实现1.89 kW窄线宽、线偏振、准单模光纤激光输出。随后,通过弯曲损耗技术优化,采用单级白噪声相位调制将系统输出功率进一步提升至2.43 kW,为大功率窄线宽光纤激光放大器的研制奠定了技术基础。

最近,本课题组引入同带抽运技术,有效减小主放大器量子亏损,从而进一步抑制了放大过程中的TMI效应;同时,采用单级白噪声相位调制抑制SBS效应,成功研制出输出功率达3.94 kW的窄线宽全光纤放大器。整个放大链路采用主振荡功率放大结构。主振荡器为单频种子施加白噪声相位调制产生的窄线宽激光种子源。种子激光首先通过三级全光纤预放大系统将其功率提升至约70 W。预放大之后的激光注入主放大器进行最终功率提升。主放大器增益介质选用31 m长纤芯为30 μm、包层为250 μm的大模场掺镱双包层光纤,3台自主研发的

1018 nm 光纤激光器(最高输出功率达 2000 W)通过(6+1)×1 的抽运合束器抽运主放大器增益光纤。经主放大器放大的激光通过自主研发的包层光滤波器、光纤端帽和准直系统后输出到自由空间。主放大器输出功率与抽运功率的对应关系如图 1(a)所示。当抽运功率为 5057 W 时,系统的输出功率达 3940 W,斜率效率为 78%。系统在最高输出功率时的光谱如图 1(b)所示。在最高输出功率下,输出激光 90%以上的功率集中在 0.89 nm 光谱范围内,且 90%以上功率占比对应的光谱宽度在放大过程中没有发生明显的展宽。当输出功率达 3940 W 时,信号光的信噪比比抽运光高约 31.5 dB,比受激拉曼散射光高 24.9 dB。当输出功率为 3940 W 时,输出激光光束质量(M^2)因子测量值为 $M^2=1.86$ [图 1(c)]。该实验结果是目前公开报道的窄线宽光纤放大器的最高输出功率。由于引入了同带抽运技术,系统所用增益光纤较长,SBS 抑制下的输出激光线宽较宽。后续将通过增益光纤参数、调制信号带宽和调制深度优化等对线宽进行有效控制。

致谢 感谢国家自然科学基金青年基金(61705264, 61705265)对本文工作的支持;感谢肖亮、何家威、徐小勇、刘铭洋等在实验中的支持和帮助。

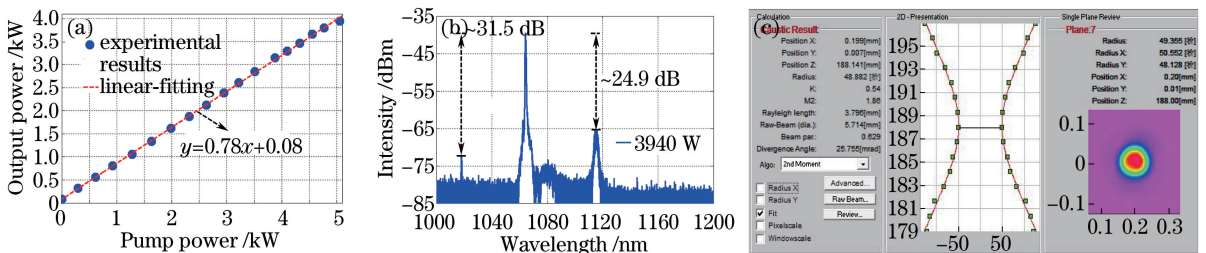


图 1 (a)输出功率与抽运功率的关系;(b)最大功率下的输出光谱;(c)最高输出功率下的 M^2 因子
Fig. 1 (a) Output power as a function of pump power; (b) spectrum at the maximal output power;
(c) M^2 at the maximal output power

马鹏飞,肖虎,孟达人,冷进勇,马阎星,栗荣涛,周朴*

国防科技大学前沿交叉学科学院,湖南长沙 410073

* E-mail: zhoupu203@163.com

收稿日期:2018-05-14;收到修改稿日期:2018-05-30