

LD 泵浦 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4 / \text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 固体激光器*

周 城 张 仲 赵 朋 张中士 张 莉

(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 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4 / \text{Cr}^{4+} \text{YAG}$ 绿光脉冲激光器. 腔外采用望远镜系统聚焦,经 KTP 晶体倍频后,得到了平均功率为 28.8 mW,脉冲宽度为 19 ns,重复频率为 14 kHz,峰值功率高达 108 W 的绿光激光输出,转换效率高达. 指出了小光斑对倍频晶体带来的影响.

关键词 固体激光器; $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 晶体; 被动调 Q; LD 泵浦

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

0 引言

由于 LD 泵浦固体激光器具有结构紧凑、体积小、稳定性好、光束质量好而被广泛应用于光纤通讯、医学、工业、国防和科研等领域. 过去人们的研究主要集中在 $\text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ 和 $\text{Nd}^{3+} : \text{YVO}_4$ 两种激光晶体上,与 $\text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ 相比, $\text{Nd}^{3+} : \text{YVO}_4$ 具有吸收系数大、受激截面大等优点,但它的热传导系数低,这使的 $\text{Nd}^{3+} : \text{YVO}_4$ 不适合用于大功率和脉冲的激光器中. 近来出现了一种新的激光晶体 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$, 该晶体在 808 nm 附近有很高的吸收系数,在 1064 nm 有较大的受激发射截面积 ($7.6 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$), 具有高的热导率,约为 $\text{Nd}^{3+} : \text{YVO}_4$ 的 2 倍,比 $\text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ 略大些,被认为是 $\text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ 和 $\text{Nd}^{3+} : \text{YVO}_4$ 的最佳替代者,具有很广泛的应用前景,目前已成为固体激光的一个研究热点^[1~14].

本文采用 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 饱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 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 饱和吸收体. 腔外采用双凸透镜组合成的望远镜系统对 1063 nm 的红外激光聚焦,经 KTP 倍频获得 531.5 nm 的绿光激光. 与单透镜聚焦相比,双凸透镜的聚焦效果更明显,且可调节参量较多,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-self micro lens、Nd- $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 、Cr- $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 、OC-output coupler. 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 1.3atm%,左端面镀 808nm 高透(AR)且 1063nm 高反(HR)膜作为激光器的一个腔镜,右端面镀 1063 nm AR 膜. 厚度 1.5 mm 的被动调 Q 晶片 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 对 1063 nm 的小信号透过率为 87%,两面均镀 1063 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 1063 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.

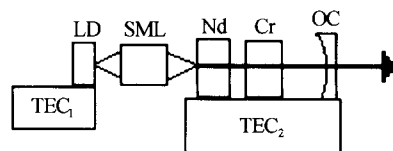


图 1 $\text{Nd} : \text{GdVO}_4 / \text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 被动调 Q 红外激光器
Fig. 1 Setup of a $\text{Nd} : \text{GdVO}_4 / \text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ passively Q-switched infrared laser

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

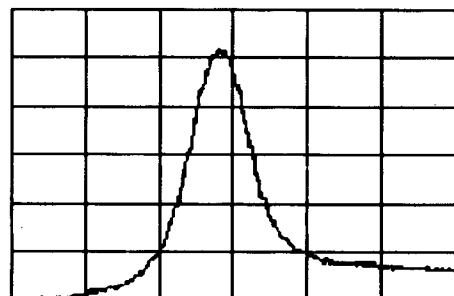


图 2 被动调 Q 1064 nm 红外脉冲波形图 (20 ns/div)
Fig. 2 Waveform of 1064nm infrared passive Q-switched laser pulse

* 济南大学青年基金(No: Y0415)资助项目
Tel: 0531-82765480 Email: cczhoucheng@sina.com
收稿日期: 2005-07-25

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.

