

文章编号: 0253-2239(2009)07-1898-04

400 Hz 全固态和频钠导星激光器

鲁燕华 刘东 张雷 马毅 唐淳 王卫民

(中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要 报道了一台重复频率 400 Hz、平均功率 1.52 W 的二极管抽运全固态钠导星激光器。利用两路声光调 Q 的 1064 nm 与 1319 nm 激光作为基频光, 并采用主从电源模式以及电子学延迟补偿技术实现两个调 Q 脉冲的时间同步, 然后在腔外通过一块 LBO 晶体和频产生了 589 nm 钠导星激光, 和频效率约达 25.1%, 系统电光效率 0.32%。为了实现中心波长与钠 D₂a 线的锁定, 在 1064 nm 激光器内插入一块标准具, 并采用水冷控温, 通过调节控制标准具的倾斜角度和温度, 最终将中心波长对准至 589.159 nm, 并且偏差小于 ±1 pm。

关键词 激光器; 钠导星; 和频; 全固态; 标准具

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092907.1898

400 Hz All-solid-state Sum-Frequency Sodium Guidestar Laser

Lu Yanhua Liu Dong Zhang Lei Ma Yi Tang Chun Wang Weimin

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract A 400 Hz repetition rate, 1.52 W average power diode-pumped all-solid-state narrow linewidth sodium guide star laser was reported. Two acousto-optic Q-switched 1064 nm and 1319 nm lasers were used as basic-frequency lasers and they generated 589nm sodium guide star laser through a extra-cavity sum-frequency generation(SFG) LBO crystal. The master-slave drivers mode and the electronics delay compensation technology were employed to make the two Q-pulses time-synchronization. The conversion efficiency of SFG was about 25.1% and the electro-optical efficiency was 0.32%. To lock the central wavelength to the sodium D₂a line, an etalon with water cooling was inserted into the 1064 nm oscillator. The central wavelength finally aimed at 589.159 nm(error less than ±1 pm) by tuning the temperature and angle of the etalon.

Key words laser; sodium guidestar; sum-frequency; all-solid-state; etalon

1 引言

大气湍流效应将引起从太空中接收到的光波发生畸变, 并且严重影响大型望远镜的成像质量, 这些畸变能通过自适应光学系统进行实时校正。在距离地面平均高度 92 km, 厚度 10 km 的大气中间层处存在大量的钠原子, 将地面上激光器波长对准钠原子的最强的 D₂a 吸收线(真空波长值 589.159 nm), 就可以激发产生共振荧光, 以此作为天文自适应光学的人造导引星, 这一特殊的激光器就称为钠导星激光器。

钠导星激光器的类型根据产生原理主要分为染料激光器、固体和频激光器、受激拉曼光纤激光器等

三种, 而其中固体和频激光器由于结构紧凑、转换效率高、维护成本低等优势越来越受到国内外研究机构青睐。美国星火光学领域利用 1319 nm 和 1064 nm Nd:YAG 激光器和频产生了 50 W 连续单频 589 nm 激光器^[1]。相干技术公司为 Gemini North 天文台开发了基于 Nd:YAG 激光器的功率为 16 W 的连续锁模激光系统^[2]。芝加哥大学与 Caltech 合作为 Palomar 天文台发展了 8 W 宏微脉冲 Nd:YAG 和频激光器^[3]。国内中国科学院长春光机所于 2005 年采用复合腔腔内和频的方式获得了 340 mW 的 589 nm 连续输出^[4], 2006 年中国科学院物理研究所采用 V 型腔腔内和频产生了 3 W

收稿日期: 2008-10-21; 收到修改稿日期: 2008-11-30

作者简介: 鲁燕华(1981—), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事二极管抽运固体激光器方面的研究。

E-mail: happyleo@yahoo.com.cn

连续波 589 nm 黄光激光器^[5], 中国工程物理研究院应用电子学研究所于 2005 年利用腔外和频获得了 500 mW 脉冲体制钠黄光输出^[6], 但上述国内激光器均未提及激光器的谱线对准。

本文利用两路声光调 Q 的 1064 nm 与 1319 nm 激光作为基频光, 并采用电子学延迟补偿技术实现两个调 Q 脉冲的时间同步, 然后在腔外通过一块 LBO 晶体和频产生了 589 nm 钠导星激光, 和频效率约达 25.1%, 系统电光效率 0.32%。为了实现中心波长与钠 D₂a 线的对准锁定, 在 1064 nm 激光器内插入一块标准具, 并采用水冷控温, 通过调节控制

