

掺铒光纤激光器的自持脉冲*

孙军强 黄德修 李再光¹⁾

(华中理工大学光电子工程系,¹⁾激光技术国家实验室, 武汉 430074)

(1995年2月24日收到)

提出一种结构新颖且简单的环形掺铒光纤激光器, 在较低的抽运参数条件下观察到了自持脉冲. 就抽运参数、光纤环中单模光纤长度对输出激光脉冲特性的影响等进行了实验研究. 结果表明, 通过合适地调节激光器的有关参数可以实现对输出激光脉冲特性的控制.

PACC: 4255W; 4260M; 4250L

1 引 言

近几年来, 由于掺铒光纤能作为激光增益介质, 而引起了人们极大的兴趣^[1,2]. 特别是掺铒光纤激光器的激光波长为 $1.55\ \mu\text{m}$, 即同光纤通信系统中的第三传输窗口相兼容, 因而在光纤通信等系统中获得了重要应用^[3-5]. 除了能以连续状态工作外^[6], 据报道, 掺铒光纤激光器既能以调 Q 的方式工作^[7], 又能以锁模的方式工作^[8]. 无外加调制情况下激光器的自调 Q 和自锁模状态, 事实上就是由激光器的自脉冲振荡引起的, 只不过是条件控制不同而已.

目前, 激光器中的自持脉冲已引起了众多学者浓厚的兴趣^[9,10]. 众所周知, 在激光器中要获得自持脉冲, 不但要有饱和吸收体^[11], 而且产生自持脉冲的抽运阈值也相当高. 在无饱和吸收体的激光器中, 激光介质本身产生一系列自持脉冲, 这只能解释为激光振荡过程中的内禀不稳定性^[12]. 在掺杂光纤作为增益介质的激光器中, 由于光纤纤芯面积较小, 可使产生自持脉冲的抽运阈值大幅度降低, 这为激光器非稳定性研究开辟了新领域. Sanchez^[13]根据在掺铒光纤中形成离子对的模型解释了掺铒光纤激光器的非线性动力学. 而 Lacot^[14]用激光器的耦合波理论模型解释了掺铒光纤激光器中的自持脉冲现象.

本文应用一种结构新颖的环形掺铒光纤激光器, 在较低的抽运参数下, 观察到了激光器的自持脉冲, 并就抽运参数、激光器腔长对自持脉冲形成的影响等进行了实验研究.

2 环形掺铒光纤激光器的结构描述

环形掺铒光纤激光器的结构如图 1 所示. 掺铒光纤由波长为 $1.47\ \mu\text{m}$ 的半导体激光器 (LD_1) 抽运, 抽运光由 $1.47\ \mu\text{m}/1.53\ \mu\text{m}$ 波分复用 WDM 耦合器进行耦合. 激光由耦合

* 国家自然科学基金资助的课题.

