

文章编号: 1001-3806(2014)06-0804-03

双波长腔外同步和频 355nm 准连续全固态激光器

田 明, 王 菲, 车 英

(长春理工大学 光电工程学院, 长春 130022)

摘要: 为了获得能够实用化的大功率 355nm 准连续全固态激光器, 采用同一台双通道射频驱动源对准连续 1064nm 激光器和 532nm 激光器中的声光 Q 开关同时进行调制的方法来实现二者的同步, 通过消色差透镜将 1064nm 光和 532nm 光同时耦合到 II 类相位匹配 LBO 晶体进行和频产生 355nm 紫外激光。在总注入电功率为 436W、重复频率为 6kHz 时, 355nm 激光最大输出功率 6.8W, 脉宽为 67ns, 总转换效率为 1.56%。结果表明, 采用双波长腔外同步和频的方法可以获得大功率 355nm 准连续激光输出。

关键词: 激光器; 全固态激光器; 355nm 激光器; 同步调 Q ; 和频

中图分类号: TN248.1

文献标志码: A

doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.06.017

LD pumped QCW 355nm laser by extra-cavity sum-frequency-mixing using double synchronized wavelength lasers

TIAN Ming, WANG Fei, CHE Ying

(College of Opto-Electronics Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to get practical high power quasi-continuous wave (QCW) laser at 355nm, the 1064nm and 532nm QCW lasers were synchronized by radio frequency drive source with double channels via an acousto-optic modulator. The two wavelengths were coupled into type II LBO crystal simultaneously by an achromatic lens and the ultraviolet laser at 355nm was generated. The highest output power of 355nm laser is 6.8W, pulse width is 67ns, conversion efficiency of the 355nm laser is about 1.56% when the injected electrical power is 436W and the repetition frequency is 6kHz. The results show that the high power 355nm QCW laser can be obtained by extra-cavity sum-frequency with double wavelength synchronized lasers.

Key words: lasers; all solid state laser; 355nm laser; Q switched synchronized; sum frequency

引 言

紫外激光器具有能量集中、单光子能量高和分辨率高等优点, 在军事、科研、工业和农业等各领域获得广泛的应用^[1-3]。半导体抽运的全固态紫外激光器具有良好的光束质量、高的可靠性、好的工作稳定性及体积紧凑等突出优势, 在实际中取得了更多的应用^[4-7]。355nm 波长激光器是紫外波段应用最为成熟的激光器之一, 如何提高该类激光器的输出功率、转换效率和光束质量是研究人员所关注的热点^[8-11]。LD 侧面抽运 Nd:YAG 激光器通过非线性

变换是获得大功率 355nm 激光的重要手段之一, 目前较常用的方式是对来自同一台激光器中的基频光和倍频光进行和频来产生 355nm 激光^[9-11], 由于大功率时激光晶体热效应严重, 影响基频光和倍频光的光束质量, 从而限制和频转换效率的提高。

本文中采用一台 LD 侧面抽运 Nd:YAG 激光器产生基频光, 而用另一台 LD 侧面抽运 Nd:YAG 激光器产生倍频光, 通过同一台双通道射频驱动源对基频光激光器和倍频光激光器中的声光 Q 开关进行调制, 从而实现基频光和倍频光的同步, 采用消色差透镜将基频光和倍频光同时耦合到 LBO 晶体进行和频, 从而获得了准连续波 (quasi-continuous wave, QCW) 355nm 紫外激光输出。

1 实验装置

实验装置如图 1 所示。1064nm 和 532nm 分别

基金项目: 吉林省科技发展计划资助项目(20110328)

作者简介: 田 明 (1971-), 男, 副教授, 现主要从事光电技术方面的研究。

E-mail: tianming@cust.edu.cn

收稿日期: 2013-12-25; 收到修改稿日期: 2014-03-10

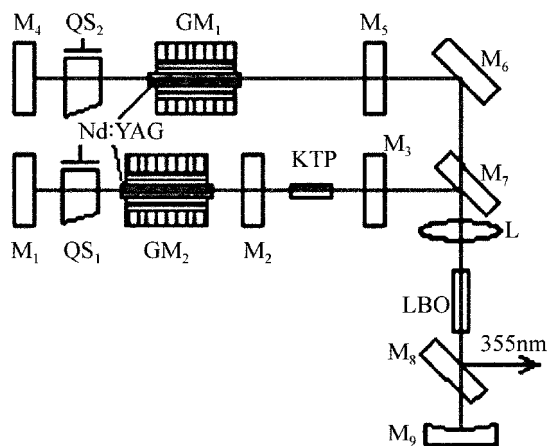


Fig. 1 Experimental setup of LD pumped QCW 355nm laser

由两个 LD 侧面抽运声光调 Q Nd:YAG 激光器产生,此两个激光器的谐振腔均采用平行平面对称腔结构,这种方式可以有效缓解单个 Nd:YAG 晶体在高功率抽运下热效应严重的问题,提高 1064nm 和 532nm 的光束质量,从而利于提高和频转换效率。Nd:YAG 晶体的掺杂原子数分数为 0.01,尺寸为 3mm × 65mm,双端面镀制对 1064nm 的减反射膜(反射率 $R_{1064} \leq 0.3\%$)谐振腔等效腔长均为 400mm。

