

文章编号: 0258-702X(2002)04-0304-03

1053 nm 掺 Yb^{3+} 全光纤单频环形腔激光器

范 薇, 陈 柏, 李学春, 陈兰荣, 陈绍和, 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)

提要 报道了采用相移光纤光栅代替均匀光纤光栅和昂贵的环形器作为窄带通滤波器, 用 Mach-Zehnder 光纤滤波器作宽带通滤波器, 同时利用光纤的可饱和吸收效应, 用全光纤环形腔得到了 1053 nm 的单频输出激光器。

关键词 相移光纤光栅, 掺 Yb^{3+} 光纤, 单频, 环形腔

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

Single-frequency Yb^{3+} -doped Fiber Ring Lasers Operated at 1053 nm

FAN Wei, CHEN Bai, LI Xue-chun, CHEN Lan-rong, CHEN Shao-he, LIN Zun-qi

(National Laboratory on High Power Laser and Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract By using a phase-shifted fiber grating instead of a uniform grating and an expensive circular as narrow-band filter, and a Mach-Zehnder fiber filter as wide-band filter, and integrating the effect of saturable absorber of the unpumped doped fiber, a single-frequency Yb^{3+} -doped fiber ring laser operated at 1053 nm is obtained.

Key words phase-shifted fiber grating, Yb^{3+} -doped fiber, single-frequency, ring lasers

1 引 言

惯性约束聚变(ICF)激光驱动器前端系统要求主振荡器输出 1053 nm 基横模、单纵模激光,并具有一定能量、高信噪比及足够高的频率稳定性和功率稳定性。由于掺 Yb^{3+} 石英光纤有宽吸收谱(800 ~ 1064 nm)和发射谱(975 ~ 1200 nm)^[1],掺 Yb^{3+} 石英光纤激光器逐渐引起人们的关注^[2~6]。现在,它已成为 ICF 激光驱动器前端系统中主振荡器的重要选项。用环形腔得到激光的单纵模输出有许多方法,如 Y. Cheng, J. T. Kringlebotn 等利用光纤激光器中的未抽运的光纤的吸收饱和效应可得到单频激光输出^[7],但由于掺 Yb^{3+} 光纤的发射峰值在 1030 nm 附近,因此这个方案对实现 1053 nm 的单频输出比较困难;美国 LLNL 利用环形器加阻带光纤光栅作为窄带滤波器得到了 1053 nm 的单纵模输出^[8],但环形器的价格昂贵且不易获得。我们用一个 3 dB 带宽为 3 nm 的 Mach-Zehnder 光纤滤波器作宽带通

滤波器,用相移光纤光栅作窄带通滤波器,同时利用光纤的吸收饱和效应,用环形腔得到了 1053 nm 的单频激光输出。

2 实验与分析

众所周知,均匀光纤光栅为阻带滤波器,而在均匀光纤光栅中间制作一个四分之一波长的相移,即可在阻带的正中引入一个带宽很窄的透射带^[9],而这种相移光纤光栅可用来作窄带通滤波器。这里所用的相移光纤光栅是与本所信息光学实验室合作,用 193 nm 准分子激光,采用相位掩模法及二次曝光法,在光纤上刻写的,光栅长度为 10 cm,透射峰带宽小于 0.07 nm(受光谱仪分辨率的限制),中心波长为 1053 nm。

实验所用的掺 Yb^{3+} 光纤是武汉邮电科学研究院研制的。光纤参数如下:光纤芯径为 6.10 μm ,截止波长为 907 μm ,对 975 nm 的吸收为 68 dB/m。

收稿日期 2001-03-02;收到修改稿日期 2001-04-27

基金项目 国家高技术 863-416 课题资助项目。

作者简介 范薇(1975—),女,助理研究员,硕士,主要从事光纤激光器的研发工作。E-mail fanweil@21cn.edu.cn

实验装置如图 1 所示,实验所用抽运源为波长为 976 nm 的带尾纤的半导体激光器,抽运光经波分复用(WDM)进入环形腔。

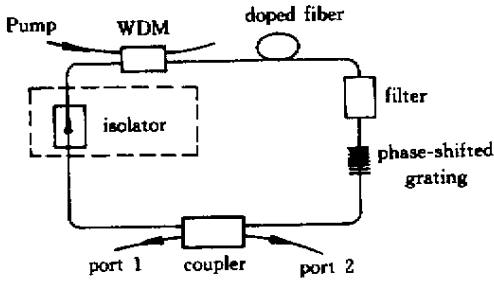


图 1 实验装置图
Fig.1 Experimental setup

首先,环形腔由 WDM,相移光纤光栅,掺杂光纤,耦合器及 1053 nm 隔离器构成。掺杂光纤的长度为 2 m,用单色仪测量,发现激光的输出波长在 1038 nm,而不是在相移光纤光栅的中心带通波长 1053 nm 处。然后去掉隔离器,其他条件不变,用单色仪测量,激光为 1038 nm 和 1053 nm 双波长输出。