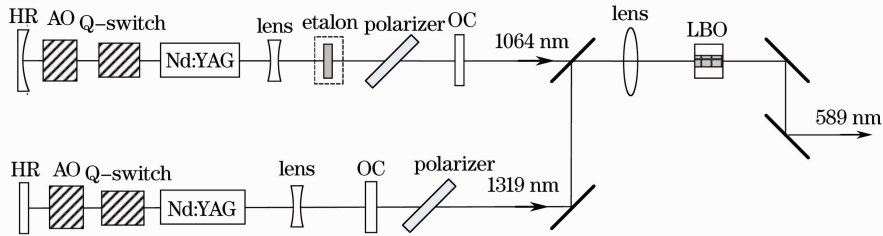


图 1 激光器原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of laser principle

图中两 Nd:YAG 抽运模块均采用自研封装的准连续 15 个 Bar 抽运模块, 最高工作电流 120 A, 二极管电源工作模式为 400 Hz, 重复频率 250 μ s 脉宽。由于 Nd:YAG 的 1064 nm 受激发射截面 (2.8×10^{-19} cm²) 约是 1319 nm (8.7×10^{-20} cm²) 的 3 倍, 而且在 1319 nm 附近存在与其受激发射截面接近的 1338 nm (9.2×10^{-20} cm²), 因此在 1319 nm 谐振腔内必须抑制 1064 nm 与 1338 nm 激光。采取特殊的镀膜方法实现这一目的, 即在 1319 nm 全反镜对 1319 nm 全反、对 1064 nm 减反, 输出镜对 1064 nm 减反、对 1319 nm 与 1338 nm 部分反射, 且对 1338 nm 反射率低于 1319 nm。

为获得足够高峰值功率密度的脉冲激光, 在 1064 nm 与 1319 nm 谐振腔内插入声光 Q 开关。声光 Q 开关在抽运模块驱动电源信号延迟 240 μ s 瞬间打开, 同时为了能完全关断、获得标准的调 Q 脉冲输出, 1064 nm 与 1319 nm 谐振腔每路均采用两个声光 Q 开关, 如图 1 所示。每路谐振腔内的两个声光 Q 开关结构相同, 且采用完全一样的驱动信号, 互相垂直放置。

在 Nd:YAG 抽运模块中由于棒存在热效应, 会严重影响输出激光光束质量, 因此必须采用合适的腔型设计。如图 1 所示 1064 nm 采用平凹腔, 1319 nm 采用平平腔, 并且腔内均插入合适的负透镜对热透镜进行补偿。为了实现激光器中心波长与钠 D₂a 线

标准具的倾斜角度和温度, 最终将中心波长对准至 589.159 nm, 并且偏差小于 ± 1 μ m。

2 激光器设计

激光器设计采用二极管抽运的固体激光器腔外和频产生 589 nm 钠导星激光, 其主要的办法是采用声光调 Q 的 1064 nm 和 1319 nm 两种红外激光作为基频光, 利用特殊控制技术实现两基频激光在时间上同步, 然后缩束聚焦通过一块非临界 I 类相位匹配 LBO 晶体, 和频产生 589 nm 钠信标激光, 设计光路图如下图 1 所示。

锁定, 在 1064 nm 腔内插入了一块标准具, 并且采用水冷控温, 同时调节标准具的倾角和温度来实现波长的调谐对准。具体做法是, 首先粗调节 1064 nm 标准具的角度使和频输出波长与钠 D₂a 线较为接近, 然后调节控制 1064 nm 标准具的温度使和频输出波长精确对准钠 D₂a 线(即波长 589.159 nm)。

非线性和频晶体采用技术成熟的非临界 I 类相位匹配 LBO 晶体, $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 3.6^\circ$, 晶体长度 30 mm, 工作温度 32 $^\circ$ C。此时 LBO 不存在走离效应, 具备很大的相位匹配接收角, 通过温度调节实现调谐输出。对比于其他可以温度调谐的晶体, LBO 还具有一个相对比较大的相位匹配允许温度。此外, LBO 对基频光和和频光的吸收均很小, 低吸收就降低了晶体的热梯度并提高了损伤阈值, 有利于高峰值功率密度工作。

由于 LBO 晶体采用的是非临界 I 类相位匹配, 两基频光偏振方向互相平行, 采用偏振片来获取 p 分量线偏振光。在 1064 nm 谐振腔内直接插入偏振片可实现线偏振光输出, 而由于 1319 nm 自身起振阈值较高, 而且 1319 nm 偏振片膜层抗损伤阈值不高, 因此对于 1319 nm 激光器, 采用的是在腔外插入偏振片将谐振腔输出的圆偏振光进行偏振选择。

