

LD 泵浦腔外倍频高转换效率 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 固体激光器*

周 城

(济南大学 理学院, 济南 250022)

摘 要:通过合理设计精密调控各元件和温控电流,得到了平均功率为 70 mW,脉冲宽度为 22 ns,重复频率为 14 kHz,峰值功率高达 230 W 的 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4/\text{Cr}^{4+}$ YAG 红外脉冲激光器. 先采用双凸透镜组合成的望远镜系统对 1 063 nm 的红外激光进行扩束,再对该光束聚焦,最后经双轴晶体 LBO 倍频后,得到了平均功率为 40.6 mW,脉冲宽度为 16 ns,重复频率为 14 kHz,峰值功率高达 181 W 的绿光激光输出,1063 nm \rightarrow 532 nm 的转换效率高达 58%. 测量了 532 nm 的光谱线宽曲线. 解释了该聚焦方法比单一薄透镜效果明显好的原因,并指出了这种聚焦方法的使用对象.

关键词:固体激光器; $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 晶体;被动调 Q;组合聚焦系统

中图分类号:TN248.1

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2007)10-1774-3

0 引言

LD 泵浦脉冲固体激光器是具有高功率、高重复频率、窄脉宽、结构紧凑、体积小、稳定性好、光束质量好的相干光源,因而在高密度光存储、高密度光学测量、光谱研究、激光雷达、空间光通讯、激光测距、海底通讯、化学成分分析、医用仪器、三维成像、目标识别和机器人等方面已显示出潜在的应用前景. 为了获得可见光通常采用倍频晶体将红外光转换为可见光,常用的有腔内倍频和腔外倍频两种方式. 由于腔外倍频可灵活拆装而倍受人们的关注成为研究的热点之一. 为了获得高的转换效率,通常采用单薄透镜聚焦^[1-5]、望远镜聚焦^[6].

本文采用 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 饱和和吸收体作为被动调 Q 元件,采用国产 2.0 W 的 LD 经柱透镜会聚后,泵浦 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 激光晶体,紧贴该晶体放置 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 饱和和吸收体. 腔外先采用双凸透镜组合成的望远镜系统对 1 063 nm 的红外激光进行扩束,然后再对该光束聚焦,最后经 LBO 晶体倍频获得 531.5 nm 的绿光激光. 与单透镜聚焦相比,该组合系统的聚焦效果更明显,可使光斑半径比单透镜聚焦小得多,且可调节参数较多,有利于获得最佳效果.

1 被动调 Q 红外激光器

LD 泵浦的红外脉冲激光器的实验装置如图 1. 图中 SML 为自聚焦微透镜, Nd 为 $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$ 晶体, Cr 为 $\text{Cr} : \text{YAG}$, OC 为输出耦合镜. 采用国产

2.0 W 的 LD 作为泵浦源,通过调整 TEC_1 的制冷电流,使其发出的波长为 808 nm,与 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 的吸收峰相匹配,用自聚焦透镜 SML 将泵浦光耦合到激光晶体 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 中. $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 的长度为 4.0 mm,掺杂浓度为 1.3 atm%. 左端面镀 808 nm 高透(AR)且 1 063 nm 高反(HR)膜作为激光器的一个腔镜,右端面镀 1 063 nm AR 膜. 厚度 1.5 mm 的被动调 Q 晶片 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 对 1 063 nm 的小信号透过率为 87%,两面均镀 1 063 nm AR 膜. 输出耦合镜 OC 为一平凹镜,其凹面的曲率半径为 100 mm,镀 1 063 nm HR/532 nm AR 膜,平面镀 532 nm AR 膜. 整个谐振腔长度约 20 mm,放在制冷器 TEC_2 上. 通过调节 TEC_2 的制冷电流,可以改变激光晶体和调 Q 晶片的工作温度.

