

文章编号: 1001-3806(2007)06-0610-03

1053nm 超短脉冲光纤激光的产生

杨玲珍¹, 王云才¹, 陈国夫², 王屹山², 赵 卫²

(1. 太原理工大学 理学院 物理系, 太原 030024; 2 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

摘要: 为了研究环形腔掺 Yb^{3+} 光纤激光器的输出特性, 采用两个波长为 976nm 的半导体激光器作为超短脉冲激光器的抽运源, 利用非线性偏振旋转锁模技术, 实现了激光器的自起振锁模运转。实验中通过调节掺杂光纤的长度和偏振控制器波片的位置实现了锁模脉冲的波长调谐, 在掺杂光纤长度为 1.6m 时, 获得了波长为 1053nm、最大输出功率为 9.5mW、光谱宽度为 6nm、重复频率为 23.7MHz 的超短脉冲输出。实验结果与分析表明, 采用调节光纤的长度和偏振控制器可实现超短脉冲光纤激光器的波长调谐。

关键词: 超快光学; 光纤激光器; 被动锁模; 非线性偏振旋转

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Generation of ultrashort pulse at 1053nm from fiber laser

YANG Ling-zhen¹, WANG Yun-cai¹, CHEN Guo-fu², WANG Yi-shan², ZHAO wei²

(1. Department of Physics, College of Sciences, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China)

Abstract: The experimental study of ultrashort pulse Yb^{3+} -doped fiber ring laser was reported. The Yb^{3+} -doped fiber laser was pumped by two 976nm semiconductor lasers. Self-starting mode-locking of the fiber laser was demonstrated by employing the polarization additive pulse mode-locking. Wavelength tuning of the short pulse was carried out by changing the length of the Yb^{3+} -doped fiber and the position of the polarization controllers. When the Yb^{3+} -doped fiber length was 1.6m, the laser oscillate at 1053nm with 9.5mW maximum output power and 23.7MHz repetition frequency, corresponding to ~6nm spectrum width. The result shows: the wavelength-tunable fiber laser of ultrashort pulse is achieved by changing the length of the Yb^{3+} -doped fiber and the position of the polarization controller.

Key words: ultrafast optics; fiber laser; passive mode locking; nonlinear polarization rotation

引 言

稳定的超短光脉冲源在超快光学技术、超快电子技术、超快生物技术、超快光谱学技术等领域有着重要的作用。基于非线性偏振旋转效应的被动锁模光纤激光器具有结构简单、可自起振、抽运阈值低、工作稳定、输出脉宽窄等特点, 从而成为超短脉冲激光器实用化的首选^[1,2]。由于掺 Yb^{3+} 光纤有很宽的吸收谱(800nm~1064nm)、大的饱和因子以及容易产生超短脉冲, 其增益带宽可支持小于 30fs 的变换极限脉冲^[3], 成为超短脉冲产生和放大的激光增益介质, 因而掺 Yb^{3+} 光纤激光器的研究越来越引起国内外研究者的关注^[4~7]。惯性约束核聚变(inertia confinement

fusion, IC)激光驱动前端系统中需要使用 1053nm 波长的短脉冲, 经过后续多级能量放大及三倍频靶丸加热实现聚变反应, 使得掺 Yb^{3+} 光纤激光器可作为 IC 激光驱动器前端系统中主振荡器的重要选项。作者报道了利用 976nm 半导体激光器抽运的掺 Yb^{3+} 光纤环形腔产生稳定锁模脉冲输出的实验研究。在腔体净群色散为正的条件下, 采用非线性偏振旋转的附加脉冲锁模技术, 实现了皮秒脉冲激光的锁模输出。这种锁模的脉冲可直接进行脉冲的放大, 从而有效地避免超短脉冲放大过程中的非线性效应的影响, 通过外腔压缩, 可实现飞秒脉冲的输出。由于 IC 前端种子源的需要, 实验采用调节掺 Yb^{3+} 光纤的长度和偏振控制器来实现 1053nm 超短光脉冲的输出。

1 实验装置及原理

实验装置如图 1 所示, 超短脉冲光纤激光器由掺 Yb^{3+} 光纤、偏振相关光隔离器(polarization dependent isolator, PDI)、两个光纤偏振控制器(polarization con-

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60577019)

