

文章编号: 0258-7025(2002)07-0583-03

# 运行于 1053nm 的单纵模掺 Yb 光纤 激光器研究

陈 柏<sup>1</sup>, 范 薇<sup>1</sup>, 李学春<sup>1</sup>, 梁丽萍<sup>2</sup>, 陈兰荣<sup>1</sup>, 陈绍和<sup>1</sup>, 林尊琪<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 高功率激光物理国家实验室中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800; <sup>2</sup> 上海理工大学, 上海 200093)

**提要** 研究了运行于 1053 nm 波长的光纤光栅单纵模掺 Yb 光纤激光器的特性。其中, 采用 F-P 腔结构获得 18 mW 的单纵模激光输出, 相移分布反馈(DFB)结构获得 1.3 mW 稳定的单纵模激光输出。

**关键词** 光纤光栅, 掺 Yb 光纤激光器, 单纵模, 相移分布反馈(DFB)

**中图分类号** TN 248.1      **文献标识码** A

## Single Frequency Yb<sup>3+</sup>-doped Fiber Laser Operating at 1053 nm

CHEN Bai<sup>1</sup>, FAN Wei<sup>1</sup>, LI Xue-chun<sup>1</sup>, LIANG Li-ping<sup>2</sup>

CHEN Lan-rong<sup>1</sup>, CHEN Shao-he<sup>1</sup>, LIN Zun-qi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> National Laboratory on High Power Laser and Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800  
<sup>2</sup> ShangHai Science and Engineering University, ShangHai 200093)

**Abstract** Single frequency Yb<sup>3+</sup>-doped fiber lasers operating at 1053 nm pumped by laser diode have been achieved. Characteristic of the lasers was researched in this paper. The power of 18 mW with F-P cavity, and 1.3 mW with the structure of phase-step DFB were obtained, respectively.

**Key words** fiber grating, Yb-doping fiber laser, single longitudinal mode, phase-step DFB

## 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度、功率稳定性和工作可靠性。掺 Yb 光纤激光器可作为 ICF 激光驱动器前端系统中主振荡器的重要选项。

随着人们对掺 Yb<sup>3+</sup> 光纤潜在优势的认识,国外对掺 Yb<sup>3+</sup> 光纤激光器的研究开展得也越来越多。从 1997 年以来,我们在这一领域也开展了一系列的研究工作,并取得了一些成绩<sup>[1-4]</sup>。

在掺 Yb 光纤激光器单纵模输出方面,1995 年瑞典 A. Assch 等采用一段长 10 cm,整段刻写光栅

的掺 Yb 光纤,利用带有  $\lambda/4$  相移的分布反馈方式在 1047 nm 波长获得单纵模激光输出<sup>[5]</sup>。1997 年英国 R. Paschotta 等利用光纤光栅及掺 Yb<sup>3+</sup> 光纤未抽运区可饱和吸收空间烧孔效应,使用 975 nm 钛宝石激光抽运在 1040 nm 获得单纵模激光输出<sup>[6]</sup>。我们成功研制出运行于 1053 nm 的单纵模掺 Yb 光纤激光器,并对其单纵模运行特性进行了研究。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 单频 F-P 腔掺 Yb 光纤激光器

我们使用自制的光纤光栅,用 2 m 掺 Yb 光纤,采用 F-P 腔结构,利用可饱和吸收空间烧孔效应获

收稿日期 2000-12-22;收到修改稿日期 2001-06-28

基金项目 国家高技术 863-416 资助课题。

作者简介 陈柏(1962.5—)男,湖南会同县人,博士,副研究员,主要从事光纤激光器、放大器、光纤光栅等领域的研究。

E-mail: lp6chen@hotmail.com

得了 1053 nm 波长的单纵模激光输出。其中作为前腔镜的光纤光栅,其 3 dB 带宽为 0.076 nm,反射中心波长为 1053.2 nm,峰值反射率约 29 dB,输出耦合镜为 75% 的镀介质膜的玻璃片。实验所采用掺 Yb 锗硅石英光纤由武汉邮电科学院提供。光纤芯径约 6.4  $\mu\text{m}$ 。光纤掺杂浓度以吸收系数反应,在 915 nm 处吸收系数约为 36 dB/m。首先采用自由光谱范围 640 MHz 扫描 F-P 干涉仪, PIN 管及示波器观察激光模式,其中扫描 F-P 干涉仪每次扫程约 2  $\mu\text{m}$ 。每次扫描约扫过 4 个 F-P 自由光谱范围,图 1 所示为示波器记录的该激光器单纵模运行图。阈值约 15 mW,最大激光输出功率约 18 mW。当抽运功率略高于阈值时,单纵模出现几率约 50%,抽运功率在 30 mW 附近时,运行稳定性较好,单纵模出现几率较大,约 90%。最理想时在 30 min 内没有见到竞争模出现,但期间会发生跳模现象。随着抽运功率的增加,竞争模出现的几率增大。图 2 为抽运功率约 40 mW 时示波器所记录的图形,由此图可看出在一套主模旁,伴随有竞争模存在。另外,我们也用固定 F-P 干涉仪观察激光模式,图 3 为所记录的单纵模激光干涉环。

