

中国激光

全纤化相干合成实现高稳定性近单模万瓦激光输出

近年来,基于空间光路的相干合成技术得到快速发展,2020年,德国耶拿大学报道了12通道脉冲激光相干合成,输出平均功率达到10.4 kW;同年,以色列Civan公司报道了32通道连续激光相干合成,合成总功率达到16 kW;2021年,中国国防科技大学基于19通道光纤激光器,实现了20 kW相干合成输出。全纤化相干合成是基于全纤化合束器和主动相位控制实现的全光纤结构激光合成方式,兼具紧凑轻量、抗环境扰动、无杂散光、光束质量好以及光谱纯度高独特优势,对实现超高亮度激光光源具有重要的科学价值和工程应用意义。然而,全纤化相干合成的关键器件全纤化合束器长期未能解决光束模式畸变退化、器件局域发热烧毁等难题,导致合成功率一直停留在百瓦水平。

中国工程物理研究院激光聚变研究中心针对全纤化合束器开展了高精度模式控制、高热流密度热管理等关键技术的研究,突破了高负载大模场光纤相干合束器制备工艺及检测技术,基于自研的高速锁相控制系统以及高品质超窄线宽线偏子束,成功研制出高功率全纤化相干合成光源,首次完成了全纤化相干合成的万瓦验证。合成系统如图1所示,单频激光经相位调制展宽到40 GHz后,被光纤分束器

分为多路,每一路种子光各自进入一路光纤放大器进行功率放大,之后再经由全纤化相干合束器合成为一束输出激光。输出激光经楔形镜取样后,主激光进入功率计,前、后表面反射的采样激光进入光电探测器和光束质量分析仪,分别进行锁相和光束质量(M^2)测试。在各路放大器满功率情况下,系统实现10.8 kW功率输出, M^2 二阶矩为1.965,在10.8 kW功率下进行了6 min连续出光考核,功率起伏不超过 $\pm 0.43\%$,如图2所示,充分证明了高品质全纤化相干合成的稳定性。此外,对光电探测器的时域数据进行了测量,根据平均值与最大值的比值计算得到相干合成光源的锁相效率约为93.7%,控制残差均方根(RMS)值优于 $\lambda/20.5$ (λ 为波长),其中图2(a)中光强未能到底底是光电探测器本底噪声导致的。

全纤化相干合成实现万瓦输出表明全纤化相干合成方案具有高功率定标放大能力,打破了全纤化相干合成难以实现高功率高质量激光输出的认识,标志着中国工程物理研究院激光聚变研究中心已经掌握了全纤化相干合成的关键工艺和技术。下一步工作将重点增加合成通道数,以进一步提升全纤化相干合成光源的功率输出能力。