作者简介: 杨玲珍(1973-), 女, 副教授, 主要从事光纤激光器、放大器以及非线性光纤光学方面的研究。

E-mail: office_science@tyut.edu.cn

收稿日期: 2006-09-29; 收到修改稿日期: 2006-11-27

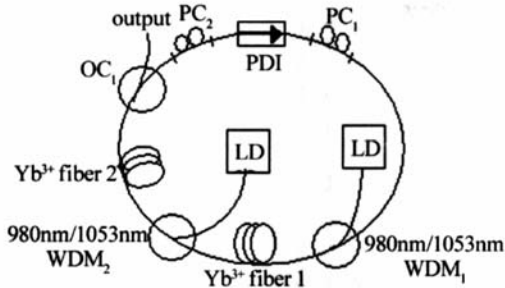


Fig 1 The experimental setup of Yb³⁺-doped Fiber laser

控器, PC)、输出光纤耦合器等组成。实验中采用双抽运源结构来提高腔内的激光功率,增强非线性效应。光纤偏振控制器是利用弹光效应改变光纤中的双折射来控制光纤中光波的偏振态;光纤耦合器的分束比为 10/90。光纤激光器掺 Yb³⁺ 光纤的参数为:光纤纤芯直径 4.2 μ m,数值孔径 0.16,吸收系数:208dB/m @ 976nm;利用熔接机将各元件连起来,激光器输出的时域特性利用示波器结合探测器来观测,光谱特性由 Ocean Optics 公司光纤光谱仪进行观测,锁模脉冲的脉宽由自相关仪 (APE-Pulse Check TC) 测量。

光纤激光器被动锁模的原理是利用非线性偏振旋转的自振幅调制作用。时域上,脉冲在腔内传输过程中其椭圆偏振态的旋转与强度相关,当选用合适的初始偏振态使光脉冲环形一周后峰值部分的损耗最小前后沿损耗较大,经过多次循环后形成稳定的超短光脉冲。而从频域上看,在脉冲形成初始阶段,达到阈值的激光波长涨落脉冲,经过利用非线性偏振旋转形成的类可饱和吸收体时,在噪声选择作用下只剩下高增益的中心波长及其边频,随后再经过类可饱和吸收体的作用和工作物质的放大,边频信号又激发新的边频,如此继续下去,增益线宽内所有的模式都参与振荡,光谱得到展宽。

2 实验结果及讨论

光纤激光器可以工作在两个稳定状态:连续输出状态和锁模输出状态。当抽运半导体激光器的功率达到阈值后,调节两个偏振控制器波片到合适位置时,激光器可以自起振,并稳定工作在锁模状态。图 2 为抽

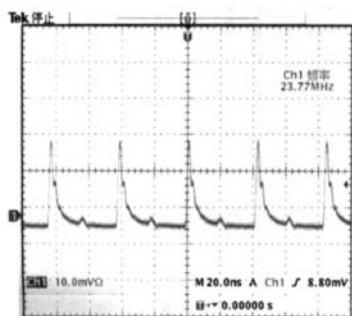


Fig 2 The experimental setup of Yb³⁺-doped Fiber laser

运功率为 360mW 时得到的稳定的锁模脉冲列,其重复频率为 23.77MHz。考验 1h 以上,激光器一直能稳定工作在锁模状态且实验平台的轻微震动不影响激光器的输出。

由掺 Yb³⁺ 石英玻璃中 Yb³⁺ 离子的光谱图可知, Yb³⁺ 离子在很宽的范围内有连续的荧光发射,1053nm 位于发射谱中,但由于其发射截面相对较小,不易实现激光输出。在连续掺 Yb³⁺ 光纤激光器中已有实验观察到激光器运转波长与光纤长度有关,用解析的方法推出了激光运转波长与掺杂浓度、光纤长度的对应关系^[8]。实验以掺 Yb³⁺ 光纤作为光纤振荡器环形腔中的增益介质,采用调节光纤的长度和偏振控制器来实现波长的调谐功能,当两段掺 Yb³⁺ 光纤长度均为 80cm 时,通过调节偏振控制器得到锁模光脉冲波长为 1053nm,光谱带宽为 6nm。图 3 为锁模脉冲的光谱图