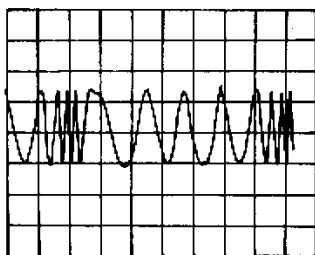


图 1 通过扫描 F-P 干涉仪后示波器记录的单纵模激光波形

Fig.1 Wave shape of single mode lasing recorded by oscilloscope through scanning F-P interferometer

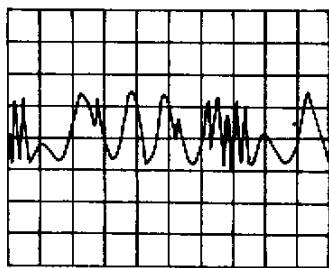


图 2 通过扫描 F-P 干涉仪后,竞争模出现时示波器记录的激光波形

Fig.2 Wave shape of two mode lasing recorded by oscilloscope through scanning F-P interferometer

针对以上现象,我们认为当抽运功率略高于阈值时,已起振模强度较弱,此时可饱和吸收空间烧孔效应不明显。当抽运功率具有一定超阈值时,已起振模具有足够的强度使吸收饱和,即出现明显的可饱和吸收空间烧孔效应。而后起振模则受到较大的吸收而被抑制。但随着抽运功率的进一步增加,掺杂光纤的抽运区长度变长,而作为产生可饱和吸收效应的未抽运掺杂光纤的长度逐渐变短导致可饱和吸收空间烧孔效应逐渐减弱,从而竞争模起振几率增大。另外,我们还换用 50 cm 上述掺 Yb 光纤进行了实验,也得到了单纵模激光输出。但单纵模出现的几率及运行稳定性比 2 m 光纤时差。我们还在 2 m 光纤后再熔接一段 2 m 光纤,即 4 m 光纤进行以上实验,但没有获得激光输出,这是由于在目前抽运条件下,较长的光纤对信号光的重复吸收造成的损耗及熔接损耗和其他腔损耗太大所致。

## 2.2 单频相移 DFB 掺 Yb 光纤激光器

由于带有  $\lambda/4$  相移的 DFB 光纤激光器具有良好的单纵模运行稳定性<sup>[7,8]</sup>。我们针对这一结构开展了研究工作,并初步制成了相移近似  $\lambda/4$  的 DFB 掺 Yb 光纤激光器。利用这一结构获得了更为稳定的单纵模激光输出。

用 196 nm 准分子激光,采用相位掩模法,在掺 Yb 光纤中刻写光栅,获得 DFB 光纤激光器。所刻写光栅长度为 10 cm, Bragg 反射中心波长约 1053.3 nm。进一步通过二次曝光法,在 DFB 激光器的中心位置产生相移。

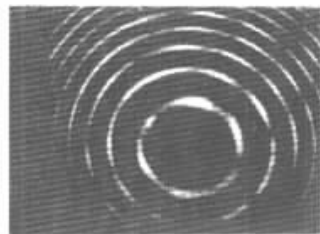


图 3 通过 F-P 干涉仪后单纵模激光干涉环

Fig.3 Interference ring of single mode lasing

图 4 所示为 DFB 光纤激光器实验装置,抽运源为带尾纤半导体激光器(LD),中心波长为 979 nm。抽运光经波分复用(WDM)后进入刻写光栅的 DFB 掺 Yb 光纤区,掺杂光纤光栅的反射率约 31 dB。在掺杂光纤光栅后是一段约 40 cm 的掺 Yb 光纤,其作用是利用剩余抽运光对通过该段光纤的信号激光予以放大。在上述起放大作用的光纤之后为一隔离

