

全光纤化线偏振掺镱光纤激光器输出特性研究

苏 岑^{1,2} 普小云¹ 王建华² 冯 衍² 漆云凤² 朱小磊^{2*}

¹ 云南大学物理科学技术学院物理系, 云南 昆明 650091
² 中国科学院上海光学精密机械研究所上海市全固态激光器与应用技术重点实验室, 上海 201800

摘要 报道了一种全光纤结构的线偏振掺镱光纤激光器, 采用快慢轴交叉对准的光纤光栅为腔镜, 实现了线偏振激光的振荡输出。以 975 nm 的半导体激光器为抽运源, 在抽运功率为 50 W 时, 获得了 30.2 W 线偏振激光输出, 光光转换效率 60%, 偏振消光比(PER)优于 22 dB。研究了输出激光的光谱控制特性, 通过对光纤光栅的温度控制, 实现了输出激光中心波长和半峰全宽(FWHM)的精确调节。

关键词 激光器; 光纤布拉格光栅; 线偏振激光; 全光纤结构

中图分类号 TN248 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201340.s102006

Study on Output Characteristics of Linearly Polarized All-Fiber Yb-Doped Fiber Laser

Su Cen^{1,2} Pu Xiaoyun¹ Wang Jianhua² Feng Yan² Qi Yunfeng² Zhu Xiaolei²

¹ Department of Physics, School of Physics Science and Technology, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091, China

² Shanghai Key Laboratory of All Solid-State Laser and Applied Techniques, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China

Abstract An all-fiber configuration linearly-polarized fiber laser reported, with one pair PM fiber Bragg grating for wavelength and polarization selection. The maximum linearly-polarized laser output power is 30.2 W, which respects to the launched pump power of 50 W from a 975 nm diode laser pumper. The optical-to-optical efficiency is 60%, and polarization extinction rate (PER) is better than 22 dB. The output central wavelength as well as the full width at half maximum (FWHM) of spectrum can be precisely adjusted by controlling the temperature of the fiber Bragg grating.

Key words lasers; fiber Bragg grating; linearly-polarized laser; all-fiber configuration

OCIS codes 140.3510; 140.3600; 140.3615

1 引 言

掺镱双包层光纤激光器以其高亮度、高光束质量、高转换效率、结构紧凑小巧、易于实现高功率和集成等优点, 在工业、国防、科技等领域的应用已经取得了巨大的发展^[1]。高功率线偏振激光在非线性频率变换、激光精细微加工等应用领域有着广阔的发展前景^[2-4]。

目前, 高功率线偏振的光纤激光输出通常采用

主振荡-功率放大(MOPA)结构, 在这种结构中, 以线偏振的小功率激光器为种子光源, 以保偏双包层光纤作为放大级, 实现线偏振激光输出^[5], 系统结构较为复杂, 并且需要采用隔离器、滤波器等器件, 成本较高。Liu 等^[6]利用缠绕偏振控制的方法, 采用 33 m 的掺镱保偏光纤以 7.5 cm 的缠绕半径缠绕, 实现了全光纤化线偏振的 1085 nm 激光输出。2010 年, 中国科学院上海光学精密机械研究所采用

收稿日期: 2013-07-04; 收到修改稿日期: 2013-09-25

基金项目: 国家自然科学基金(61308024, U1330134)、上海市青年科技启明星计划(12QH1401100)、上海市自然科学基金(11ZR1441400)

作者简介: 苏 岑(1988—), 女, 硕士研究生, 主要从事光纤激光器方面的研究。E-mail: sucensd@163.com

导师简介: 普小云(1957—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事光学与光电子学等方面的研究。E-mail: xypu@163.com

* 通信联系人。E-mail: xlzhu@siom.ac.cn

光纤端面磨砂布儒斯特角的方式,实现了光纤激光的线偏振振荡输出^[7]。

本文以双包层保偏光纤光栅对(PM-FBGs)作为谐振腔,通过FBGs快慢轴反射峰的交叉对准和直线型振荡腔结构实现了1064 nm的线偏振激光输出。在该方案中,光纤光栅易于与光纤系统连接,附加损耗小,极化不敏感且具有决定激光光谱中心波长及限制光谱带宽的作用,能够长时间在高功率下稳定运行^[8-10]。类似的技术已经应用到其他波长低功率光纤激光器中^[11-13],但是,没有报道关于高功率全光纤双包层激光器以及输出光谱带宽特性的研究。