2 腔外倍频 532nm 激光系统

腔外倍频获得 532 nm 绿光激光的实验装置如图 3. 实验中望远镜系统采用双凸透镜, 其焦距分别为 $f_1=300$ mm 和 $f_2=4.5$ mm, 使基频光先经过焦距大的透镜 L_1 , 再经过小焦距的透镜 L_2 , 使输出镜距透镜 L_1 的距离略小于透镜 L_1 的焦距 f_1 . 倍频晶体 KTP 放置在透镜 L_2 的焦点附近. 脉冲绿激光经过组合焦距约为 4.4 mm 的望远镜系统聚焦后射入长度为 5 mm KTP 倍频晶体(采用 II 类临界相位匹配, 两端面均镀 1063 nmAR/532 nmAR 膜). 得到了平均功率为 28.8 mW, 脉冲宽度为 19 ns, 重复频率为 14 kHz, 峰值功率高达 108 W 的绿光激光输出, 1063 nm \rightarrow 532 nm 的转换效率高达 41.1%. 图 4 是用示波器接收到的脉冲波形. 图 5 是 532 nm

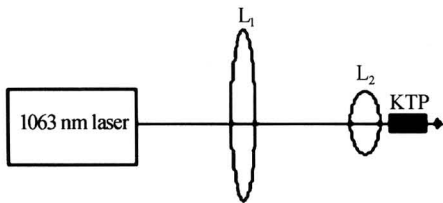


图 3 532nm 绿光激光的实验装置
Fig. 3 The scheme of 532 nm green laser

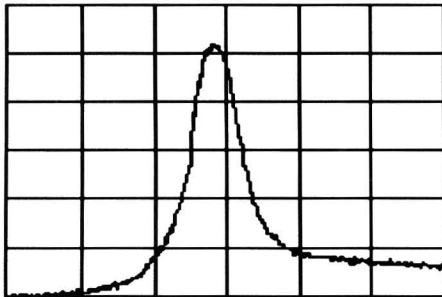


图 4 532 nm 绿光脉冲波形图 (20 ns/div)
Fig. 4 Waveform of 532 nm green laser pulse

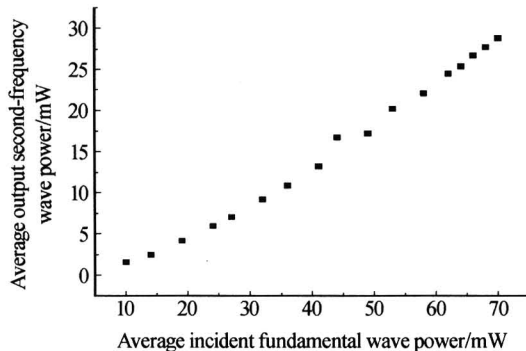


图 5 532 nm 激光的输出功率随 1063 nm 基频光输入功率的变化曲线
Fig. 5 The curve of 532 nm laser power versus 1063 nm fundamental laser power

倍频光的输出功率随 1063 nm 基频光的输入功率的变化曲线.

由于采用望远镜系统对基频光聚焦, 使得聚焦后的光斑半径迅速减小, 从而使倍频效率增大. 但使激光器长时间运行时, 倍频光输出功率下降较严重, 这主要是由 KTP 晶体的“灰线”现象所致. 这是因为基频光经望远镜系统聚焦后, 光斑很小, 光功率密度很大. 此外, 因基频光的光斑很小, 经 KTP 晶体倍频后, 由于走离效应的作用使得倍频效率也降低, 为了避免走离效应的影响, 可采用准相位匹配技术.

3 结论

通过合理设计, 精密调控各元件和温控电流, 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 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4 / \text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 绿光脉冲激光器. 腔外采用望远镜系统聚焦, 经 KTP 晶体倍频后, 得到了平均功率为 28.8 mW, 脉冲宽度为 19 ns, 重复频率为 14 kHz, 峰值功率高达 108 W 的绿光激光输出, 转换效率高达 41.1%. 指出了小光斑对倍频晶体带来的影响, 并提出了改进的方法. 在长时间运行时, 倍频功率明显降低, 且运行不很稳定. 若采用更大的泵源和高性能的倍频晶体, 渴望获得更高的倍频效率.

