

基于丙醇可饱和吸收体的 L 波段调 Q 激光器

王洛欣^{1,2}, 赵红东^{1*}, 代红丽^{1,2}

(1.河北工业大学 信息工程学院,天津 300401;2.天津理工大学 电气电子工程学院,天津 300384)

摘要:为了获得 L 波段调 Q 脉冲,设计了基于丙醇可饱和吸收体的调 Q 激光器。采用有机溶液丙醇制成液体可饱和吸收体,并测量到其调制深度为 5.58%,将其应用到调 Q 激光器中,获得了 L 波段的脉冲。当激光器的泵浦功率达到 230 mW 时,调 Q 脉冲序列的输出平均功率约是 0.79 mW,脉冲重复频率是 20.9 kHz,单脉冲能量达 36.7 nJ。

关键词:超快脉冲;可饱和吸收体;丙醇;调 Q

中图分类号:TN248.1 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2020)05-0042-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.05.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



L-band Q-switched laser based on Propyl alcohol saturable absorber

WANG Luoxin^{1,2}, ZHAO Hongdong^{1*}, DAI Hongli^{1,2}

(1. School of Electrical Information and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to obtain L-band Q-switched pulse, this paper designs Q-switched laser based on Propyl alcohol saturable absorber, the saturable absorber is made of organic solution Propyl alcohol, and the modulation depth of the saturable absorber is measured to be 5.58%. The L-band pulse is obtained by applying saturable absorber to Q-switched laser. The average output power of the Q-switched fiber laser is 0.79 mW with the pulse repetition rate of 20.9 kHz and the pulse energy is up to 36.7 nJ when the pump power of the laser is 230 mW.

Key words: ultrafast pulse; saturable absorber; Propyl alcohol; Q-switched

0 引言

短脉冲光纤激光器在光纤传感、光纤通信和材料处理等方面都有广泛应用,因而备受关注^[1,2]。锁模和调 Q 是获得短脉冲的 2 种常用方式。调 Q 光纤激光器通过改变谐振腔内的 Q 值来获得高能量脉冲,实现方式分为主动^[1]和被动 2 种^[2]。主动调 Q 容易控制脉冲的重复频率,但是造价非常高;被动调 Q 是应用各种可饱和吸收体来改变激光腔内的 Q 值。相比主动调 Q,被动调 Q 的结构较紧凑,容易实现较高的脉冲能量。

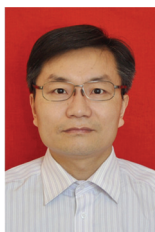
理想的可饱和吸收体一般具有高调制深度、高损坏阈值和高稳定性等特点来支持大的单脉冲能量。在

收稿日期:2019-10-24。

基金项目:天津市自然科学基金(批准号 17JCYBJC16600)资助。

作者简介:王洛欣(1977—),男,博士生,就读于河北工业大学信息工程学院电子科学与技术专业,主要从事光纤激光器方面的研究,参与完成国家级项目 1 项,省部级项目 2 项,主持完成横向科研项目 3 项,授权发明专利 2 项。

* 通信作者:赵红东(E-mail: zhaohd@hebut.edu.cn)。



过去几十年中,已经有各种材料的可饱和吸收体用于产生调 Q 脉冲,比较常见的有半导体可饱和吸收镜^[2]、碳纳米管^[3]、石墨烯^[4]、拓扑绝缘体^[5]和二维金属材料^[6-10]等。但是也存在各种问题:半导体可饱和吸收镜的制作工艺和生产过程比较复杂^[2]、波长响应范围比较窄;碳纳米管和石墨烯的热稳定性比较差^[3,4];二维金属材料比如二硫化钼、二硫化钨、二硒化钼和黑磷具有宽吸收谱,但是制作过程比较复杂^[6-10]。所以,人们一直在寻找性能更优良的可饱和吸收体。Zhang Z Q 等人提出用酒精作为可饱和吸收体实现调 Q 或锁模激光器,并在实验中获得了成功^[11,12]。实验结果证明:应用有机溶液作为可饱和吸收体实现调 Q 激光器具有高损坏阈值、高稳定性和调制深度调谐方便的优点。因此,本文提出基于丙醇可饱和吸收体的调 Q 激光器。