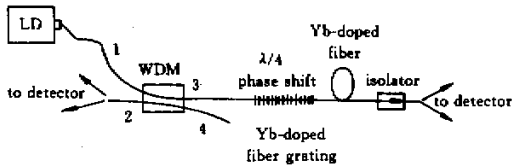


图 4 掺 Yb DFB 光纤激光器实验装置图

Fig.4 Experimental setup of Yb-doped DFB fiber laser

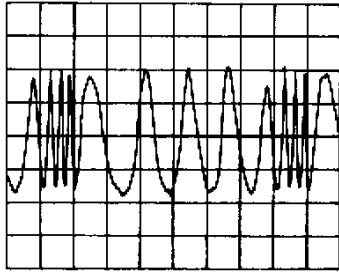


图 5 通过扫描 F-P 干涉仪后示波器记录的 DFB 光纤激光器单纵模激光波形

Fig.5 Wave shape of single mode DFB laser recorded by oscilloscope through scanning F-P interferometer

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光纤的输出端面(菲涅耳反射)之间形成 F-P 腔。当抽运功率约为 12 mW 时,DFB 器件在 1053.3 nm 波长处获得激光输出。目前最大输出约为 1.3 mW。采用扫描 F-P 干涉仪及示波器观察激光模式,判定输出激光为单纵模。激光器在运行过程中,当超阈值不太高时(约小于 20 mW),激光输出的单纵模稳定性较好。30 min 内没有见到竞争模和跳模现象出现。图 5 为示波器记录的 DFB 激光器输出激光经过扫描 F-P 干涉仪后的单纵模波形。随着抽运功率的增加,模竞争现象逐渐出现。抽运功率为 30 mW 时,主模旁有一套邻模时隐时现,邻模与主模强度之比约 20%。当竞争模出现时,输出功率稳定性差。在此之前我们曾在上述装置中采用反射率分别为 8 dB,12 dB,18 dB 且带有相移的掺杂光纤光栅进行过实验,但没有获得激光输出。综合光纤光栅理论和 DFB 激光器理论,掺杂光纤光栅反射率越高则 DFB 激光器阈值增益越低<sup>[9]</sup>。在以上反射率分别为 8 dB,12 dB,18 dB 的三种情况中没有获得激光输出,原因之一是相移不是严格的  $\lambda/4$ ,其二反射率低(说明光栅耦合常数小)。二者使得阈值增益要求较高,即使进一步提高抽运功率,但当光纤被漂白后,光纤实际能提供的增益没能随之增加至阈值增益,因而未能获得激光振

荡。但单纯依靠提高光栅反射率以降低阈值的方法会影响 DFB 激光器的其他性能。光栅反射率的提高意味着光栅耦合常数增加,耦合常数过高会影响输出功率及增强增益空间烧孔效应<sup>[7]</sup>,破坏单模运行稳定性。较为理想的方法是在掺杂光纤光栅中刻写严格的  $\lambda/4$  相移,以大大降低阈值增益<sup>[8,9]</sup>,而反射率则选择最佳值,以有利于增大输出功率和获得稳定的单纵模运行。

### 3 结 论

我们利用自制光纤光栅,采用两种结构实现了掺 Yb 光纤激光器在 1053 nm 单纵模输出。其中, F-P 腔结构的激光器获得了 18 mW 的功率输出。相移 DFB 掺 Yb 光纤激光器单纵模运行稳定性较好,在 30 min 内没有竞争模出现及没有跳模现象发生。由于带有  $\lambda/4$  相移的 DFB 光纤激光器具有良好的单纵模运行稳定性,因此,它适合于充当 ICF 激光驱动器前端系统中的主振荡器。

### 参 考 文 献

- 1 Chen Bai, Chen Lanrong, Lin Zunqi *et al.*. A LD pumped Yb<sup>3+</sup>-doped ring fiber laser operating at 1041 nm [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(11):965 ~ 968 (in Chinese)
- 2 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)
- 3 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)
- 4 Chen Bai, Lin Zunqi. Relationship between lasing wavelength and threshold in Ytterbium-doped fiber [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(6):750 ~ 754 (in Chinese)
- 5 A. Asseh, H. Storoy, J. T. Kringlebotn *et al.*. 10 cm Yb<sup>3+</sup> DFB fibre laser with permanent phase shifted grating [J]. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(12):969 ~ 970
- 6 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
- 7 Masashi Usami, Shigeyuki Akiba, Katsuyuki Utaka. Asymmetric  $\lambda/4$ -shifted InGaAsP/InP DFB lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1987, **QE-23**(6):815 ~ 821
- 8 H. A. Haus, C. Shank. Antisymmetric taper of distributed feedback lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1976, **QE-12**(9):532 ~ 539
- 9 H. Kogelnik, C. V. Shank. Coupled-wave theory of distributed feedback lasers [J]. *J. Appl. Phys.*, 1972, **43**(5):2327 ~ 2335