

中国激光

自研高掺 Nd 石英单模光纤实现 890 nm 及 910 nm 单频激光

具有线宽窄、噪声低等特点的单频光纤激光器是光纤激光研究领域的特色分支,其中~900 nm 波段单频掺 Nd 光纤激光因可倍频产生用于水下通信的单频蓝光(~450 nm)光源,是近年来单频光纤激光研究的热点之一。稀土掺杂有源光纤是构建单频激光的关键增益材料,目前商用掺 Nd 石英单模光纤因掺杂浓度低且~900 nm 波段荧光分支比低,难以实现高效的~900 nm 波段单频激光输出。针对这一现状,美国亚利桑那大学及国内天津大学、华南理工大学、山东大学等陆续开展了掺 Nd 多组分玻璃光纤的研究,其中基于掺 Nd 磷酸盐光纤已经可实现 915 nm、880 nm 单频激光输出。然而,多组分玻璃光纤的软化点、热膨胀系数等性质与石英光纤存在显著差异,其与石英光纤间的熔接须借助特殊熔接技术(如非对称熔接)以实现全光纤结构,不利于商业化应用。针对以上问题,中国科学院上海光学精密机械研究所基于特色技术手段优化掺 Nd 石英玻璃,并于 2022 年在研制的 30/125 型掺 Nd 石英双包层光纤中实现了功率超 50 W 的全光纤化 915 nm 激光。

为满足~900 nm 波段单频光纤激光需求,近期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采用溶胶-凝胶结合高温烧结特色技术进一步制备了高均匀、高浓度掺杂的 Nd 石英玻璃,并通过多阴离子共掺调控 Nd 离子配位环境,显著提升了~900 nm 波段的荧光分支比。制备了 4/125 型掺

Nd 石英单模光纤,数值孔径(NA)为 0.14,Nd 的质量分数为 1.86%,808 nm 处的吸收系数为 4.1 dB/cm,1200 nm 处的背景损耗小于 0.3 dB/m。光路如图 1 所示。谐振腔采用分布布拉格反射(DBR)结构,利用一对中心波长为 910 nm 和一对中心波长为 890 nm 的光纤光栅分别构建相应波长的 DBR 短腔。增益光纤的长度均为 1 cm,高反和低反光栅分别在物理栅区附近截断,并与自研掺 Nd 石英光纤熔接,谐振腔损耗均小于 0.2 dB。两个光栅对的高反射率均大于 99%,低反射率均为 80%(3 dB 带宽为 0.02 nm)。图 2(a)为 910 nm 激光光谱及纵模特性,信噪比(SNR)大于 60 dB,且~900 nm 处的放大自发辐射(ASE)高于 1 μm 处,插图中法布里-珀罗扫描干涉仪测试结果证实激光为单纵模运转。在最大 250 mW 的 808 nm 半导体激光泵浦下,910 nm 波长下的最大输出功率为 16 mW,基于吸收泵浦功率的激光转换效率为 16.2%。图 3 为 890 nm 激光特性,SNR 大于 51 dB,呈单纵模运转,最大输出功率为 2 mW,吸收泵浦功率效率为 3.7%。~900 nm 波段单频掺 Nd 光纤激光的相关研究如表 1 所示。据我们所知,这是目前首次基于掺 Nd 石英光纤实现 890~910 nm 波段的单频激光。该掺 Nd 石英光纤有望实现商业化应用,并将推动~900 nm 波段单频光纤激光器的研制。研究团队后续将从 Nd 离子局域配位环境设计、掺杂浓度等方面继续提升光纤性能。