1 可饱和吸收体的制作和特性测试

本文用注射器将丙醇溶液注入半径稍大于光纤接头的塑料管,然后将光纤接头分别插入塑料管两

端并排除其中气泡,制成可饱和吸收体。可饱和吸收体的插入损耗约是 2.4 dB; 偏振相关损耗约是 0.02 dB, 可以忽略。丙醇可饱和吸收体的非线性响应测量装置如图 1 所示,装置由锁模激光器(脉冲宽度为 800 fs, 重复频率为 20 MHz)、偏振无关隔离器、50:50 光耦合器、丙醇可饱和吸收体和一个光功率计组成,测量得到的丙醇可饱和吸收体的非线性响应特性如图 2 所示。调制深度大约为 5.58%, 足以实现调 Q 输出^[12]。

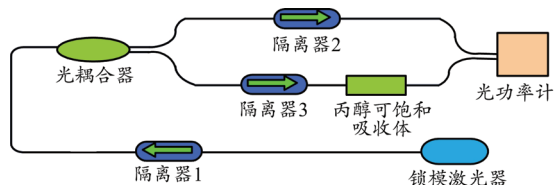


图1 丙醇可饱和吸收体的非线性响应测量装置

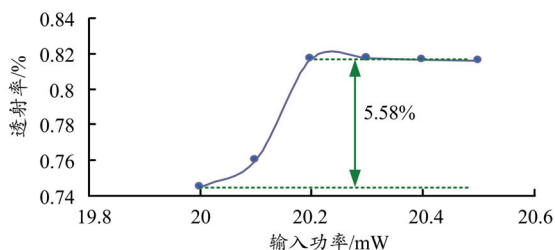


图2 丙醇可饱和吸收体的非线性响应特性

2 被动调 Q 激光器的结构和实验结果

基于丙醇可饱和吸收体的调 Q 激光器原理图如图 3 所示,激光腔的长度约 30 m,由偏振控制器、90:10 光耦合器、自制的丙醇可饱和吸收体和 980 nm 泵浦源组成,该泵浦源通过波分复用泵浦一段长约 10 m 的掺铒光纤。偏振控制器用来调节谐振腔内的偏振态,90:10 耦合器的 10% 端口用于激光器的输出,输出的光谱用光谱仪 (Anritsu MS9710A) 来检测,而光脉冲通过 1 个 500 MHz 的光电探测器输出到 1 个示波器来检测。

当 980 nm 泵浦源的功率由 180 mW 调节到 230 mW 时,产生了重复频率是几十千赫兹的稳定脉

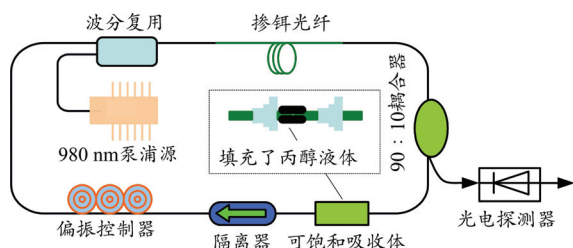
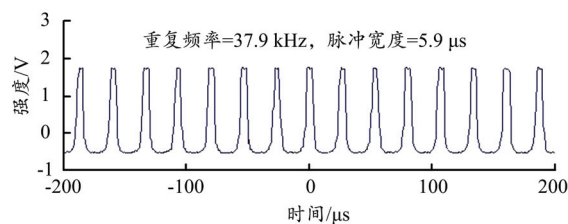


