

文章编号: 0258-7025(2002)10-0865-03

自锁模掺镜光纤激光器研究

梁建中, 胡谊梅, 孙迭箴

(复旦大学光科学与工程系, 上海 200433)

尹红兵, 伍叔坚, 刘有信

(武汉邮电科学院, 湖北武汉 430074)

提要 用反射率为 15 dB 掺镜光纤光栅作为反射器的掺镜光纤激光器, 产生了稳定的纳秒级脉冲序列, 脉冲宽度小于 5 ns。激光器的阈值功率为 18 mW, 在锁模工作区域内最大输出平均功率为 3 mW, 脉冲重复频率为 25 MHz, 能量转换效率为 5%。研究了产生自锁模的原因和特性。

关键词 掺镜光纤激光器, 自锁模, 脉冲序列, 光纤光栅

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

Study on the Self Mode-locking Yb-doped Fiber Laser

LIANG Jian-zhong, HU Yi-mei, SUN Die-chi

(Department of Optical Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433)

YIN Hong-bing, WU Shu-jian, LIU You-xing

(Wuhan Institute of Post and Telecommunications, Wuhan, Hubei 430074)

Abstract A stable ns pulse has been generated from a self mode-locking Yb-doped fiber laser using Yb-doped fiber Bragg grating with 15 dB reflectivity as a reflector, and the pulse width is less than 5 ns. The average output power about 3 mW and repetition rate of 25 MHz are obtained under stable mode-locking condition. The laser threshold is 18 mW and energy convert efficiency is 5%. The cause and characteristics of the self mode-locking fiber laser have been also investigated.

Key words ytterbium-doped fiber laser, self mode lock, pulses, fiber Bragg grating

1 引 言

自从 80 年代后期掺稀土光纤用于激光器和放大器以来, 这类光纤激光器得到了广泛的研究和迅速的发展^[1], 尤其是被动锁模光纤激光器, 由于其价格低廉, 结构紧凑而在亚皮秒级、皮秒级乃至飞秒级光源方面有着广泛的应用。比如作为高功率激光系统种子源, 在远距离、大容量、超高速通信系统或局域网中作为高重复频率信号源等等^[2]。

光纤激光器的被动锁模得到了广泛的研究。一类是附加脉冲锁模机制。在激光谐振腔内加入非线性光纤环形镜(NOLM)^[3]或非线性放大光纤环形镜(NALM)^[4]利用光纤的克尔非线性效应形成快速开关使激光器处于锁模运转状态。或只通过偏振控制, 利用非线性偏转旋转效应也能产生自脉冲行

为^[5]。如果将这两种方法结合起来, 如八字型结构, 通过精确的偏转控制实现脉冲的自启动, 再通过非线性放大光纤环形镜产生锁模脉冲, 但这种结构的输出脉冲重复间隔并不稳定^[6]。另一类是采用半导体饱和吸收体的方法^[7]。现在常用多量子阱材料(MQW)作为饱和吸收体实现激光器的被动锁模^[2]。这种方法形成的脉冲宽度为皮秒级和飞秒级的光脉冲。它比较容易实现激光脉冲的自启动而且脉冲序列的重复频率比较稳定。最近, 被动锁模技术又有了一些新的进展, 如光纤中的后向布里渊散射反馈引起的自脉冲行为, 即所谓自调 Q, 但这些脉冲既不规则也不稳定^[8,9]。

我们研究了采用掺镜光纤光栅作为反射器的掺镜光纤激光器, 产生了稳定的纳秒级脉冲序列, 激光器的阈值功率为 18 mW, 在锁模工作区域内最大输

收稿日期 2001-07-03; 收到修改稿日期 2001-10-15

基金项目 国家自然科学基金(编号 60077005)和上海市光科技专项(编号 012261031)资助项目。

作者简介 梁建中(1977—), 男, 上海市复旦大学光科学与工程系, 硕士(在读)。E-mail: liangjianzhong@hotmail.com

出平均功率为 3 mW 脉冲重复频率为 25 MHz,能量转换效率为 5%。温度对激光脉冲宽度、重复率及输出功率稳定性没有影响。产生自锁模的主要机制是掺镜光纤光栅对激光的饱和吸收及光纤中的自相位调制作用。实验中,采用改变增益介质长度和抽运功率等方法对被动锁模的工作区域及其特性进行了研究。

