

LD 抽运被动调 Q 固体激光器的脉冲稳定性^{*}

张秋琳[†] 苏红新 孙 江 郭庆林 付广生

(河北大学物理科学与技术学院, 保定 071002)

(2007 年 1 月 12 日收到, 2007 年 3 月 13 日收到修改稿)

报道了二极管激光抽运 Cr,Nd:YAG 被动调 Q Nd:YVO₄ 1064 nm 激光输出. 为了提高被动调 Q 激光的输出稳定性, 谐振腔采用长腔, 增益介质位于谐振腔中间位置. 实验中获得了稳定的被动调 Q 激光输出. 在最高入射抽运功率为 17.5 W 时, 脉冲重复频率达到 71.3 kHz, 脉冲宽度为 0.4 μ s. 调 Q 脉冲幅度不稳定性低于 $\pm 10\%$, 脉冲时间波动性低于 $\pm 3.5\%$.

关键词: 固体激光器, 脉冲稳定性, 被动调 Q

PACC: 4255R, 4260B, 4260D

1. 引 言

调 Q 激光在远距离探测、激光通信和非线性光学等方面有广泛的应用. 被动调 Q 固体激光器具有紧凑、成本低和高效等优点^[1-4]. 然而, 被动调 Q 固体激光脉冲输出的稳定性较差. 为了提高其稳定性, 研究者们尝试了许多方法, 比如在腔中注入种子脉冲^[5]、反馈调制^[6]、环形腔^[7]和预激发^[8]等技术. 被动调 Q 激光脉冲输出不稳定的一个主要原因是固体均匀增益介质中存在的空间烧孔(SHB)效应^[9]. Keller 等人^[10]曾分析了当增益介质长度与谐振波长为同一数量级并且增益介质位于谐振腔的一端时, SHB 效应会明显增强. 反之, 如果将增益介质长度加长, 并将其置于谐振腔的中间时, 被动调 Q 激光脉冲输出的稳定性如何呢? 因此, 我们做了下面的实验研究.

掺杂 Cr⁴⁺ 离子的晶体具有优异的光学特性和热稳定性, 并且在 900—1200 nm 光谱范围内有较大的吸收截面等特点, 常被用作被动调 Q 材料^[11]. 杨林等曾报道了双掺 Cr,Nd:YAG 晶体具有较低的饱和强度^[12]. 实验中我们就采用 Cr,Nd:YAG 晶体作为被动调 Q 材料, 实验研究了二极管抽运 Nd:YVO₄ 脉冲激光的输出特性.

2. 实验装置

实验装置如图 1 所示. 谐振腔采用 Z 型腔. 抽运源最高输出功率为 20 W, 波长为 808 nm, 光纤直径为 0.44 mm, 数值孔径为 0.22. 光纤耦合二极管激光经耦合透镜会聚到 Nd:YVO₄ 晶体上. 为了减小晶体的热效应, Nd:YVO₄ 晶体用铝箔包裹并放置在铜块中. 铜块用循环水进行冷却, 水温控制在 15 ± 1 °C. 晶体朝向二极管激光的一面镀有 808 nm 和 1064 nm 的增透膜, 另一面镀有 1064 nm 的增透膜. 镜子 M₁ 曲率半径为 75 cm, M₂ 和 M₃ 均为平面镜. M₁, M₂ 和 M₃ 均镀有 1064 nm 的高反膜. 输出耦合镜 M₄ 的曲率半径为 30 cm, 对 1064 nm 的输出耦合率为 2.5%. Cr,Nd:YAG 晶体位于谐振腔的一端, 厚度为 1 mm, 在 1064 nm 处的小信号透过率为 80%. 实验中采用快速反应的光电二极管探测激光脉冲, 并用数字示波器观察和记录波形.

3. 实验结果与分析

在腔中插入 Cr,Nd:YAG 晶体之前, 我们先测量了二极管抽运 Nd:YVO₄ 晶体连续激光输出的特性. 随后在腔中插入 Cr,Nd:YAG 晶体, 得到了稳定的被

^{*} 河北省河北大学自然科学研究项目(批准号 2006073)资助的课题.

