

简讯

# 芯径 35 $\mu\text{m}$ 掺镱大模场双包层石英光纤实现准单模输出

随着光纤制备工艺的不断改进和提高,掺镱双包层光纤激光技术得到了飞速发展,2009年 IPG 公司实现了单纤万瓦量级的单模激光输出。为了降低激光功率进一步提高所带来的非线性效应,国际上提出了大模场面积(LMA)有源双包层光纤的技术,通过增大纤芯面积降低纤芯中的功率密度,从而提高光纤的非线性效应阈值。然而随着双包层光纤纤芯面积的增大,必然会引起光纤激光高阶模式的产生,降低激光光束质量。在 1.0  $\mu\text{m}$  波段实现单模或少模输出时,双包层光纤的纤芯直径通常不超过 25  $\mu\text{m}$ 。这极大地制约了高功率光纤激光器的发展和应用。2013年英国南安普顿大学光电子研究中心(ORC)提出多坑道(MTF)光纤结构调控技术,可以在增大光纤纤芯面积的同时,实现双包层光纤高阶模式的抑制。本课题组采用改进的化学汽相沉积工艺(MCVD)和溶液浸泡掺杂方式,利用单次沉积时纤芯中心部位折射率偏低的工艺,两次沉积制备纤芯,制作了纤芯直径约 35  $\mu\text{m}$  的掺镱大模场 D 型(380/400  $\mu\text{m}$ )双包层石英光纤。该光纤的纤芯传输损耗在 1200 nm 小于 20 dB/km,在 970 nm 半导体激光器稳态抽运条件下,实现了最小光束质量因子  $M^2$  约为 1.3 的高效率准单模激光输出。

图 1 为光纤激光的输出功率随抽运功率的变化曲线,光纤截面如图 1 插图所示,可以看到纤芯中心部位折射率要比其他区域略低,表明沉积工艺达到了调控纤芯折射率分布的目的。采用 970 nm 半导体激光器空间耦合方式测试光纤的激光性能,光纤两端切平,抽运光高透过、信号光高反射的双色镜紧贴光纤端面与光纤另一端形成菲涅耳反射构成谐振腔。测试用光纤长度为 19 m,激光器的抽运阈值约为 5 W,在约 80 W 的抽运功率下,激光器的最大输出功率约 64 W,斜率效率约 84%。

采用模式分析仪(BP109-IR2, Thorlabs)测试了光纤输出激光的光束质量。预制棒折射率测试表明纤芯部位折射率最高位置与包层差约 0.0016,则该光纤理论的最大数值孔径(NA)约为 0.07,归一化频率  $V$  值约为 7。在激光输出功率到达约 20 W 稳态条件下测试激光的光束质量因子  $M^2$ ,反复测试的结果表明:光纤弯曲直径大于 30 cm 时,输出激光的  $M^2$  平均值约 2.0,最小值为 1.3(如图 2 所示)。该结果表明采用 MCVD 结合溶液浸泡工艺制备的双包层结构掺镱石英光纤,通过调控纤芯折射率分布,可以在纤芯直径达到 35  $\mu\text{m}$  的情况下,仍实现准单模激光输出。初步分析认为光纤纤芯部位特殊的折射率分布对抑制高阶模、实现准单模输出有直接贡献。未来将进一步结合理论模拟、优化光纤结构并改进光纤制备工艺,在双包层有源光纤中实现更大模场面积的单模激光输出。

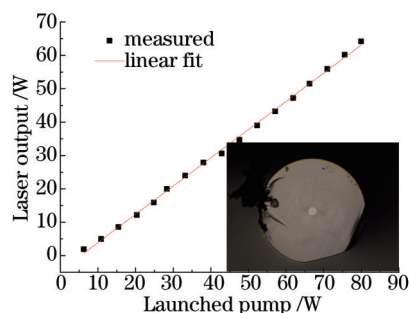


图 1 激光输出功率随抽运功率的变化(插图为光纤的截面)

Fig.1 Laser output as a function of launched pump power.

(Inset is microscopic image of fiber)

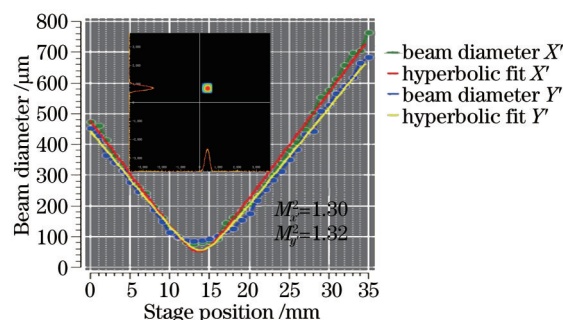


图 2 光纤输出激光的光束质量因子测试及场强分布

Fig.2 Yb-doped fiber beam quality measurement and field intensity distribution. (Inset is the beam profile)

(Inset is the beam profile)

张磊 于春雷\* 楼风光 王孟 冯素雅 周秦岭 陈丹平 胡丽丽

中国科学院上海光学精密机械研究所,上海 201800

\*E-mail: sdyclley@163.com

收稿日期: 2015-06-08; 收到修改稿日期: 2015-07-06