

基于自研高掺 Yb 大模场磷酸盐光纤的脉冲激光放大

大能量、高峰值功率超短脉冲激光在远距离激光雷达、地震探测、主动照明等领域中具有重要的应用价值。主振荡脉冲放大(MOPA)是超短脉冲激光的主要运行方式,其中有源增益光纤是关键核心部件。目前,传统有源石英光纤存在稀土离子溶解度有限、难以保证低数值孔径(NA)纤芯制备的均匀性等问题,导致其使用长度较长(数m),纤芯直径通常小于 $40\ \mu\text{m}$,具有较低的非线性阈值,进而限制了其输出的脉冲能量。相比之下,多组分氧化物玻璃具有稀土掺杂浓度高、光学均匀性好等优势,能够获得模场面积大、吸收系数高的大模场增益光纤,从而大幅提升大能量脉冲放大的非线性阈值(相同条件下比石英光纤高10倍以上)。2018年,美国AdValue Photonics公司研制的大模场Er/Yb共掺硅酸盐光纤实现了 $45\ \mu\text{m}$ 的大芯径以及 $1.5\ \mu\text{m}$ 波段1.8 mJ能量的脉冲放大输出。2020年,美国亚利桑那大学和NP Photonics公司研制出 $60\ \mu\text{m}$ 芯径的大模场掺Er磷酸盐光纤,并实现了3 mJ的脉冲放大输出。然而,国内少有单位研究超短脉冲激光放大用稀土掺杂多组分氧化物玻璃光纤的制备工艺。大模场光纤的制备难点是在降低数值孔径的同时保持极高的均匀性。例如,要实现NA为0.03的单模掺Yb光纤,则需要纤芯与包层玻璃的折射率差值小于 3×10^{-4} ,这要求玻璃本身的光学均匀性达到 10^{-5} 量级。

最近,中国科学院上海光学精密机械研究所从大尺寸、高光学均匀性磷酸盐激光玻璃的制备工艺出发,采用光学均匀性约为 1×10^{-6} 的高掺Yb磷酸盐玻璃作为光纤纤芯材料,在自研高掺Yb大模场磷酸盐光纤中实现了平均功率为27.3 W的脉冲激光放大输出。该系统采用掺Yb大模场磷酸盐双层包层光纤($30\ \mu\text{m}/135\ \mu\text{m}/280\ \mu\text{m}$)与匹配无源石英光纤($20\ \mu\text{m}/130\ \mu\text{m}$)异质熔接的全光纤方案(熔点损耗为0.3 dB),结构如图1所示。其中,信号光波长为1030 nm,脉宽为30 ps,重复频率为27 MHz,掺Yb磷酸盐光纤的纤芯和内包层的NA分别为0.03和0.41,纤芯中 Yb_2O_3 的质量分数为6%,背景损耗为 $0.6\ \text{dB}/\text{m}@1300\ \text{nm}$,使用长度为30 cm;采用976 nm包层泵浦,获得的放大后脉冲激光的平均功率如图2所示,最大输出平均功率为27.3 W,斜率效率为71.4%,同时未观察到受激拉曼散射。该结果体现了磷酸盐玻璃在高掺杂能力、高光学均匀性以及高非线性阈值方面的优势。虽然脉冲放大参数尚待优化,但据我们所知,这是国内首次报道基于自研掺Yb大模场磷酸盐光纤全光纤结构实现 $1\ \mu\text{m}$ 处平均功率在27 W以上、斜率效率在71%以上的脉冲放大输出。本文为应用于大能量、高功率超短脉冲放大器的大模场光纤的研发提供了新型增益光纤材料的解决方案。后续将进一步优化Yb离子浓度、光纤结构,以提高光纤的脉冲激光放大性能。

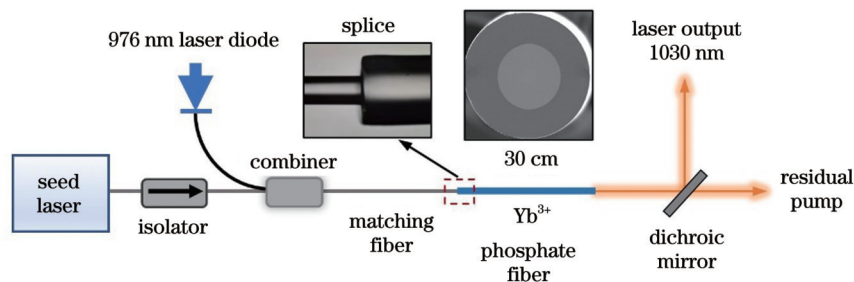


图1 掺Yb磷酸盐大模场光纤脉冲激光放大器结构图

Fig. 1 Structural diagram of pulsed laser amplifier using Yb-doped large-mode-area phosphate fiber

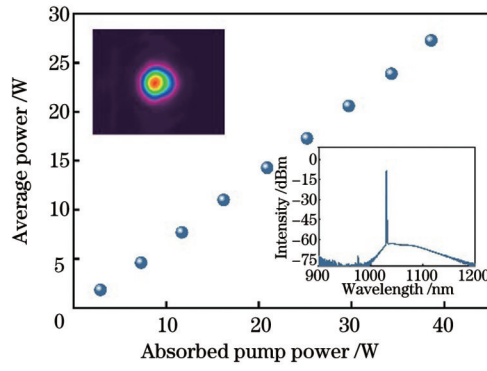


图 2 放大的脉冲激光的平均功率随泵浦功率的变化,插图是输出激光的光斑和光谱

Fig. 2 Average power of amplified pulsed laser versus pump power with spot and spectrum of output laser shown in inset

孙焰^{1,2}, 冯素雅^{1*}, 王欣^{1,2**}, 王璠¹, 王亚飞¹, 阳求柏¹, 陈树彬^{1,2}, 于春雷^{1,3}, 廖梅松¹, 胡丽丽^{1,2,3}

¹中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光单元技术实验室, 上海 201800;

²中国科学院上海光学精密机械研究所强场激光物理国家重点实验室, 上海 201800;

³中国科学院大学杭州高等研究院, 浙江 杭州 310024

通信作者: *fsy@siom.ac.cn; **xinwang@siom.ac.cn

收稿日期: 2023-03-08; 修回日期: 2023-03-27; 录用日期: 2023-04-11; 网络首发日期: 2023-04-21

基金项目: 中国科学院国际伙伴计划(20XH1217)、国家重点研发计划(2020YFB1805900)、国家自然科学基金(62275055)