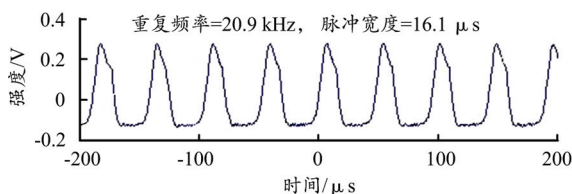
图3 基于丙醇可饱和吸收体的调 Q 激光器原理图

冲;当泵浦功率超过 230 mW 或低于 180 mW 时,脉冲变得不稳定直至变为连续光。当泵浦功率为 180 mW 时,得到的光脉冲和光谱如图 4(a)、图 4(c) 所示。由图 4(a) 可知,输出脉冲的重复频率是 37.9 kHz,脉冲宽度是 5.9 μ s;由图 4(c) 可知,输出光谱的中心波长是 1571.4 nm(L 波段),30 dB 带宽是 5 nm。当激光器的泵浦功率是 230 mW 时,得到的光脉冲和光谱如图 4(b)、图 4(d) 所示。由图 4(b) 可知,输出脉冲的重复频率是 20.9 kHz,脉冲宽度是 16.1 μ s;由图 4(d) 可知,光谱的中心波长是 1581.4 nm(L 波段),30 dB 带宽是 9.8 nm。

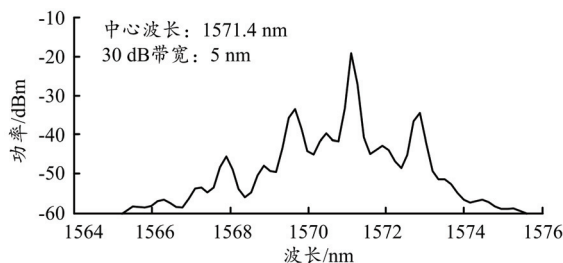
中心波长和 30 dB 带宽随泵浦功率变化的趋势图



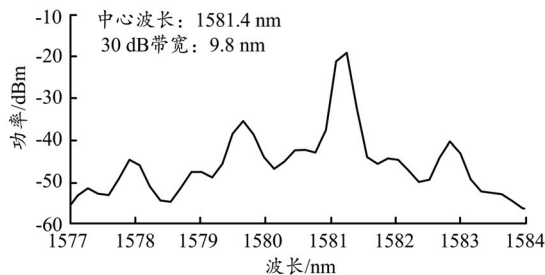
(a) 泵浦功率为 180 mW 时的光脉冲



(b) 泵浦功率为 230 mW 时的脉冲



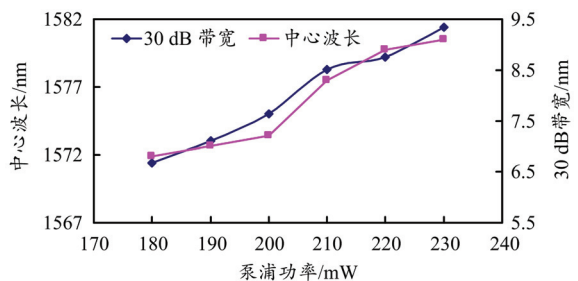
(c) 泵浦功率为 180 mW 时的光谱



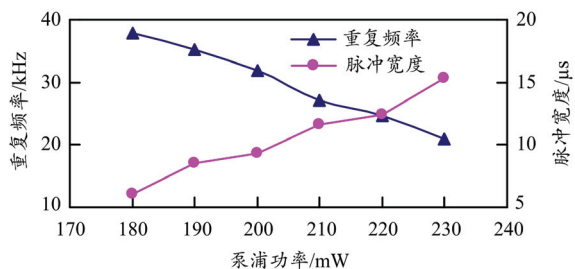
(d) 泵浦功率为 230 mW 时的光谱

图4 不同泵浦功率下的脉冲及不同泵浦功率下的光谱

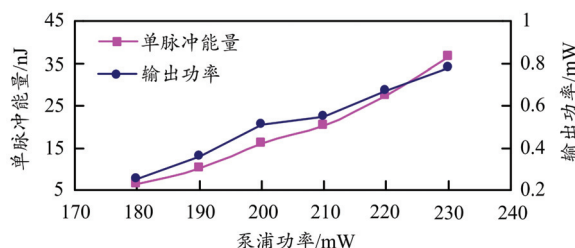
如图5(a)所示,当泵浦功率由180 mW增大到230 mW时,光谱的中心波长由1571.4 nm变化到1581.4 nm,均在L波段;30 dB带宽由6.6 nm变化到9.8 nm。脉冲重复频率和脉冲宽度随着泵浦功率变化的趋势图如图5(b)所示,当泵浦功率由180 mW变化到230 mW时,脉冲重复频率由37.9 kHz降低到了20.9 kHz,而脉冲宽度由5.9 μ s增大到了16.1 μ s。输出功率和单脉冲能量随着泵浦功率变化的趋势图如图5(c)所示,当泵浦功率由180 mW增大到230 mW时,单脉冲能量由6.43 nJ增大到36.71 nJ,输出光功率由0.27 mW增大到了0.79 mW。由图5可以观察到,当泵浦功率增大时,脉冲宽度、30 dB带宽、中心波长、平均功率和单脉冲能量是变大的,而脉冲重复频率是下降的。



