

单纵模相移 DFB 掺 Yb³⁺ 光纤激光器运行特性的研究

陈嘉琳 陈 柏 冯小星 王 利 林尊琪

(中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理国家实验室, 上海 201800)

摘 要 对我们所制作的 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb³⁺ 光纤激光器的运行特性进行了研究. 研究表明: 光纤端面菲涅尔反射会破坏激光器的单纵模运行, 因此为获得稳定的单纵模运行须使用隔离器或甘油消除光纤端面菲涅尔反射; 机械扰动则会使沿光纤传输的单偏振激光的偏振面发生变化; 温度的涨落则会引起激光输出功率的不稳定涨落. 所研制 $\lambda/4$ 相移 DFB 单纵模、单偏振激光器具有如下特性: 阈值为 38 mW, 当泵浦功率为 140 mW 时, 获得了 25 mW 的 1053 nm 单纵模、单偏振激光. 偏振消光比约 30 dB, 单纵模激光功率涨落小于 2%, 边模抑制比约 60 dB.

关键词 DFB 激光器; 单纵模; 掺 Yb³⁺; $\lambda/4$ 相移

中图分类号 TN248 **文献标识码** A

0 引言

在惯性约束核聚变 (inertial confining fusion-ICF) 激光驱动器前端系统中需使用 1053 nm 波长单纵模种子激光. $\lambda/4$ 相移分布反馈 (distributed-feedback-DFB) 掺 Yb 光纤激光器可作为 ICF 激光驱动器前端系统中种子激光器的重要选项: 1053 nm 位于掺 Yb 石英玻璃的发射谱中, 其激光上能级寿命长, 泵浦效率高, 泵浦波长可有较大的选择范围, 且适合于 LD 泵浦; 光纤激光器具有低阈值输出特性, 且具有紧凑、小体积、便携式、可集成化特点和可灵活弯曲的光波导结构; $\lambda/4$ 相移 DFB 结构的激光器具有良好的单纵模运行特性^[1]. 但均匀 DFB 光纤激光器的模式是简并的, 因而阈值较高, 且通常是多纵模运行. 理论研究表明, $\lambda/4$ 相移 DFB 光纤激光器具有良好的单纵模运行稳定性^[2]. 以前我们曾研究了 $\lambda/4$ 相移 DFB 光纤激光器的制作方法, 并制作出了 $\lambda/4$ 相移 DFB 光纤激光器^[3]. 本文则对该类激光器的运行特性予以研究.

1 实验装置

如图 1 为 DFB 光纤激光器实验装置, 泵浦源为带尾纤半导体激光器 (LD), 其中心波长为 979 nm. 在掺杂光纤光栅前是一段约 40 cm 的掺 Yb 光纤, 泵浦光经 WDM 后经这一段掺杂光纤进入刻写光栅的分布反馈掺 Yb 光纤区, 掺杂光纤光栅的反射率约 31 dB. 置于 DFB 前的那段掺 Yb 光纤有两种功能, 一是使 DFB 输出的激光在输出前予以放大, 二则使进入 DFB 结构中泵浦功率的超阈度降低, 有利于 DFB 所输出激光的模式和功率稳定. 在上述

装置的输出端口前为一隔离器, 其在 1053 nm 波长处的隔离度约 30 dB. 该隔离器的使用可防止光栅与起放大作用的光纤以及输出端面 (菲涅耳反射) 之间形成 F-P 腔.

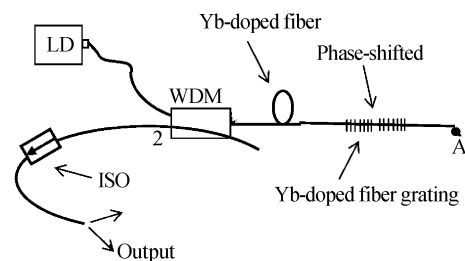


图 1 DFB 掺 Yb 光纤激光器
Fig. 1 Yb-doped DFB fiber laser

2 实验结果与分析

2.1 端面菲涅尔反射的影响

在图 1 的装置中, 实验发现 A 点的状况对所输出激光的模式、偏振及功率稳定性有重要影响. 当 A 点为随机切割的端面时, 所输出激光的模式、偏振及功率稳定性都较差. 分析其原因, 我们认为这是由于端面的菲涅尔反射面所反射激光反馈进入 DFB 谐振腔内与腔内激光发生耦合因而影响了激光的运行性能. 因此, 当我们把 A 点浸泡在折射率

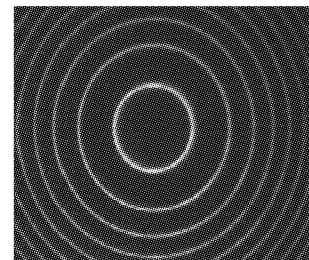


图 2 F-P 干涉仪后用 CCD 记录的单纵模激光干涉环
Fig. 2 Interfere the ring of the single longitudinal mode fiber laser that CCD writes down after F-P interferometer

匹配液中时, 结果发现所输出激光的模式、偏振及功

率稳定性很好. 随后, 我们把 A 点与一斜面相连接, 也得到了同样好的结果. 图 2 为在 F-P 干涉仪后用 CCD 记录的单纵模激光干涉环. 由图可见为一套干涉环, 证明所输出激光为单纵模结构.

