

文章编号: 0258-7025(2005)07-0885-04

# 一种新型皮秒脉冲激光器

高宏文, 孙传东, 陈 智, 王国志, 丰 善

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 陕西 西安 710068)

**摘要** 一种新型皮秒脉冲激光器由序列脉冲激光的产生、单脉冲激光的选取、放大和倍频等部分组成, 激光器工作物质选用 Nd:YAG 晶体, 用两个格兰棱镜分别作为起偏器和检偏器, 激光器的振荡级利用被动锁模染料产生的锁模序列脉冲激光, 经过单脉冲选择器选取出其中的一个单脉冲激光, 再经激光器放大部分的放大和倍频晶体的倍频后, 激光器最终输出能量为 120 mJ, 脉冲宽度为 100 ps, 波长为 532 nm 的单脉冲激光, 其功率约为  $1.2 \times 10^9$  W, 功率密度约为  $4.2 \times 10^9$  W/cm<sup>2</sup>, 系统的外触发同步精度优于 2  $\mu$ s。

**关键词** 激光技术; 脉冲激光器; 被动锁模; 单脉冲选取; 激光漂移; 同步精度

**中图分类号** TN248.1 **文献标识码** A

## A New Picosecond Pulse Laser

GAO Hong-wen, SUN Chuan-dong, CHEN Zhi, WANG Guo-zhi, FENG Shan

(State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710068, China)

**Abstract** A new picosecond pulse laser consists of a resonator, a single pulse laser selector, two amplifiers, frequency doubling, and so on. A Nd:YAG rod is used as active medium of laser and two Glan prisms are separately used as polarizer and analyzer of polarized light. In order to generate a series of mode-locked pulse laser lights, a passive mode-locked dye cell is used in the resonator. A single pulse laser light is obtained from the series of mode-locked pulse laser lights after they have passed the selector. Finally, after the pulse laser light has been amplified and doubled in frequency, an output of laser light beam with energy of 120 mJ and duration of laser light of 100 ps at wavelength of 532 nm is realized. It is equal about  $1.2 \times 10^9$  W of pulse power or  $4.2 \times 10^9$  W/cm<sup>2</sup> of power density. An out-triggering synchro-precision of better than 2  $\mu$ s is obtained from the laser.

**Key words** laser technique; pulse laser; passive mode-locking; single pulse-selecting; drift of laser light; synchro-precision

## 1 引 言

迅速发展的激光技术现已广泛用于工业、军事、文化教育以及科学研究等国民经济的各个领域<sup>[1,2]</sup>, 并且取得了很好的经济效益和社会效益。近年来, 随着微电子机械技术、精密机械加工与制造技术等现代科学技术的飞速发展, 出现了许多新的激光器<sup>[3~7]</sup>。目前纳秒、皮秒、飞秒等不同波长、各种类型的激光器虽然已经得到了广泛的应用<sup>[8,9]</sup>, 但是, 在某些有特殊要求的应用领域, 灯抽运激光器独特的优点仍在研究中<sup>[10,11]</sup>, 同时满足多项技术指标的激光器很少<sup>[12,13]</sup>。本文介绍了一种自行研制、

用于某些特殊场合(如精密全息干涉计量), 同时具有高的外触发同步精度的皮秒脉冲激光器。

## 2 结构与工作原理

激光器由气体放电脉冲氙灯抽运, 工作物质采用 Nd:YAG 晶体, 它包括锁模序列脉冲激光的产生、单脉冲激光的选取、放大、倍频和扩束准直等, 其结构如图 1 所示。激光器由振荡级产生稳定的锁模序列脉冲激光, 然后从此序列脉冲中利用 KD\*P 晶体选取出其中的一个单脉冲激光, 再经过二级放大、倍频、滤光、扩束准直, 最后输出单脉冲激光。

