

长飞特种光纤系列之一

光纤激光器中的双包层掺镱光纤

得益于材料加工行业的快速发展及逐渐成熟，工业激光器在全球激光器市场份额持续增长，其中光纤激光器表现尤为亮眼，国内光纤激光器市场增长势头也十分迅猛。据统计，2016年国内光纤激光器产能达7.4万台，主要构成为近6万台小功率光纤激光器、1.2万台中功率光纤激光器和超过2000台的高功率光纤激光器。

光纤激光器系统中，有源光纤和无源光纤、激光二极管以及各种光纤器件的逐渐成熟和日臻进步，使得光纤激光器和放大器随之得到巨大的发展。基于双包层掺镱光纤，尤其是大模场双包层掺镱光纤(LMA DC- YDF)和匹配的大模场双包层无源光纤(LMA DC- GDF)的性能特点，光纤激光器展现出高输出功率(高峰值、平均功率)、优异光束质量优势、集成化、成本低等优点。

国产光纤激光器近年表现抢眼，但多集中在中低功率领域。据有关数据统计，国产光纤激光器在中小功率的出货量占比超过92%。在高功率应用方面，国外企业依旧占据主导地位。虽然国内企业依靠泵源封装、泵浦合束器、能量合束器、隔离器、光纤光栅、激光传输组件等器件的国产化，取得了长足进步，逐步摆脱了对国外企业的依赖，但在某些关键器件技术及品质方面仍有很大差距，如泵源芯片、匹配的大模场双包层无源光纤和大模场双包层掺镱光纤在全功率段都没有实现国产化量产。现光纤激光器厂家大都使用进口大双包层掺镱光纤并配套同样进口的双包层无源光纤，这表明光纤激光器核心原材料并未实现国产化。同时严格的验证标准和超长的验证周期，进一步导致激光器用光纤产品迭代改进的速度落后。由此可见，双包层掺镱光纤及双包层无源光纤国产化是制约国内光纤激光器发展的重要原因。因此，国产化任务至关重要，刻不容缓。

长飞公司经过五年的技术积淀、平台打造和产品系列化研发，已逐步推出了定位于低功率光纤激光器的125 μm 系列大模场双包层掺镱光纤和定位于中高功率光纤激光器的20/400系列双包层掺镱光纤。

长飞公司通过MCVD平台，在国内首次采用CDS螯合物和铝磷镱三元掺杂工艺，很好得优化了掺镱光纤的光子暗化性能及耐高功率冲击性能。同时借助多年的工艺技术沉淀，已建立成熟的大棒工艺路线。该路线不仅极大的提高了单棒产能，更提高了光纤的批次一致性和几何均匀性。

125 μm 大模场双包层掺镱光纤包含以下两种型号：

表1 125 μm 大模场双包层掺镱光纤(LMA DC YDF)参数

参数	10/125	20/125
纤芯直径(μm)	10	20
纤芯 NA	0.08 \pm 0.05	0.08 \pm 0.05
包层直径(μm)	125	125

包层形状	八边形	八边形
包层吸收系数(dB/m)	1.6±0.3	3.6±0.4
斜率效率	>75%	>70%
包层 NA	>0.46	>0.46

125μm 系列大模场双包层掺镜光纤主要针对典型 MOPA 及调 Q 类型 20W 光纤激光打标市场。其中 DC-10/125 YDF 的高吸收系数(>1.6dB/m@915nm)和大于 60%的光光转换效率，能够保持一级使用长度在 4 米左右。对于 MOPA 型光纤打标机，能显著降低光纤的使用长度，节省成本。并且该光纤在 915nm 附近的平坦吸收峰能降低激光器系统对冷却的设计要求。而对于调 Q 型光纤打标机能降低一级谐振腔长，降低腔内损耗，压缩脉宽，提高二级脉宽的展宽冗余量，是提高打标质量的可靠保证。