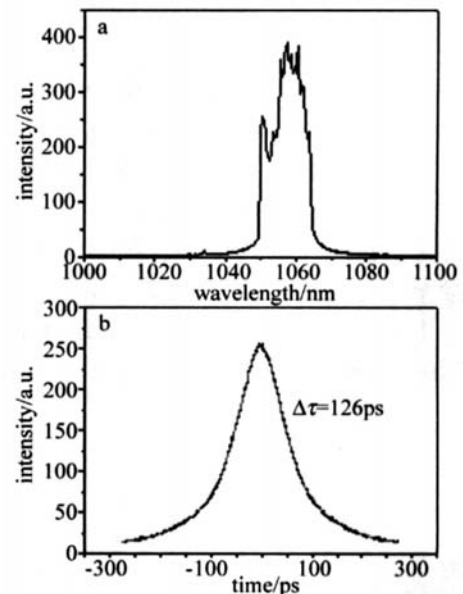


Fig 3 a—output spectra b—autocorrelation of mode locked pulse

及相应的自相关图。考虑到输出脉冲为高斯形,其脉冲宽度即为 126ps。脉冲啁啾较大这是由于腔内色散值较大引起。由于在正群速色散区,腔的色散值越小,脉冲宽度越小,啁啾越小^[9]。故可以通过减小腔内色散来提高脉冲性能。从图 3a 的光谱图中可以看出,激光器的光谱在中心波长两边对称位置呈现几个尖峰结构,这主要是由于在正色散区非线性自相位调制和群速度色散导致的频率啁啾引起光谱发生分裂。

实验还研究了锁模激光器输出与抽运功率的关系。如图 4 所示,当抽运功率达 450mW 时,锁模激光器输出功率为 9.5mW,且仍未出现饱和的趋势,若进一步增加抽运功率,可以获得更大的输出功率。在实验过程中随着抽运功率的增加,激光器从连续状态工作在锁模状态后,功率、光谱、脉冲相对比较稳定,在抽

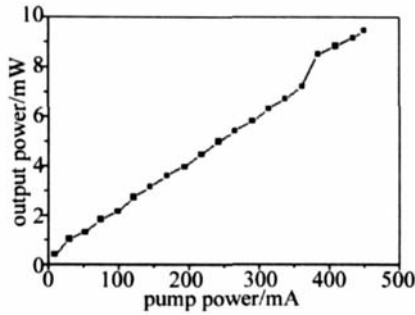


Fig 4 Relationship of output power vs pump power of locked mode laser

运功率为 385mW 时,实验观测到脉冲的稳定性发生变化,锁模状态的脉冲顶部发虚。抽运功率附近输出功率曲线的斜率变化,主要是由于随着抽运功率的增加,非线性偏转旋转这种类饱和吸收体的吸收特性发生了变化引起的。

3 结论

基于非线性偏振旋转锁模技术,采用掺镜光纤与偏振相关光隔离器,光纤偏振控制器等构成锁模光纤激光器,实现稳定的,自起振被动锁模运转,通过调节偏振控制器实现了锁模脉冲的波长调谐,获得了波长 1053nm、重复频率 23.7MHz 脉冲宽度为 126ps 的超短光脉冲。实验产生的超短脉冲已用于在中国工程物理研究院激光聚变研究中心进行了 4 路超短脉冲的堆积实验。由于在 1 μ m 附近石英光纤呈现很强的正色散,故所得脉冲啁啾较大。若通过色散补偿,将可获得

脉冲特性更好的超短脉冲。实验还研究了激光器输出功率与抽运功率的关系。当抽运功率为 450mW 时,激光器的输出功率可达 9.5mW,且未达饱和状态,通过提高抽运功率,激光器的输出功率可以进一步提高。