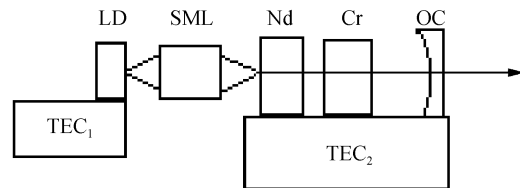


图 1 $\text{Nd} : \text{GdVO}_4/\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 被动调 Q 红外激光器
Fig. 1 Setup of a $\text{Nd} : \text{GdVO}_4/\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ passively Q-switched infrared laser

在精密调整各元件及 LD 和谐振腔的温控电流条件下,当 LD 的抽运功率为 2.2 W 时,得到了平均功率为 70 mW,脉冲宽度为 22 ns,重复频率为 14 kHz,峰值功率高达 230 W 的红外激光输出. 图 2 是用示波器接收到的脉冲波形. 实验发现 LD 泵浦的 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 被动调 Q 红外激光具有明显的线偏振性,用偏振片和功率计测得其偏振比为 1 : 550.

* 济南大学青年基金(Y0415)资助

Tel: 0531-82765480 Email: cczhoucheng@sina.com

收稿日期: 2006-07-03

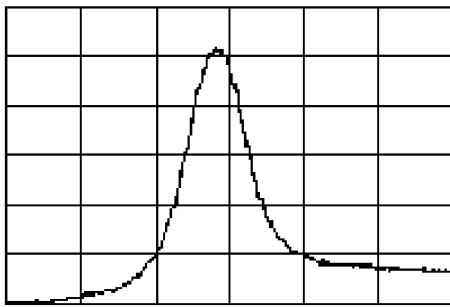


图 2 被动调 Q 1 064 nm 红外脉冲波形图 (20 ns/div)
Fig. 2 Waveform of 1 064 nm infrared passive Q-switched laser pulse

2 腔外倍频 532 nm 激光系统

腔外倍频获得 532 nm 绿光激光的实验装置如图 3. 实验中采用望远镜和薄透镜构成的组合聚焦系统对 1 063 nm 的基频光聚焦. 首先采用双凸透镜望远镜系统对 1 063 nm 的基频光进行扩束, 其焦距分别为 $f_1=4.5$ mm 和 $f_2=300$ mm, 使基频光先经过焦距为 $f_1=4.5$ mm 的透镜 L_1 , 再经过焦距为 $f_2=300$ mm 的透镜 L_2 , 使透镜 L_1 紧贴激光器的输出镜, 透镜 L_1 和 L_2 之间的距离为 $f_1+f_2=304.5$ mm; 然后经扩束的激光束再经过焦距为 $f_3=15$ mm 的聚焦薄透镜 L_3 , 透镜 L_3 与透镜 L_2 之间的距离为 $f_2+f_3=315$ mm. 脉冲红外激光经过该组合系统聚焦后射入长度为 10 mm LBO 倍频晶体(采用 II 类临界相位匹配, 两端面均镀 1 063 nmAR/532 nmAR 膜). 得到了平均功率为 40.6 mW, 脉冲宽度为 16 ns, 重复频率为 14 kHz, 峰值功率高达 181 W 的绿光激光输出, 1 063 nm→532 nm 的转换效率高达 58%. 图 4 是在最大基频光入射下, 用光栅光谱仪测得的 532 nm

