

国产掺钕光纤实现全光纤化 50 W 915 nm 激光输出

900 nm 波段激光对应大气传输窗口,可直接应用于大气探测和差分吸收雷达等领域。更重要的是,900 nm 波段激光可倍频产生约 450 nm 纯蓝激光,该波段对应于水下通信窗口,在对潜通信等军事及民用领域有重要应用。目前,以 Nd:YAG 晶体为代表倍频产生 532 nm 绿光作为通信光源的技术方案已比较成熟,且已被成功应用于南海浅海水域绿光通信试验,但仍存在激光系统复杂、转换效率低、无法用于深海海域通信等问题。掺钕石英光纤激光器产生的 900 nm 波段激光可以倍频产生纯蓝激光。相较于固体激光器,掺钕石英光纤激光器具有小型轻量化、波长连续可调、光束质量高、易于实现高重复频率、通过光束合成可获得大脉冲能量等优点。但掺钕石英光纤激光器要获得 900 nm 波段的高效三能级激光,需要抑制 1 μm 四能级激光跃迁。法国 iXblue 公司、美国劳伦斯利弗莫尔实验室以及我国华南理工大学、北京大学等研发机构从光纤结构和激光技术两方面入手来抑制掺钕石英光纤 1 μm 激光,以提高 900 nm 波段激光的斜率效率与功率。2022 年,法国 iXblue 公司采用芯包比为 30 μm /130 μm 的掺钕石英光纤作为增益介质,在空间泵浦条件下实现了 83 W、910 nm 连续激光输出。但在全光纤化方面,目前报道的最高功率仅为 2.75 W,斜率效率为 11%,由 iXblue 公司于 2017 年利用 5 μm /125 μm “W”型光纤通过两级放大实现。

为了从本质上解决掺钕石英光纤 900 nm 波段与 1 μm 波段激光竞争的难题,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通过组分创新,调控优化 Nd^{3+} 配位环境,大幅提高了 Nd^{3+} 900 nm 波段对 1 μm 波段的荧光强度比值;同时,该实验室采用溶胶-凝胶结合高温烧结技术制备了大尺寸、高掺杂均匀性的掺钕石英玻璃芯棒,并利用该芯棒以管棒法制备了纤芯数值孔径为 0.056 的 30 μm /125 μm 掺钕双包层石英光纤(NDF)。国科大杭州高等研究院对该光纤进行了性能测试表征。图 1 为搭建的 915 nm 全光纤连续激光放大光路图。种子源为 4 W、915 nm 连续波光纤激光器;泵源采用两支 808 nm 二极管(LD),单支最大输出功率为 80 W;(2+1) \times 1 合束器信号输出端为 20 μm /125 μm 无源光纤,其与自研 30 μm /125 μm 掺钕双包层石英光纤熔接。在掺钕双包层石英光纤长度为 4 m、弯曲直径为 40 cm 以及一级放大条件下实现了 915 nm 连续放大 51.4 W 激光输出,光-光效率与斜率效率接近,均为 33.2%,915 nm 激光能量占比为 98.6%。当前数值孔径下的光束为多模激光,后续会通过降低纤芯的数值孔径来改善光束质量。915 nm 连续激光放大结果如图 2 所示。据查,这是目前掺钕石英光纤在 900 nm 波段激光全光纤化条件下获得的最高功率,远高于目前国际上的瓦级水平,具有里程碑意义。目前,输出功率受限于泵源功率水平,本课题组正在购置更高功率泵源,以进一步尝试获得 915 nm 百瓦级功率,用于倍频获得纯蓝激光。另外,本课题组正在搭建 910、920、930 nm 等波段种子源,以期进一步改善激光放大效率。

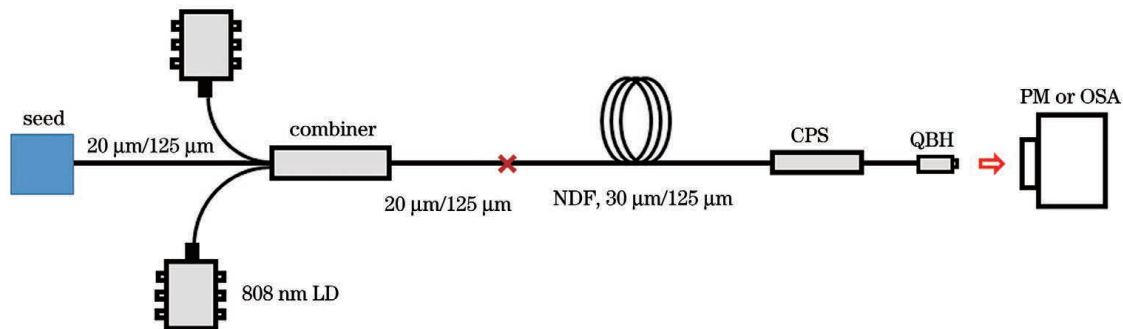


图 1 国产掺钕石英光纤 915 nm 全光纤连续放大实验装置图

Fig. 1 Experimental setup of continuous-wave laser all-fiber amplification at 915 nm using homemade Nd-doped silica fiber (LD: laser diode; NDF: Nd-doped silica fiber; CPS: cladding power stripper; QBH: quartz block holder; PM: power meter; OSA: optical spectrum analyzer)

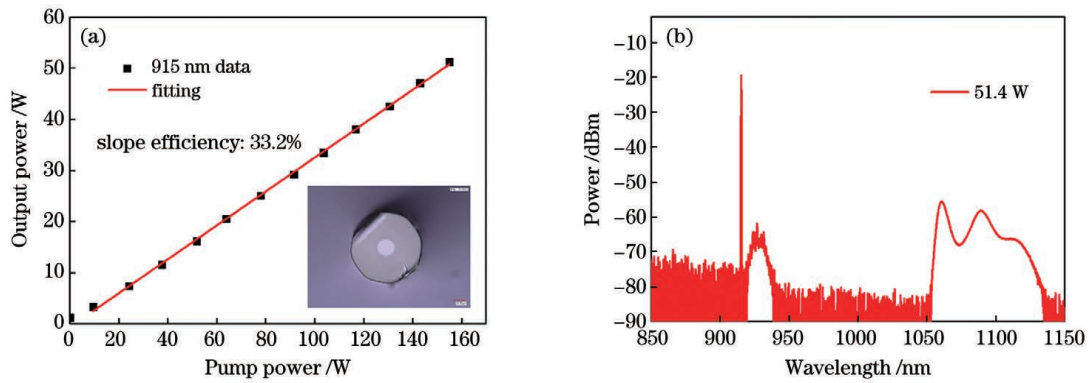


图 2 915 nm 连续激光放大结果。(a)激光输出功率与总泵浦功率的关系曲线,插图为掺钕石英光纤端面图;(b)放大后的激光光谱图

Fig. 2 Results of 915 nm continuous-wave laser amplification. (a) Laser output power as a function of total pump power, where the inset is cross section of Nd-doped silica fiber (NDF); (b) laser spectrum after amplification

陈应刚^{1,2}, 林治全³, 王亚飞¹, 王孟¹, 冯衍^{3,4}, 张磊¹, 王世凯^{1*}, 于春雷^{1,3**}, 胡丽丽^{1,3}

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中国科学院大学, 北京 100049;

³国科大杭州高等研究院, 浙江 杭州 310024;

⁴中国科学院上海光学精密机械研究所中国科学院空间激光信息传输与探测技术重点实验室, 上海 201800

通信作者: *woshiwsk@163.com; **sdyellcy@163.com

收稿日期: 2022-09-13; 修回日期: 2022-09-19; 录用日期: 2022-09-30