[†] E-mail: qlzhang@mail.hbu.edu.cn

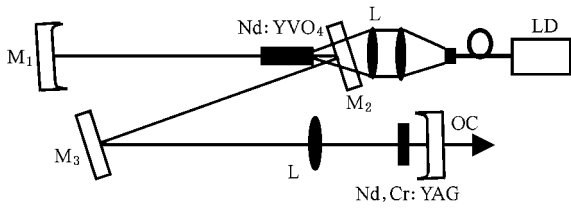


图1 实验装置 M_1 为平凹镜; M_2, M_3 为平面镜; L 为透镜; LD 为激光二极管; OC 为输出耦合镜

动调 Q 激光输出. 连续激光输出功率和被动调 Q 激光的平均输出功率随入射抽运功率的变化曲线如图 2 所示. 从图中可以看出, 连续激光的输出功率和被动调 Q 激光的平均输出功率均随入射抽运功率的增加而上升. 在最高入射抽运功率为 17.5 W 时, 连续激光的最大输出功率为 840 mW. 被动调 Q 激光的最大平均输出功率上升到 587 mW. 分别测量其输出功率的稳定性, 每分钟记录一个数值, 观测一个小时, 发现连续激光的输出功率和被动调 Q 激光的平均输出功率不稳定性均低于 1%.

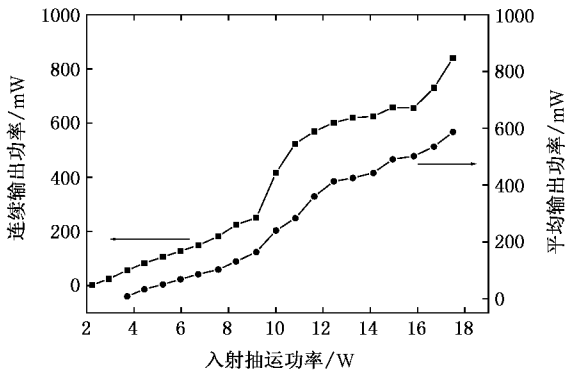


图2 连续激光输出功率和被动调 Q 激光平均输出功率随入射抽运功率的变化曲线

被动调 Q 激光的脉冲重复频率和脉冲宽度随入射抽运功率的变化如图 3 所示. 脉冲重复频率随入射抽运功率的上升而上升, 而脉冲宽度则随之下降. 这同被动调 Q 理论分析的结果是一致的^[13]. 在最高入射抽运功率下, 脉冲重复频率增加到 71.3 kHz, 而脉冲宽度则减小到 $0.4 \mu\text{s}$.

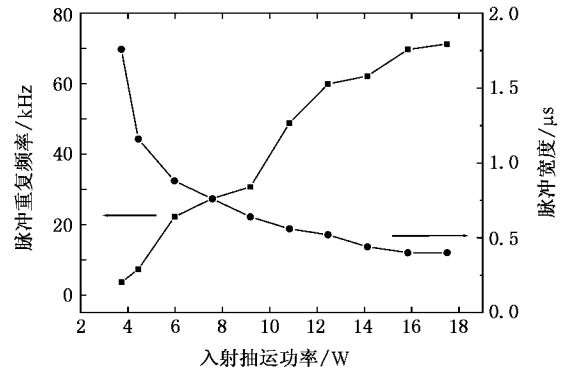


图3 被动调 Q 脉冲重复频率和脉冲宽度随入射抽运功率的变化曲线

图 4(a) 为在最高入射抽运下获得的被动调 Q 脉冲序列. 计算这一被动调 Q 脉冲序列的脉冲幅度不稳定性低于 $\pm 10\%$, 脉冲时间波动性低于 $\pm 3.5\%$. 为了便于比较, 图 4(b) 给出短腔情况下 SHB 效应明显增强时获得的被动调 Q 脉冲序列. 其脉冲幅度和脉冲间隔时间稳定性都比较差. 可以看出, 采用长腔, 增益介质位于谐振腔中间的被动调 Q 激光脉冲稳定性得到了明显的提高.

