LD 脉冲泵浦被动调Q 窄脉冲大能量全固态激光器

岱 钦[1],崔建丰[2],毛有明[1],吴凯旋[1],张 濛[1]

(1. 沈阳理工大学 理学院,辽宁 沈阳 110159;
2. 鞍山紫玉激光科技有限公司,辽宁 鞍山 114000)

摘 要:利用 Nd:YAG/Cr^{4+}:YAG 键合微片激光晶体研制了被动调 Q 大能量窄脉冲的全固态激光器,激光器采用脉冲激光二极管泵浦方式,设计了本振级和两级放大结构,分析了激光器系统的自激振荡和其抑制方法,在激光器本振级获得稳定脉冲激光输出的基础上,当两级放大器泵浦电流分别为 83 A 和 85 A 时,获得了最大单脉冲输出能量为 120 mJ,脉冲宽度为 1.28 ns 的 1 064 nm 激光输出,激光通过倍频后可得到 65 mJ 的 532 nm 绿光输出,其窄脉宽和高光束质量特性可为飞秒激光器啁啾放大提供良好的泵浦源。

关键词:窄脉冲; 大能量; 键合晶体; 全固态激光器
中图分类号:TN248.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1007-2276(2014)07-2066-04

Passively Q-switched narrow-pulse high-energy all solid-state lasers pumped by LD pulse

Dai Qin[1], Cui Jianfeng[2], Mao Youming[1], Wu Kaixuan[1], Zhang Meng[1]

(1. School of Science, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China;
2. Anshan Amethyst Laser Technology Limited Company, Anshan 114000, China)

Abstract: Nd:YAG/Cr^{4+}:YAG bonding microchip laser crystal was used to develop a passively Q-switched high pulse energy narrow pulse all solid state laser. The pulse laser diode (LD) pump was used in this all solid state laser. The structure of oscillator and twice amplifications were designed. Besides, the self-excited oscillation and the restraining method were also analyzed. On the basis of stable oscillator laser output, the 1 064 nm output laser was obtained when the electric current of twice amplifications were 83 A and 85 A, respectively. The maximum single pulse output energy of the output laser was 120 mJ and the pulse width of the output laser was 1.28 ns. A green laser which the single pulse output energy was 65 mJ and the wavelength was 532 nm was obtained by the method of frequency doubling. The characters of narrow pulse and high beam quality can be used to provide a good pumping sources for the femtosecond lasers chirped pulse amplification.

Key words: narrow-pulse; high-energy; bonding crystal; all solid-state lasers

收稿日期:2013-11-05; **修订日期**:2013-12-03
基金项目:国家自然科学基金(61378075);辽宁省高校杰出青年学者成长计划(LJQ2013022);
沈阳理工大学激光与光信息辽宁省重点实验室开放基金资助课题
作者简介:岱钦(1977-),男,副教授,博士,主要从事固体激光技术方面的研究。Email:daiqin2003@126.com

0 引　言

激光二极管泵浦被动调 Q 微片激光器腔长非常短,可以实现短脉冲(皮秒到纳秒数量级),高的峰值功率(千瓦级)和高重复频率(千赫兹数量级以上)的脉冲激光输出,而且由于采用端面泵浦方式,泵浦光和激光的光束可以有效地耦合, 激光的输出光束质量好、效率高。这种激光器具有体积小、微型化、性能稳定、寿命长等优点,可广泛用于精确制导、激光近炸引信、激光雷达、卫星间测距及通讯、MOPA 系统主振荡器、超大容量光存储用光源等许多相关领域[1-4]。

近年,在短脉冲激光器的研究方面,Zayhowski[5]采用 Cr^{4+}:YAG 研制了被动调 Q 微片激光器,激光器输出脉冲宽度为 218 ps,单脉冲能量为 4 μJ。周涛等[6]报道了腔长为 1.1 mm 的连续二极管端面抽运的 Cr^{4+}:Nd^{3+}:YAG 自调 Q 微片激光器, 在泵浦功率为 1.96 W 时,输出激光脉冲脉宽约为 6 ns,单脉冲能量为 3.69 μJ。孙哲等[7]利用半导体端面泵浦 Nd:YVO_4 晶体并采用电光调 Q 的短腔激光器。获得了脉冲宽度小于 600 ps,单脉冲能量大于 0.42 mJ 的激光输出。苏艳丽等[8]采用预泵浦方式,在激光二极管泵浦的 Cr^{4+}:YAG 被动调 Q 微片激光器中获得了重复频率为 20 kHz 时,脉冲宽度为 2.431 ns,单脉冲能量 17.6 μJ 稳定振荡的激光脉冲输出。

