

30 W 级第二代钠信标激光器研究

许祖彦¹ 谢仕永¹ 薄 勇^{1*} 左军卫¹ 王保山¹ 王鹏远^{1,2} 王志超^{1,2}

刘 苑^{1,2} 徐一汀¹ 许家林¹ 彭钦军¹ 崔大复¹

(¹ 中国科学院理化技术研究所激光物理与技术研究中心, 北京 100190)

² 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 采用 Nd:YAG 1064 与 1319 nm 激光在非线性晶体 LBO 中和频, 获得了高功率、高光束质量、窄线宽的准连续微秒脉冲钠信标激光。该钠信标激光平均输出功率为 33 W, 光束质量因子 $M^2 = 1.25$, 线宽小于 0.4 GHz, 波长为 589 nm, 并可精确调控到钠原子 D₂ 谱线, 稳定性优于 ± 0.3 GHz, 重复频率为 500 Hz, 脉冲宽度约为 120 μ s。与连续波钠信标激光相比, 准连续微秒脉冲钠信标激光提供了门脉冲选通机制, 可消除大气瑞利散射干扰和减小钠导引星像斑拉长现象, 从而使自适应光学系统能够实现更好的校正效果, 被称为第二代钠信标激光。基于此第二代钠信标激光器, 在云南 1.8 m 口径望远镜上进行了外场试验, 观测到激光钠导引星。

关键词 固体激光器; 钠信标激光; Nd:YAG 激光; 微秒脉冲; 和频

中图分类号 O437 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201131.0900111

Investigation of 30 W-Class Second-Generation Sodium Beacon Laser

Xu Zuyan¹ Xie Shiyong¹ Bo Yong¹ Zuo Junwei¹ Wang Baoshan¹ Wang Pengyuan^{1,2}
Wang Zhichao^{1,2} Liu Yuan^{1,2} Xu Yiting¹ Xu Jialin¹ Peng Qinjun¹ Cui Dafu¹

(¹ Research Center for Laser Physics and Technique, Technical Institute of Physics and Chemistry,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract A quasi-continuous wave (QCW) microsecond-pulse sodium beacon laser with high power, high beam quality and narrow linewidth is achieved by sum-frequency generation (SFG) with Nd:YAG 1064 and 1319 nm lasers in a nonlinear crystal of LBO. Under repetition rate of 500 Hz and pulse width of 120 μ s, the 589 nm yellow laser which can be precisely tuned to sodium D₂ line is obtained with average output power of 33 W, beam quality of $M^2 = 1.25$, linewidth less than 0.4 GHz and wavelength stability better than ± 0.3 GHz. Compared with continuous wave (CW) sodium beacon laser, QCW microsecond-pulse sodium beacon laser named as the second-generation sodium beacon laser can provide a gatable pulse format to eliminate the interference of atmospheric Rayleigh scattering and reduce stretching phenomenon of the imaging spot for sodium guide star. By the combination of the QCW laser sodium beacon and the adaptive optics system, the better correction effect and higher-resolution observation images can be achieved. A second-generation sodium beacon laser prototype is developed and the sodium laser guide star is generated and imaged by the 1.8 m telescope in Yunnan Province.

Key words solid-state lasers; sodium beacon laser; Nd:YAG laser; microsecond pulse; sum-frequency generation

OCIS codes 140.7300; 140.3538; 190.4223; 140.3530

收稿日期: 2011-07-07; 收到修改稿日期: 2011-07-22

基金项目: 国家 863 计划和中国科学院知识创新工程资助课题。

作者简介: 许祖彦(1940—), 男, 激光技术专家, 2001 年当选中国工程院院士。现任中国科学院理化技术研究所研究员, 博士生导师。率先在我国开展大功率全固态激光及其变频技术研究, 实现了从深紫外到中红外高功率激光输出, 达到国际先进水平。曾获国家发明二等奖、国家科技进步二等奖、中国科学院发明一等奖、中国科学院科技进步一等奖、北京市科学技术一等奖等。2006 年获何梁何利科技进步奖, 2007 年获求是杰出科技成就奖。E-mail: zyxu@mail.ipc.ac.cn

