

窄线宽光纤振荡器输出近红外宽带超连续谱激光

张 嵩, 姜 曼, 李 灿, 粟荣涛, 周 朴, 姜宗福

(国防科技大学 前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 超连续谱光源因同时具有普通光源(自发辐射光)的宽光谱特性和单色激光的高空间相干性、高亮度等特征被广泛应用于光谱学、生物医学、环境科学以及光电对抗等领域。在多种非线性效应(调制不稳定性、自相位调制、交叉相位调制、四波混频、孤子自频移和受激拉曼散射等)和色散的综合影响下,入射到非线性介质中的激光光谱会得到极大展宽。根据这一机理,通常利用脉冲激光注入光纤放大器或者光子晶体光纤产生超连续谱。但是,光纤放大器产生超连续谱的功率阈值较高且输出光谱平坦度相对较差;而光子晶体光纤的切割和熔接也给后者的实现带来了挑战。

中图分类号: TN248 文献标志码: A DOI: 10.3788/IRLA20210668

近期,笔者课题组提出了一种基于窄带光纤光栅对构建的简单谐振腔直接产生近红外超连续谱激光的新方法。系统结构如图 1 所示,谐振腔由一对正交熔接的 -3 dB 带宽分别为 0.28 nm 和 0.08 nm 的高反光栅(HR-FBG)和低反光栅(OC-FBG)组成,激光增益由一段 4.5 m 纤芯包层直径为 $10/125$ μm 的保偏掺镱光纤(PM-YDF)提供。6 个 976 nm 半导体激光器(LD)通过合束器(MPC)对谐振腔进行前向泵浦。实验中,将高反光栅置于室温环境,低反光栅的温度可以通过半导体制冷器(TEC)进行调节,以对前向泵浦方式造成的高反、低反光栅温升不一致进行有效补偿。包层光滤除器(CPS)用来滤除多余的泵浦光。为了抑制端面反馈,两端光纤采用了切 8° 角的方法。

在低泵浦功率下,输出激光为窄线宽激光,其 -3 dB 线宽小于 0.1 nm。当泵浦功率增加至 113.1 W 时,输出功率出现些许下降而且增长也开始变缓,如

图 2(a)所示。此时,谐振腔输出光谱出现了明显的受激拉曼散射,并且逐渐演化为近红外超连续谱,过程如图 2(b)所示。上述现象的物理机制是窄带光栅对激光的频域特性形成了较强的约束,从而造成了时域特性的不稳定现象,图 2(c)给出了最高输出功率情形下通过 5 GHz 光电探测器测量得到的激光时序特性,呈现了典型的随机脉冲序列特征。计算结果表明,峰值功率高出平均值 129 倍以上,从而引入了强烈的非线性效应,导致了超连续谱激光的产生。当泵浦功率达到 183.3 W 时,输出功率为 73.1 W,光光转换效率为 39.88% 。此时光谱覆盖范围大于 500 nm,其中以 1250 nm 为中心波长的 -10 dB 带宽为 390.9 nm。在最大输出功率下,包层光滤除器的温度为 75 $^\circ\text{C}$,通过优化增益光纤的长度以增加泵浦光吸收有望进一步提升功率。该高功率超连续谱光源结构简单且具有较高的光谱平坦度,进一步丰富了超连续谱光源的研究内容。

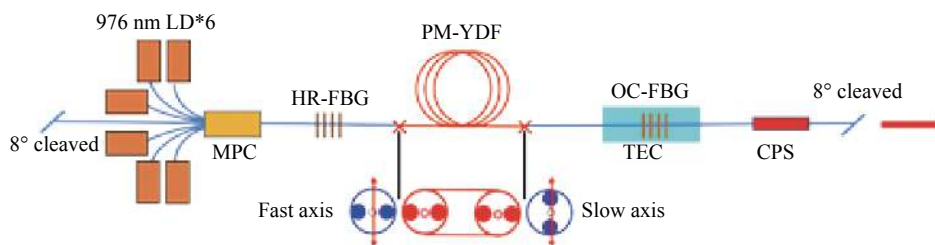


图 1 基于窄带光纤光栅对构建谐振腔产生超连续谱激光的实验结构图

Fig.1 Experimental structure diagram of supercontinuum laser generation through narrow-bandwidth FBG-based cavity

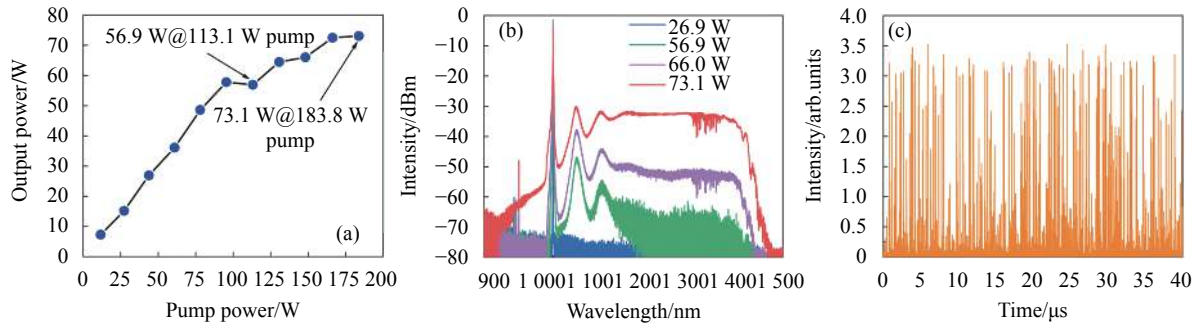


图 2 近红外超连续谱光源特性。(a) 功率特性; (b) 对应输出激光功率下的光谱演化; (c) 最高输出功率时的时域特性

Fig.2 Properties of near-infrared supercontinuum. (a) Power property; (b) Spectral evolution corresponding to the output laser power; (c) Time-domain characteristics at the maximum output power