

文章编号: 1001-3806(2013)02-0195-03

2 μm 全光纤结构铥钬共掺光纤激光器

陈立鲁平* 张亮田 铭 赵水 刘德明

(华中科技大学 光学与电子信息学院 下一代互联网接入系统国家工程实验室 武汉 430074)

摘要: 为了实现高效、全光纤化的 2 μm 激光输出,采用中心波长为 1569nm 附近的级联双包层铥钬共掺光纤放大器来抽运铥钬共掺单模光纤、1550nm/2000nm 波分复用器、光纤耦合器构成的环形腔全光纤激光器。当 915nm LD 抽运驱动电流为 6.9A 时,获得的最大输出激光功率为 57.23mW,斜率效率约为 12%,线宽约为 4.5nm,阈值抽运功率约为 180mW。结果表明,该光纤激光器性能可靠,其在光纤传感、激光医疗等领域将有巨大应用前景。

关键词: 光纤光学; 全光纤激光器; 铥钬共掺光纤; 环形腔; 2 μm 波长

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A doi: 10.7510/jjgs.issn.1001-3806.2013.02.014

Tm-Ho co-doped all fiber laser at 2 μm

CHEN Li, LU Ping, ZHANG Liang, TIAN Ming, ZHAO Shui, LIU De-ming

(National Engineering Laboratory for Next Generation Internet Access System, School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To achieve efficient all fiber laser at 2 μm , a Tm-Ho co-doped single mode fiber was pumped by a dual double-cladding Er-Yb co-doped fiber amplifier. An all fiber ring laser was formed with a 1550nm/2000nm wavelength-division multiplexer and a fiber coupler. When the drive current of 915nm LD was 6.9A, the maximum laser output power was about 57.23mW, the slope efficiency was measured to be about 12% with the linewidth of 4.5nm, the threshold pump power was about 180mW. The experimental results demonstrate that the laser shows high performance and it is prospective in fields of optical fiber sensing and laser medical treatment.

Key words: fiber optics; all fiber laser; Tm-Ho co-doped fiber; ring cavity; 2 μm wavelength

引言

光纤激光器体积小、阈值低、效率高、线宽窄、光束质量好。近年来,随着光纤激光器的相关研究不断深入,在工业、医学、通信等领域的应用越来越广泛。其中,基于 Tm³⁺ 和 Ho³⁺ 的 2 μm 光纤激光器因处于人眼安全波段而在激光手术方面作用巨大^[1],另外,它在 1.7 μm ~2.1 μm 波长范围内可调谐^[2],可通过 790nm, 1212nm, 1600nm 波段的抽运得到^[3-8]。其中 790nm 抽运方式为包层抽运,通常需要通过空间耦合系统进入增益光纤,所以,阈值功率较高,且不易于实现全光纤化,另外,高功率的 790nm 抽运光对相关的耦合器件等要求较高,其相应价格也较为昂贵; 1570nm 抽运可

在纤芯中单模传输,因而可采用纤芯抽运方式,易于实现低成本、低阈值、全光纤化的 2 μm 光纤激光器。此外,利用 2 μm 激光器作为抽运源,通过非线性频率转换方法可以用来产生更长波长的中红外光^[9]。

本文中采用中心波长为 1569nm 的铥钬光纤放大器作为抽运源来纤芯抽运铥钬共掺光纤,获得 2 μm 附近的激光输出,最后将对实验结果进行分析与总结。

1 实验装置及原理

2 μm 全光纤结构铥钬共掺光纤激光器主要分为两个部分:抽运光源部分和 2 μm Tm-Ho 共掺光纤激光器部分。本实验中采用双级 1570nm 铥钬共掺光纤放大器作为抽运光源。

1.1 抽运光源部分

图 1 为双级放大抽运源实验系统原理框图,其中 1 级放大使用的 1570nm 信号光源为浩源光电公司生产的高稳定分布反馈(distributed feedback,DFB)激光器,其输出功率在几个毫瓦左右;掺铒光纤放大器(Er-doped fiber amplifier,EDFA)的输出功率可调、最大增益约为 15dB;抽运源采用西安炬光科技有限公司生产

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61275083; 60937002);中央高校基本科研业务费资助项目;华中科技大学自主创新研究基金资助项目(2011TS058)

作者简介:陈立(1987-),男,硕士研究生,现主要从事光纤激光器方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: pluriver@mail.hust.edu.cn

收稿日期:2012-06-28;收到修改稿日期:2012-07-02

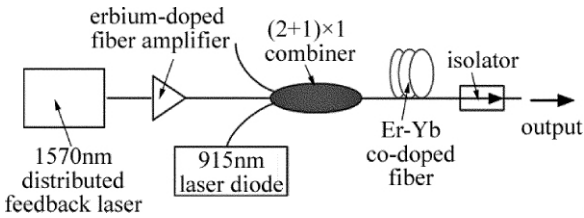


Fig.1 Structure diagram of 1570nm Er-Yb co-doped fiber dual amplifier pump source