收稿日期: 2004-06-04; 收到修改稿日期: 2004-09-27

作者简介: 高宏文(1964—), 男, 陕西大荔人, 中国科学院西安光学精密机械研究所副研究员, 硕士, 主要从事瞬态过程多维信息获取技术的研究及其科研技术装备的研发。E-mail: gaohw@opt.ac.cn

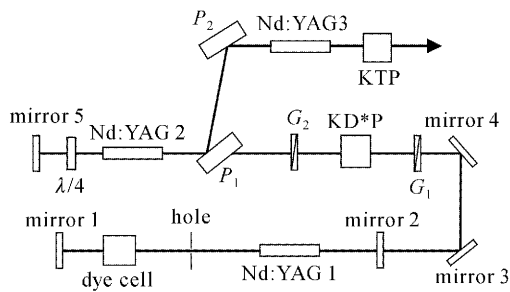


图 1 激光器的结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the laser

## 2.1 序列脉冲激光的产生

皮秒脉冲激光器的振荡级采用平凹直线腔结构<sup>[14]</sup>,用来产生锁模序列脉冲激光。振荡级包括 Nd:YAG 晶体、聚光腔和脉冲氙灯、饱和吸收染料盒、选模小孔等部分,未经锁模的激光器是多纵模的,这些纵模的初始相位在激光器内无规则分布,饱和吸收染料能够使各个纵模的相位协调起来,具有确定的相位关系,振荡频率保持一定间隔。为了产生 100 ps 左右的单横模脉冲激光,采用五甲川溶于二氯乙烷的溶液作为饱和吸收染料,光通过它的弛豫时间  $\tau_b$  随其浓度的变化而变化,一般饱和吸收染料的弛豫时间  $\tau_b$  远小于锁模脉冲激光的宽度  $\tau_p$ 。为了提高激光器振荡级输出序列脉冲激光的稳定性同时有利于单脉冲的选取,可饱和吸收染料连接有液体循环装置。振荡级输出的锁模序列脉冲激光波形如图 2 所示。

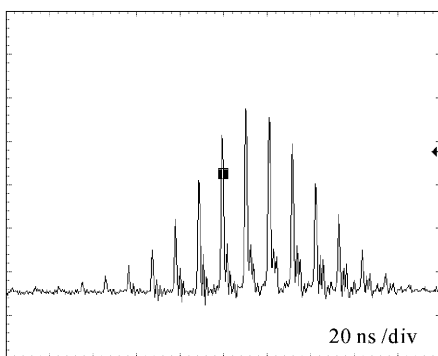


图 2 锁模激光波形

Fig. 2 Waveform of mode-locked laser light

## 2.2 单脉冲激光的选取

为了从锁模序列脉冲中选取出一个单脉冲激光,激光器振荡级谐振腔的长度设计为 1.5 m,这样,锁模序列脉冲激光之间的间隔为 10ns,为了使此间隔保持稳定,振荡级内的主要元器件都放置在

殷钢导轨上。单脉冲激光的选取由三部分组成: 1) 格兰棱镜和泡克尔斯盒组成的选取单脉冲激光光路; 2) 脉宽为 3 ns 的高压脉冲形成电路和同轴电缆组成的电路; 3) 光导纤维传光束和光电接收器组成的高压触发系统。锁模序列脉冲激光通过格兰棱镜  $G_1$ , KD\*P 泡克尔斯盒,用光导纤维从格兰棱镜  $G_2$  上取出激光信号分别送到光电触发同步电路,将光信号变换成两路电信号分别经过电缆延时转换成两路没有时间差和幅度差的电信号,如图 3 所示。