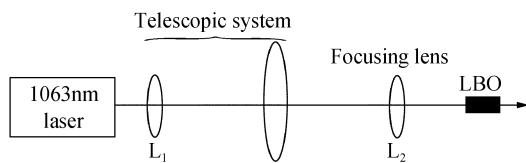


图 3 532 nm 绿光激光的实验装置
Fig. 3 The scheme of 532 nm green laser

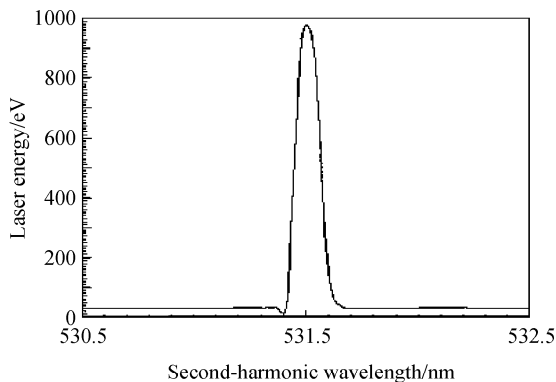


图 4 532 nm 绿光线宽图
Fig. 4 Linear width of 532 nm green laser

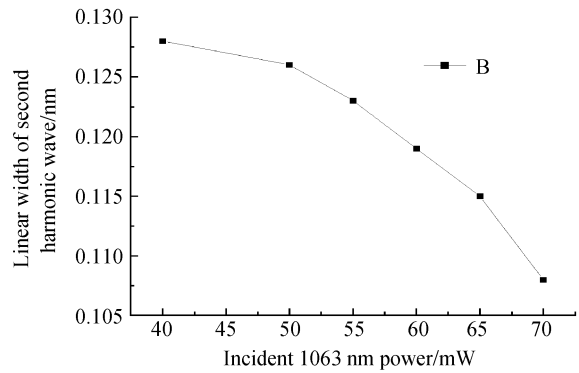


图 5 532 nm 绿光谱线宽度随基频光功率的变化曲线
Fig. 5 Curve of linear width of 532 nm green laser via incident power

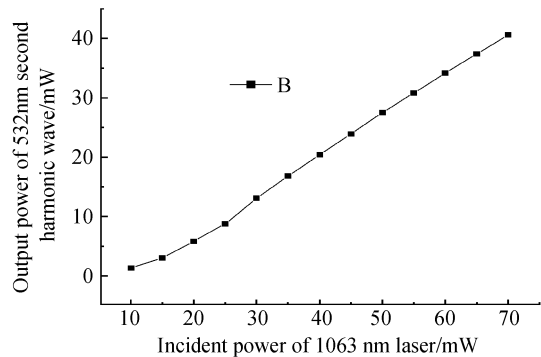


图 6 532 nm 激光的输出功率随 1 063 nm 基频光输入功率的变化曲线

Fig. 6 The curve of 532 nm laser power versus 1 063 nm fundamental laser power

绿光激光的线宽图, 此时谱线宽度(半功率最大值全宽度)为 0.108 nm. 图 5 是 532 nm 绿光谱线宽度随基频光功率的变化曲线, 随着基频光功率的增加, 谱线宽度逐渐减小. 图 6 是 532 nm 倍频光的输出功率随 1 063 nm 基频光的输入功率的变化曲线.

由于采用组合系统对基频光聚焦, 使得聚焦后的光斑半径迅速减小, 光功率密度迅速增大, 从而使倍频效率增大. 该实验所采用聚焦系统比文献[6]中的望远镜的聚焦效果更加明显, 比单个薄透镜的聚焦效果也更加明显. 这是因为高斯光束经薄透镜后光斑半径的大小与入射高斯光束的束腰半径成反比, 即

$$\omega'_0 = \frac{\lambda f_3}{\pi \omega_0} \tag{1}$$

式中, ω_0 为入射高斯光束的腰斑半径, f_3 为薄透镜的焦距, ω'_0 为经薄透镜变换后的高斯光束的腰斑半径. 高斯光束经望远镜和薄透镜构成的组合聚焦系统变换后, 入射高斯光束的腰斑半径 ω_0 和经变换后的高斯光束的腰斑半径 ω'_0 之间满足下列关系

$$\omega'_0 = \frac{\lambda f_3}{\pi \omega_0 \frac{f_2}{f_1}} = \frac{\lambda f_3}{M \pi \omega_0} \tag{2}$$

式中, $M = \frac{f_2}{f_1}$ 为望远镜的放大倍率, ω'_0 为经组合聚

焦系统变换后的高斯光束的腰斑半径. 比较式(1)和式(2)可以看出,经组合聚焦系统变换后的高斯光束的腰斑半径仅是经薄透镜变换后的高斯光束的腰斑半径 $1/M$. 由于经组合聚焦系统变换后的高斯光束的腰斑半径非常小,考虑到走离效应的影响后,将使变频效率降低,故在实际中,这种聚焦方法常用在走离角很小的倍频晶体上.