1064 nm 与 1319 nm 两基频激光在到达和频 LBO 晶体时由于光斑太大, 峰值功率密度太低, 因

此需对其进行缩束聚焦以提高和频效率,如图 1 所示将 LBO 晶体放置在焦距为 $f=200$ mm 的正透镜焦点附近。

在该激光器中一个很重要的设计技术是时间同步,由于 1064 nm 与 1319 nm 两台激光器相互独立,且内部增益和阈值电流不同,输出的两个调 Q 脉冲信号在时间上很难自然同步,两者之间存在一定的相位差。因此,为了获得有效的和频效果,1064 nm 与 1319 nm 两束输入光脉冲必须确保在和频时达到时间上的同步。首先对两路基频激光器的声光 Q 开关驱动源进行了改进,采用主从电源模式:利用主电源的外触发输入实现与从脉冲的同步,并用主电源去控制从电源。主、从电源各有两个功率输出,它们各自分别驱动一个 1064 nm 与 1319 nm 声光 Q 开关。主电源的 1064 nm 声光 Q 开关驱动信号与从电源的 1064 nm 声光 Q 开关驱动信号同步,同样,主电源的 1319 nm 声光 Q 开关驱动信号与从电源的 1319 nm 声光 Q 开关驱动信号也同步。在主电源内部设计一个电子学延迟调节模块,调节精度 5 ns,调节范围 0~3050 ns。通过调节这个延迟模块可以有效补偿 1064 nm 与 1319 nm 之间的相位差,从而实现二者在时间上达到较好的同步性。

3 实验结果

采用所设计的主从电源模式以及电子学延迟调节模块,我们实现了 1064 nm 与 1319 nm 两台独立的调 Q 激光器的脉冲时间同步,如下图图 2 所示。

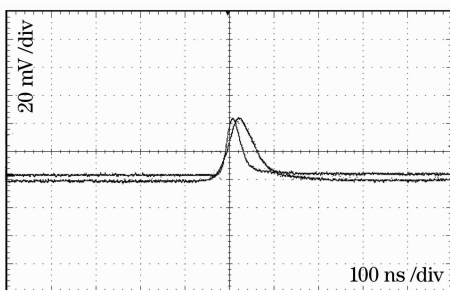


图 2 时间同步后的两激光脉冲

Fig. 2 Time synchronization of two laser pulses

由图 2 可见,1064 nm(较窄脉冲)与 1319 nm(较宽脉冲)脉宽比约为 1:2,二者实验测得结果分别为 35 ns,65 ns,同步后两激光脉冲能保证中心区域大部分对准。

根据理论计算当 1064 nm 与 1319 nm 光子比保持 1:1,功率比 1.24:1 时和频效果最佳,对应和频

效率最高。然而由于实际输出的 1064 nm 与 1319 nm 两束基频激光脉宽、空间光斑分布的失配,在实验中发现当 1064 nm 与 1319 nm 功率比为 1.1:1 时,实际的和频效率最高,图 3 是 589 nm 和频光的功率及转换效率曲线。

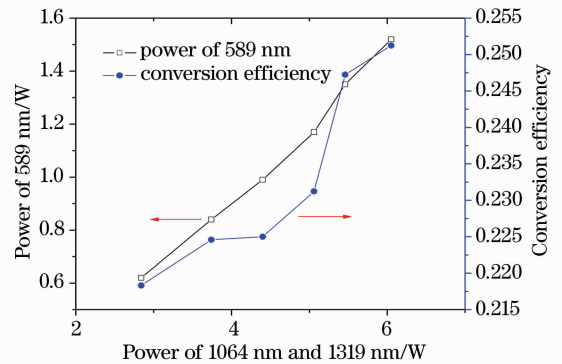


图 3 589 nm 功率及效率曲线

Fig. 3 589 nm power and efficiency curves

图 3 中横坐标代表 1064 nm 与 1319 nm 输入功率之和,二者功率比保持为 1.1:1,纵坐标分别为 589 nm 输出功率及转换效率。由图可见,589 nm 输出功率及转换效率均随注入基频光总功率增大而增大,转换效率保持在 20% 以上。当 1064 nm 与 1319 nm 输入总功率 6.05 W 时,输出 589 nm 和频光功率最高,为 1.52 W,对应转换效率 25.1%。此时 1064 nm 与 1319 nm 抽运模块工作电流分别为 70 A 与 101 A,总消耗电功率约 470 W,对应光电效率约 0.32%。

同时用 Spiricon 公司 M-200 对钠黄光光束质量进行了测量,得到光斑分布如图 4 所示,对应光束质量 M^2 因子约为 2.1。

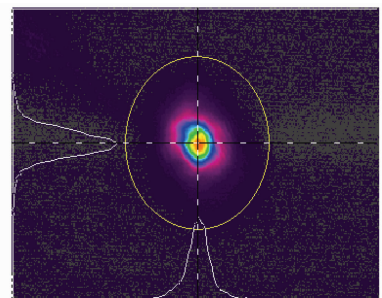


图 4 589 nm 激光光斑分布

Fig. 4 Beam distribution of 589 nm laser

钠导星激光的中心波长通过高精度波长计测量,实验中发现不采用任何波长控制技术时很难使输出中心波长自行对准钠 D_2a 线,因此必须对中心波长进行调谐控制。采取的方法是:将标准具采用水冷支架控温,同时调节标准具角度和温度,使输出