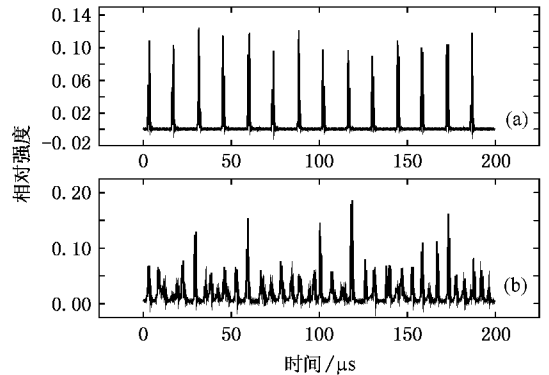


图4 被动调 Q 脉冲序列 (a) SHB 效应较弱时获得 (b) SHB 效应较强时获得

总之, 我们实验研究了二极管抽运 Nd:YVO₄:Cr,Nd:YAG 被动调 Q 固体激光器的输出特性. 实验中获得了稳定的被动调 Q 脉冲激光输出. 脉冲幅度波动性低于 $\pm 10\%$, 脉冲时间波动性低于 $\pm 3.5\%$.

[1] Zheng J, Zhao S, Chen L. 2002. *Opt. Eng.* **41**: 2271

[2] Liu J, Yang J M, He J L. 2004. *Opt. Laser Technol.* **36**: 31

[3] Chen J W, Yau H F, Liu H P, Chen T C, Cheng C C, Liu F M. 2000. *Opt. Laser Technol.* **32**: 215

- [4] Mukhopadhyay P K , Alsous M B , Ranganathan K , Sharma S K , Gupta P K , Kuruvilla A , Nathan T P S 2005 *Opt. Laser Technol.* **37** 157
- [5] Harb C C , Timothy C 1996 *Phys. Rev. A* **54** 4370
- [6] Yan P , He B , Wei G H 1999 *Proc. SPIE* **3616** 251
- [7] Wu F T , Zhang W Z 2000 *Opt. Laser Technol.* **32** 107
- [8] Ping Y , Gong M L , Xie T , Liu X Z 2003 *Opt. Eng.* **42** 159
- [9] Zhang Q L , Feng B H , Zhang D X , Fu P M , Zhang Z G 2004 *Phys. Rev. A* **69** 053815
- [10] Braun B , Weingarten K J , Kärtner F X , Keller U 1995 *Appl. Phys. B* **61** 429
- [11] Kalisky Y , Ben-Amar Baranga A , Shimony Y , Kokta M R 1997 *Opt. Mater.* **8** 129
- [12] Yang L , Feng B , Zhang Z , Gaebler V , Liu B 2003 *Opt. Mater.* **22** 59
- [13] Dong J 2003 *Opt. Commun.* **226** 337

Stability of LD pumped passively Q -switched solid-state lasers^{*}

Zhang Qiu-Lin[†] Su Hong-Xin Sun Jiang Guo Qing-Lin Fu Guang-Sheng

(College of Physics Science and Technology , Hebei University , Baoding 071002 , China)

(Received 12 January 2007 ; revised manuscript received 13 March 2007)

Abstract

For the laser diode pumped Cr,Nd:YAG passively Q -switched Nd:YVO₄ laser , in order to improve the stability of the Q -switched pulses , a long cavity is adopted , and the gain medium is located at the middle of the cavity . In the experiments , stable pulses are obtained . At the maximum incident pump power of 17.5 W , the repetition rate increases to 71.3 kHz and the pulse width (FWHM) is narrowed to 0.4 μ s . The pulse-to-pulse amplitude fluctuation is less than $\pm 10\%$. The inter-pulse timing jitter of the Q -switched pulse train is found to be less than $\pm 3.5\%$.

Keywords : solid-state laser , stability of pulses , passively Q -switched

PACC : 4255R , 4260B , 4260D

^{*} Project supported by the Natural Science Foundation of the Hebei University , China (Grant No.2006073)

[†] E-mail : qlzhang@mail.hbu.edu.cn