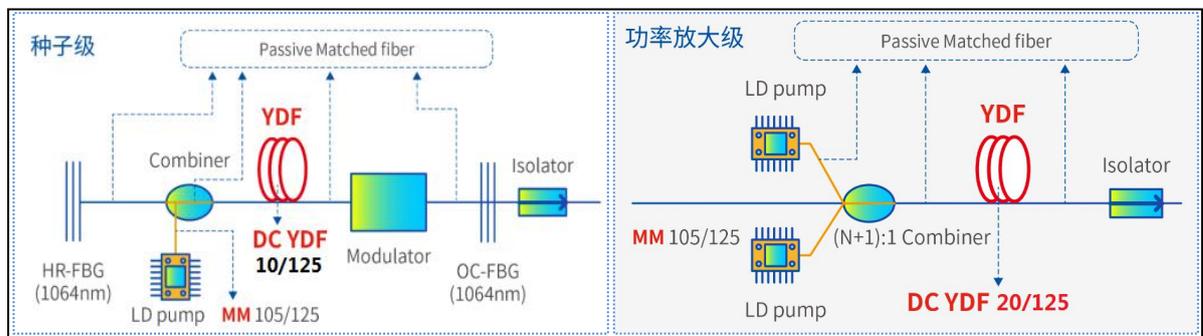


图 1 长飞公司低功率有源及无源解决方案

激光器使用长飞的双包层 10/125 和 20/125 掺镜光纤，功率输出可控制在 19w 至 21w 之间，脉宽可控制在 90-110ns 之间；同时，由于长飞 20/125 的 DC-YDF 采用了大模场设计，20μm 的纤芯掺杂经过优化设计后，光纤激光器能保持近 $M^2 < 1.5$ 的激光光束输出。

长飞公司使用优化后的光纤拉丝工艺，光纤在环境稳定性方面有明显改进。尤其是通过了严苛的高温高湿环境的快速老化验证：光纤经过 8 小时，125°C，2 个大气压的老化后，玻璃包层与内涂层之间依然保持一致的剥离力；在激光器厂商 500 小时连续烤机验证过程中，使用长飞公司光纤的光纤激光器的功率输出波动在 5% 以内；使用长飞 125μm 系列掺双包层掺镜光纤在经过 85°C/85%RH 条件老化后，功率波动保持在 3% 以内，同时二级输出仍能保持较好的光束质量。

针对应用于连续中高功率激光器 300W-1500W 的关键光纤原材料，长飞推出了大模场双包层 20/400 掺镜光纤，指标如下：

表 2 大模场双包层 20/400 掺镜光纤参数

参数	20/400
纤芯直径(μm)	20.0±2.0

纤芯 NA	0.065 ± 0.05
包层直径(μm)	400 ± 5
包层形状	八边形
包层吸收系数(dB/m)	0.39 ± 0.3
包层 NA	>0.46
光-光转换效率(915nm)	>65%

中高功率连续激光器的成本主要集中在泵源总功率和热管理部分，长飞公司生产的有源光纤，有着较高的转换效率，能减少泵源的功率输出，降低泵源的热管理难度。同时更高的转换效率能降低光纤产生的热量，大大减缓由于严重发热造成的光纤涂层的老化速度，提高光纤乃至整机寿命，保持功率更长时间的稳定输出。

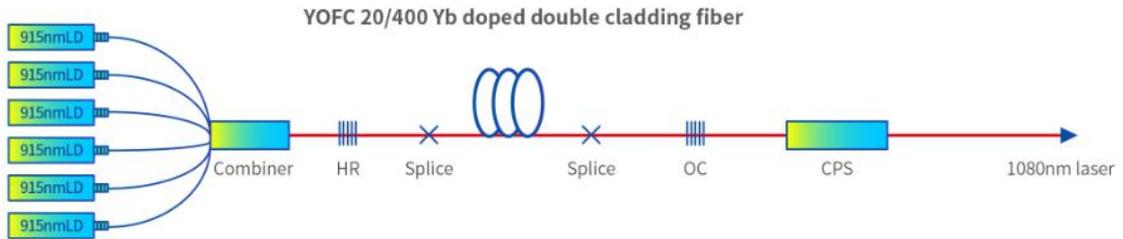


图 2 高功率 20/400 光纤激光器原理图

如图 2 所示，915nm 的泵浦光耦合，使用 1080nm 的高低反光栅进行测试，长飞公司大模场双包层 20/400 掺镱光纤的光光转换效率达到 67%，同时随着泵浦功率的增加，光光效率呈现出增加的现象。（见图 3 测试结果）