文中采用激光二极管脉冲泵浦 Nd:YAG/Cr^{4+}:YAG 键合微片晶体,研制了脉冲泵浦被动调 Q 微片振荡器,通过设计激光二级放大结构,获得了窄脉冲大能量 1 064 nm 激光,输出激光脉冲宽度为 1.28 ns,最大单脉冲能量为 120 mJ。

1 实验装置

研制激光器结构如图 1 所示,泵浦脉冲二极管为最大输出峰值功率为 50 W 的光纤耦合输出 808 nm 半导体激光器(由 Nlight 公司提供),光纤芯径半径为 200 m,经过 1:2 准直聚焦透镜后,光斑半径为 400 m,激光二极管通过调制脉冲电源驱动, 脉冲宽度为 250 μs,重复频率为 1~500 Hz 可调。

Nd:YAG/Cr^{4+}:YAG 键合晶体尺寸为 5 mm×5 mm×3.3 mm, 增益介质的掺杂浓度为 1.0 at.%,Cr^{4+}:YAG初始透过率为 28.8%, 键合晶体的泵浦端面镀 1 064 nm 全反射膜(R>99.8%)和 808 nm 增透膜(R<0.5%)。另一端面镀 1 064 nm 部分反射膜(R=50%),作为谐振腔的输出镜。键合晶体的侧面用铟箔包住,装在带有 TEC 冷却的紫铜块内,以保持良好的热接触。激光二极管输出的激光经自聚焦透镜会聚在 Nd:YAG/Cr^{4+}:YAG 键合晶体晶体中心。两个放大模块分别为 3 kW 和 3.5 kW 的 LD 脉冲泵浦 Nd:YAG 激光模块, 单个 BAR 功率 100 W,满负荷电流 100 A,三维空间旋转对称泵浦方式,第一级放大采用 30 个 BAR,第二级放大采用 36 个 BAR。

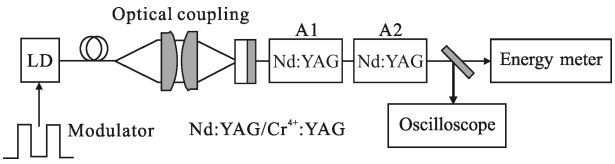

图 1 脉冲泵浦被动调 Q 窄脉冲激光器结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of narrow-pulse high-energy solid-state lasers

2 实验测试及结果

实验中适当调节泵浦 LD 与准直聚焦系统之间及聚焦系统与键合晶体之间的距离, 使整个系统处于最佳匹配。实验装置系统中本振级 LD 泵浦电流调至 3.4 A,此时对应的泵浦激光输出峰值功率约为 30 W,泵浦脉冲频率为 100 Hz,泵浦脉宽 250 μs,此时,振荡器和放大级之间无自激振荡,输出波形稳定,单脉冲能量约为 0.5 mJ。由于采用了端面泵浦方式,可实现泵浦光与振荡激光的空间耦合和模式匹配,有利于获得高的转换效率和光束质量, 振荡级输出光束质量如图 2 所示,输出激光光束质量 M^2=1.31。