2 实验装置

实验装置如图1所示,两个尾纤输出中心波长975 nm的半导体激光器(LD)作为抽运源,最大输

出功率25 W,抽运光通过一个(2+1)×1多模光纤合束器耦合到谐振腔内,产生激光振荡。高反光纤布拉格光栅(HR FBG)和低反光纤布拉格光栅(OC FBG)刻写在保偏光纤上,构成激光谐振腔,可以避免双色片和透镜组带来的损耗,从而提高输出激光的光光转换效率。HR FBG中心波长1064.32 nm,反射率大于99%,半峰全宽(FWHM)为0.23 nm。OC FBG中心波长1064.294 nm,反射率9.8%,FWHM为0.17 nm。采用掺镱保偏大模场(PLMA)双包层光纤作为激光增益介质,增益光纤长度5 m,纤芯直径10 μm,包层直径125 μm,在975 nm处吸收系数4.8 dB/m,无交叉地缠绕在直径8 cm左右的光滑圆柱筒上。增益光纤一端熔接HR FBG,另一端熔接OC FBG将HR FBG快轴与OC FBG慢轴对准,如图2所示。

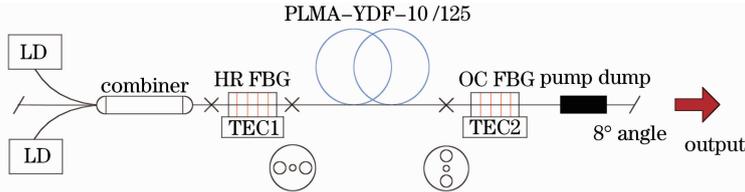


图1 高功率线偏振光纤激光器结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of high-power linearly polarized fiber laser

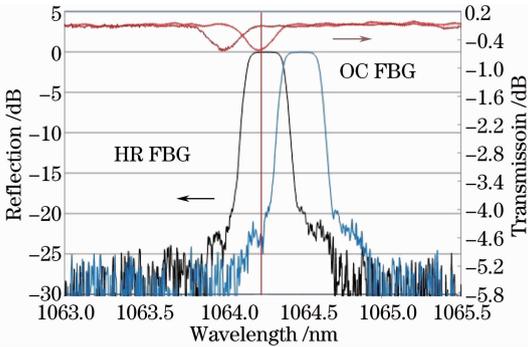


图2 FBGs光谱图

Fig.2 FBGs spectra

当两光纤光栅的布拉格波长慢轴(或快轴)彼此相对应熔接时,激光振荡被抑制,因为在慢轴和快轴没有谐振形成。但是如果一个FBG的快轴与另一个的慢轴交叉对准熔接,则可以选择性的在一个单一的偏振态发生振荡,由于仅在慢轴偏振方向形成谐振,所以可以得到线偏振激光。对于这种操作,两个FBG频带宽度要求较窄,且其中一个的带宽比另一个的宽些会更容易实现。

为抑制放大自发辐射及自激振荡,双包层光纤

两端面都磨砂成8°倾角。同时,考虑到熔融石英光纤的温度灵敏度取决于材料的折射率温度系数,进一步研究了FBG受温度改变而影响激光输出波长和带宽的特性,采用两个温度控制器(TEC)分别对两个FBG控温,用于补偿激光器工作中FBG温度上升。

3 实验结果

3.1 线偏振光纤激光器输出特性研究

保持TEC1和TEC2均为20℃情况下,进行实验。全光纤化线偏振光纤激光器输出功率曲线图如图3(a),光谱图如图3(b)所示。当抽运功率为50 W时,获得了30.2 W激光输出,光光转换效率60%,中心波长1064.30 nm,FWHM为0.11 nm。输出激光的偏振消光比(PER)稳定在22 dB~24 dB之间,如图3(c)所示。输出光谱中未见非线性效应,激光功率随抽运功率加大而线性增加,表明继续提高抽运功率,该实验装置可实现更高功率的激光输出。