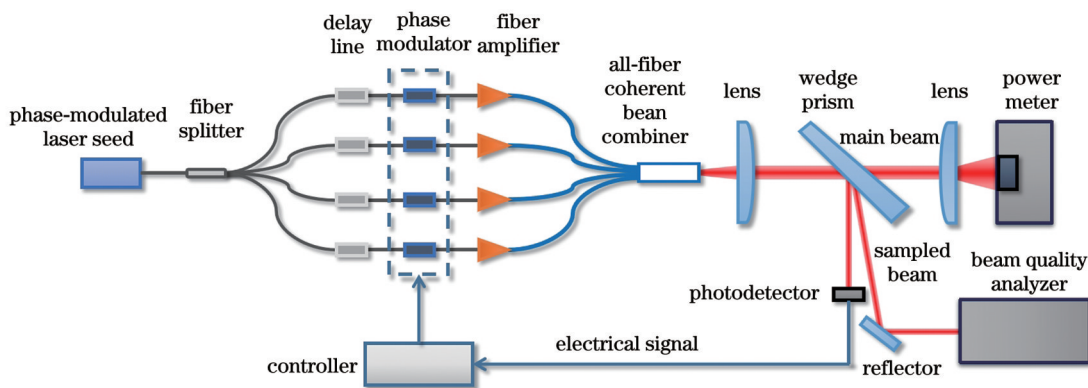


图1 全纤化相干合成系统示意图

Fig. 1 Schematic of all-fiber coherent-beam-combining laser system

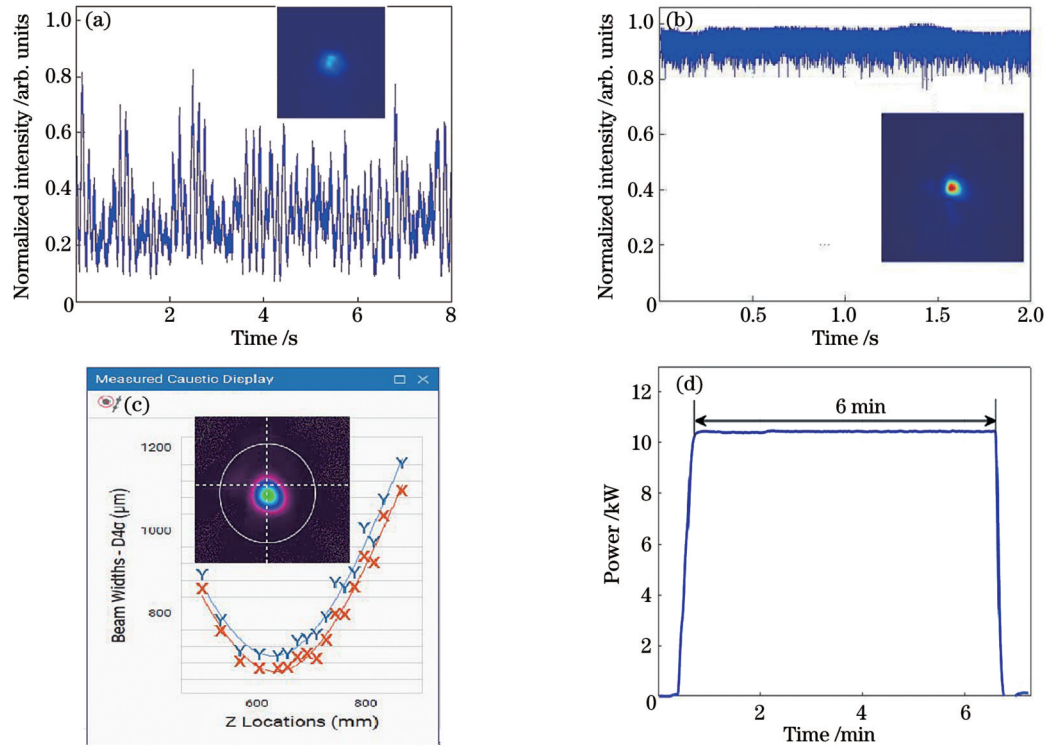


图2 10.8 kW 相干合成结果。(a)开环归一化强度和光斑;(b)闭环归一化强度和光斑;(c)闭环 M^2 ;(d)闭环功率
 Fig. 2 Coherent combining results at 10.8 kW. Normalized intensities and beam profiles at (a) open-loop and (b) close-loop states;
 (c) M^2 and (d) power at close-loop state

李雨薇¹, 刘琦¹, 谢亮华¹, 李克洪¹, 邓安琪¹, 吴文杰¹, 舒强¹, 赵鹏飞¹, 柯伟伟², 陶汝茂^{1*}, 林宏奂¹,
 王建军^{1**}, 景峰^{1***}

¹中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 成都 621001;

²北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100088

通信作者: *supertaozhi@163.com; **wjcaep@126.com; ***jingfeng09@sina.cn

收稿日期: 2022-12-01; 修回日期: 2022-12-14; 录用日期: 2023-01-05; 网络首发日期: 2023-01-15