

中国激光

自主研发的严格单模光纤振荡器实现千瓦量级输出

严格单模光纤振荡器是指光纤振荡器的输出光束只含有基模,而不含其他任何高阶模式。不同于含有少量高阶模式的单模光纤振荡器,严格单模光纤振荡器具有更好的光束质量和光束稳定性,可作为种子光源,有利于后续功率放大过程的模式控制,在光束合成、遥距加工等领域中也有着广泛的应用。不过,尽管现阶段数千瓦量级光纤激光器的光束质量因子(M^2)可达到 1.1 以下,但已有研究表明:该光束质量的输出光场仍可能存在高阶模式,无法确保严格单模输出。为了实现严格单模输出,需要采用单模光纤。而单模光纤的纤芯直径较小,非线性效应的抑制难度大,限制了振荡器的功率提升。目前,严格单模光纤振荡器的输出功率仅为 300 W 量级,功率的进一步提升面临巨大挑战。

2023 年,国防科技大学利用自主研发的严格单模光纤振荡器,实现了千瓦量级的功率输出。该振荡器的特别之处在于:采用高亮度的 980 nm 波段光纤激光器作为级联泵浦光源,大幅提升了泵浦光亮度,在较小直径的包层中,实现了高功率 980 nm 波段泵浦光注入,同时,充分利用掺镱光纤在 980 nm 波段的高吸收特性,为小芯径单模有源光纤的应用以及非线性效应的抑制创造了条件。

该振荡器采用纤芯直径/包层直径为 10 μm /125 μm 的双包层掺镱光纤[截面图如图 1(a)所示],纤芯数值孔径为 0.08,在 1080 nm 波段支持单模输出。两个 980 nm 波段光纤激光器产生的泵浦光[光谱如图 1(c)所示],经过后向泵浦合束器,注入到掺镱光纤的内包层中,总泵浦功率可达到 1.5 kW 以上。光纤光栅的中

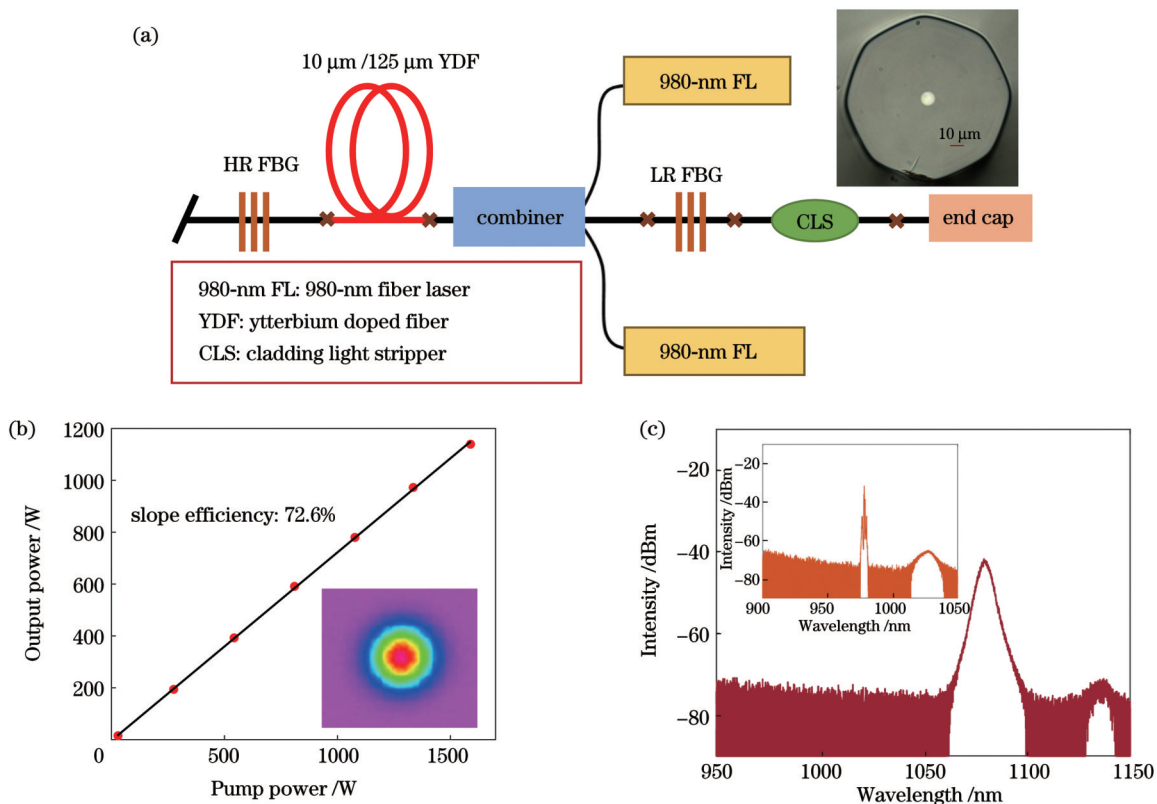


图 1 实验测试结果。(a)实验结构图(插图为光纤截面图);(b)输出功率随泵浦功率的变化(插图为测量的光斑);(c)最高输出功率处的光谱图及泵浦光光谱图(插图)

Fig. 1 Experimental test results. (a) Experimental structure diagram with cross section of optical fiber shown in inset; (b) output power versus pump power with measured beam profile shown in inset; (c) spectrum at highest output power and spectrum of pump light (inset)

中国激光

心波长约为 1080 nm,低/高反光纤布拉格光栅(LR/HR FBG)的反射率分别为 9.5% 和 99.5%,3 dB 带宽分别为 0.5 nm 和 1.1 nm。实验中利用 1.59 kW 的泵浦光,最高实现了 1.14 kW 的功率输出, M^2 约为 1.1[光斑图如图 1(b)所示,采用激光光束品质分析仪测得],斜率效率约为 72.6%(受限于光纤长度,可通过有源光纤的优化实现进一步的提升),输出光谱的中心波长约

为 1079.8 nm,3 dB 带宽为 5.2 nm,受激拉曼散射抑制比接近 30 dB。不仅实现了千瓦量级严格单模光纤振荡器的实验验证,还验证了 980 nm 波段光纤激光器作为级联泵浦光源的可行性及其在非线性效应抑制和功率提升方面的优势。980 nm 波段光纤激光器的应用有望将高光束质量光纤激光器的功率水平提升到新的高度。

曹润秋^{1,2,3},刘爱民^{1,2,3},陈毛妮^{1,2,3},田源^{1,2,3},黄值河^{1,2,3},陈子伦^{1,2,3},潘志勇^{1,2,3},王泽锋^{1,2,3},许晓军^{1,2,3},
陈金宝^{1,2,3*}

¹国防科技大学前沿交叉学科学院,湖南 长沙 410073;

²国防科技大学南湖之光实验室,湖南 长沙 410073;

³国防科技大学高能激光技术湖南省重点实验室,湖南 长沙 410073

通信作者: *kdchenjinbao@aliyun.com

收稿日期: 2023-07-24; 修回日期: 2023-08-23; 录用日期: 2023-09-25; 网络首发日期: 2023-10-05

致谢 感谢中国电子科技集团公司第二十三研究所在光纤拉制方面提供帮助。