分析原因,这主要是因为 1053 nm 的隔离器在腔中,使得 1053 nm 的激光在腔中是单向运行,而环形腔的自由运行波长 1038 nm 由于没有隔离器的限制,从而在腔中是双向运转,在竞争过程中占据优势,抑制了 1053 nm 的激光振荡。

把相移光纤光栅换成 3 dB 带宽为 3 nm,中心波长为 1053 nm 的 Mach-Zehnder 光纤滤波器作选频元件,这时整个腔长为 5 m,用单色仪测量,发现只有 1053 nm 波长的激光输出,但用 640 MHz,精细度大于 20 的 F-P 扫描干涉仪测量,通过光探测器,在示波器上观察,未见到单纵模输出。

为了抑制 1038 nm 的激光振荡,同时得到 1053 nm 的激光单纵模输出,去掉隔离器,利用上述 Mach-Zehnder 光纤滤波器作粗选频元件,窄带带通滤波器-相移光纤光栅作细选频元件,这时,整个环形腔腔长为 6 m。用单色仪测其运行波长为 1053 nm。激光器的阈值功率为 34 mW。斜率效率为 1.6%。在抽运功率为 53 mW 时,激光器的最大输出为 318 μW。图 2 为激光的输出特性。

当抽运功率在阈值功率附近 37 mW 时,用 640 MHz 精细度大于 20 的 F-P 扫描干涉仪测量,通过光探测器,在示波器上观察,发现出现单纵模的几率大于 60%,激光线宽小于 32 MHz(达到干涉仪的分

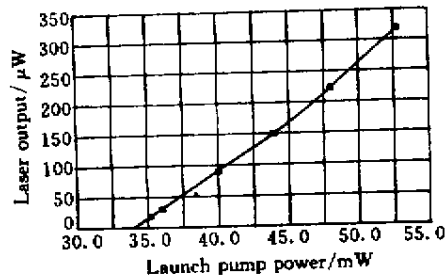


图 2 光纤激光器的输出特性
Fig.2 Fiber laser output power characteristics

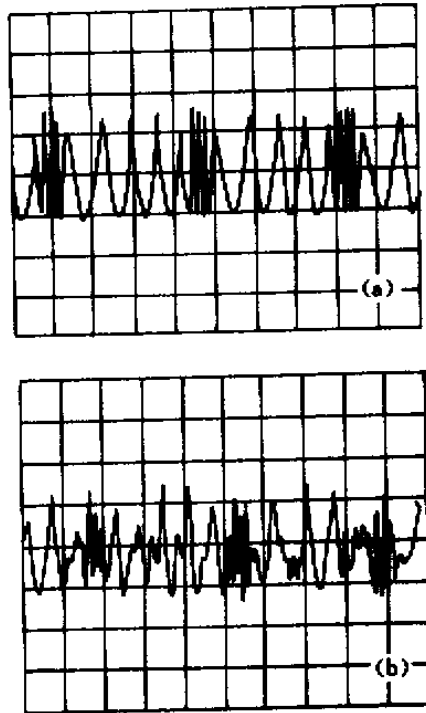


图 3 经过扫描光谱仪后的激光输出光谱图
Fig.3 Fiber laser output spectrum measured by scanning F-P interferometer

辨极限)稳定 4~5 min 后会出现几秒钟的双纵模竞争现象,但很快又会恢复为稳定的单纵模输出。图 3(a)(b)分别为输出激光经过 F-P 扫描,通过光探测器在示波器上观察到的单纵模波形和多纵模竞争波形。图中为两个扫描光谱范围,每个扫描光谱范围经过四个自由光谱范围。

但当把抽运功率增大到 44 mW 时,单纵模的稳定输出仅可持续 2 min 左右。或者把掺杂光纤换成 1 m 时,也有单纵模激光输出,但稳定的时间最多也只有 2 min。这就说明当掺杂光纤为 2 m 或抽运功率较低时,由于掺杂光纤未被抽运功率漂白,有一部分掺杂光纤起了可饱和吸收体的作用^[3],起到了稳