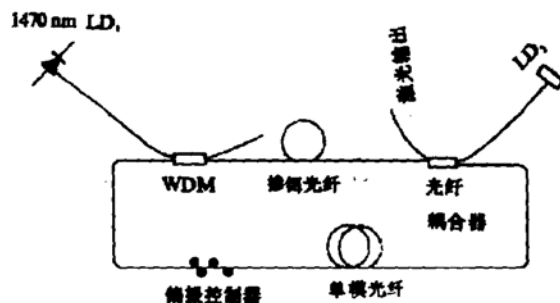


图1 环形掺铒光纤激光器结构示意图

系数为 0.8 的光纤耦合器输出,用单色仪、光功率计及 7904 示波器进行监视.在环形光纤激光器谐振腔中引入偏振控制器,目的是通过光纤中的双折射效应来改变光纤环中传输的激光场的偏振态.光纤耦合器的一端同作为非线性反射镜的特殊半导体材料(LD₂)相耦合.LD₂波导的一解理面对 1.53 μm 波长镀增反膜.合理地监控半导体材料的组份和结构,使 LD₂波导在 1.53 μm 处是透明的.LD₂波导属于矩形波导,因此,它对来自圆形波导光纤中的激光场具有显著的偏振灵敏性.经 LD₂反馈后,导致耦合进入光纤环的两正交偏振态强度具有较大的差异.半导体材料的非线性折射率系数 n_2 一般较大($10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$),而且,可通过改变加在 LD₂ 上的偏置电流来调节其矩形波导的非线性折射率系数 n_2 .该结构的新颖性在于:1)调节 LD₂波导 n_2 的数值,用于调节环形腔内正交偏振激光场的耦合强弱;2)在光纤环中不采用光纤隔离器,在保证环形光纤激光器中两相对传输激光场存在外,降低了激光器的腔内损耗,因此也降低了激光振荡的阈值,从而使抽运功率降低.

3 掺铒光纤激光器的实验研究

实验所用的掺铒光纤长度为 13 m,数值孔径为 0.18,芯径为 2.5 μm.抽运用 LD₁ 的辐射波长为 1.47 μm,最大允许输出功率为 50 mW.所用的 WDM 对抽运光(波长为 1.47 μm)的耦合率大于 90%,对掺铒光纤激光(波长为 1.53 μm)的耦合率大于 85%.用在单模光纤端面拉锥并通过弧光放电烧成半椭圆的方法,实现抽运用 LD₁ 与单模光纤之间的耦合.由于 LD₁ 偏置电流的增大会导致 LD₁ 输出激光模场发生变化,因此,为了使光纤耦合头与 LD₁ 之间的耦合效率可达 50% 左右,使得光纤耦合头与 LD₁ 之间的距离实现实时可调,开始时,光纤环中所用的单模光纤长度为 2 m.图 2 是掺铒光纤激光器连续工作时的输出特性.激光振荡的阈值抽运功率为 10 mW,辐射的中心波长为 1.533 μm,属多模结构.当抽运功率处在 10—15 mW 之间,激光器的连续工作是稳定的,并且,随着抽运功率的增加,其输出功率呈线性增加趋势.当抽运功率达到 15 mW 时,激光器连续工作状态变得不稳定,且激光器的输出光强呈现自持脉冲行为,称这时激光器达到 Hopf 分叉点.如图 3 所示,在 LD₂ 无偏置,但同光纤良好耦合情况下,抽运功率为 16 mW 时,通过改变光纤

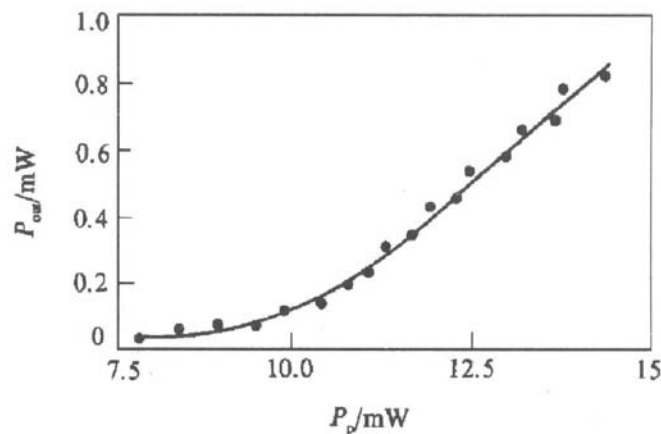
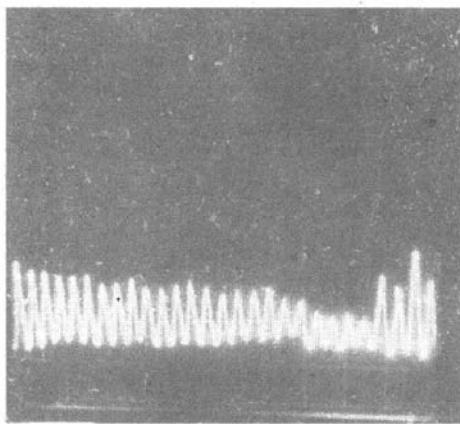
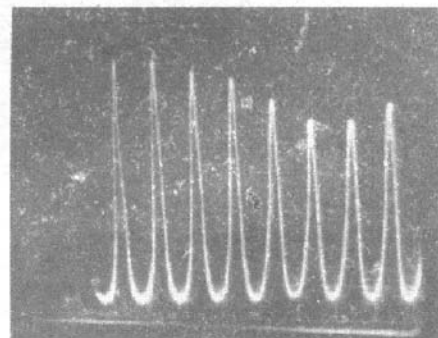