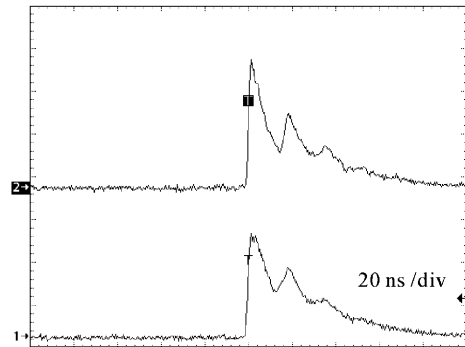


图 3 两路同步的电信号

Fig. 3 Two channels of synchro electric signal

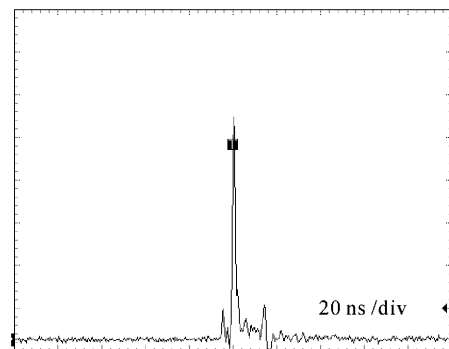


图 4 单脉冲激光

Fig. 4 Single pulse laser light

经过电缆送来的两个电信号分别触发高压脉冲电路产生宽度为 6 ns 的高压脉冲,并加在泡克尔斯盒上,由于在激光器振荡级采取了调节稳定序列脉冲激光的措施,所以选取出的单脉冲激光幅度稳定、成功率高。选取出的单脉冲激光如图 4 所示。

单脉冲激光的选取由雪崩晶体管堆电路作为高压脉冲电路驱动泡克尔斯盒来实现,高压脉冲触发电路是由光导纤维传光束、光电转换器件等组成的双路触发电路,触发高压脉冲电路,调节光导传光束与光信号的位置,使光电转换器件获得适当的能量,触发信号相对于锁模脉冲序列激光必须要有一定的

时间间隔,才能选出比较理想的单脉冲激光,如图 5 所示。

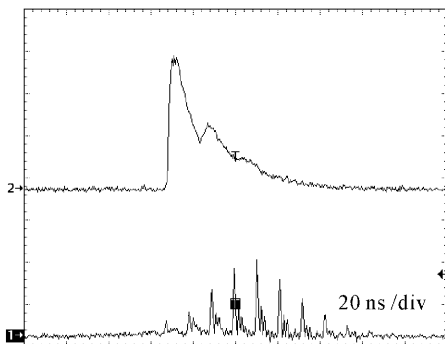


图 5 触发信号与锁模序列脉冲激光的时间关系

Fig. 5 Temporal relations of trigger signal and a series of mode-locked pulse laser lights

### 2.3 单脉冲激光的放大

激光器的放大部分采用了一级同轴双程放大和一级行波放大,放大系统的工作物质均采用  $\phi 8 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$  的 Nd:YAG 棒。单脉冲激光透过第一个偏光反射镜  $P_1$ ,进行一次放大,放大后的激光束通过  $\lambda/4$  波片,其偏振面旋转  $45^\circ$ ,经全反射镜全反,再次通过  $\lambda/4$  波片,其偏振面再次旋转  $45^\circ$ ,激光束的偏振面共旋转了  $90^\circ$ ,再一次经过放大,然后被偏光反射镜  $P_1$  全部反射到偏光反射镜  $P_2$ ,再由偏光反射镜  $P_2$  反射进入行波放大部分进行放大,放大后的单脉冲激光进入倍频晶体。

在调试放大系统时,必须消除系统的寄生振荡,系统的寄生振荡主要来源于选取单脉冲激光器件的两个格兰棱镜端面、泡克尔斯盒的端面、激光棒的端面和  $\lambda/4$  波片的端面。偏光反射镜  $P_1, P_2$  按布儒斯特角放置,行波放大部分的寄生振荡通过把放大棒偏置  $2^\circ \sim 3^\circ$  来消除。经过激光器放大部分放大后的 1064 nm 单脉冲激光,其能量可达 230 mJ 左右。

