

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0059-04

双波长双脉冲 Cr:LiSAF 基波、谐波激光系统的 实验研究*

陈长水^{1,2} 陈明亮¹ 刘蔚东¹ 张阳德² 谢建平³ 王佩琳¹

¹ 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031
² 中南大学, 长沙 410008
³ 中国科学技术大学物理系, 合肥 230026

提要 在闪光灯抽运的 Cr:LiSAF 激光器中插入棱镜分束器获得了可调谐双波长双脉冲基波巨脉冲激光输出;利用腔内光束调整结构和 BBO 晶体腔内谐波, 获得了双波长双脉冲谐波可调谐激光输出。研究了两输出巨脉冲激光脉宽和能量与抽运能量的关系。

关键词 Cr:LiSAF 激光器, 双波长, 双脉冲

中图分类号: 文献标识码: A

Dual Pulse and Dual Wavelength Laser System for the Fundamental of Harmonic Wave in Q-Switched Cr:LiSAF Laser

CHEN Chang-shui^{1,2} CHEN Ming-liang¹ LIU Wei-dong¹
ZHANG Yang-de² XIE Jian-pin³ WANG Pei-lin¹

¹ Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031
² Zhongnan University, Changsha 410008
³ Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026

Abstract In this paper, flashlamp-pumped Cr:LiSAF laser systems with a prism splitter to obtain tunable dual pulse and dual wavelength fundamental laser output and with beam adjustable structure and BBO crystals to obtain tunable dual pulse and dual wavelength harmonic laser output have been designed. The relation of laser output behaviors with input energy is studied experimentally.

Key words Cr:LiSAF laser, dual wavelength, dual pulse

1 引言

Cr:LiSAF 激光器的调谐范围为 780 nm~1010 nm^[1,4], 其谱带中 900 nm 附近输出的激光的倍频光(二倍频为 450 nm 附近, 三倍频为 300 nm 附近, 四倍频为 225 nm 附近)分别为激光差分吸收雷达实时检测空气中的 SO₂、NO₂ 和 NO 的有效手段^[2]。差分吸收激光雷达系统要求两个特定的波长的巨脉冲激光相隔一定的时间输出。目前, 已经有灯抽运钛宝石双脉冲激光雷达^[2]。但是, Cr:LiSAF 激光晶体具有 67 μs 的激光上能级寿命, 远大于钛宝石晶体

的激光上能级荧光寿命(3.2 μs), 更有利于灯抽运巨脉冲的获得。文献[3]介绍了氩离子激光器连续抽运的双波长 Cr:LiSAF 激光器, 但它的双波长输出的调谐范围不能重叠, 且不能形成双脉冲。

4 实验研究

为获得基波双脉冲、双波长巨脉冲 Cr:LiSAF 激光器, 我们设计了如图 1 的实验装置。

Cr:LiSAF 激光晶体尺寸为 φ5 mm×55 mm, 闪光灯长 L=80 mm, M₂ 和 M₃ 的曲率半径为 5 m, 对 800 nm~920 nm 全反(R≥99%), M₁ 镜对 860 nm~920 nm 的反射率为 50%~60%, 由 M₁ 与 M₂ 形成

* 国家自然科学基金(60088005)资助课题。

一路可调谐调 Q Cr:LiSAF 激光器,由 M_1 与 M_3 形成另一路可调谐的 Cr:LiSAF 激光器。两激光系统分别调谐输出各自的调 Q 激光。调谐元件为六块色散较大的 ZF₅ 三角棱镜(900 nm 布儒斯特角切割)分束器,ZF₅ 棱镜较大的色散有利于压窄输出激光束的线宽。由于它们分别利用了一根 Cr:LiSAF 激光晶体的一半来获得激光振荡输出,因而输出的激光波长互不干扰。由于激光系统共用一个前腔片,保证了输出两激光束平行。两路激光器输出可以独立地进行波长调谐,波长调谐范围互不干扰。两路激光器的调 Q 系统由激光电源控制,两调 Q 激光脉冲的时间间隔可以通过调节两调 Q 开关的打开时间差来实现。用 pH=7 的无水乙醇作冷却液。