图2 环形掺铒光纤激光器连续工作时的输出特性

环中的偏振控制器,观察到自持脉冲.在现有的条件下,激光器从连续工作到自持脉冲工作状态,抽运参数为1.5(抽运参数定义为抽运功率与抽运阈值功率之比).



(a) 0.5 ms/div, 5 mV/div



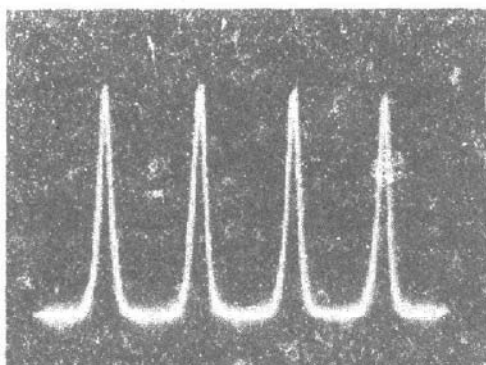
(b) 0.2 ms/div, 5 mV/div

图3 当LD₂无偏置时,对应于不同的偏振态激光器输出的自持脉冲

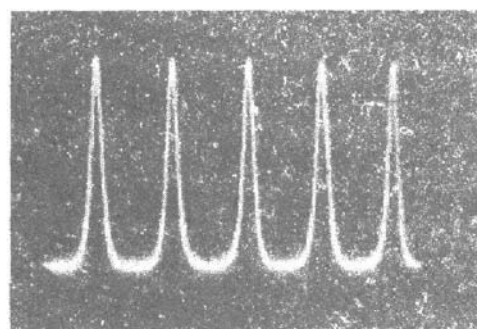
正如 Bielawski 等人^[15]在掺Nd³⁺的光纤激光器中讨论的那样,激光器总的光强应为腔内两正交偏振态光强相互耦合叠加的结果,因此,可以通过改变光纤中两偏振态的耦合强弱来控制输出激光自持脉冲的行为.

维持抽运功率为16 mW,且调整LD₂的偏置电流至5 mA时,通过调节偏振控制器,激光器输出如图4(a)所示的光脉冲序列,脉冲频率为50 kHz,脉冲宽度为6 μs .继续增加抽运功率至20 mW,尽管输出光脉冲的脉冲宽度几乎保持不变,但光脉冲的频率却提高到了56 kHz(如图4(b)所示),维持抽运功率不变,增加光纤环中单模光纤的长度为1.133 km,此时输出光脉冲频率为67 kHz,脉冲宽度变为3 μs (如图4(c)所示),继续增加光纤环中单模光纤的长度至2.319 km,此时脉冲频率为178 kHz,脉冲宽度变为0.6 μs (如图4(d)所示).此时,保持环中单模光纤的长度,继续增加抽运功率至25 mW,且仔细微调偏

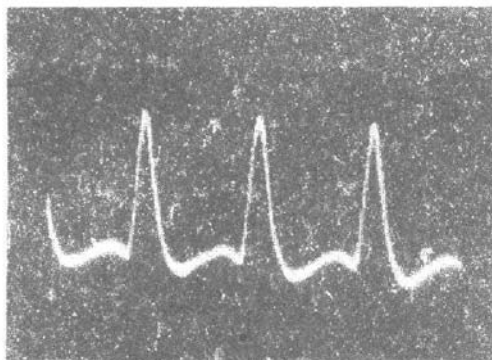
振控制器及 LD₂ 的偏置电流, 在脉冲包络中出现强度调制的光脉冲序列(如图 5(a), (b) 所示).