定单纵模输出的作用。

3 结 论

我们用一个相移光纤光栅代替均匀光纤光栅和昂贵的环形器作窄带通滤波器,用一个 3 dB 带宽为 3 nm 的 Mach-Zehnder 光纤滤波器作宽带通滤波器,同时利用光纤的吸收饱和和效应,用环形腔得到了 1053 nm 的单频激光输出。

参 考 文 献

- 1 D. C. Hanna, R. M. Percival, I. R. Perry *et al.*. An ytterbium-doped monomode fiber laser: broadly tunable operation from 1.01 μm to 1.162 μm and three level operation at 974 nm [J]. *J. Mod. Opt.*, 1990, **37** 329 ~ 331
- 2 A. Asseh, H. Storoy, J. T. Kringlebotn *et al.*. 10 cm Yb^{3+} DFB fiber laser with permanent phase shifted grating [J]. *Electron Lett.*, 1995, **31**(12) 969 ~ 970
- 3 R. Paschotta, J. Nilsson, L. Reekie *et al.*. Single-frequency

ytterbium-doped fiber laser stabilized by spatial hole burning [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(1) 40 ~ 42

- 4 Chen Bai, Chen Lanrong, Lin Zunqi *et al.*. A LD pumped Yb^{3+} -doped ring fiber laser operating at 1041 nm [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(11):965 ~ 968 (in Chinese)
- 5 Chen Bai, Chen Lanrong, Lin Zunqi *et al.*. Selecting lasing wavelength by varying fiber length [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(12):1061 ~ 1065 (in Chinese)
- 6 Chen Bai, Chen Lanrong, Fan Wei *et al.*. Tunable operation in ytterbium-doped cladding fiber laser [J]. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 1999, **28**(9) 835 ~ 838 (in Chinese)
- 7 Y. Cheng, J. T. Kringlebotn, W. H. Loh *et al.*. Stable single-frequency traveling-wave fiber loop laser with integral saturable-absorber-based tracking narrow-band filter [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(8) 875 ~ 877
- 8 Rick Demeis. Tunable gratings stabilize fiber ring laser [J]. *Laser Focus World*, 1996, **32**(12) 27 ~ 28
- 9 M. Yamada, K. Sakuda. Analysis of almost-periodic distributed feedback slab waveguide via a fundamental matrix approach [J]. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(16) 3474 ~ 3478



4.9 W 掺镜双包层光纤激光器*

近年来,以双包层光纤为基础的包层抽运技术为提高光纤激光器的输出功率提供了有效途径。利用这种技术光纤激光器的转换效率和输出功率可大大提高,光束质量可接近衍射极限,因而双包层掺镜光纤激光器成为近几年人们研究的热点。最近,我们利用内包层尺寸大的双包层光纤,获得了近 5 W 的高功率连续单横模激光输出。

双包层光纤激光器采用 F-P 腔,双包层光纤为 50 m 的掺镜光纤,内包层为矩形 170 μm \times 370 μm ,数值孔径为 0.45,掺镜纤芯直径 9 μm 。抽运端有一双色片(915 nm, $T = 90\%$; 1080 nm, $R > 99\%$)作为前腔镜,光纤尾端未加特殊处理,直接利用菲涅耳反射($R = 4\%$)作输出镜。抽运源采用中心波长 915 nm,最大输出功率为 10 W 以上的半导体激光器,光束经整形后由光纤输出(纤芯直径 200 μm ,数值孔径 0.22)。

实验中我们用半导体制冷器对 LD 进行温度控制,使得其中心波长在掺镜石英的吸收峰 915 nm。

采用 2:1 的光纤耦合系统,将光纤输出的抽运光聚焦在双包层光纤的内包层,焦斑直径为 120 μm ,光纤耦合系统的数值孔径为 0.41,非常接近内包层的数值孔径。为了保证高功率抽运光聚焦在内包层,避免其烧蚀损坏光纤的聚合物外包层,采用了一项新的非常方便的调节技术。对双包层光纤激光器的输出特性进行了初步测量,半导体激光抽运电流为 10 A 时,激光输出为 0.9 W,提高抽运半导体激光器电流,激光输出功率随之提高,当半导体激光抽运电流为 40 A 时,激光输出 4.9 W。通过烧孔法可以初步判定输出激光的光束质量已接近衍射极限。我们目前正在进一步提高注入抽运功率,改进耦合方法,以期获得更高的激光功率输出。

中国科学院上海光学精密机械研究所,
上海 201800
楼祺洪,周 军,李铁军,
董景星,魏运荣,王之江
收稿日期:2002-03-27

* 上海市科委光科技专项资助项目(编号 012261002)。