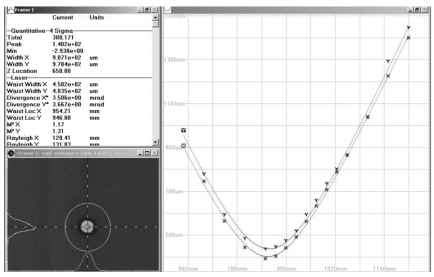

图 2 振荡器输出激光光斑图

Fig.2 Output spot distribution of oscillator

放大器和振荡器可能会形成自激振荡现象,这

不仅降低放大器的增益，而且会影响激光振荡器的稳定工作。实验系统中，将放大器端面磨成与光轴有0.5°的倾斜角度，对放大器进行谐振腔失谐调整，以抑制产生自激振荡。

启动放大级泵浦电源，逐步增加放大器泵浦电流，两级放大器由 LD 脉冲泵浦，脉冲宽度为250 μs，重复频率为 100 Hz。第一级放大器泵浦电流调至 80 A，测量获得的激光器输出能量随第二级放大泵浦电流的变化曲线如图 3 所示，实验测量激光计为 J-50MB-YAG 型激光能量计(Coherent 公司)，由图3可以看出，当第二级放大器泵浦电流增加至 90 A时，激光输出能量为 111 mJ。当激光器第一级放大器泵浦电流增加至 83 A 时，测量获得的激光器输出能量随第二级放大泵浦电流的变化曲线如图 4 所示，

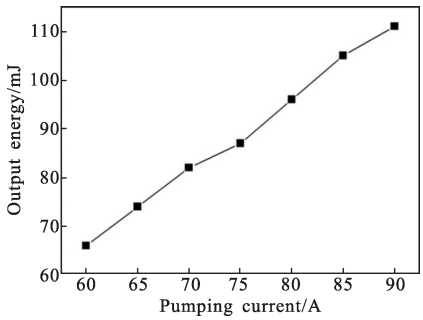

图 3 激光器输出能量随第二级放大器泵浦电流的变化曲线(当第一级放大器泵浦电流 80 A)

Fig.3 Laser output energy varies with the A2 amplifier pump current (when A1 amplifier pump current is 80 A)

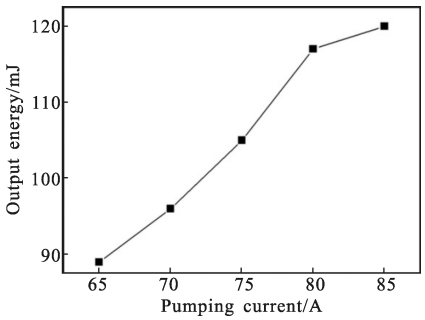

图 4 激光器输出能量随第二级放大器泵浦电流的变化曲线(当第一级放大器泵浦电流 83 A)

Fig.4 Laser output energy varies with the A2 amplifier pump current (when A1 amplifier pump current is 83 A)

第二级放大器泵浦电流增加至 85 A 时，激光器最大单脉冲能量达到 120 mJ，采用的 DET08CFC 型探测器（上升沿和下降沿均<70 ps)(THORLABS 公司)和 TDS3032 存储示波器(TeKtronix 公司) 测量激光脉冲脉宽。测量得到的激光脉冲波形如图 5 所示，输出脉冲宽度约为 1.28 ns。继续增加放大器泵浦电流将会产生自激振荡现象，影响激光脉冲输出波形的稳定性。

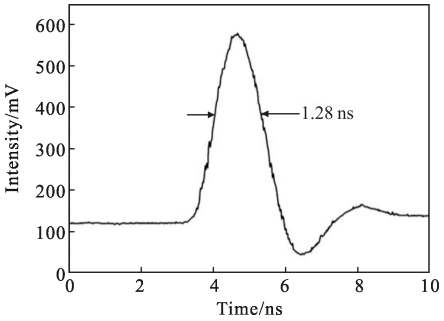

图 5 激光器输出脉冲宽度波形

Fig.5 Profile of laser pulse

3 结 论

文中研制了大能量窄脉冲的全固态激光器，激光器采用本振级和两级放大结构，本振级采用脉冲 LD 泵浦 Nd:YAG/Cr^{4+}:YAG 键合晶体实现了窄脉宽的微片激光器，通过分析激光器自激振荡的抑制方法，在保证本振级获得稳定激光输出的基础上，通过两级放大结构，最终获得了最大单脉冲输出能量为 120 mJ，脉冲宽度为 1.28 ns 的 1 064 nm 激光输出。倍频后可得到 65 mJ 的 532 nm 绿激光输出，其窄脉宽和高光束质量特性可为飞秒激光器啁啾放大提供良好的泵浦源。

参考文献：

[1] Ding Zheng, Yi Xuebin, Liang Tian, et al. LD pumped thermally bonded YAG passively Q -switched lasers [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2008, 37(3): 464-466. (in Chinese)

[2] Ren Yingying, Dong Jun. Passively Q-switched microchip lasers based on Yb:YAG/Cr^{4+}:YAG composite crystal [J]. ***Optics Communications***, 2014, 312: 163-167.