2 实 验

掺镜光纤激光器的实验装置如图 1 所示。它包括一个激光二极管抽运源(LD)和一个激光腔。作为抽运源的带尾纤的 LD 最大输出功率为 100 mW,波长为 975 nm,选择 975 nm 的抽运源是因为掺镜光纤对 975 nm 波长的激光有最大的吸收系数。激光腔包括掺镜光纤和直接制备在光纤末端的反射率为 97% 的宽带反射镜,以及熔接在光纤另一端的光纤光栅。其中,LD 抽运源和反射镜通过一个波分复用器连接在掺镜光纤上。掺镜光纤作为放大介质,长度为 4 m,芯径 6 μm,960 nm 的吸收系数为 17dB/m。实验中采用了刻制在掺镜光纤和普通石英光纤上的两种光纤光栅。常温下光纤光栅的反射峰为 1052.7 nm 反射半宽约为 0.2 nm,反射率为 15 dB。实验中,采用快速响应的 PIN 光电二极管及数字示波器对脉冲进行测量。此外,用光谱分析仪观察在激光腔两端的输出情况。

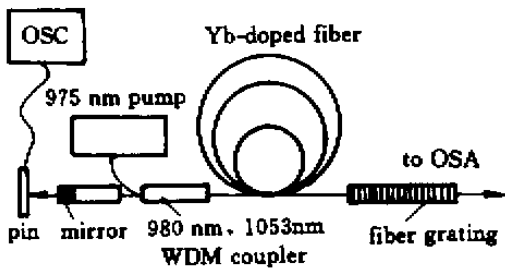


图 1 掺镜光纤激光器的实验装置

Fig.1 Schematic diagram of Yb doped fiber laser

在采用掺镜光纤光栅作为反射腔镜的实验中,当达到阈值以后,激光腔开始振荡并产生激光。在宽带反射镜后端用光谱仪观察到峰值位于 1052.8 nm 的稳定激光(如图 2 所示),谱宽小于 0.05 nm,是光谱分析仪的分辨极限。在使用掺镜光纤光栅作为反射器的同时,在激光器的输出端对输出脉冲进行测量,观察到了稳定的纳秒级脉冲序列。图 3 是用可存储图像的示波器记录下的单个脉冲,由于 PIN

光电二极管和示波器的响应速度所限,观测到的脉冲比实际的脉冲宽得多,约为 5 ns,不考虑变换极限因素,按 $\Delta\nu\Delta t = 1$ 估算脉冲宽度为几百皮秒。图 4 是示波器记录下的稳定的脉冲序列,从图中可以看出,脉冲的重复频率为 25 MHz。

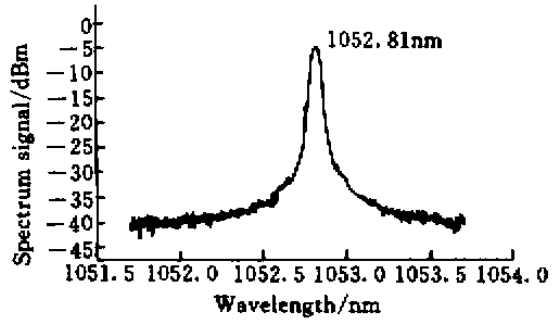


图 2 输出的稳定光谱

Fig.2 Output spectrum of the stable laser

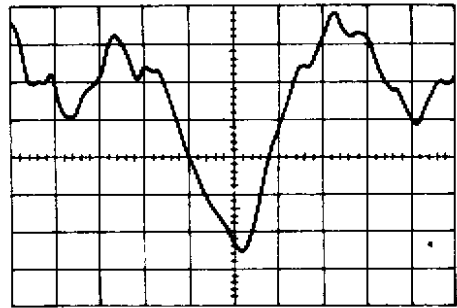


图 3 纳秒级的单个脉冲

Fig.3 Oscilloscope diagram of the output pulse at 5 ns/div

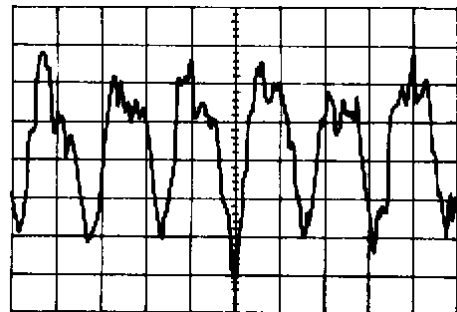


图 4 重复频率为 25 MHz 的脉冲

Fig.4 Oscilloscope diagram of the output pulse at 25 ns/div

The repetition rate is 25 MHz for 4 m cavity length

3 讨 论

从输出激光的光谱(如图 2 所示)可以看到,输出光谱具有稳定的光谱特性,这是因为光纤光栅的反射带宽约为 0.2 nm,约束了激光的振荡,所以得到了谱宽小于 0.05 nm 的稳定线宽的激光输出。相

对其他类型的被动锁模光纤激光器来说,无论是采用半导体饱和吸收体还是采用非线性放大光纤环形镜,输出激光的光谱均具有一定的涨落和不确定性。而采用光纤光栅作为反射腔镜的光纤激光器则因为光纤光栅的约束作用,输出的是稳定的锁模激光,能够得到稳定的重复频率脉冲序列。