2.2 机械扰动的影响

在 ICF 激光驱动器前端系统中要求系统中所运行单偏振激光的偏振方向在好几个结点相对于地面参照系是稳定的. 因此, 我们通过实验研究了传输光纤的扰动对偏振方向的影响. 上述 DFB 结构所输出激光为椭圆偏振光, 偏振消光比约为 10 dB, 当使用 $\lambda/4$ 波片后, 变为线偏振光, 偏振消光比约为 27 dB. 我们扰动光纤发现单偏振功率出现较大幅度的涨落. 这说明光纤的扭动使在中间传播的激光的偏振方向相对于起偏器偏振轴发生变化而引起偏振功率的变化, 且扰动任何一部分光纤都会引起该功率的变化, 所以要想相移 DFB 光纤激光器得到稳定的激光输出, 光纤必须固定不能移动, 扰动光纤会产生应力和双折射使光纤的传播的偏振方向发生变化.

2.3 温度影响

由于 DFB 结构实质是一根掺杂光纤光栅, 而光纤光栅是对温度敏感元件, 因此我们对 DFB 器件的温度特性进行了研究. 实验过程中, 我们将编号为 02G02 的 $\lambda/4$ 相移 DFB 光纤谐振器放在温控系统中, 在经过 $\lambda/4$ 波片和起偏器后测量该激光器的单偏振激光输出功率. 不启动温控系统时, 单偏振激光功率在 2.09 mW~2.3 mW 之间变化. 启动温控系统, 把温度设定在 41.2°C 时, 该激光器功率稳定在 1.96~1.98 mW. 该实验观察时间均超过一小时, 说明加了温控系统可使该激光器所输出功率的稳定性有较大的提高, 功率涨落可控制在 1% 内.

2.4 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb³⁺ 单纵模光纤激光器功率运行稳定性

1) 在示波器周期为 100 ms 时, 我们记录了 DFB 光纤激光的斩波波形, 由图 3 可看出功率变化幅度为 19.7 V.

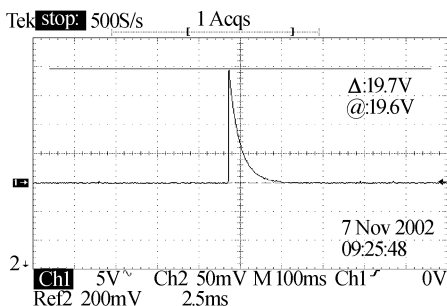


图 3 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb³⁺ 光纤单纵模激光斩波波形
Fig. 3 $\lambda/4$ phase-shift DFB Yb³⁺-doped single longitudinal mode fiber CW lasers

2) 在示波器周期 10 μ s 时, 所记录的激光波形如图 4. 可以看出有调制脉冲存在, 脉冲峰值高度约 6.6 mV, 脉冲宽度及两峰间隔都约为 5 μ s, 与弛豫振荡波形中的脉冲宽度同数量级.

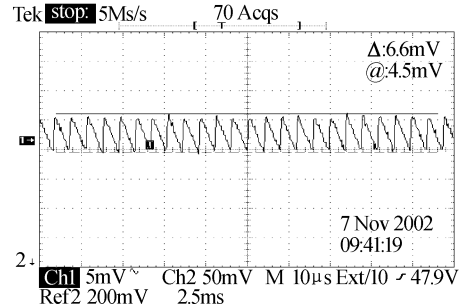


图 4 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb³⁺ 光纤单纵模激光波形
Fig. 4 $\lambda/4$ phase-shift DFB Yb³⁺-doped single longitudinal mode fiber CW lasers

3) 图 5 是示波器周期为 5 s 时, 记录的激光波形, 由图可看出在 50 s 时间内功率涨落变化幅度为 31.2 mV. 信噪比 $31.2 \times 10^{-3} / 19.6 = 1.6 \times 10^{-3}$, 功率稳定度为 1.6‰.

