

文章编号: 0258-7025(2010)07-1688-04

980 nm 准连续单模掺镱光纤激光器及放大器实验研究

李平雪 张雪霞 邹淑珍 李 港

(北京工业大学激光工程研究院, 北京 100124)

摘要 采用声光调 Q 946 nm Nd:YAG 固体激光器作抽运源, 高掺杂单模掺镱光纤作增益介质, 实现了 980 nm 的准连续掺镱光纤激光器。当重复频率为 16 kHz 时, 脉冲宽度为 10 ns, 激光平均功率为 73 mW, 光谱带宽为 4 nm。以此激光振荡器作为种子源, 用长度为 28 cm 的单模掺镱光纤作为光纤放大器对种子光进行放大。获得了平均功率为 167 mW 的放大脉冲激光输出, 峰值功率为 700 W, 脉冲宽度为 15 ns。

关键词 光纤光学; 单模掺镱光纤; 光纤激光器; 光纤放大器

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20103707.1688

A Quasi-Continuous-Wave 980 nm Yb-Doped Single-Mode Fiber Laser and Amplifier

Li Pingxue Zhang Xuexia Zou Shuzhen Li Gang

(Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract A single-mode-quasi-continuous-wave 980 nm Yb-doped fiber laser is realized. An acousto-optics Q-switched Nd:YAG laser at 946 nm is used as pump source and the high Yb-doped single-mode fiber is used as gain medium. The total average power of the laser pulse is 73 mW at 980 nm when the pulse duration is 10 ns at the repetition frequency of 16 kHz. The quasi-continuous-wave 980 nm fiber laser oscillator used as seed source is amplified by another 28 cm Yb-doped fiber. As a result, the pulse with average output power of 167 mW is generated. The pulse width is 15 ns with the peak power of 700 W.

Key words fiber optics; Yb-doped single-mode fiber; fiber laser; fiber amplifier

1 引 言

由于高功率 980 nm 单模光纤激光器可通过频率变换的方式实现 488 nm 蓝绿激光输出, 从而可能成为现有氩离子气体激光器的理想替代产品而倍受关注^[1~3]。除了半导体激光器可以直接实现 980 nm 激光输出外, 在激光二极管(LD)抽运掺镱光纤激光器中也可以实现 980 nm 激光输出, 且同时具有输出功率高、光束质量好和容易实现功率合成的优点。

从镱离子的吸收光谱图中可以知道, 在 980 nm 附近除了具有强发射之外, 同时具有强吸收, 所以 980 nm 激光运转于三能级系统。相比之下, 运转于 1030 nm 附近的四能级系统要强得多^[4~10]。虽然

980 nm 的激光获得与 1030 nm 相比要困难一些, 但是它的输出效率还是很高的^[11], 这就为获得高功率的 980 nm 输出提供了可能。一般为提高倍频效率, 可以使激光器运转于脉冲方式以提高峰值功率; 还可以对 980 nm 激光振荡器进行进一步的主振荡功率放大(MOPA), 以同时获得高功率、高光束质量和窄线宽的激光放大输出。目前国际上已有 980 nm 激光脉冲输出的报道。如 2002 年 R. Selvas 等^[12]报道的平均输出功率为 250 mW 的重复频率 0.2~0.65 MHz 可调的调 Q 980 nm 脉冲输出。国际上有关 980 nm 光纤 MOPA 系统的研究主要有 2006 年 V. Khitrov 等^[13]通过采用 980 nm 的 LD 作为种子源, 进行两级光纤放大后获得平均功率为

收稿日期: 2009-09-17; 收到修改稿日期: 2009-11-05

作者简介: 李平雪(1974—), 女, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事全固态可调谐激光器、光纤激光器及其频率变换技术等方面的研究。E-mail: pxli@bjut.edu.cn

150 mW, 单脉冲能量为 15 μ J 的放大光输出; 2004 年 D. B. S. Soh 等^[14] 报道了 977 nm 的掺镱光纤放大器(YDFA)研究工作, 其采用 976 nm 半导体激光器作为种子源、环形掺杂的微结构光纤作为放大介质, 获得 4.3 W 的 976 nm 连续光输出; 当采用可调谐的 980 nm 掺镱微结构光纤激光器作为种子源、微结构光纤作为放大介质时, 实验上又获得 2.7 W 的 978 nm 连续激光输出^[15]。

