

# 中国激光

## (1+1)型泵浦增益一体化光纤实现同带泵浦 万瓦激光输出

(N+1)型泵浦增益一体化光纤通常由一根有源信号纤和至少一根无源泵浦纤紧密贴合并共同被包层包覆而成,它是集泵浦注入、增益放大、热管理于一体的复合功能光纤。(N+1)型泵浦增益一体化光纤集中体现了长距离分布式侧面泵浦技术的优势,是万瓦级激光输出的有效技术途径。2004 年开始,英国南安普顿大学的研究团队率先开展了泵浦增益一体化光纤的研究工作。2009 年美国 IPG 公司基于(1+1)型泵浦增益一体化光纤采用同带泵浦方式实现了单纤单模 10 kW 激光输出,这成为光纤激光发展史上的里程碑事件。鉴于泵浦增益一体化光纤的独特优势,近年来国内中国工程物理研究院、国防科技大学、中国电子科技集团公司第四十六研究所、中国电子科技集团公司第二十三研究所等单位也相继开展了泵浦增益一体化光纤理论设计和制备技术方面的研究工作。

近期,中国工程物理研究院激光聚变研究中心成功研制了万瓦级同带泵浦(1+1)型泵浦增益一体化光纤。样品结构和激光测试系统结构示意图如图 1 所示。该样品包含一根纤芯直径、包层直径分别为 220  $\mu\text{m}$  和 242  $\mu\text{m}$  的泵浦纤和一根纤芯直径、包层直径分别为 36  $\mu\text{m}$  和 250  $\mu\text{m}$  的信号纤,泵浦

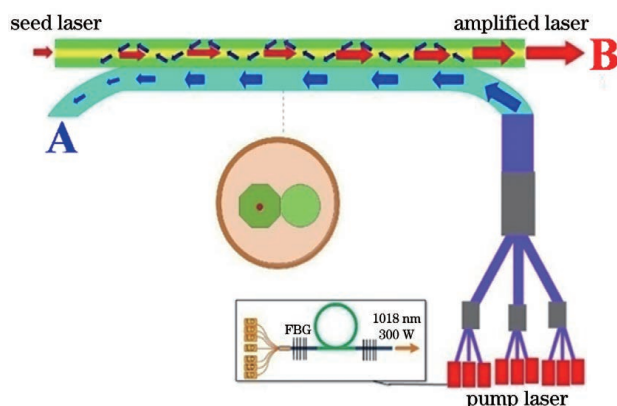


图 1 (1+1)型泵浦增益一体化光纤结构及激光测试系统示意图

Fig. 1 Schematic diagrams of (1+1) pump gain integrated fiber structure and laser test system

增益一体化光纤的耦合长度为 40 m。激光测试时采用反向泵浦方式,光纤的弯曲直径为 60 cm 左右,种子光注入功率为 140 W,中心波长为 1080 nm。当从泵浦纤单端注入功率为 14.41 kW、中心波长( $\lambda_c$ )为 1080 nm、波长为 1018 nm 的泵浦激光时,从信号纤输出尾纤(图 1 中 B 端)测得输出功率为 10.71 kW。光谱如图 2(b)所示,3 dB 带宽( $\Delta\lambda_{3\text{dB}}$ )为 1.16 nm,输出激光无残余泵浦以及非线性光谱

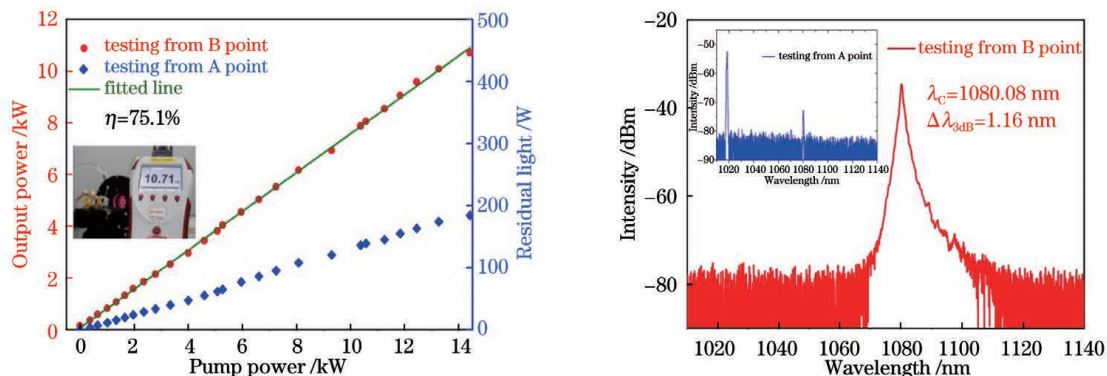


图 2 (1+1)型泵浦增益一体化光纤激光特性。(a)输出功率;(b)10.71 kW 时的光谱(插图为在 A 点所测残余光谱)

Fig. 2 Property of (1+1) pump gain integrated fiber laser. (a) Output laser power; (b) optical spectrum of output laser at 10.71 kW (inset shows optical spectrum of residual light tested from A point)

成分,光光转换效率为 75.1%,泵浦增益一体化光纤的转换效率低于单纤的原因是泵浦纤与信号纤之间存在界面,光能量在耦合过程中会发生损失。同时在注入 14.42 W 泵浦激光时,从泵浦纤输出尾纤(图 1 中 A 端)测得的光功率仅为 184 W,光谱如图 2(b)插图所示,图中主要为 1018 nm 残余泵浦光,较小的泵浦残余说明自研信号纤对 1018 nm 泵浦光具有较强的吸收能力。

从 2014 年开始,中国工程物理研究院激光聚变研究中心在泵浦增益一体化光纤的研制和集成技术上取得了持续进步,于 2018 年研制了(8+1)型泵浦增益一体化光纤,采用 976 nm LD 泵浦方式实现 11.23 kW 激光功率输出,这是国内泵浦增益一体化光纤的最高输出记录。为了进一步提升泵浦光亮度、简化系统结构,2019 年中国工程物理研究院激光聚变研究中心成功研制出万瓦级同带泵浦单纤,

通过实验验证了所设计掺镱纤的吸收和负载能力,并可突破泵浦光注入亮度限制。近期在高掺杂、低损耗有源预制棒制备技术取得持续进步的基础上,研究人员通过光纤结构设计和制备工艺的创新,显著提升了泵浦光承载能力及耦合效率,泵浦纤单臂单端注入功率从 2018 年的 1700 W 提升到本次实验的 14 kW。从光纤结构设计、稀土掺杂光纤预制棒制备、预制棒精密机械加工、光纤拉制到系统集成的全流程工作均由中国工程物理研究院激光聚变研究中心自主完成。未来研究团队还将在光束质量控制、功率提升上作出更多的努力。

万瓦级同带泵浦(1+1)型泵浦增益一体化光纤的成功研制是我国高功率光纤激光材料领域的重要突破,是国产泵浦增益一体化光纤迈向实用化的重要一步。

代江云,刘念,李峰云,贺红磊,沈昌乐,吕嘉坤,孙仕豪,张立华,姜蕾,郭超,陶汝茂,张昊宇,刘琦,  
高聪\*,王建军\*\*,林宏兔\*\*\*,景峰

中国工程物理研究院激光聚变研究中心,四川 绵阳 621900

通信作者:\*gaoc0013@yinhe596.cn;\*\*wjcaep@caep.cn;\*\*\*happylin2003@yeah.net

收稿日期:2021-06-15;修回日期:2021-06-29;录用日期:2021-08-03