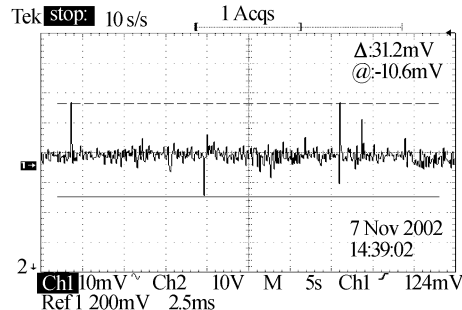


图 5 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb³⁺ 光纤单纵模激光波形
Fig. 5 $\lambda/4$ phase-shift DFB Yb³⁺-doped single longitudinal mode fiber CW lasers

在以上实验的基础上, 对 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb³⁺ 单纵模光纤激光器功率稳定性进行了 3 h 的连续观察. 其功率稳定性在 1% 以内.

3 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb³⁺ 单纵模光纤激光器阈值及功率输出特性

在图 1 的装置中, 我们用编号为 02G02 的 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb³⁺ 光纤光栅进行实验, 以观察该类激光器阈值及功率输出特性.

由图 6 可见, 该激光器的阈值约为 38 mW. 当泵浦功率为 140 mW 时, 获得约 25 mW 的单纵模功率输出. 由图也可看出, 在 140 mW 泵浦功率时, 激光器尚未达到饱和. 因此, 若使用更高功率的泵浦源, 还可获得更高的 1053 nm 激光输出. 另外, 我们还通过光谱仪观察了所测得激光功率的光谱成分. 激光与荧光的信噪比达到 60 dB. 说明所测得激光功率中, 荧光所占比率极小.

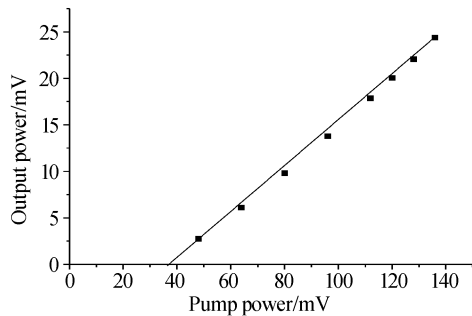


图 6 $\lambda/4$ 相移 DFB 掺 Yb³⁺ 光纤单纵模激光器功率运行图
Fig. 6 The power of $\lambda/4$ phase-shift DFB Yb³⁺-doped single longitudinal mode fiber CW lasers

5 结论

对所制作的 $\lambda/4$ 相移 DFB 光纤激光器的运行特性进行的研究表明: 光纤端面菲涅尔反射会破坏激光器的单纵模运行, 因此为获得稳定的单纵模运行须使用隔离器或甘油消除光纤端面菲涅尔反射; 机械扰动则会使沿光纤传输的单偏振激光的偏振面

发生变化; 温度的涨落则会引起激光输出功率的不稳定涨落. 所研制 $\lambda/4$ 相移 DFB 单纵模、单偏振激光器具有如下特性: 阈值为 38 mW, 当泵浦功率为 140 mW 时, 获得了 25 mW 的 1053 nm 单纵模、单偏振激光. 偏振消光比约 30 dB, 单纵模激光功率涨落小于 2%, 边模抑制比约 60 dB.

参考文献

- 1 Gloag A, Langford N, McCallion K, *et al.* Continuously tunable single-frequency erbium ring fiber laser. *J Opt Soc Am (b)*, 1996, **13**(5): 921~925
- 2 Okamura K, Saruwatari H. Wavelength-tunable single-frequency and single-polarization Er-doped fiber ring laser with 1.4 kHz linewidth. *Electron Lett*, 1990, **26**(21): 2033~2035
- 3 Chen Jialin, Liang Liping, Chen Bai, *et al.* Study on Postprocess of $\lambda/4$ -shifted DFB Yb-doped Fiber Laser. *Chinese Journal of Lasers*, 2003, **30**(7): 581~584

Study About the Running Characteristics of the $\lambda/4$ Phase-shift DFB Yb³⁺-doped Fiber Lasers

Chen Jialin, Chen Ba, Feng Xiaoxing, Wang Li, Lin Zunqi

National laboratory on High Power Laser and Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

Received date: 2004-12-18

Abstract The running characteristics of the single longitudinal mode, single polarization $\lambda/4$ phase-shift DFB Yb³⁺-doped fiber CW lasers were researched. The fiber laser have the following excellent characteristics: Output power of 25 mW, fluctuation of less than 2%, 100% single longitudinal mode, 30 dB polarization extinction ratio, 60 dB signal-to-noise. On the other hand, the effect on the fiber lasers is also researched from several factors such as temperature, mechanism perturbation and fresnel reflection of fiber end section.

Keywords DFB fiber laser; Single longitudinal mode; Yb³⁺-doped; $\lambda/4$ phase-shift