平面镜 M_1 和 M_3 构成 1064nm 波长激光的谐振腔,平面镜 M_4 和 M_5 构成 532nm 波长倍频激光器的谐振腔。平面镜 M_1 和 M_4 为激光器的高反射镜,其对 1064nm 波长高反射($R \geq 99.8\%$); M_3 为信频输出镜,其对 1064nm 高反射,对 532nm 减反射, ($R_{1064} \geq 99.7\%$, $R_{532} \leq 0.3\%$); M_5 为 1064nm 激光器输出镜,对 1064nm 透射率为 20%; M_2 为高通滤光片,其对 1064nm 的透射率高于 99.7%,对 532nm 的透射率低于 0.2%,从而保证倍频产生的绿光能够被充分的利用。GM₁ 和 GM₂ 均为 LD 侧面抽运模块,每个 LD 抽运模块最大注入电功率均为 218W,同一个电源供电。QS₁ 和 QS₂ 为英国古奇公司生产的 50W 水冷型 27MHz 声光 Q 开关,两个 Q 开关由一个驱动源进行驱动,且同步性较好。二倍频晶体采用高抗灰迹的 KTP 晶体(high gray track resistance-KTiOPO₄, HGTR-KTP),尺寸为 3mm × 3mm × 8mm,双面镀制 532nm 和 1064nm 的减反射膜(总反射率 $R_{1064,532} \leq 0.3\%$)。

平面镜 M_6 和 M_7 均为 45° 反射镜, M_6 对 1064nm 波长反射率高于 99.5%, M_7 对 1064nm 波长透射率高于 99.5%,而对 532nm 波长反射率高于 99.6%。平面镜 M_8 为平面分色镜,与光轴呈 45° 角

放置,其对 45° 角入射的 1064nm 和 532nm 波长光透射率高于 99.5%,且对 355nm 波长光反射率高于 99.7%。 M_9 为凹面镜,凹面曲率半径为 120mm,凹面镀制 1064nm,532nm 和 355nm 3 个波长的高反射膜层(总反射率 $R_{1064,532,355} \geq 99.6\%$)。L 为消色差透镜,对 532nm 和 1064nm 两个波长的焦距均为 60mm,其焦点与凹面反射镜 M_9 的凹面焦点重合,从而利于 532nm 和 1064nm 两个波长在和频晶体中达到良好的模式匹配。

532nm 倍频光和 1064nm 基频光被消色差透镜耦合到 II 类相位匹配的三倍频晶体 LBO 晶体中进行和频,从而产生 355nm 紫外激光。三倍频晶体的相位匹配角 $\theta = 42.4^\circ$,方位角 $\phi = 90^\circ$ 。该 LBO 晶体的双端面均镀制 1064nm,532nm 和 355nm 3 个波长的减反射膜层(总反射率 $R_{1064,532,355} \leq 0.3\%$),尺寸为 3mm × 3mm × 20mm,通过在其 4 个侧面包裹一层铝箔,然后将其装夹到铜热沉中进行控温。

2 实验结果与分析

图 2 中给出了注入电功率为 436W 不同重复频率下 355nm 波长激光最大输出功率和脉冲宽度曲线。从图中可以看出,随着重复频率的提高,输出激光脉冲宽度逐渐变宽,在 2kHz 和 20kHz 时分别为 46ns 和 156ns。根据声光调 Q 速率方程理论,上能级反转粒子数越多及初始反转粒子数和阈值反转粒子数的比值越大,获得调 Q 脉冲的脉冲宽度越窄。在高重复频率时,对上能级反转粒子的抽空速率较大,上能级反转粒子积累的时间变短,从而导致在每个调 Q 脉冲产生时上能级粒子数减少,因此在高重复频率时调 Q 脉冲宽度变宽。图 2 还反映了在不同重复频率下 355nm 波长激光的最大输出功率,在 6kHz 时获得最大的输出功率为 6.8W。在低重复频率时,脉冲宽度较窄,脉冲峰值功率密度相对较高,

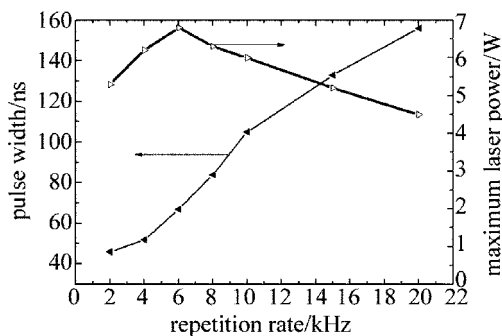


Fig. 2 Pulse width and maximum laser power of 355nm at different repetition rate

相应的和频转换效率也较高,但由于此时基频光和倍频光的平均功率较低,因此获得 355nm 波长激光最大输出功率也相应地降低。在重复频率过高时,基频光平均功率较高,但脉冲宽度较宽和脉冲峰值功率密度相对较低,从而导致倍频和和频转换效率变低,因此获得 355nm 波长激光最大输出功率也相应的降低。综上所述,激光器存在一个最佳重复频率对应着最大的 355nm 波长激光输出功率,相应的最佳重复频率为 6kHz。