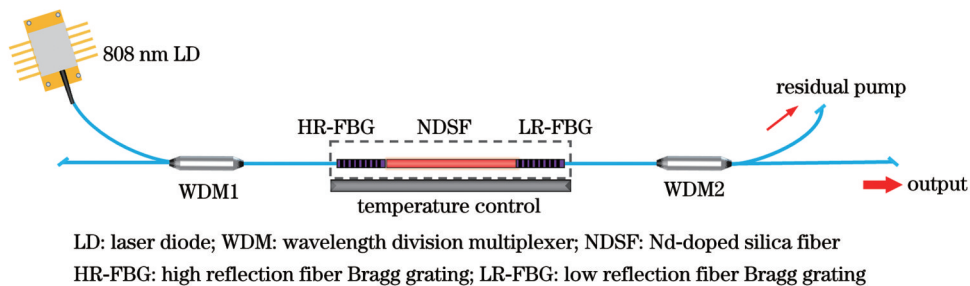


图 1 单频光纤激光实验光路

Fig. 1 Experimental optical path of single-frequency fiber laser

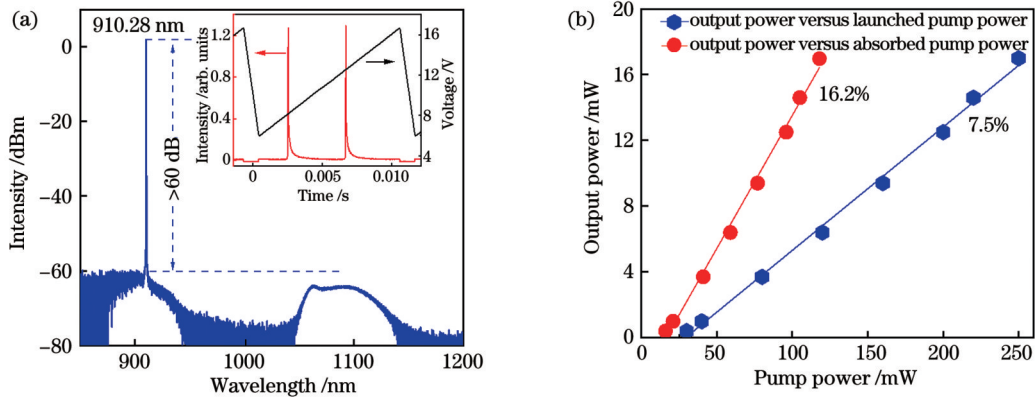


图 2 910 nm 单频掺 Nd³⁺ 光纤激光输出特性。(a) 激光光谱, 插图为纵模特性; (b) 输出功率曲线

Fig. 2 Output characteristic of 910-nm single-frequency Nd³⁺-doped fiber laser. (a) Spectra of laser with longitudinal mode characteristic shown in inset; (b) output power curves

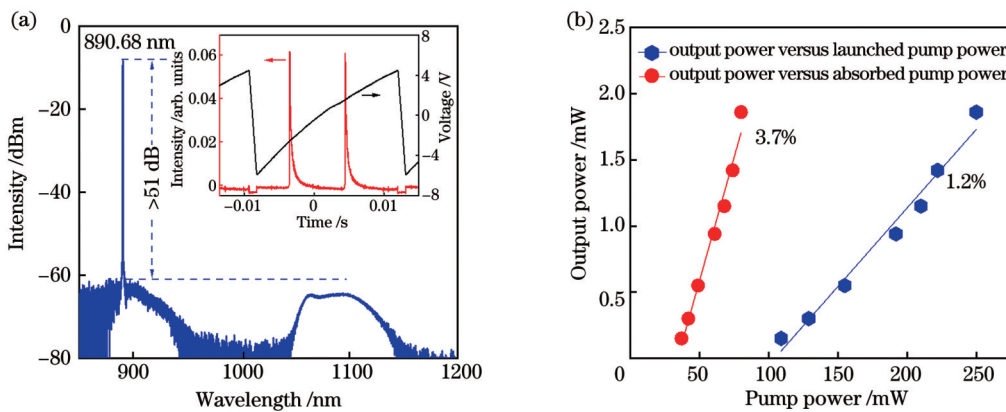


图 3 890 nm 单频掺 Nd³⁺ 光纤激光输出特性。(a) 激光光谱, 插图为纵模特性; (b) 输出功率曲线

Fig. 3 Output characteristic of 890-nm single-frequency Nd³⁺-doped fiber laser. (a) Spectra of laser with longitudinal mode characteristic shown in inset; (b) output power curves

表 1 ~900 nm 波段单频掺 Nd³⁺ 光纤激光性能对比

Table 1 Performance comparison of single frequency Nd³⁺-doped fiber laser in band of ~900 nm

Fiber type	Mass fraction of Nd ³⁺ / %	Fiber length / cm	Laser wavelength / nm	Maximum output power / mW	Efficiency / %	Institution	Year
Nd ³⁺ -doped silica fiber	1.86	1	910	16	16.2	Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences (this work)	2023
Nd ³⁺ -doped silica fiber	1.86	1	890	2	3.7	Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences (this work)	2023
Nd ³⁺ -doped silica fiber	-	2.5	930	1.9	2	Tianjin University	2016
Nd : YAG crystal derived fiber	1	0.6	915	0.1	0.11	Shandong University	2021
Nd ³⁺ -doped phosphate glass fiber	1	2.5	915	14	7.9	University of Arizona	2021
Nd ³⁺ -doped phosphate glass fiber	1	2.5	880	44.5	20.4	University of Arizona	2022

王亚飞¹, 陈应刚^{1,2}, 王世凯^{1*}, 阳求柏^{1,2}, 孙焰¹, 王孟¹, 张磊¹, 王欣¹, 温磊¹, 冯素雅¹, 于春雷^{1,3**}, 胡丽丽^{1,3},
Semenov Sergey Lvovich⁴

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俄罗斯科学院光纤研究中心, 莫斯科 119333, 俄罗斯

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

收稿日期: 2023-03-30; 修回日期: 2023-05-02; 录用日期: 2023-05-16; 网络首发日期: 2023-05-26

基金项目: 中国科学院国际伙伴计划(20XH1217)、国家自然科学基金(61975216, 62205356)