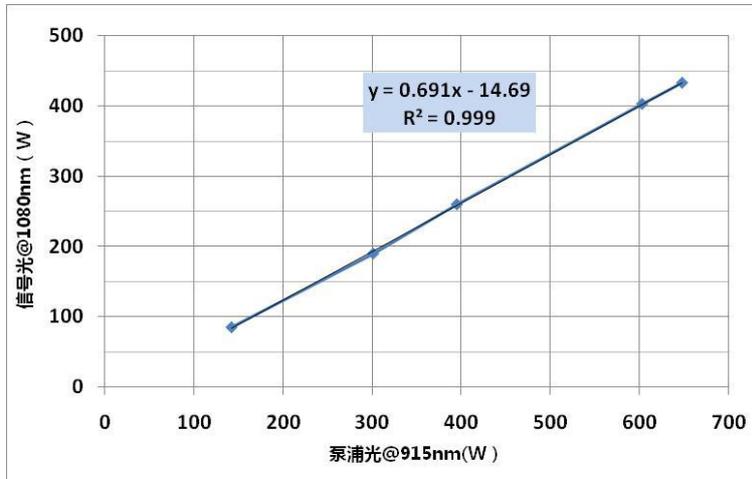


图 3 915nm 泵浦光光转换效率测试结果

为验证长飞 20/400 光纤更高功率的稳定性，测试人员增加了一组 1400W 的稳定性测试实验。测试结果显示，长飞 20/400 光纤 1 小时内功率波动值在 0.21%，如图 4。

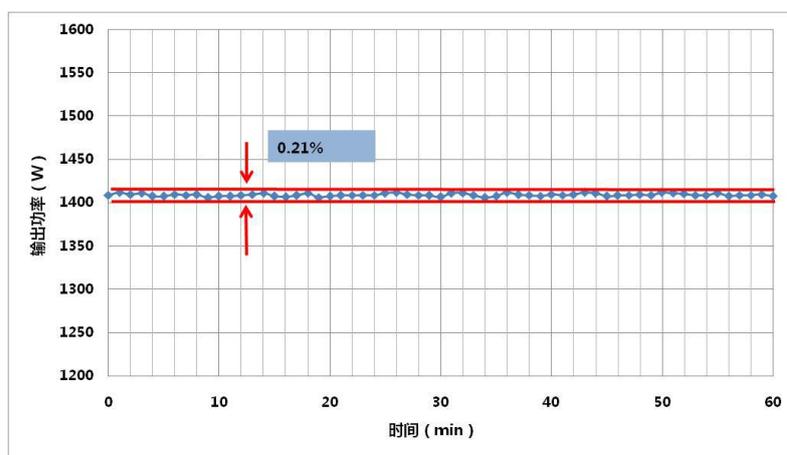


图 4 1400W 连续 1 小时功率测试

综上所述，长飞针对低功率打标用光纤激光器应用推出的 125 μ m 系列两款双包层掺镜光纤(10/125 和 20/125)，在高温高湿环境下涂层与玻璃包层的结合紧密，保证了长期的工作可靠性；双包层 20/400 掺镜光纤在中功率的转换效率达到 67%，1400w 输出的功率波动极其稳定。

长飞公司着眼未来光纤激光器市场，基于对光纤激光器及其应用的深刻理解，充分利用长飞公司特种光纤的开发生产平台、技术能力与悠久的工艺沉淀，努力为行业提供国产化的优质特种光纤！