我们认为,产生脉冲的主要机制是由于掺镜光纤光栅中的镜离子没有被完全抽运,而振荡激光处于镜离子的吸收尾带,当激光达到一定功率时,产生吸收饱和。用两种方法进行了检验。首先,在抽运功率为 50 mW,腔长为 3 m 时,用掺镜光纤光栅作为反射器的光纤激光器得到了稳定的脉冲输出。而当用在普通光纤上刻制的光纤光栅取代掺镜光纤光栅作为反射器且其他条件不变时,在 50 mW 抽运时输出的不是脉冲信号而是连续光。这说明在 50 mW 抽运时掺镜光纤光栅作为饱和吸收体使激光器产生锁模脉冲输出,当用在普通光纤上刻制的光纤光栅取代它以后,由于掺镜光纤变短而得到完全抽运,所以这时没有了饱和吸收体,激光不再工作在锁模区。然后,我们仍然用在普通光纤上刻制的光纤光栅作为反射器,但增加了掺镜光纤的长度,把腔长增加到 4 m,在 50 mW 抽运条件下,得到了稳定的脉冲输出。正是增加的 1 m 掺镜光纤在 50 mW 抽运时没有被完全抽运而成为了饱和吸收体,产生了脉冲输出。

其次是采用改变掺镜光纤长度的方法。实验中,发现光纤激光器的自锁模现象有一定的工作区域,即当抽运功率增加时,只在一段工作区域里能产生稳定的脉冲输出,而当抽运功率超过某个值时,输出光信号则为连续信号而非脉冲信号了。采用长为 4 m 的掺镜光纤作为增益介质时,锁模脉冲的工作区域范围是从谐振激光的阈值功率一直到抽运功率 50 mW,而当掺镜光纤的长度减为 2 m 时,锁模脉冲的工作区域则变为从谐振激光的阈值功率一直到 25 mW,降低了很多。这说明,当掺镜光纤变短后,工作区域的饱和吸收最大值也变低了。作为饱和吸收体的物质,无论是染料、半导体材料还是掺稀土光纤,在达到稳定的锁模运转时都有一定的工作区域,当腔内激光功率超过这个工作区时,锁模状态就会

不稳定。尤其是掺镜光纤,抽运功率过高时,掺镜光纤被充分抽运而不再具有饱和吸收体的性质,于是变为增益介质,因而激光变为连续运转。在没有完全抽运时,则具有可饱和吸收体的性质,产生自锁模。而采用光纤光栅作为反射器,限定了激光的带宽,一方面能使自锁模稳定,但又限制了脉宽的进一步变窄。

上述实验说明,这种光纤激光器产生自锁模的原因是:在掺镜光纤的一段光纤上,因为没有被完全抽运而成为谐振激光的饱和吸收体,而当抽运功率足够高时,掺镜光纤被完全抽运而不再产生自锁模现象。

致谢 作者感谢中国科学院上海光学精密机械研究所方祖捷、陈柏老师提供光纤光栅和上海大学汪道刚、陈华老师提供波分复用耦合器。

参 考 文 献

- 1 H. M. Pask, R. J. Carman, D. C. Hanna *et al.*. Ytterbium-doped silica fiber lasers: versatile sources for the 1 ~ 1.2 μm region [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quantum*, 1995, **1**(1): 2 ~ 13
- 2 J. W. Haus, M. Hayduk, W. Kaechele *et al.* A mode-locked fiber laser with a chirped grating mirror [J]. *Opt. Comm.*, 2000, **174**(1 ~ 4): 205 ~ 214
- 3 N. J. Doran, David Wood. Nonlinear-optical loop mirror [J]. *Opt. Lett.*, 1998, **13**(1): 56 ~ 58
- 4 M. E. Fermann, F. Haberl, M. Hofer *et al.*. Nonlinear amplifying loop mirror [J]. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(13): 752 ~ 754
- 5 K. Tamura, H. A. Haus, E. P. Ippen. Self-starting additive pulse mode-locked erbium fibre ring laser [J]. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(24): 2226 ~ 2228
- 6 H. Lin, D. K. Donald, W. V. Sorin. Optimizing polarization states in a figure-8 laser using a nonreciprocal phase-shifter [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1994, **12**(7): 1121 ~ 1128
- 7 B. C. Barnett, L. Rahman, M. N. Islam *et al.*. High-power erbium-doped fiber laser mode-locked by a semiconductor saturable absorber [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(5): 471 ~ 473
- 8 S. V. Chernikov, Y. Zhu, J. R. Taylor. Supercontinuum self-Q-switched ytterbium fiber laser [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(5): 298 ~ 300
- 9 A. Hideur, T. Chartier, C. Ozkul *et al.*. Dynamics and stabilization of a high power side-pumped Yb-doped double-clad fiber laser [J]. *Opt. Comm.*, 2000, **186**(4 ~ 6): 311 ~ 317