参考文献

- [1] MATSAS V J, NEWSON T P, RICHARDSON D J *et al* Self-starting passively mode-locked fibre ring soliton laser exploiting nonlinear polarization rotation [J]. *Electron Lett*, 1992, 28 (15): 1391~1393.
- [2] LI Sh P, CHEN X, KUKSENKOV D V *et al* Wavelength tunable stretched-pulse mode-locked all-fiber erbium ring laser with single polarization fiber [J]. *Optics Express*, 2006, 14 (13): 6098~6102.
- [3] LEFORT L, PRICE J H V, RICHARDSON D J *et al* Practical low-noise stretched-pulse Yb³⁺-doped fiber laser [J]. *Opt Lett*, 2002, 27 (5): 291~293.
- [4] NIELSEN C K, JESPERSEN K G, KEDNG S R. A 158fs 5.3nJ fiber-laser system at 1 μ m using photonic bandgap fibers for dispersion control and pulse compression [J]. *Optics Express*, 2006, 14 (13): 6063~6068.
- [5] LM H, LDAY F O, WISE F W. Generation of 2-nJ pulsed from a femtosecond ytterbium fiber laser [J]. *Opt Lett*, 2003, 28 (8): 660~662.
- [6] PASK H M, CARMAN R J, HANNA D C *et al* Ytterbium-doped silica fiber lasers: versatile sources for the 1.2 μ m region [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 1995, 1 (1): 2~3.
- [7] MA H Q, ZHAO W, ZHANG W *et al* Wavelength-tunable passively mode-locked fiber lasers [J]. *Laser Technology*, 2006, 30 (6): 289~291 (in Chinese).
- [8] CHEN B, CHEN L R, LN Z Q *et al* Selecting lasing wavelength by varying fiber length [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 1999, 26 (12): 1061~1065 (in Chinese).
- [9] NELSON L E, JONES D J, HAUS H A *et al* Ultrashort-pulse fiber ring lasers [J]. *Appl Phys*, 1997, B65 (2): 277~294.

(上接第 609 页)

参考文献

- [1] ORTAC B, HDEUR A, CHARTIER T. Influence of cavity losses on stimulated Brillouin scattering in a self-pulsing side-pumped ytterbium-doped double-clad fiber laser [J]. *Optics Commun*, 2003, 215 (6): 389~395.
- [2] HIEUR A, CHARTIER T, SANCHEZ F. Yb-doped double-clad fiber laser in a unidirectional ring cavity [J]. *SPIE*, 1998, 4216: 15~21.
- [3] SHEN H, DING G L, WANG Y Sh *et al* Simulation and experimental study of double-cladding Er-doped fiber lasers [J]. *Laser Technology*, 2006, 31 (1): 70~72 (in Chinese).
- [4] OFFERHAUS H L, BRODERICK N G, RICHARDSON D J. High-energy single-transverse-mode Q-switched fiber laser based on a multimode large-mode-area erbium-doped fiber [J]. *Opt Lett*, 1998, 23 (21): 1683~1685.
- [5] GRIEBNER U, KOCH R, SCHÖNNAGEL H *et al* Efficient laser operation with nearly diffraction-limited output from a diode-pumped heavily Nd-doped multimode fiber [J]. *Opt Lett*, 1996, 21 (4): 266~268.
- [6] SHIL, ZHAO Sh H, ZHOU W Y *et al* Double-pass forward pumping broadband Er³⁺/Yb³⁺ co-doped superfluorescent fiber source [J]. *Laser Technology*, 2006, 30 (2): 148~151 (in Chinese).
- [7] WEAKLY D G. Guiding fibers [J]. *Appl Opt*, 1971, 10 (10): 2252~2257.
- [8] MARCUSE D. Curvature loss formula for optical fibers [J]. *J O S A*, 1976, 66 (3): 216~220.
- [9] MARCUSE D. Field deformation and loss caused by curvature of optical fibers [J]. *J O S A*, 1976, 66 (4): 311~320.
- [10] HE G Y, JIANG J X, LIU P. Theory of losses in bending of multimode fibers [J]. *Journal of Harbin University of Science and Technology*, 1997, 2 (5): 91~96 (in Chinese).
- [11] LIU Y X, YANG X Y, CHEN X Q *et al* Analysis of multimode fiber bending loss [J]. *Journal of Zhongshan University*, 2002, 41 (5): 25~27 (in Chinese).
- [12] LIU J, FERD NAND P. Theoretical analysis of multimode fiber microbend attenuation and its application [J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 1994, 17 (1): 56~60 (in Chinese).
- [13] DUES A L, SUNAK R D. Design consideration for minimization macrobending loss in erbium-doped fiber amplifiers [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1991, 3 (1): 50~52.
- [14] JONMAA S. Beam propagation analysis of loss in bent optical waveguides and fibers [J]. *J O S A*, 1983, 73 (12): 1785~1791.