### 2.4 倍频

经过放大后的单脉冲激光的波长为 1064 nm,通过 KTP 倍频晶体倍频后,波长变成 532 nm 的可见绿光。KTP 倍频晶体是一种斜方结构的双轴晶体(点群  $\text{mm}2$  类),它具有容易生长、光学质量好、非线性系数高、不易潮解、破坏阈值高、折射率温度系数低及易于实现最佳匹配角等优点,其倍频效率可达 60%。由于经过放大后激光的功率较高,所以,倍频部分设计在激光放大部分的输出端。

### 2.5 滤光

激光器的滤光由滤光镜实现。由于 KTP 倍频晶体的倍频效率是 50% 左右,因此,通过 KTP 倍频晶体的光不但含有波长为 532 nm 的绿光,而且含有 1064 nm 的光。滤光镜将 532 nm 的光提取出来,而将剩余的 1064 nm 波长和其他杂散光全部滤掉,使激光器最后仅输出波长为 532 nm 的绿光。

### 2.6 扩束准直

波长为 532 nm 绿光经过扩束准直系统后,输出直径约为  $\phi 40 \text{ mm}$  的平行光以便满足应用的需要,扩束准直部分的放大倍数约为 5 倍。

## 3 激光器的主要技术参数

激光器的工作方式为单次/重复频率;工作波长为 532 nm;脉冲宽度为 100 ps;单脉冲能量  $\geq 100 \text{ mJ}$ ,其功率约为  $1.2 \times 10^9 \text{ W}$ ,功率密度约为  $4.2 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$ ;固有延迟出光漂移  $\leq 2 \mu\text{s}$ ;输出激光模式为  $\text{TEM}_{00}$ ;输出能量不稳定性  $\leq \pm 10\%$ ;光束发散角  $\leq 1.0 \text{ mrad}$ 。

## 4 结 论

该皮秒脉冲激光器满足了人们在某些特殊应用场合将精密全息干涉计量作为光源的要求。该激光器在结构和布局上还有待进一步的调整,在仪器化程度<sup>[7]</sup>上还有待进一步提高,如果能在性能指标、仪器的小型化和便携性方面有进一步改进,则它的应用前景将会更加广阔。

### 参 考 文 献

- 1 National Research Council USA, translated by Shanghai Applied Physics Research Center. Harnessing Light—Optical Science and Engineering for the 21<sup>st</sup> Century [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Document Press, 2001. 1~26  
美国国家研究理事会编,上海应用物理研究中心译. 驾驭光——21 世纪光科学与工程学 [M]. 上海:上海科学技术文献出版社,2001. 1~26
- 2 Yang Li. Advanced Optical Manufacture Technology [M]. Beijing: Science Press, 2001. 1~25  
杨力. 先进光学制造技术 [M]. 北京:科学出版社,2001. 1~25
- 3 Cheng Duo, Wang Guozhi. Investigation of femtosecond laser holographic imaging technology [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1996, 4(5): 75~79  
成铎,王国志. 飞秒全息成像技术研究 [J]. 光学精密工程, 1996, 4(5): 75~79
- 4 Feng Shan, Wang Shuyan, Wang Guozhi et al.. R&D of transient laser holographic interferometry and test instrument [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2001, 30(5): 366~369