本文开展了 980 nm 准连续单模掺镱光纤振荡器及放大器的研究工作。抽运源采用自行研制的调 Q 946 nm Nd:YAG 固体激光器。实验上获得 73 mW 的 980 nm 准连续输出; 当重复频率为 16 kHz 时, 脉宽为 10 ns。在 980 nm 光纤放大器的研究中, 采用同种掺镱的单模光纤作为放大介质, 实验上获得平均功率为 167 mW 的 980 nm 放大输出, 输出脉宽为 15 ns。

2 实验设计及实验结果

2.1 980 nm 准连续单模掺镱光纤激光器种子源

声光调 Q 980 nm 单模掺镱光纤激光器实验装置示意图如图 1 所示, 抽运源为自行研制的 946 nm Nd:YAG 声光调 Q 固体激光器。抽运源输出脉冲激光直接经过透镜耦合进入长度为 23.5 cm 的单模掺镱光纤, 直接耦合效率为 52%, 980 nm 种子激光通过右端的 0° 角端面出射, 当重复频率为 16 kHz 时, 激光输出曲线如图 2 所示。使用功率计测得 980 nm 激光输出最高平均功率为 73 mW, 激光器的斜率效率为 22.5% (计算中抽运光功率为光纤吸收的抽运功率)。在重复频率为 16 kHz 下, 由示波器测得激光脉冲宽度为 10 ns (如图 3 所示)。使用 Spectrapro-500i 光谱仪测量激光波长和线宽, 激光线宽为 4 nm, 光谱范围是 977~981 nm, 输出激光的光谱图如图 4 所示。当单模掺镱光纤长度为 23.5 cm 时, 光谱图中 1030 nm 附近波段完全没有起伏, 即种子光中完全没有 1030 nm 附近波段的光。由于采用的是光纤两端面组成的平平腔结构, 光纤的两端面都会有 980 nm 激光输出, 从抽运端出射的 980 nm 激光入射到 YAG 固体激光器中, 对 YAG 晶体产生热作用 (它的吸收波长为 808 nm, 振荡光波长为 946 nm), 但因功率只有 70 mW 左右 (光纤两输出端功率基本相同), 所以影响非常小。

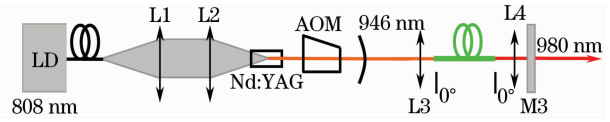


图 1 980 nm 准连续单模掺镱光纤激光器种子源
Fig. 1 980 nm quasi-continuous-wave single-mode Yb-doped fiber laser as a seed source

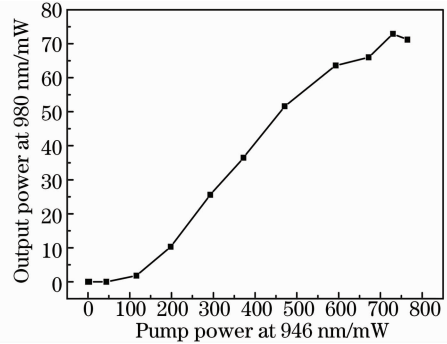


图 2 980 nm 种子源的激光输出曲线图
Fig. 2 Output power of 980 nm Yb-doped fiber laser seed source versus pump power

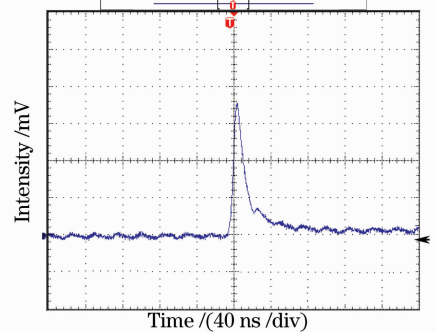


图 3 980 nm 单模掺镱光纤激光器波形图
Fig. 3 Temporal behavior of the 980 nm single-mode Yb-doped fiber laser

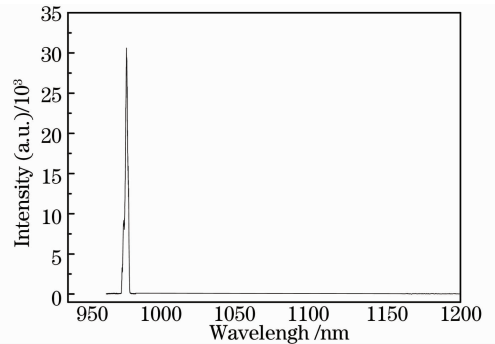


图 4 980 nm 单模掺镱光纤激光器光谱图
Fig. 4 Spectrum of 980 nm single-mode Yb-doped fiber laser