(a) 中心波长和30 dB带宽



(b) 脉冲重复频率和脉冲宽度



(c) 输出功率和单脉冲能量

图5 激光器的各种参数与泵浦功率的关系

3 结束语

本文应用丙醇可饱和吸收体产生了L波段调Q

脉冲,实验中测得丙醇可饱和吸收体的调制深度是5.58%。在本文设计的调Q激光器中,当泵浦功率由180 mW增大到230 mW时,脉宽由5.9 μ s增大到16.1 μ s,而脉冲重复频率由37.9 kHz降低到20.9 kHz,中心波长由1571.4 nm变化到1581.4 nm,30 dB带宽由6.6 nm变到9.8 nm,输出光功率由0.27 mW增大到0.79 mW,单脉冲能量由6.43 nJ增大到36.71 nJ。该激光器具有高稳定性、高脉冲能量和高稳定性的特征。

参考文献:

- [1] MA W, WANG T, WANG F, et al. 2.07 μ m, 10 GHz repetition rate, multi-wavelength actively mode-locked fiber laser [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2018, 31(3): 242–245.
- [2] KELLER U, WEINGARTEN K J. Semiconductor saturable absorber mirrors (SESAM's) for femtosecond to nanosecond pulse generation in solid-state lasers[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 1996, 2(3): 435–453.
- [3] MARTINEZ A, SUN Z. Nanotube and graphene saturable absorbers for fibre lasers[J]. Nature Photonics, 2013, 7(11): 842–845.
- [4] LUO Z, ZHOU M, WENG J, et al. Graphene-based passively Q-switched dual-wavelength erbium-doped fiber laser [J]. Optics Letters, 2010, 35(21): 3709–3711.
- [5] PING T, MAN W, WANG Q, et al. 2.8 μ m pulsed Er³⁺: ZBLAN fiber laser modulated by topological insulator [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2016, 28(14): 1573–1576.
- [6] WANG S, YU H, ZHANG H, et al. Broadband Few-Layer MoS₂ Saturable Absorbers[J]. Advanced Materials, 2014, 26(21): 3538–3544.
- [7] DU J, WANG Q, JIANG G, et al. Ytterbium-doped fiber laser passively mode locked by few-layer Molybdenum Disulfide (MoS₂) saturable absorber functioned with evanescent field interaction [J]. Scientific Reports, 2014(4): 6346–1–6346–7.
- [8] KHAZAEINEZHAD R, KASSANI S H, JEONG H, et al. Ultrafast Pulsed All-Fiber Laser Based on Tapered Fiber Enclosed by Few-Layer WS₂ Nanosheets[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2015, 27(15): 1581–1584.
- [9] WOODWARD R I, HOWE R C T, RUNCORN T H, et al. Wideband saturable absorption in few-layer molybdenum diselenide (MoSe₂) for Q-switching Yb-, Er- and Tm-doped fiber lasers [J]. Optics Express, 2015, 23(15): 20051–20061.
- [10] LIU H, SONG W, YU Y, et al. Black Phosphorus-Film with Drop-Casting Method for High-Energy Pulse Generation From Q-Switched Er-Doped Fiber Laser[J]. Photonic Sensors, 2019, 9(3): 239–245.
- [11] WANG Z, ZHAN L, WU J, et al. Self-starting ultrafast fiber lasers mode-locked with alcohol[J]. Optics Letters, 2015, 40(16): 3699–3702.
- [12] WANG Z, ZHAN L, QIN M, et al. Passively Q-Switched Er-Doped Fiber Lasers Using Alcohol[J]. Journal of Lightwave Technology, 2015, 33(23): 4857–4861.