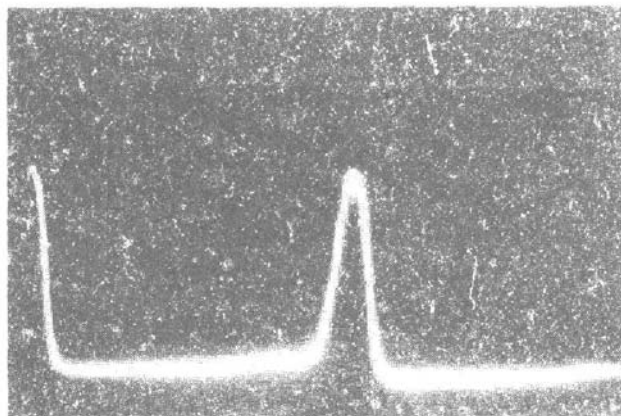
(a) $P_P = 16 \text{ mW}$, $l = 2 \text{ m}$ ($10 \mu\text{s}/\text{div}$, $20 \text{ mV}/\text{div}$)



(b) $P_P = 20 \text{ mW}$, $l = 2 \text{ m}$ ($10 \mu\text{s}/\text{div}$, $20 \text{ mV}/\text{div}$)



(c) $P_P = 20 \text{ mW}$, $l = 1.133 \text{ km}$ ($5 \mu\text{s}/\text{div}$, $20 \text{ mV}/\text{div}$)



(d) $P_P = 20 \text{ mW}$, $l = 2.319 \text{ km}$ ($1 \mu\text{s}/\text{div}$, $10 \text{ mV}/\text{div}$)

图 4 当 LD₂ 偏置在 5mA 时, 激光器输出的自持脉冲序列

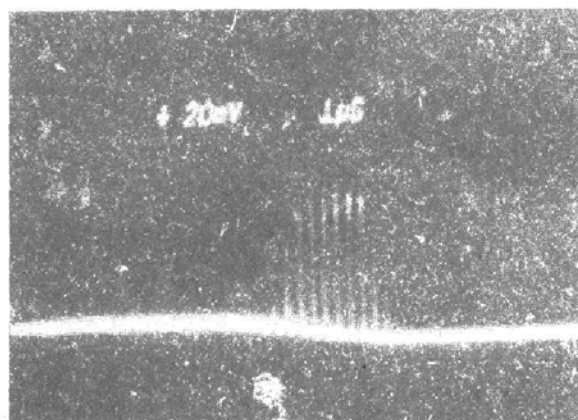
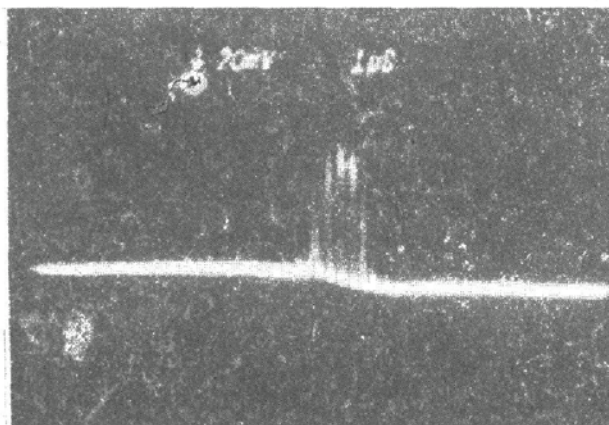


图 5 对应于不同偏振态下, 激光器输出的强调制光脉冲序列 $P_P = 25 \text{ mW}$, $l = 2.319 \text{ km}$ ($1 \mu\text{s}/\text{div}$, $20 \text{ mV}/\text{div}$)