的中心波长为 915nm、型号为 DLS 25 系列半导体激光器,其最大输出功率约为 8W;合束器为深圳 Light-comm Technology 公司生产的(2+1)×1 的合束器,其对抽运光的耦合效率约为 90%;钕镜共掺光纤为加拿大 CorActive 公司生产的 EY110,其在 915nm 处的吸收系数约为 2dB/m,为了保护抽运激光器和 EDFA,在输出端加了 1570nm 隔离器。

1.2 激光器部分

图 2 为基于 ${}^3H_6 \rightarrow {}^3F_4$ 抽运方式搭建的全光纤环形腔结构铥钬共掺光纤激光器实验原理图。抽运源仍采用图 1 中搭建的最大输出功率约为 800mW 的 1570nm 钕镜共掺光纤放大器,抽运光通过 1550nm/2000nm 波分复用器(wavelength-division multiplexer, WDM) 耦合进入铥钬共掺光纤,被 Tm-Ho 共掺光纤吸收后,通过受激辐射产生 2 μ m 附近的激光在环形腔中振荡,最后通过输出耦合器输出,可以通过接在输出耦出端的光谱仪观察输出光谱情况,通过 Newport 光功率计测量输出激光的功率。另外,实验中采用的增益光纤为加拿大 CorActive 公司生产的 TH512 铥钬共掺单模光纤,增益光纤长度约为 70cm,纤芯直径约为 9 μ m,数值孔径为 0.16,包层直径约为 125 μ m,其在 1570nm 处的吸收系数约为 22dB/m,其单模截止波长为 1750nm。

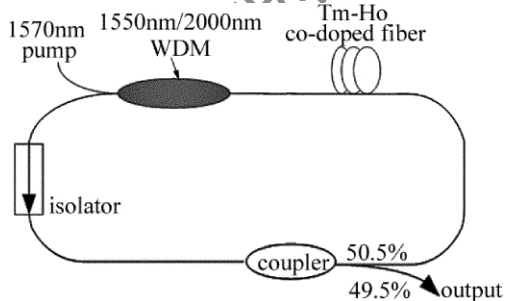


Fig.2 Structure diagram of a Tm-Ho co-doped fiber ring laser

2 实验结果及分析

当 915nm 抽运驱动电流 $I = 4A$ 时,1570nm 抽运功率约为 450mW,此时得到的环形腔输出激光功率约为 15.6mW,使用 Agilent 86140B 光谱分析仪得到的输出光谱如图 3 所示。从光谱中可以看到,输出激光中心波长为 1856.1nm,输出光谱半峰全宽(full width

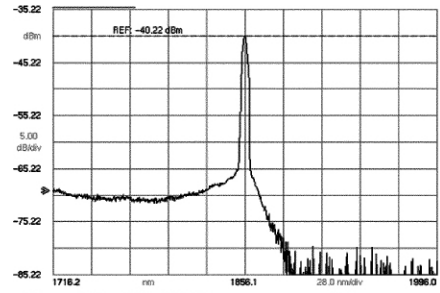


Fig.3 Output spectrum of 2 μ m laser($I = 4A$)

at half maximum,FWHM) 约为 4.5nm,其边模抑制比可达 30dB 左右。

采用 Newport 光功率探测了 2 μ m 附近激光输出功率,图 4 所示为输出激光功率与 1570nm 抽运功率的关系曲线。从图中可以很明确观察到激光的阈值特性,阈值抽运功率 $P_{th} \approx 180mW$ 。另外,当抽运驱动电流 $I = 6.9A$ 时,得到的最大输出功率约为 57.23mW。通过简单的计算,可以得到其斜率效率约为 11.7% (相对于入纤抽运功率)。

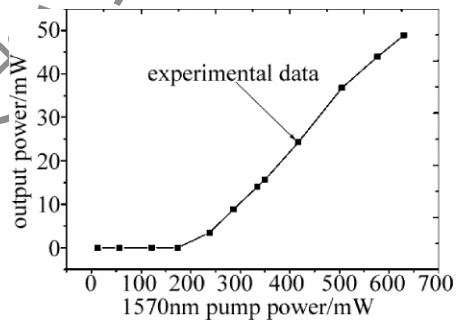


Fig.4 Output power of the laser as a function of the 1570nm pump power

在实验中观察到,当增益光纤长度给定时,输出激光中心波长会随着 915nm 抽运驱动电流的增加而红移。如图 5 所示(铥钬共掺光纤长度 $L = 0.7m$) ,这是因为随着抽运功率的增加,光纤温度随之升高,这大大地促进了纤芯中的 Tm^{3+} 对 2 μ m 附近激光的基态重吸收效应,从而输出光谱中心波长红移^[10]。