2.2 单模掺镱光纤放大器

掺镱光纤放大器实验装置示意图如图 5 所示。946 nm 抽运光通过全反镜 M1 和二色镜 M2 的折

叠后,再直接通过透镜耦合进入单模光纤,耦合效率大约为 50%。单模光纤两端均被研磨成 8°角,减小光纤端面的反射,从而减小掺镱光纤中的放大自发辐射(ASE)效应。946 nm 激光单次通过掺镱激光

进行抽运,980 nm 脉冲种子光从后向注入掺镱光纤中,耦合效率大约为 70%,放大后的 980 nm 激光直接在二色镜 M2 后输出。

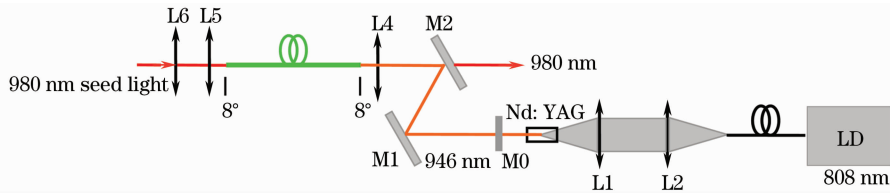


图 5 980 nm 单模掺镱光纤放大系统示意图

Fig. 5 980 nm single-mode Yb-doped fiber amplifier system

实验中使用的单模掺镱光纤长度为 28 cm,与之前实验中使用的光纤种类相同。使用功率计测得 980 nm 脉冲激光最高平均功率为 167 mW,输出曲线图如图 6 所示,放大器的斜率效率为 26%(计算中抽运光功率为光纤吸收的抽运功率)。脉冲激光峰值功率为 700 W,用示波器测得脉冲宽度为 15 ns,波形图如图 7 所示。使用光谱仪测量激光波长,中心波长为 980 nm,在 1030 nm 波段附近没有光输出,所以光纤激光放大器中几乎没有 ASE 效应。

3 结 论

采用调 Q 946 nm Nd:YAG 固体激光器作为激光振荡器和放大器的抽运源,实验上获得平均功率为 73 mW 的 980 nm 准连续单模掺镱光纤激光器,重复频率为 16 kHz,然后将其作为种子源进行进一步的功率放大。放大器的单模光纤长度为 28 cm,980 nm 种子光经过放大后得到了平均功率为 167 mW,峰值功率为 700 W 的脉冲激光,脉冲宽度为 15 ns,放大器的斜率效率为 26%。

