

简讯

4 路大功率窄线宽、线偏振光纤放大器相干偏振合成实现 5 kW 级高亮度激光输出

受限于非线性效应、热效应、模式不稳定等多种因素,单路光纤激光的亮度的提升存在较大的技术挑战。相干偏振合成技术有望克服单路光纤激光亮度提升瓶颈,实现更高亮度的激光输出。理论上,随着合成路数的增加,相干偏振合成技术可实现亮度的成倍提升。然而,该合成技术对光源特性(模式、偏振、谱线)、合成元件特性(动态抖动、热像差)、相位控制系统锁相残差等因素均提出了严格要求,研制难度大。

2016 年初,本课题组在单路窄线宽、线偏振光纤激光技术方面取得突破,实现了 2 kW 级窄线宽、近衍射极限的激光输出,为相干偏振合成技术向大功率发展提供了单元基础。近期,本课题组通过锁相控制系统优化、离焦像差补偿、高精度光程控制以及利用 4 路窄线宽、线偏振光纤放大器的相干偏振合成,实现了 5.02 kW 的近衍射极限合成激光输出,合成效率高达 93.8%。

整个合成系统结构示意图如图 1(a)所示。窄线宽种子激光(NBL)先经过分束器(BS)分为 4 路,随后依次进入相位调制器(PM)和光纤延迟线(DL)。PM 用于接受相位控制信号进而实现各路光束之间的相位锁定,DL 用于补偿各路光束之间的光程差。各路激光经过 DL 后进入三级全保偏级联光纤放大系统(A1、A2、A3)以实现功率提升。放大后的光束经过自主研发的离焦补偿型准直系统(CO)的准直后参与相干偏振合成。通过旋转半波片(HWP),光束 1、2 和光束 3、4 分别在第一级偏振合束器(PBC)中进行偏振合成。偏振合成后的光束分别经过 HWP,再进入第二级 PBC 进行进一步合成。图 1(a)中, M1~M4 为全反镜。99.99% 的合成光束被高反镜(M5)反射至功率计(P-M),0.01% 的合成光束经过 40:60 分束器(M6)后分别进入光束质量测量仪(M²-200 s)和信号提取模块(SEM)。SEM 将光信号转换为电信号,电信号随后反馈到相位和光程控制器。控制器基于优化算法对 SEM 反馈的电信号进行处理,将产生的相位信号与光程补偿信号分别施加到 PM 和 DL,实现整个系统的闭环控制。图 1(b)为 4 路放大器输出功率与抽运功率的对应关系,放大后 4 路激光功率分别为 1.29, 1.14, 1.12, 1.8 kW, 功率的进一步提升受限于抽运功率。图 1(c)为输出功率、合成效率与总入射功率的对应关系。随着入射功率的提升,系统合成效率均高于 93.6%。当总入射功率为 5.35 kW 时,输出功率为 5.02 kW,系统合成效率达 93.8%,合成激光光束质量 M² < 1.3。

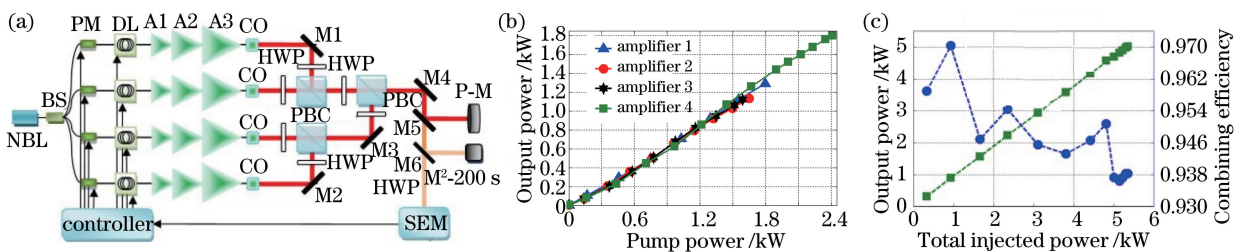


图 1 (a) 实验装置示意图; (b) 4 路放大器输出功率与抽运功率的对应关系; (c) 输出功率、合成效率随总入射功率的变化
Fig. 1 (a) Diagram of experimental setup; (b) relationship between output power and pump power of four channel amplifiers; (c) variations in output power and combining efficiency with total injected power

刘泽金*, 周朴, 马鹏飞, 王小林, 栗荣涛, 马阎星, 陶汝茂, 张汉伟

国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073

E-mail: zejiniu@vip.sina.com

收稿日期: 2017-03-20; 收到修改稿日期: 2017-03-28