中心波长与钠 D_2a 线(589.159 nm)的精确调谐对准。图 5 是采用高精度波长计(HighFinesse WS-7)测得对准后的中心波长谱线。

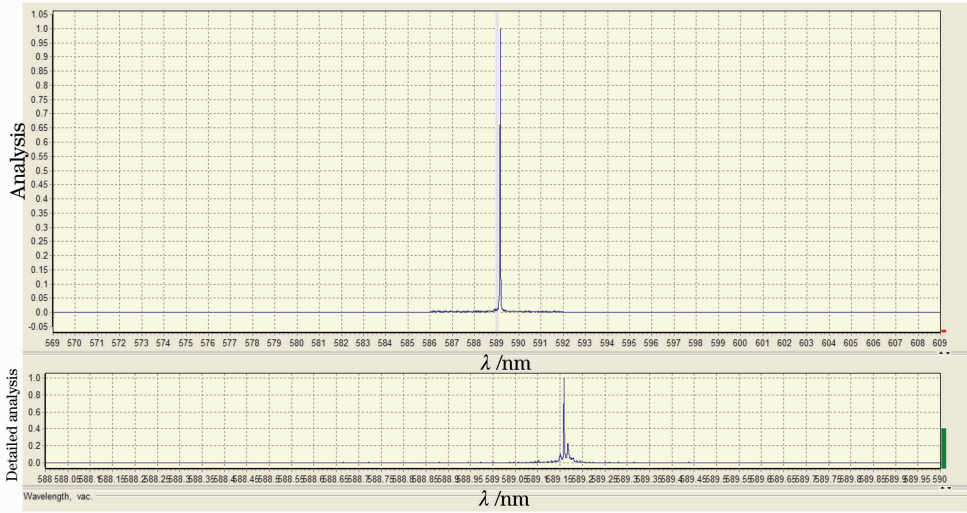


图 5 589 nm 光谱图

Fig. 5 Spectrum map of 589 nm

高精度波长计的测量精度为 0.1 pm,其测量光谱结果如图 5 所示分为上下两部分,靠上部分为测量得到的光谱,横坐标从 569 nm 至 609 nm,每格精度 1 nm;靠下部分为频谱的高精度分析图,横坐标从 588.00 nm 至 590.00 nm,每格精度 0.05 nm。波长计测量得到的中心波长为 589.1590 nm,与钠 D_2a 线精确对准。

4 结 论

本文通过双脉冲激光和频技术获得了一台高转换效率、平均功率 1.52 W 的全固态和频钠导星激光器,并通过标准具调谐技术实现了谱线对准。下一步工作将对输出激光的线宽进行压窄控制,使之小于钠原子 D_2 线的多普勒展宽线宽,同时进一步提高 1064 nm 与 1319 nm 基频光功率以获取更高功率的钠导星激光输出。

参 考 文 献

- 1 C. Denman, P. Hillman, G. Moore *et al.*. Realization of a 50-watt facility-class sodium guidestar pump laser[C]. *SPIE*, 2005, **5707**: 46~49
- 2 Tracy, A. Hankla, C. Lopez. High power solid state sodium beacon laser guide star for the Gemini North Observatory[C]. *SPIE*, 2004, **5490**: 998~1009
- 3 V. Velur, E. Kibblewhite, R. Dekany. Implementation of the Chicago sum frequency laser at Palomar laser guide star test bed [C]. *SPIE*, 2004, **5490**: 1033~1040
- 4 Lü Yanfei, Tan Huiming, Qian Longsheng. All-solid-state continuous-wave doubly resonant all intra-cavity sum-frequency laser at 589 nm[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2005, **13**(3): 260~264
吕彦飞,檀慧明,钱龙生. 全固体 589 nm 复合腔连续波和频激光器[J]. *光学精密工程*, 2005, **13**(3): 260~264
- 5 Geng Aicong, Bo Yong, Bi Yong. A 3 W continuous-wave 589 nm yellow laser based on the intracavity sum frequency generation in a V-shaped cavity[J]. *Acta Physica Sinica*, 2006, **55**(10): 5227~5230
耿爱丛,薄勇,毕勇等. V 型腔内和频产生 3 W 连续波 589 nm 黄光激光器[J]. *物理学报*, 2006, **55**(10): 5227~5230
- 6 Ma Yi, Wang Weimin, Shi Jingbo *et al.*. 589 nm sum-frequency laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(suppl.): 37~40
马毅,王卫民,石靖波等. 589 nm 和频激光器[J]. *中国激光*, 2006, **33**(增刊): 37~40