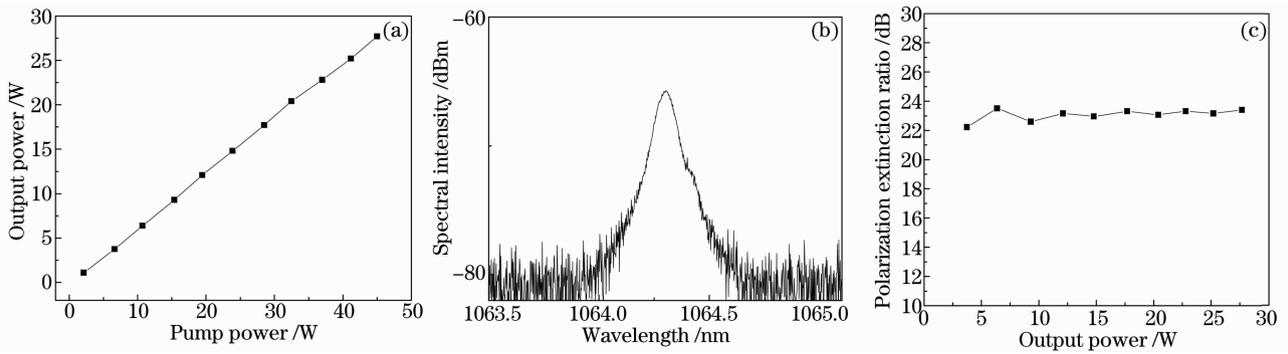


图 3 (a) 输出功率特性曲线; (b) 输出激光光谱; (c) 偏振消光比随激光功率变化曲线

Fig. 3 (a) Output power characteristic curve; (b) output laser spectrum; (c) PER at different output powers

3.2 FBG 温度特性研究

随着激光功率增大,温度变化导致 FBG 中心波长漂移,输出激光中心波长受 OC FBG 温度的变化会产生漂移,温度升高波长正漂移,温度降低波长负漂移,温度漂移系数 $0.01 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 。实验中 TEC1 和 TEC2 分别对 HR FBG 和 OC FBG 进行温度控制。实验表明,通过 TEC2 调节 OC FBG 温度,使 OC FBG 与 HR FBG 的布拉格波长精确匹配,当光谱中 OC FBG 的快轴峰恰好与 HR FBG 慢轴峰对准时,如图 2 所示,输出激光中仅存在三个分量峰,输出激光的 FWHM 应与 OC FBG 本身的 FWHM 匹配。

实验中 TEC1 设置 20°C ,TEC2 设置不同温度时,FWHM 随激光功率变化曲线如图 4 所示,由图可知,TEC2 处于 10°C 、 15°C 、 25°C 三种情况下,FWHM 可以调节为 0.17 nm 。此时,这对 FBG 快慢轴反射峰恰好对准。

对于激光光谱相对较宽,以提高功率为目标的工业加工等领域来说,温度变化导致的激光波长微小漂移不会对系统造成影响。但是,对于基于 FBG 对的光纤激光器,由于温度变化导致 FBG 中心波长的漂移,将导致不同温度条件下激光器产生不同

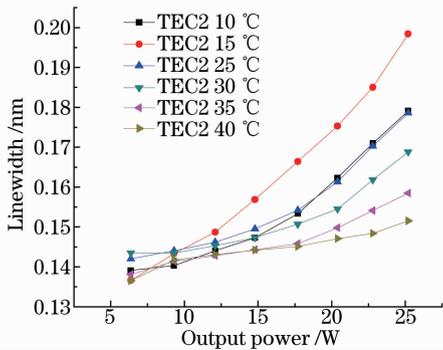


图 4 TEC2 不同温度下激光 FWHM 随输出功率变化图

Fig. 4 FWHM versus output power with TEC2 at different temperatures

的激光频率,甚至,若两个 FBG 温漂程度不同,中心波长漂移过大,有可能导致激光无法起振;另一方面,温度的变化将影响光纤激光器输出功率的稳定性。所以,该实验通过改变 OC FBG 温度来调节 FBG 中心波长使 FBG 对偏振快慢轴精确对准,从而精确控制输出激光中心波长和光谱宽度,便于在光频转换、激光晶体倍频等方面的应用。