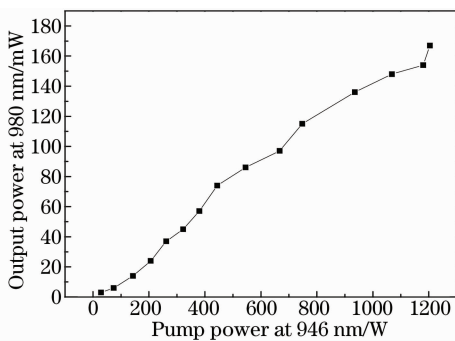


图 6 放大后的 980 nm 脉冲激光平均功率与抽运功率曲线图

Fig. 6 Amplified 980 nm pulse average laser power versus pump power at 946 nm

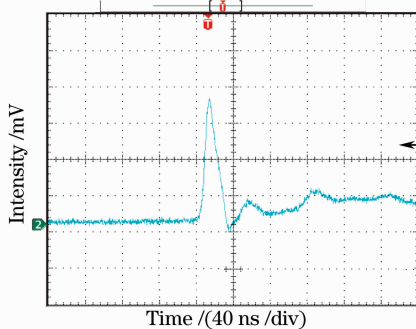


图 7 光纤激光放大器的输出脉冲波形图

Fig. 7 Temporal behavior of fiber amplifier

参 考 文 献

- 1 K. Muro, T. Fujimoto, S. Okada *et al.*. High power 980 nm pump laser diodes with decoupled confinement hetero-structure [C]. *Conference on Optical Amplifiers and Their Applications*, 2001: 145~147
- 2 A. Bouchier, G. Lucas-Leclin, P. Georges *et al.*. Frequency doubling of an efficient continuous wave single-mode Yb-doped fiber laser at 978 nm in a periodically-poled MgO: LiNbO₃ waveguide [J]. *Opt. Express*, 2005, **13**(18): 6974~6979
- 3 V. Prosentsov, E. Sherman, A. Patlakh *et al.*. Efficient Yb-doped air-clad fiber laser operating at 980 nm and its frequency doubling [C]. *SPIE*, 2003, **4974**: 193~201
- 4 Li Kang, Zhao Wei, Wang Yishan *et al.*. High power Yb³⁺ doped doubler clad fiber laser with improved F-P cavity [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2006, **17**(3): 302~305
李康, 赵卫, 王屹山等. 改进的 F-P 腔大功率掺 Yb³⁺ 双层光纤激光器 [J]. *光电子·激光*, 2006, **17**(3): 302~305
- 5 Xue Dong, Qihong Lou, Jun Zhou *et al.*. A 110 W fiber laser with homemade double-clad fiber [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(6): 345~347
- 6 Ling Zhao, Chunlin Zhang, Lina Li *et al.*. Optimization of line cavity design of Yb-doped double clad fiber laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(3): 148~150
- 7 Qiang Zhang, Jianquan Yao, Peng Wang *et al.*. Power distribution in Yb³⁺-doped double-cladding fiber laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(8): 468~470
- 8 Jixin Chen, Zhan Sui, Fushen Chen *et al.*. Output characteristic of Yb³⁺-doped fiber laser at different temperatures [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(3): 173~174
- 9 Zhou Jun, Lou Qihong, Zhu Jianqiang *et al.*. A continuous wave 714 W fiber laser with China made large mode area double clad fiber [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(7): 1119~1120

周 军, 楼祺洪, 朱健强 等. 采用国产大模场面积双包层光纤的 714 W 连续光纤激光器 [J]. 光学学报, 2006, **26**(7): 1119~1120

10 Li Pingxue, Zhu Chen, Zou Shuzhen *et al.*. Theoretical and experimental investigation of thermal effects in a high power Yb³⁺-doped double-clad fiber laser [J]. *Opt. Laser Technol.*, 2008, **40**(2): 360~364

11 F. Röser, C. Jauregui, J. Limpert *et al.*. 94 W 980 nm high brightness Yb-doped fiber laser [J]. *Opt. Express*, 2008, **16**(22): 17310~17318

12 R. Selvas, J. K. Sahu, J. Nilsson *et al.*. Q-switch 980 nm Yb-doped fiber laser [C]. *CLEO, Technical Digest*, 2002: 565~566

13 V. Khitrov, D. Machewirth, B. Samson *et al.*. 1 kW, 15 μ J linearly polarized fiber laser operating at 977 nm [C]. *SPIE*, 2006, **6102**: 610222

14 D. B. S. Soh, C. Codemard, J. K. Sahu *et al.*. in *Advanced Solid State Photonics on CD-ROM* [C]. Optical Society of America, Washington, DC, 2004; MA3

15 D. B. S. Soh, C. Codemard, J. K. Sahu *et al.*. An 18 mW, 488.7 nm cw frequency doubled fiber MOPA source [C]. *SPIE*, 2004, **5335**: 51~55



Chinese Optics Letters

首个影响因子位列亚洲入选 SCI 光学类期刊第 2 名

根据美国科学信息研究所 (ISI) 2010 年 6 月 18 日公布的期刊引证报告 (JCR), Chinese Optics Letters (COL) 2009 年的 SCI 影响因子为 0.804。

COL 创刊于 2003 年, 2007 年开始即被 SCI 收录。根据 ISI 影响因子的计算方法, JCR 从 2009 年开始首次公布 COL 的影响因子等有关数据。在全球入选 SCI 的 70 种光学类期刊中排名第 39 位 (总被引频次排名第 36 位), 在亚洲 (包括中国、韩国、新加坡、日本等) 入选 SCI 的光学类期刊中排名第 2 (总被引频次排名第 1), 在中国入选 SCI 的 114 种期刊中排名前 40%。

COL 是由中国光学学会和中国科学院上海光学精密机械研究所联合主办, 上海交通大学协办, 美国光学学会 (OSA) 全球发行的国际性英文版学术期刊。COL 创刊时即坚持走国际化办刊路线, 其宗旨是快速、全方位地报道国际光学研究领域的最新理论、实验和技术创新成果。在创刊不久, 即被国际知名检索机构 EI, CA, CSA 收录, 2006 年被 OSA 主办的 OpticsInfoBase 收录 (2009 年 COL 论文在 OpticsInfoBase 的年下载量为 24,137 次, 比 2007 年增长了 3 倍多), 2007~2008 年又相继被 SCI-E 和 MSB-S 收录。

COL 的创刊和现任主编为徐至展院士, 并拥有由 40 多名在光学各个领域有突出成就的专家组成的编委会 (其中国外编委比例超过 20%), 还拥有一支工作在光学科研一线的出色的审稿专家队伍 (其中国外审稿专家比例超过 35%)。在他们的支持和帮助以及编辑部人员的共同努力下, COL 不断成长, 现已发展为国内外光学研究的一个重要的成果传播平台。