* 通信联系人。E-mail: boyong@tsinghua.org.cn

1 引 言

波长为 589 nm 的钠黄光激光,由于可以与大气电离层的钠原子共振产生钠信标^[1~4],从而在遥感、航天和天文观测等领域均有重要应用价值,已成为当前激光器研究的热点之一。研制钠信标激光器采用的技术方案主要包括全固态 Nd:YAG 激光和频技术^[5~11]与光纤拉曼激光倍频技术^[12~14]。目前,利用全固态激光器或光纤激光器所获钠黄光最大功率均为 50 W 级,且均以连续波方式运转,被称为第一代钠信标光源。例如,Denman 等^[11]利用种子源注入环形腔锁定放大获得单频 1064 与 1319 nm 激光输出,通过共振增强腔和频获得 50 W 的 589 nm 连续波钠黄光输出; Taylor 等^[14]利用种子源注入拉曼光纤放大器进行放大获得窄线宽 1178 nm 激光,将三路基频光相干合成后通过共振增强腔进行倍频获得 50 W 级的 589 nm 连续波钠黄光输出。与第一代连续波钠信标激光相比,采用准连续微秒脉冲方式运转的第二代钠信标激光,能够通过门脉冲时间选通技术消除瑞利散射信号的干扰,提高钠信标信号的信噪比;同时可以通过控制光源脉冲的宽度来减小钠导星像斑的拉长,以提高成像精度,从而使自适应光学系统获得更好的校正效果,极大地提高地基望远镜的成像分辨率。本文采用 Nd:YAG 1064 与 1319 nm 激光在非线性晶体 LBO 中和频,获得高功率、高光束质量、窄线宽的准连续微秒脉冲钠信标激光。

2 实 验

采用 Nd:YAG 1064 与 1319 nm 激光腔外和频方案,获得高功率准连续微秒脉冲 589 nm 钠黄光。为了获得窄线宽激光输出,1064 与 1319 nm 种子源激光均采用环形行波腔结构,通过腔内插入标准具进一步压窄激光线宽。组合使用法拉第旋光器、半波片和偏振片,使环形腔激光单向运行,在热近非稳腔运转条件下^[15,16]分别获得 61 W 的 1064 nm 激光输出和 21.7 W 的 1319 nm 激光输出。为了获得更高输出功率,还增加了主振-功率放大(MOPA)系统。通过耦合器,实现激光种子源与激光放大器之间的模式匹配,经放大器后 1064 与 1319 nm 激光功率分别放大至 90.3 与 59.8 W。利用 LBO 晶体对两路输出激光进行和频,结合理论分析和数值模拟,优化了两束基频光的偏振方向、空间匹配、脉冲同步匹配以及射入和频晶体中的光斑尺寸,最终获得平均功率 33 W

的准连续波钠信标 589 nm 激光输出。探测的钠黄光脉冲信号通过示波器显示的脉冲波形如图 1 所示,图 1(a),(b)分别是激光脉冲串波形图和单个激光脉冲的波形图,表明激光脉冲重复频率为 500 Hz,脉宽约 120 μ s。

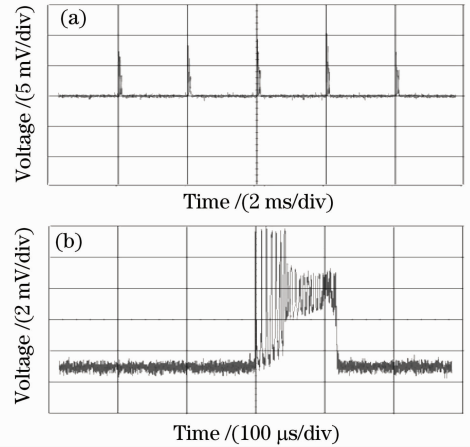


图 1 黄光脉冲波形图。(a)脉冲串波形图;
(b)单个脉冲的波形图

Fig. 1 Waveforms of yellow laser. (a) Pulse-train waveform; (b) single pulse waveform

