

# 中国激光

## 高效率国产抗辐照铷镜共掺保偏光纤

卫星激光通信系统具有覆盖范围广、传输效率高、延迟低等特点,可以与地面移动通信网络形成优势互补。美国太空探索技术公司计划在太空搭建由约 4.2 万颗卫星组成的“星链”网络,该卫星通信系统在通信传输、卫星成像、遥感探测等领域中有着巨大的应用潜力。铷镜共掺石英光纤是 1.5  $\mu\text{m}$  波段光纤放大器中的核心增益材料,特殊的太空应用场景对铷镜共掺石英光纤的性能提出了严苛的要求,铷镜共掺石英光纤不仅需要满足高效率、高稳定性、保偏等多项激光指标要求,还需要具备抗辐照性能。提高铷镜共掺光纤的能量转换效率和抗辐照性能,降低辐照环境下长期运行过程中的增益衰减,从而降低放大器泵浦功率备份裕量,是降低商用成本的主要方向。国际上,以法国 iXblue 公司为代表的单位已经有成熟的宇航级铷镜共掺保偏光纤产品;国内方面,近年来华中科技大学、西安光学精密机械研究所、中国电子科技集团有限公司第四十六所、江苏法尔胜光电科技有限公司等单位相继报道了铷镜共掺光纤的制备工艺及激光性能,并取得了较大的进展。

最近,中国科学院上海光学精密机械研究所从稀土离子掺杂均匀性出发,通过优化掺杂方式,调控铷离子、铯离子、钕离子在高磷石英玻璃中的局域环境,制备了 12  $\mu\text{m}$ /125  $\mu\text{m}$  双包层铷镜共掺保偏光纤 (PM-EYDF),纤芯中铷元素的质量分数约为 3%,铯元素的质量分数约为 0.14%,钕元素的质量分数

约为 0.8%,磷元素的质量分数约为 8.5%,光纤端面如图 1(a)中插图所示。据报道,Ce<sup>3+</sup>离子可以捕获辐照产生的空穴,抑制磷元素掺杂带来的 P1 色心形成,降低 1.5  $\mu\text{m}$  波段的辐致诱导损耗,提高光纤的抗辐照性能。光纤在 915 nm 处的包层吸收系数约为 2.7 dB/m,双折射系数为  $1.5 \times 10^{-4}$ 。在 940 nm 半导体泵浦光下测试未辐照前自研光纤 (SIOM) 与法国 iXblue 公司商用光纤对 1550 nm 种子源的增益放大性能,种子源功率约为 200 mW,光纤长度为 9 m。自研光纤的斜率效率约为 40%,商用光纤的斜率效率约为 33%。进一步通过在线 X 射线辐照测试了自研光纤与法国 iXblue 公司商用光纤的增益衰减随辐照时间的变化。X 射线的辐照剂量率为 1 Gy/min,辐照时间为 100 min,最大辐照剂量为 100 Gy。从图 1(b)可以看出,随着辐照剂量的增加,两款光纤的实时增益逐渐减小。当辐照最大剂量为 100 Gy 时,自研光纤的增益减小 1.7 dB,商用光纤的增益减小 1.05 dB。根据原始效率计算可知,两款光纤在 100 Gy 最大辐照剂量时的最终效率相当。在关闭 X 射线辐照后,两款光纤的增益逐渐增大,这是激光对光纤的漂白作用引起的。根据以上结果可知,自研光纤未辐照前的原始效率高于商用光纤,在线辐照过程中的增益衰减大于商用光纤。后续通过载氩等抗辐照处理措施,有望进一步提升自研铷镜共掺光纤的抗辐照性能。

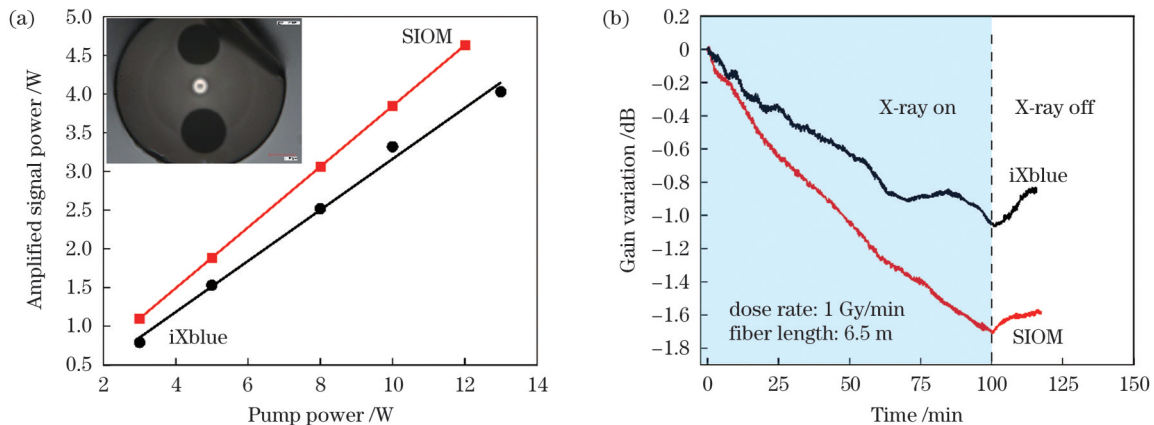


图 1 铷镜共掺保偏光纤的性能。(a)放大的信号输出功率随泵浦功率的变化,插图为铷镜共掺保偏光纤的端面图;(b)光纤在线辐照增益变化图

Fig. 1 Performances of PM-EYDF. (a) Amplified signal output power versus pump power with micrograph of PM-EYDF cross section shown in inset; (b) on-line radiation-induced gain variation of fibers

王璠<sup>1</sup>, 朱一鸣<sup>1,3</sup>, 郭梦婷<sup>1</sup>, 邵冲云<sup>1</sup>, 周秦岭<sup>1</sup>, 徐永春<sup>1</sup>, 王孟<sup>1</sup>, 张磊<sup>1</sup>, 于春雷<sup>1,2\*</sup>, 胡丽丽<sup>1,2\*\*</sup>

<sup>1</sup>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;

<sup>2</sup>国科大杭州高等研究院, 浙江 杭州 310024;

<sup>3</sup>上海大学理学院, 上海 200444

通信作者: \*sdyclcy@163.com; \*\*hulili@siom.ac.cn

基金项目: 中国科学院重点部署项目 (KGFZD-145-22-13)、上海市面上项目 (23ZR1471900)

收稿日期: 2023-05-15; 修回日期: 2023-06-14; 录用日期: 2023-06-19; 网络首发日期: 2023-06-29