4 讨论与结论

从上述实验结果可以看到, 由于 LD_2 是矩形波导, 对两相互正交的光偏振态形成了不同程度的反馈, 并且依靠改变加在其上的偏置电流, 达到了微调两偏振光的目的, 因此, 控制了光的两偏振态耦合强弱, 观察到了稳定的自持脉冲. 所以, 我们认为自持脉冲来源于正交偏振态耦合过程中的跳模及其他的一些因素. 从实验中, 我们还发现, 随着光纤环形腔中的单模光纤长度的增加, 形成自持脉冲的重复频率将提高, 并且脉冲宽度变窄, 其本质是光纤环中光子寿命增大的缘故. 随着抽运功率即抽运参数的增加, 当抽运参数 r 为 2.5 时, 实验观察到了非线性脉冲激光振荡. 由本文的实验研究可以得出如下结论:

1. 在较低的抽运参数下, 掺铒光纤激光器可以实现自持脉冲, 而且可以控制自持脉冲.
2. 自持脉冲不一定在坏腔(即光子寿命较短)的激光器中才能获得, 在光子寿命较长的好腔中(例如在较长单模光纤环形激光器中)也能获得自持脉冲.

- [1] P. W. France, Editor, *Optical Fiber Lasers and Amplifiers* (Blackie, London, 1991).
- [2] P. Urothart, *IEEE Proc.*, Pt. J, **134**(1988), 985.
- [3] R. J. Mears and S. R. Baker, *Opt. Quantum Electron.*, **24**(1992), 517.
- [4] E. Desurvire and J. R. Simpson, *IEEE, J. Lightwave Technol.*, **7**(1989), 835.
- [5] C. R. Giles and E. Desurvire, *IEEE J. Lightwave Technol.*, **9**(1991), 271.
- [6] C. A. Miller, I. D. Miller, B. J. Ainslie, S. P. Craig and J. R. Armitage, *Electron. Lett.*, **23**(1987), 865.
- [7] J. Y. Allain, M. Monerie and H. Poignant, *Electron. Lett.*, **25**(1989), 1082.
- [8] D. C. Hanna, A. Kazer, M. W. Phillips, D. P. Shepherd and P. J. Suni, *Electron. Lett.*, **25**(1989), 95.
- [9] M. L. Shih, P. W. Milonni and J. R. Ackerherft, *J. Opt. Soc. Am.*, **B2**(1985), 130.
- [10] G. P. Puccionni, M. V. Tratnik, J. E. Sipe and G. L. Oppo, *Opt. Lett.*, **12**(1987), 242.
- [11] D. Marcuse, *IEEE J. Quantum Electron.*, **29**(1993), 2390.
- [12] H. Haken, *Phys. Lett.*, **A53**(1975), 77.
- [13] F. Sanchez, P. L. Boudec, Pierre-Luc Francois, G. Steghan, *Phys. Rev.*, **A48**(1993), 2220.
- [14] E. Lacot, F. Stoeckel and M. Chenerier, *Phys. Rev.*, **A49**(1994), 2997.
- [15] S. Bielawski, D. Derozier and P. Glorieux, *Phys. Rev.*, **A46**(1992), 2811.

SELF-PULSING IN THE Er^{3+} -DOPED FIBER LASER

SUN JUN-QIANG HUANG DE-XIU LI ZAI-GUANG^{a)}

(*Department of Optoelectronics Engineering, ^{a)} National Laboratory of Laser Technology,
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074*)

(Received 24 February 1995)

ABSTRACT

A novel Er^{3+} -doped ring fiber laser with simple structure is proposed in this paper and self-pulsing is observed under the lower pump parameters. The effects of pump parameters and the length of single mode fiber in the loop on the self-pulse characteristics are investigated experimentally. The results show that the self-pulse characteristics can be controlled by the adjustment of the relative parameters properly.

PACC: 4255W; 4260M; 4250L