

中国激光

光纤放大器中实现 714 W 可见光至近红外超连续谱激光输出

超连续谱激光具有宽光谱和高亮度的特性,被广泛应用于光学相干断层扫描、生物光学、光谱检测等领域。目前,产生可见光至近红外波段超连续谱的常用方案是利用脉冲光纤激光器泵浦光子晶体光纤。利用该方案,2018 年,中国工程物理研究院报道了 563 W 的高功率超连续谱激光,输出光谱范围为 665~1750 nm。在该方案中,高功率皮秒脉冲光纤激光器输出尾纤(纤芯直径约为 20 μm)与光子晶体光纤(纤芯直径约为 5 μm)之间较大的模场失配以及光子晶体光纤较小的纤芯直径是制约输出超连续谱功率提升的主要原因。

针对光子晶体光纤产生超连续谱方法在功率提升方面存在的瓶颈,本课题组首次提出利用大模场面积双包层掺镱光纤放大器输出高功率超连续谱的方案,并基于该方案先后在 2012 年和 2013 年实现了 70 W 和 177.6 W 的近红外波段的超连续谱输出。该方案不存在模场失配以及小纤芯直径的约束,并且系统整体转换效率高,因此具备实现更高功率超连续谱输出的潜力。近期,本课题组基于四级主振荡功率放大结构,使脉冲宽度、重复频率、输出平均功率分别为 15 ns、2 MHz、322 mW 的种子源经过一个功率分光比为 99.9:0.1 的四端口耦合器后,将其注入到三级光纤放大器中,进行功率提升和

光谱展宽,最后一级光纤放大器采用 30 μm /600 μm 掺镱光纤,并在掺镱光纤后面连接一段 20 m 长的 30 μm /600 μm 无源光纤以进一步优化光谱宽度和平坦度。本方案通过非线性效应控制技术和无源光纤中的光谱优化技术,首次实现了掺镱光纤放大器输出的超连续谱向长波和短波两个方向同时展宽,整个系统中 976 nm 半导体泵浦光转换为超连续谱的效率为 40%,光谱范围为 690~2390 nm,10 dB 带宽为 1051 nm,且 1064 nm 处的泵浦峰较低。在时域上,最终输出超连续谱的重复频率维持不变,脉冲宽度由于非线性效应的影响,略微展宽到 16.7 ns,相应的单脉冲能量约为 0.36 mJ。该系统可长时间稳定运行,在 714 W 最高输出功率下,功率稳定性优于 99.86%,系统结构以及输出结果分别如图 1 和图 2 所示。

该 714 W 高功率超连续谱激光器为目前公开报道的最高输出功率,该结果不仅验证了掺镱光纤放大器输出更高功率超连续谱的可行性,而且有效解决了掺镱光纤放大器输出光谱只能向长波方向展宽从而导致输出光谱范围受限和光谱平坦度相对较差的问题。后续将使用该系统,在继续优化光谱性能的同时,将功率进一步拓展到千瓦量级。

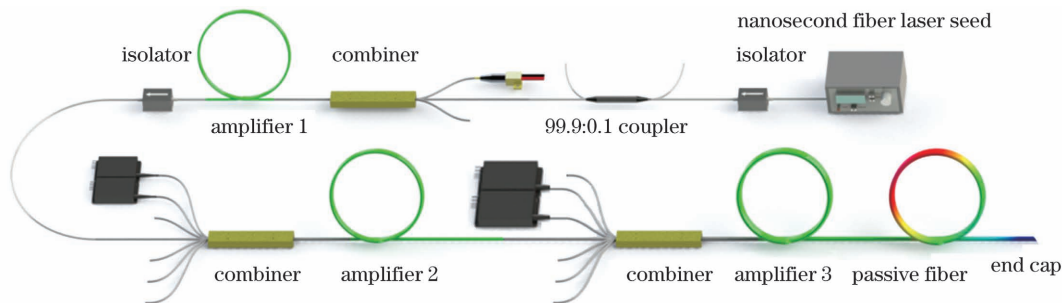


图 1 714 W 高功率超连续谱的产生实验装置图

Fig. 1 Experimental setup for 714 W high-power supercontinuum generation

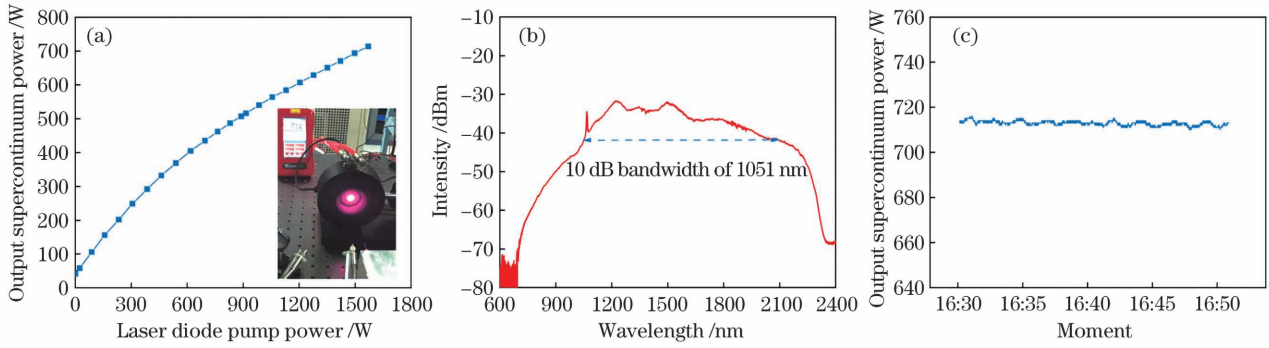


图 2 高功率超连续谱激光器的输出特性。(a)功率特性;(b)最高功率输出下的光谱;(c)最高功率下测量的功率稳定性
 Fig. 2 Output characteristics of high-power supercontinuum laser. (a) Power characteristic; (b) spectrum at maximum output power; (c) power stability at maximum output power

江丽, 宋锐*, 何九如, 侯静**

国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073

通信作者: *srnotice@163.com; **houjing25@sina.com

收稿日期: 2021-12-13; 修回日期: 2021-12-14; 录用日期: 2021-12-31