- 丰 善,王淑岩,王国志等. 瞬态激光全息干涉计量与测试设备的研制与开发 [J]. 红外与激光工程, 2001, **30**(5): 366~369
- 5 Gao Hongwen, Sun Chuandong, Chen Zhi *et al.*. Experimental study on stability of output lamp-pumped laser [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(11): 1306~1307
- 高宏文,孙传东,陈 智等. 灯泵浦激光器输出激光稳定性实验研究 [J]. 光子学报, 2003, **32**(11): 1306~1307
- 6 Zhu Jianqiang, Chen Shaohu, Zhang Zhuhong *et al.*. Generation of four picosecond pulses from a stable passive mode-locked Nd:YLF laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 1994, **14**(2): 183~186
- 朱健强,陈绍和,张筑虹等. 稳态锁模产生 4ps 激光脉冲 [J]. 光学学报, 1994, **14**(2): 183~186
- 7 Picosecond Mode-Locked Nd:YAG Lasers, PL 2140 Series. <http://www.ekspla.com/en/main/brochures/Laserbrochures>
- 8 Wang Yanyong, Liu Jianhui, Li Shichen *et al.*. Stable and simple structure passively Q-switched single-longitudinal-mode laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(5): 531~534
- 王衍勇,刘俭辉,李世忱等. 稳定的简单结构被动调 Q 单脉冲单纵模激光器 [J]. 中国激光, 2004, **31**(5): 531~534
- 9 Feng Yan, Bi Yong, Zhang Hongbo *et al.*. 20 W diode pumped external frequency-doubled Nd:YAG green laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(4): 469~471
- 冯 衍,毕 勇,张鸿博等. 20W 腔外倍频全固态 Nd:YAG 绿光激光器 [J]. 光学学报, 2003, **23**(4): 469~471
- 10 Wang Xubao, Chen Jimin, Wang Rui *et al.*. High efficiency Nd:YAG doubling frequency laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(3): 203~205
- 王旭葆,陈继民,王 瑞等. 高转换效率 Nd:YAG 倍频激光器 [J]. 中国激光, 2003, **30**(3): 203~205
- 11 Lan Xinju. Laser Technology [M]. Beijing: Science Press, 2000. 115~118
- 蓝信钜. 激光技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 115~118
- 12 Qiang Li, Zhimin Wang, Zhiyong Wang *et al.*. 600-W lamp pumped CW Nd:YAG laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(9): 535~537
- 13 Xiaoping Guo, Meng Chen, Gang Li *et al.*. Diode-pumped 1123-nm Nd:YAG laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(7): 402~404
- 14 Zhang Mingxin, Wei Jianwei, Wang Xiaoxia *et al.*. Laser holographic measurement of condensed phase particles during solid propellant combustion [J]. *J. Solid Rocket Technology*, 2000, **23**(1): 70~73
- 张明信,魏建维,王晓霞等. 固体推进剂燃烧中凝相粒子的激光全息测试 [J]. 固体火箭技术, 2000, **23**(1): 70~73



## 高亮度半导体激光器列阵单光纤耦合模块

高亮度半导体激光器列阵单光纤耦合模块通过采用微光学系统对半导体激光器的光束进行准直、整形、聚焦后耦合到光纤中去。广泛应用于工业加工、医疗美容、材料处理中,特别是可以作为固体激光器抽运源,实现固体激光器的端面抽运。

北京国科世纪激光技术有限公司生产的大功率单光纤耦合模块,采用线型半导体激光器列阵的光束的导光和整形装置(专利号 ZL95195938.7),对中心波长为 808 nm/980 nm,功率为 40 W 的线型半导体激光器列阵的输出光束进行整形,并耦合到单根光纤中,光纤连接器采用 SMA905 大功率国际标

准接头,并可以相互置换。该产品可以配置三种光纤:  $\phi 800 \mu\text{m}$  /数值孔径 0.22 和  $\phi 600 \mu\text{m}$  /数值孔径 0.22 及  $\phi 400 \mu\text{m}$  /数值孔径 0.22。当采用  $\phi 800 \mu\text{m}$ ,数值孔径 0.22 的光纤,出光功率为 32 W;当采用  $\phi 600 \mu\text{m}$ ,数值孔径 0.22 的光纤,出光功率为 30 W;当采用  $\phi 400 \mu\text{m}$ ,数值孔径 0.22 的光纤,出光功率为 25 W。耦合效率为国内最高水平。

北京国科世纪激光技术有限公司在此产品上现已达到批量化生产能力,并已形成自己的系列化产品。现正在研究和调试  $\phi 200 \mu\text{m}$ ,数值孔径 0.22 的光纤耦合等产品。

地 址:北京市海淀区上地四街 1 号  
邮 编:100085  
E-mail:sales@gklaser.com

传 真:010-62981940  
电 话:010-62981937/38/39  
<http://www.gklaser.com>