黄光的光束质量由 M^2 -200 型光束质量分析仪测量,如图 2 所示。结果表明,光束质量因子 $M^2 = 1.25$ 。采用高精度波长计测量了该黄光的线宽与波长,如图 3 所示。结果表明,589 nm 激光线宽小于 0.4 GHz,波长稳定性优于 ± 0.3 GHz。

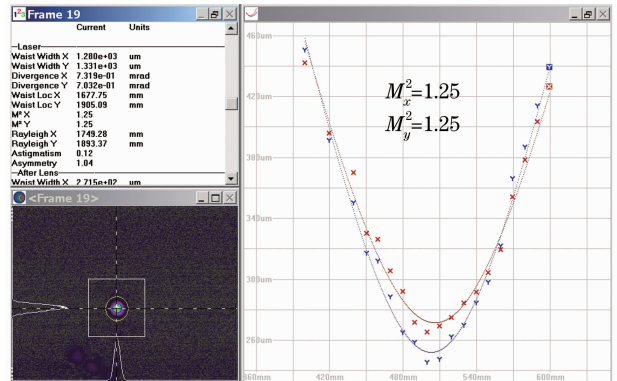


图 2 589 nm 激光的光束质量测量

Fig. 2 Measurement of beam quality for 589 nm laser

在此基础上,还研制出了第二代钠信标激光器实验样机,并与中国科学院光电技术研究所合作,在云南 1.8 m 望远镜上进行了激光钠导星外场试验,成功观测到激光钠导引星。

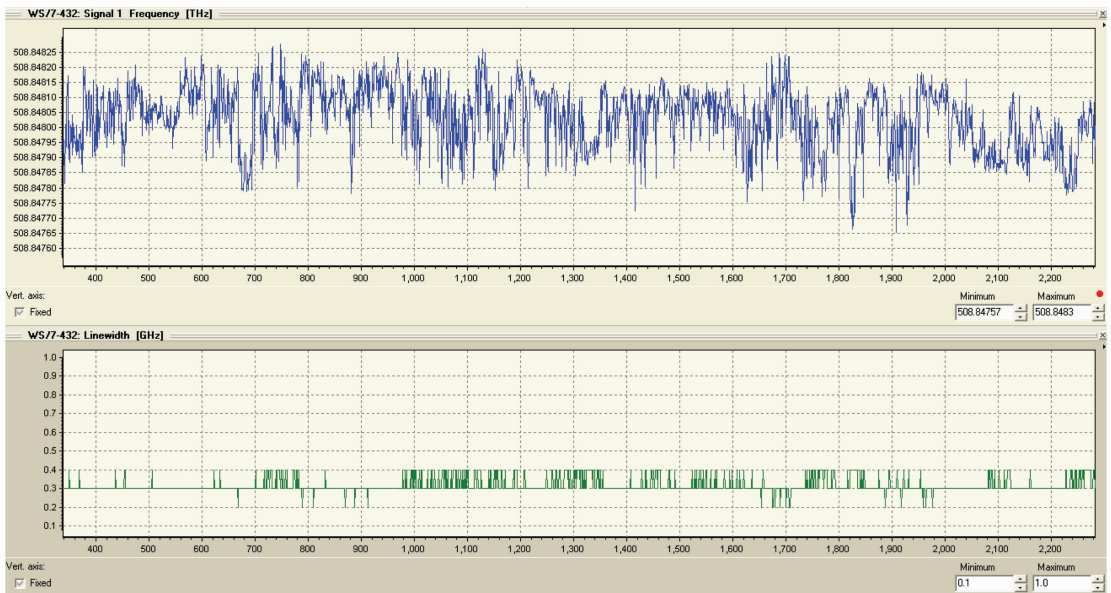


图 3 589 nm 激光线宽与波长稳定性测量结果

Fig. 3 Measurement of linewidth and wavelength stability for 589 nm laser

3 结 论

通过将 Nd:YAG 1064 与 1319 nm 激光和频获得了输出功率 33 W, 光束质量因子 $M^2 = 1.25$, 线宽小于 0.4 GHz, 波长稳定性优于 ± 0.3 GHz 的准连续微秒脉冲钠信标激光。基于此第二代钠信标激光器, 与中国科学院光电技术研究所合作, 在云南 1.8 m 口径望远镜上进行了外场试验, 成功观测到激光钠导引星。