[3] Dong Jun, Ma Jian. Advances in passively Q-switched Yb^{3+}-doped laser materials microchip solid-state lasers[J]. ***Chinese Journal of Lasers***, 2010, 37(9): 2278-2287. (in Chinese)

[4] Hu Miao, Chen Jun, Ge Jianhong, et al. Temporal characteristics of the gain-switched microchip laser [J]. ***Chinese Journal of Lasers***, 2007, 34(4): 476-480. (in Chinese)

[5] Zayhowski J J. Microchip lasers[J]. ***Optical Materials***, 1999,

11: 255–267.

[6] Zhou Tao, Chen Jun. Characteristics and analysis of laser diode end-pumped Cr^{4+}:Nd^{3+}:YAG microchip laser [J]. ***Acta Optica Sinica***, 2003, 23(4): 455–458. (in Chinese)

[7] Sun Zhe, Li Qiang, Jiang Menghua, et al. Subnanosecond pulse generation from diode-pumped electro optically Q–switched Nd:YVO_4 laser [J]. ***Journal of Optoelectronics Laser***, 2012, 23(11): 2074–2078. (in Chinese)

[8] Su Yanli, Luo Xu, Zhang Xuehui, et al. Repetition rate continuously tunable microchip laser passively Q–switched by Cr^{4+}:YAG [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2014, 43 (2): 355–359. (in Chinese)

****

2014 国际电光学与非线性光学学术研讨会

Web: www.cnoenet.com/ENO2014/ 哈尔滨银河大酒店,2014 年 9 月 2–4 日

大会主席:

姚建铨(院士,天津大学)　陈创天 (院士,中科院理化所)　林圣贤(院士,台北交通大学)

研讨方向:

(1) Optical Interactions with Condensed Matter and Ultrafast Phenomena

(2) Nonlinear Optics and Novel Phenomena　(3) Novel Nonlinear Materials and Structure

(4) Nano-Optics and Plasmonics　(5) Biophotonics and Optofluidics

(6) Fiber sensors　(7) Microscopic Imaging and Tomography

拟定邀请专家 (排名不分先后顺序,补充中):

Peter E. Powers (Univ. of Dayton, USA)　Aleks Rebane (Montana State University, USA)

Theodore Goodson (University of Michigan, USA)　Robert Norwood (University of Arizona, USA)

Nikolay Zheludev (University of Southampton, UK)　Ping Lam (Australian National University, Austria)

Francesco Bonaccorso (Cambridge University, UK)　Wenfang Sun (North Dakota State University, USA)

Konstantin Vodopyanov (CREOL, University of Central Florida, USA)

Wounjhang Park (University of Colorado at Boulder, USA)

Mark G. Humphrey (Australian National University, Austria)

姚建铨(天津大学)　林圣贤(台北交通大学)　杨志忠(国立台湾大学)

朱超原(台北交通大学)　魏台辉(台湾国立大学)　宋瑛林(哈尔滨工业大学)

张　弛(江南大学)　史　伟(天津大学)　胡明列(天津大学)

魏志义(中科院物理所)　冷雨欣(中科院上海光机所)　冯　衍(中科院上海光机所)

刘　军(中科院上海光机所)　刘红军(中科院西安光机所)　钱列加(上海交通大学)

何京良(山东大学)　孔勇发(南开大学)　曾和平(华东师范大学)

阮智超(浙江大学)　林文雄(中科院福建物质结构研究所)　周忠祥(哈尔滨工业大学)

杨延强(哈尔滨工业大学)　秦冠仕(吉林大学)　潘世烈(新疆理化所)

徐　军(中科院上海硅酸盐所人工晶体中心)

会议投稿:

有兴趣投稿的作者请登陆 www.manuscript-cnoenet.com,在线注册投递摘要,经专家评审后优秀论文将被推荐到 SCI 和 EI 期刊正式出版(会后发表)。 摘要投稿截止时间:**2014** 年 **8** 月 **15** 日。

组委会联系方式:

李　瑾,邓　伟

中国宇航学会光电技术专委会(天津市空港经济区中环西路 58 号,300308)

Tel: 86–22–58168516, 86–22–58168510　Email:lijin@cnoenet.com