3 结论

通过合理设计,精密调控各元件和温控电流,得到了平均功率为 70 mW,脉冲宽度为 22 ns,重复频率为 14 kHz,峰值功率高达 230 W 的 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4 / \text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 红外脉冲激光. 腔外采用望远镜与薄透镜构成的组合系统聚焦,经双轴晶体 LBO 倍频后,得到了平均功率为 40.6 mW,脉冲宽度为 16 ns,重复频率为 14 kHz,峰值功率高达 181 W 的绿光激光输出,1 063 nm \rightarrow 532 nm 的转换效率高达 58%. 测量了 532 nm 的光谱线宽和谱线宽度随基频光功率的变化关系. 解释了该聚焦方法比单一薄透镜效果明显好的原因,并指出了这种聚焦方法的使用对象.

参考文献

- [1] WU Y C, CHENG C T, FU P Z, *et al.* High-average-power third harmonic generation at 355 nm with CsB_3O_5 crystal[J]. *Chin Phys Lett*, 2005, **22**(6):1426-1428.
- [2] HE Jing-liang, LU Xing-qiang, JIA Yu-lei, *et al.* All-solid-state $\text{Nd} : \text{YVO}_4$ UV laser at 266 nm by fourth harmonic using a BBO crystal[J]. *Acta Physics Sinica*, 2000, **29**(10):2106-2108.
- [3] TAN Cheng-qiao, XUE Qing-hua, JIA Fu-qiang, *et al.* LD-pumped $\text{Nd} : \text{YAG}$ outcavity fourth harmonic generation high power ultraviolet laser[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(9):1289-1292.
- [4] ZHOU Cheng, YE Zi-qing, ZHENG Quan, *et al.* Investigation for passively Q-switched $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ all-solid-state ultraviolet laser of fourth-harmonic generation [J]. *Laser Technology*, 2003, **27**(4):339-341.
- [5] ZHOU Cheng, YE Zi-qing, ZHENG Quan, *et al.* $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ passively Q-switched green laser and extra-cavity frequency doubled to generate ultraviolet laser at 266 nm[J]. *Optical Technique*, 2003, **29**(2):148-150.
- [6] ZHOU Cheng, ZHANG Zhong, ZHAO Peng, *et al.* LD pumped $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4 / \text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ solid-state laser [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(5):801-803.

LD Pumped Laser with High Conversion Efficiency $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ Solid-state by Extra Cavity Double Frequency

ZHOU Cheng

(School of Science, Ji'nan University, Ji'nan 250022, China)

Received date:2006-07-03

Abstract: Based on reasonable designing, precise temperature controlling of the $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$, $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$ and LD, passively Q-switched infrared laser was obtained with average output power of 70 mW, pulse duration of 22 ns, repetition rate of 14 kHz, and peak power of 230 W. By a piece of type-II critical phase matching biaxial crystal LBO for extra-cavity and for the compound system of telescope and Lens second-harmonic generation, green laser at 532 nm was achieved with average power of 40.6 mW, pulse duration of 16 ns, and peak power of 181 W. And the curve of linear width of 532 nm green laser via incident power was obtained. It is explained that focusing effects for the compound system was better than lens' and the compound system focusing approach appropriate to crystal properties was discussed.

Key words: Solid-state laser; $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ crystal; Passively Q-switch; Compound focusing system



ZHOU Cheng was born in 1974, in Shandong Province, P. R. China. He received the B. S. degree from Department of Physics, Liaocheng Normal University in 1998 and got the degree of M. S, respectively from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, in 2003. He is majoring in LD pumped all-solid-state laser and technology of nonlinear mixing frequency.