参 考 文 献

- 1 Y. Hayano, Y. Saito, N. Saito *et al.*. Design of laser system for Subaru LGS AO [C]. *SPIE*, 2004, **5490**: 1088~1095
- 2 A. J. Tracy, A. K. Hankla, C. Lopez *et al.*. High-power solid-state sodium beacon laser guiderstar for the Gemini North Observatory [C]. *SPIE*, 2004, **5490**: 998~1009
- 3 V. Velura, E. Kibblewhite, R. Dekanya *et al.*. Implementation of the Chicago sum frequency laser at Palomar laser guide star test bed [C]. *SPIE*, 2004, **5490**: 1033~1040
- 4 D. B. Calia, W. Hackenberg, C. Araujo *et al.*. Laser guide star related activities at ESO [C]. *SPIE*, 2004, **5490**: 974~980
- 5 Lü Yanfei, Tan Huiming, Qian Longsheng. Laser diode array pumped Nd:YAG dual wavelength laser with intracavity sum frequency mixing at 589 nm [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(4): 438~442
吕彦飞, 檀慧明, 钱龙生. 激光二极管阵列抽运 Nd:YAG 腔内双波长运转 589 nm 和频激光器 [J]. *中国激光*, 2006, **33**(4): 438~442
- 6 S. Xie, Y. Bo, J. Xu *et al.*. A 7.5 W quasi-continuous-wave sodium D₂ laser generated from single-pass sum-frequency generation in LBO crystal [J]. *Appl. Phys. B*, 2011, **102**(4): 781~787
- 7 Xiuyan Chen, Xiu Li, Haolei Zhang *et al.*. 589-nm yellow laser generation by intra-cavity sum-frequency mixing in a T-shaped

- Nd:YAG laser cavity [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2009, **7**(9): 815~818
- 8 N. Saito, K. Akagawa, Y. Hayano *et al.*. Coherent 589-nm-light generation by quasi-intracavity sum-frequency mixing [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2005, **44**(47): L1420~L1422
- 9 N. Saito, K. Akagawa, M. Ito *et al.*. Sodium D₂ resonance radiation in single-pass sum-frequency generation with actively mode-locked Nd:YAG lasers [J]. *Opt. Lett.*, 2007, **32**(14): 1965~1967
- 10 J. C. Bienfang, C. A. Denman, B. W. Grime *et al.*. 20 W of continuous-wave sodium D₂ resonance radiation from sum-frequency generation with injection-locked lasers [J]. *Opt. Lett.*, 2003, **28**(22): 2219~2221
- 11 C. A. Denman, J. D. Drummond, M. L. Eickhoff *et al.*. Characteristics of sodium guiderstars created by the 50-watt FASOR and first closed-loop AO results at the starfire optical range [C]. *SPIE*, 2006, **6272**: 62721L
- 12 Y. Feng, S. Huang, A. Shirakawa *et al.*. 589 nm light source based on Raman fiber laser [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2004, **43**(6A): 722~724
- 13 L. Taylor, Y. Feng, D. B. Calia *et al.*. Multi-watt 589-nm Na D₂-line generation via frequency doubling of a Raman fibre amplifier: a source for LGS-assisted AO [C]. *SPIE*, 2006, **6272**: 627249
- 14 L. R. Taylor, Y. Feng, D. B. Calia. 50 W CW visible laser source at 589 nm obtained via frequency doubling of three coherently combined narrow-band Raman fibre amplifiers [J]. *Opt. Express*, 2010, **18**(8): 8540~8555
- 15 Y. Bo, A. Geng, Y. Bi *et al.*. High-power and high-quality, green-beam generation by employing a thermally near-unstable resonator design [J]. *Appl. Opt.*, 2006, **45**(11): 2499~2503
- 16 Peng Qinjun, Zhang Hongbo, Bo Yong *et al.*. 1906 W highly efficient quasi-continuous-wave all-solid-state laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(10): 1318
彭钦军, 张鸿博, 薄勇等. 1906 W 高效准连续全固态激光器 [J]. *中国激光*, 2006, **33**(10): 1318