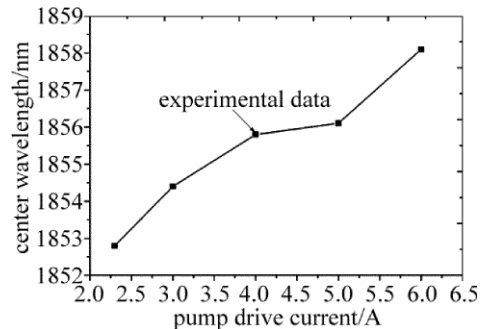


Fig.5 Center wavelength as a function of 1570nm pump drive current

此外,输出激光中心波长也会随着增益光纤长度的增加而发生红移,如图 6 所示。当 $L_{Tm-Ho} = 0.7m$ 时,输出中心波长 $\lambda_c = 1854.1nm$;当 $L_{Tm-Ho} = 1.5m$ 时,输出中心波长 $\lambda_c = 1883.7nm$;当 $L_{Tm-Ho} = 2.2m$ 时,输出

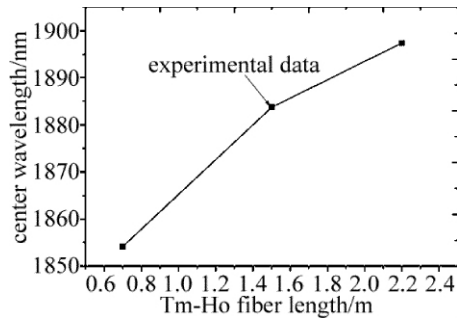


Fig. 6 Center wavelength as a function of the length of Tm-Ho co-doped fiber

中心波长 $\lambda_c = 1897.4\text{nm}$ 。这主要是因为,在近 $1.8\mu\text{m}$ 到 $2.1\mu\text{m}$ 的光谱区域, Tm^{3+} 在硅基质中的吸收截面随着波长的增加而减小^[11],这样,输出波长中的短波长成分被更多地吸收,导致输出中心波长红移。

3 结 论

将 1570nm 钕镜共掺光纤双级放大器作为抽运源,得到了输出波长在 $1.9\mu\text{m}$ 附近的激光输出,实验获得的激光最大输出功率约为 57.23mW ,斜率效率约为 12% ,输出激光线宽约为 4.5nm ;此外,实验结果表明,输出激光中心波长会随着抽运功率的增加或者增益光纤长度的增加而向长波长方向移动。后期工作中,将在环形腔中加入光纤光栅等滤波器件,可以得到可调谐窄线宽的 $2\mu\text{m}$ 全光纤光纤激光器,其在光纤传感、激光医疗等领域将有巨大应用前景。

参 考 文 献

[1] YANG L P, FENG X Q, LU B L, *et al.* Experimental study of

Tm-doped fiber laser near $2\mu\text{m}$ [J]. *Laser Journal*, 2012, 33(1): 18-19 (in Chinese).

- [2] HAJIME S, MARIE I, HIROYUKI N, *et al.* Tunable Tm-doped fiber ring laser operating at $1.9\mu\text{m}$ band using force-induced fiber grating as wavelength tuner [J]. *Applied Optics*, 2011, 50(3): 291-295.
- [3] LI D J, DU G G. The recent research progress of Tm^{3+} -doped fiber lasers [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(5): 540-543 (in Chinese).
- [4] DONG Sh F, CHEN G F, WANG X H, *et al.* Experimental researches on $\text{Tm}^{3+}:\text{Ho}^{3+}$ co-doped silica fiber lasers [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(2): 129-132 (in Chinese).
- [5] DONG Sh F, CHEN G F, ZHAO Sh H, *et al.* Theoretical study on the 1180nm laser pumped Tm, Ho co-doped silica fiber laser [J]. *Laser Technology*, 2006, 30(2): 138-141 (in Chinese).
- [6] TANIGUCHI A, KUWAYAMA T, SHIRAKAWA A, *et al.* 1212nm pumping of $2\mu\text{m}$ Tm-Ho-codoped silica fiber laser [J]. *Applied Physics Letters*, 2002, 81(20): 3723-3725.
- [7] ZHOU J, DONG Sh F, ZHOU Y J, *et al.* The steady-state behavior of 1565nm laser pumped $\text{Tm}^{3+}:\text{Ho}^{3+}$ co-doped silica fiber laser [J]. *Laser & Infrared*, 2007, 37(12): 1265-1269 (in Chinese).
- [8] PERCIVAL R M, SZEBESTA D, SELTZER C P, *et al.* A $1.6\mu\text{m}$ pumped $1.9\mu\text{m}$ erbium-doped fluoride fiber laser and amplifier of very high efficiency [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1995, 31(3): 489-493.
- [9] GENG J H, WANG Q, WANG J F, *et al.* All-fiber wavelength-swept laser near $2\mu\text{m}$ [J]. *Optics Letters*, 2011, 36(19): 3771-3773.
- [10] DU G G, ZHAO J Q, ZHANG L C, *et al.* Studies on Tm-doped double-clad fiber lasers [J]. *Laser & Optoelectronics Progress* 2012 (2): 020005 (in Chinese).
- [11] JACKSON S D, KING T A. Dynamics of the output of heavily Tm-doped double-clad silica fiber lasers [J]. *Journal of the Optical Society of America*, 1999, B16(12): 2178-2188.