参考文献

- Du C, Ruan S, Zhang H, *et al.* A 13.3-W laser-diode-array end-pumped Nd : GdVO_4 continuous-wave laser at 1.34. *Appl Phys. B: Lasers and Optics*, 2005, **80**(1): 45~48
- Liu J, Yang J, He J. Diode-pumped passively Q-switched intracavity frequency doubled Nd : $\text{GdVO}_4 / \text{KTP}$ green laser. *Optics & Laser Technology*, 2004, **36**(1): 31~33
- Qin L J, Meng X. L, Du C L, *et al.* A diode-pumped passively Q-switched Nd : GdVO_4 laser with a GaAs saturable absorption. *Optics & Laser Technology*, 2004, **36**(1): 47~50
- Pan L, Hou X, Li Y, *et al.* Passively Q-switched Nd : GdVO_4 laser with a GaAs saturable absorber. *Optics & Laser Technology*, 2004, **36**(2): 121~124
- Du C, Liu J, Wang Z, *et al.* Continuous-wave and passively Q-switched Nd : GdVO_4 laser at 1.064 nm end-pumped by laser-diode-array. *Optics & Laser Technology*, 2002, **34**(8): 699~702
- Yang K, Zhao S, Li G, *et al.* Pulse compression in AO Q-switched diode-pumped Nd : GdVO_4 laser with a $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ saturable absorber. *Appl Phys. B: Lasers and Optics*, 2005, **80**(6): 687~692
- Wu E, Pan H, Zhang S, *et al.* High power single-

- longitudinal-mode operation in a twisted-mode-cavity laser with a c-cut $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$ crystal. *Appl Phys. B: Lasers and Optics*, 2005, **80**(4-5): 459~472
- 8 Ng S P, Tang D Y, Kong J, *et al.* Passive mode locking of a diode-pumped $\text{Nd} : \text{Gd}_{0.64} \text{Y}_{0.36} \text{VO}_4$ laser with a GaAs saturable absorber mirror. *Appl Phys. B: Lasers and Optics*, 2005, **80**(4-5): 475~477
- 9 李宇飞, 侯学元, 孙渝明, 等. 激光二极管抽运的被动调 Q $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$ 激光器. *中国激光*, 2004, **A31**(10): 1153~1156
Li Y, Hou X, Sun Y, *et al.* *Chinese J Lasers*, 2004, **A31**(10): 1153~1156
- 10 潘雷, 侯学元, 李宇飞, 等. 氙灯抽运 $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$ 晶体的脉冲激光性能. *中国激光*, 2004, **A31**(3): 262~264
Pan L, Hou X, Li Y, *et al.* *Chinese J Lasers*, 2004, **A31**(3): 262~264
- 11 孙渝明, 侯学元, 李宇飞. LD 泵浦的声光调 Q 高重复率 $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$ 激光器. *光子学报*, 2004, **33**(6): 645~647
Sun Y M, Hou X Y, Li Y F. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6): 645~647
- 12 杜晨林, 阮双琛, 于永芹, 等. LD 泵浦 $\text{Nd} : \text{GdVO}_4/\text{GaAs}$ 被动调 Q 激光器研究. *光子学报*, 2004, **33**(7): 774~776
Du C L, Ruan S C, Yu Y Q, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(7): 774~776
- 13 李桂秋, 赵圣之, 杨克建, 等. LD 泵浦 $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$ 晶体 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 被动调 Q 激光特性研究. *光子学报*, 2005, **34**(6): 810~813
Li G Q, Zhao S Z, Yang K J, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(6): 810~813
- 14 杨济民, 刘杰, 何京良. LD 抽运 $\text{Nd} : \text{Gd}_{1-x} \text{Y}_x \text{VO}_4$ 连续波激光器的实验研究. *光子学报*, 2004, **33**(10): 1153~1155
Yang J M, Liu J, He J L. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(10): 1153~1155

LD Pumped $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4/\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ Solid-state Laser

Zhou Cheng, Zhang Zhong, Zhao Peng, Zhang Zhongshi, Zhang Li

School of Science, Jinan University, Jinan 250022

Received date: 2005-07-25

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. Then by a piece of type-II critical phase matching KTP crystal for extra-cavity and for the system of telescope second-harmonic generation, green laser at 532 nm was achieved with average power of 28.8 mW, pulse duration of 19 ns, and peak power of 108 W. The effect of small beam radius was also discussed.

Keywords Solid-state laser; $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ crystal; Passively Q-switch; LD pumped laser



Zhou Cheng was born in 1974 in Shandong Province, P. R. China. He received the B. S. degree and the degree of M. S., from the Department of Physics, Liaocheng Normal University in 1998 and from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences in 2003 respectively. He became an educator and has been majoring in LD pumped all-solid-state laser and Technology of nonlinear mixing frequency in Jinan University.