4 结 论

以一对 FBG 构成谐振腔,保偏快慢轴交叉对准输出线偏振激光,PER 稳定在 $22 \text{ dB} \sim 24 \text{ dB}$,光光转换效率 60% 。FBG 在一定范围内起到选择和决定激光中心波长与光谱带宽的作用,实现了激光器的全光纤化,与空间耦合系统相比,全光纤化结构简单稳定,耦合效率高。通过调节 OC FBG 温度来调节 FBG 中心波长使一对保偏光栅快慢轴精确对准,补偿温度上升造成的红移,从而精确控制输出激光中心波长和光谱宽度,便于在光频转换、激光晶体倍频等方面的应用。进一步优化实验装置,有望提高输出功率和光光转换效率。

参 考 文 献

- Richardson D J, Nilsson J, Clarkson W A. High power fiber lasers: current status and future perspectives [Invited][J]. J Opt Soc Am B, 2010, 27(11): B63-B92.
- He B, Lou Q, Zhou J, et al.. High power coherent beam combination from two fiber lasers[J]. Opt Express, 2006, 14(7): 2721-2726.
- Feng Y, Taylor L R, Calia D B. 25 W Raman-fiber-amplifier-based 589 nm laser for laser guide star[J]. Opt Express, 2009, 17(21): 19021-19026.
- Jiao Mengli, Lü Xinjie, Liu Chi, et al.. Second harmonic generation characteristics of continuous wave narrow-spectrum all fiber amplifier in PPSLT[J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(3): 0302005.
- 焦梦丽, 吕新杰, 刘 驰, 等. 周期极化钽酸锂倍频窄谱线全光纤连续激光放大器特性[J]. 中国激光, 2012, 39(3): 0302005.
- Liu C, Qi Y, Ding Y, et al.. All-fiber, high power single-

- frequency linearly polarized ytterbium-doped fiber amplifier[J]. *Chin Opt Lett*, 2011, 9(3): 031402.
- 6 Liu C H, Galvanauskas A, Khitrov V, *et al.*. High-power single-polarization and single-transverse-mode fiber laser with an all-fiber cavity and fiber-grating stabilized spectrum [J]. *Opt Lett*, 2006, 31(1): 17–19.
- 7 Liu X, Du S, Zhou J, *et al.*. Linearly polarized operation of Yb-doped fiber laser by Brewster's angle-polished fiber end[J]. *Chin Opt Lett*, 2010, 8(2): 184–186.
- 8 Fan Yuanyuan, Zhou Jun, He Bing, *et al.*. Preparation and high-power fiber laser experimentation of double-clad fiber grating[J]. *Chinese J Lasers*, 2010, 37(9): 2395–2399.
范元媛, 周 军, 何 兵, 等. 双包层光纤光栅的制备及其高功率光纤激光实验研究[J]. *中国激光*, 2010 (9): 2395–2399.
- 9 Hu Guijun, Pan Yuzhai, Guo Yubin, *et al.*. High-power fiber laser based on fiber grating[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(4): 405–408.
胡贵军, 潘玉寨, 郭玉彬, 等. 基于光纤光栅的高功率光纤激光器[J]. *光子学报*, 2004, 33(4): 405–408.
- 10 Liu D F, Wang C H. Single linearly polarized, widely tunable Yb³⁺-doped fiber laser with alternative polarization and wavelength[J]. *Laser Phys Lett*, 2010, 7(2): 153–157.
- 11 Wang J, Zhang L, Hu J, *et al.*. Efficient linearly polarized ytterbium-doped fiber laser at 1120 nm[J]. *Appl Opt*, 2012, 51(17): 3801–3803.
- 12 Shirakawa A, Kamijo M, Ota J, *et al.*. Characteristics of linearly polarized Yb-doped fiber laser in an all-fiber configuration [J]. *Photon Technol Lett, IEEE*, 2007, 19(20): 1664–1666.
- 13 Sinha S, Langrock C, Dignonnet M J, *et al.*. Efficient yellow-light generation by frequency doubling a narrow-linewidth 1150 nm ytterbium fiber oscillator[J]. *Opt Lett*, 2006, 31(3): 347–349.

栏目编辑:张 腾