

中国激光

高吸收、高效率、低团簇掺铒光纤及其放大性能研究

在高功率光纤激光器与光纤放大器中,受激布里渊散射与受激拉曼散射是限制功率提升的主要非线性效应,其强度与光纤长度成正比,缩短掺铒光纤(EDF)长度是抑制非线性效应的有效手段。对于单纵模窄线宽超短腔光纤激光器,光纤的使用长度影响着谐振腔长,需要尽可能地缩短所用掺铒光纤的长度。另外,在掺铒光纤放大器(EDFA)中,缩短所用掺铒光纤的长度有利于降低成本、提升器件稳定性。为了提供足够的增益,必须提高掺铒光纤的掺杂浓度。高吸收、高效率、低团簇掺铒光纤的国产化势在必行。

为了提高石英基光纤中铒离子的溶解度并抑制高浓度掺杂下铒离子的团簇效应,华中科技大学光纤激光技术团队基于改进的化学气相沉积工艺(MCVD),通过引入共掺 Al^{3+} 及 P^{5+} ,制备得到了超高浓度掺铒光纤,图 1 所示为其折射率剖面及光纤端面,具体参数如表 1 所示。浓度猝灭是影响高浓度掺铒光纤性能的重要因素,随着 Er^{3+} 浓度的增加, Er^{3+} 在玻璃基质中会形成团簇体。 Al^{3+} 与 P^{5+} 结合形成的 $[\text{AlPO}_4]$ 四面体可以有效抑制 Er^{3+} 的成对效应,降低团簇率,提升能量传递效率。

利用该光纤搭建了图 2 所示的单级 980 nm 前向泵浦结构的 C 波段 EDFA。为了抑制放大的自发辐射(ASE),在输入输出端均接入了隔离器(ISO),并利用衰减器(VOA)调节信号功率,泵浦光与信号光经波分复用器(WDM)耦合进光纤。针对

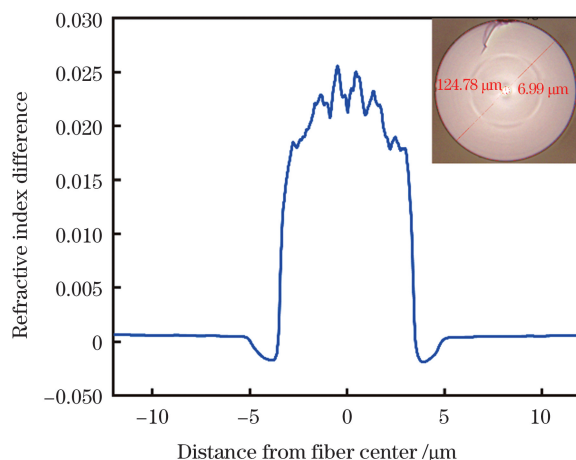


图 1 高吸收掺铒光纤折射率剖面及端面图

Fig. 1 Refractive index profile and cross section of high absorption EDF

表 1 高吸收掺铒光纤的参数

Table 1 Parameters of high absorption EDF

Parameter	Value
Numerical aperture	0.27–0.28
Core radius / μm	3.5
Cladding diameter / μm	125
Doping region radius of erbium ion / μm	3.5
Erbium concentration / m^{-3}	8.67×10^{25}
Background loss at 1200 nm / $(\text{dB} \cdot \text{m}^{-1})$	0.021

上述光纤,采用截断法测量其吸收系数,光谱仪(OSA)输出结果如图 3(a)所示。在磷铝共掺的作用下,铒离子的吸收峰红移至 1532 nm 附近,吸收系数为 154.4 dB/m,这是目前国产掺铒光纤的最高

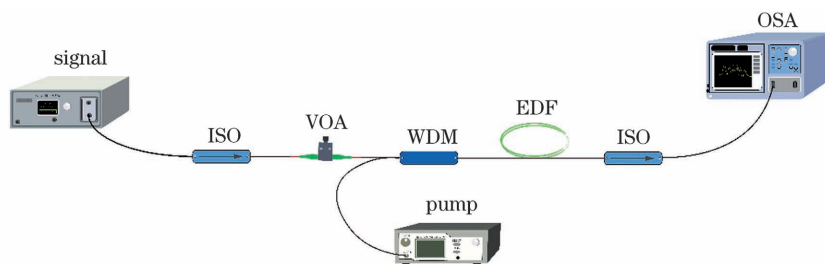


图 2 高吸收掺铒光纤放大器的结构图

Fig. 2 Structural diagram of high absorption EDFA

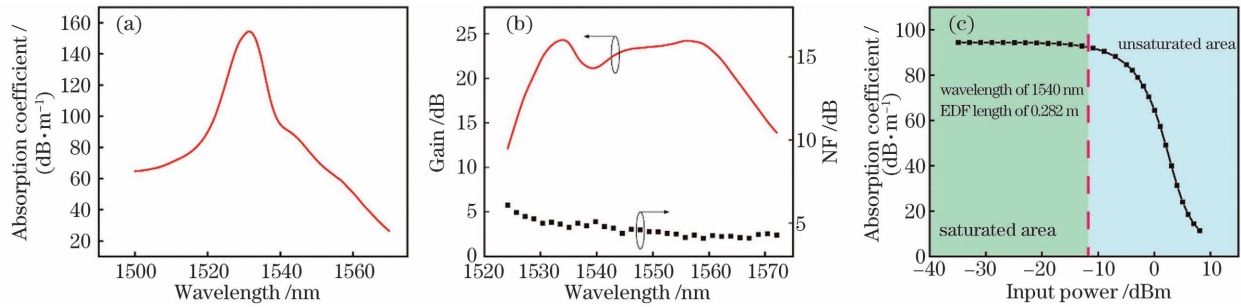


图 3 高吸收掺铒光纤性能测试结果。(a)吸收系数;(b)增益及噪声曲线;(c)饱和曲线

Fig. 3 Performance test results of high absorption EDF. (a) Absorption coefficient; (b) gain and noise curves; (c) saturation curve

吸收系数。增益及噪声特性如图 3(b)所示。使用的光纤长度为 65 cm,对于总功率为 0 dBm 的 C 波段信号,20 dB 增益带宽为 1528~1564 nm,噪声系数(NF)小于 5 dB。结果表明,较短的高浓度掺铒光纤可以为光通信系统提供足够的增益。此外,为了

验证该光纤有较低的团簇率,搭建了光纤饱和曲线测试平台,结果如图 3(c)所示,并根据饱和参数计算得到其团簇率为 3.606%。下一步将对光纤组分进行进一步优化,以在更短的光纤长度下实现更高的增益。

辜之木¹, 褚应波¹, 胡雄伟², 李进延^{1*}

¹华中科技大学武汉光电国家研究中心, 湖北 武汉 430074;

²武汉长进激光技术有限公司, 湖北 武汉 430074

通信作者: *ljy@hust.edu.cn

收稿日期: 2021-11-23; 修回日期: 2021-12-09; 录用日期: 2021-12-31