图 3 中给出了重复频率为 6kHz 时 1064nm, 532nm 和 355nm 波长激光输出功率曲线,三者最大输出功率分别为 26.6W, 15.4W 和 6.8W。该重复频率下相应 355nm 波长激光输出脉冲波形如图 4 所示,脉冲宽度为 67ns。

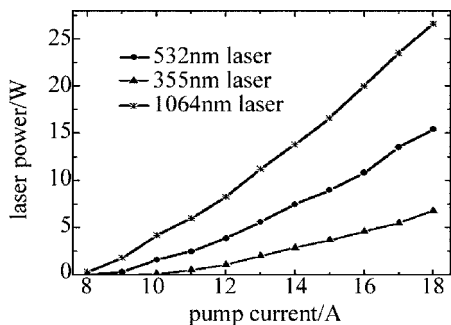


Fig. 3 The curve of laser power at 6kHz

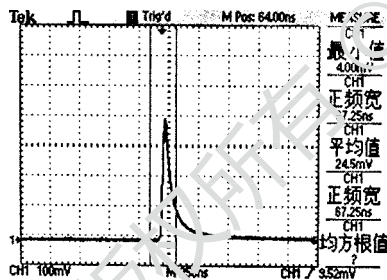


Fig. 4 The pulse shape of 355nm laser at 6kHz

3 结 论

采用两台 LD 侧面抽运准连续 Nd:YAG 激光器分别产生基频光和倍频光,通过同一台双通道射频驱动源对基频光激光器和倍频光激光器中的声光 Q

开关进行调制,从而实现基频光和倍频光的同步,采用消色差透镜将基频光和倍频光耦合到 LBO 晶体进行和频,从而获得准连续 355nm 紫外激光输出。在总注入电功率为 436W 且重复频率为 6kHz 时,获得功率为 6.8W、波长为 355nm 激光输出,其脉冲宽度为 67ns,总转换效率为 1.56%。

参 考 文 献

- [1] ZHANG Ch, ZHANG Q M, GUO L, *et al.* Ablating process with 355nm laser for amorphous silicon thin-film solar cell [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2012, 24 (11): 2751-2756 (in Chinese).
- [2] YANG H, HUANG Sh, DUAN J, *et al.* Contrastive study on laser ablation of single-crystal silicon by 1030nm femtosecond laser and 355nm nanosecond laser [J]. Chinese Journal of Lasers, 2013, 40 (1): 01030031 (in Chinese).
- [3] LI B, YAO J Q, DING X, *et al.* High efficiency extra-cavity frequency conversion UV laser [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2011, 23 (2): 290-292 (in Chinese).
- [4] CHENG Q Z, GUO H G, QING G B, *et al.* LD pumped 355nm quasi-CV ultraviolet laser [J]. Laser Technology, 2005, 29 (5): 514-515 (in Chinese).
- [5] ROMOLIA L, FISCHER F, KLINGB R. A study on UV laser drilling of peek reinforced with carbon fibers [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2012, 50 (3): 449-457.
- [6] GUO D Ch, JIANG X D, HUANG J, *et al.* Effect of raster scan number on damage resistance of KDP crystal irradiated by ultraviolet pulse laser [J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2013, 62 (14): 147803 (in Chinese).
- [7] LI Y W, LI B, WANG J, *et al.* Efficient high peak power all-solid-state 355nm UV laser [J]. Laser Technology, 2010, 34 (2): 265-267 (in Chinese).
- [8] YA X, LIU Q, GONG M, *et al.* High-repetition-rate high-beam-quality 43W ultraviolet laser with extra-cavity third harmonic generation [J]. Applied Physics, 2009, B95 (2): 323-328.
- [9] ZHENG B R, YAO Y Ch, HUANG Ch Y. Experiment of double-end-pumped intra-cavity triple frequency ultraviolet laser [J]. Laser Technology, 2013, 37 (2): 155-157 (in Chinese).
- [10] ZHANG B T, HUAN H T, YANG J F, *et al.* Generation of 7.8W at 355nm from an efficient and compact intracavity frequency-tripled Nd:YAG laser [J]. Optics Communications, 2010, 283 (11): 2369-2372.
- [11] LI B, YAO J, DING X, *et al.* High efficiency generation of 355nm radiation by extra-cavity frequency conversion [J]. Optics Communications, 2010, 283 (18): 3497-3499.