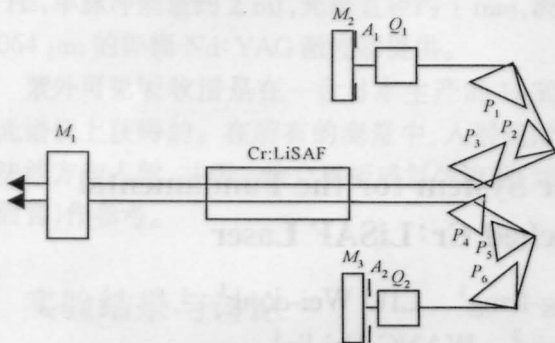


图1 实验装置 1. M_1 :输出镜; M_2, M_3 :后腔镜; A_1, A_2 :光阑, Q_1, Q_2 :KD*P 晶体; $P_1 \sim P_6$:棱镜

Fig.1 Experiment setup 1. M_1 :output coupler; M_2, M_3 :rear mirrors; A_1, A_2 :apertures; Q_1, Q_2 :KD*P crystals; $P_1 \sim P_6$:prisms

我们的闪光灯的抽运脉宽(半宽度)为 140 μ s,远大于将 Cr:LiSAF 激光晶体的上能级荧光寿命,有利于两输出激光脉冲间的时间间隔的调节范围,同时有利于延长闪光灯的寿命。将一路激光的调 Q 延时工作在最佳输出处,并以此为延时零点,调

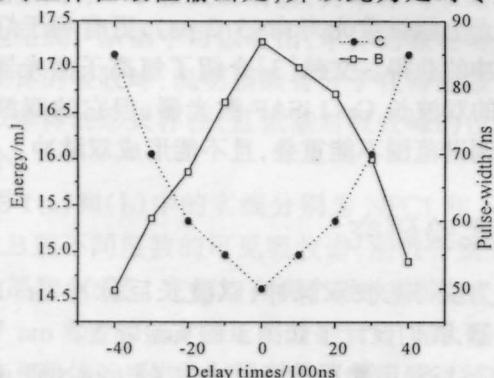


图2 输出能量(实线)和脉宽(虚线)与调 Q 延时的关系
Fig.2 Output energy (solid line) and pulse width (dot line) versus the Q-switching delay times

节另一路的调 Q 延时,分别测量此路调 Q 激光输出能量和脉宽。图 2 为任一路激光在波长为 900.4 nm 处的调 Q 延时与它的调 Q 输出能量和脉宽的关系图(调 Q 延时固定在最佳延时一路的激光输出波长为 890 nm,实际上,在实验中我们观察到两波长激光脉冲的最佳调 Q 延时相同)。从图上可见在调 Q 延时从 -10 μ s 到 +10 μ s 调节时,所获得的调 Q 脉冲能量与输出脉宽的波动均不大。因而两路巨脉冲激光输出的时间间隔在 0~20 μ s 间连续可调。两路激光同时工作时,用记忆示波器测得两脉冲间距的不稳定度不大于 1.5 μ s。

图 3 为其中一路在激光输出波长为 900 nm 处的抽运能量与调 Q 激光器输出能量及脉宽的关系图。从图中可见,随着抽运能量增加,激光器输出能量在增加的同时,输出的激光脉宽在变窄。

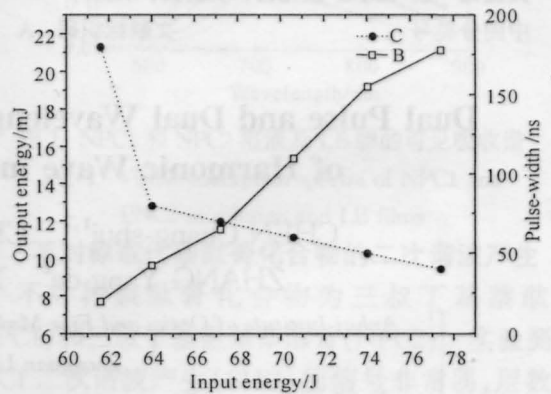


图3 输出能量(实线)和脉宽(虚线)与输入能量的关系
Fig.3 Output energy (solid line) and pulse width (dot line) versus input energy

两路激光系统分别获得了波长调谐范围在 860 nm~920 nm 的激光。在抽运能量为 77.5 J 时,两路分别在 900 nm 处获得 45 ns, 21 mJ 的激光输出;在 920 nm 处分别获得(抽运相同)55 ns, 15 mJ 的激光输出。为避免损伤激光晶体,在较短波长输出(靠近激光晶体的荧光峰值方向)时,降低了抽运输入能量。测得输出的激光束有较大的发散(约为 3 mrad)。经 BBO 晶体倍频仅获得最大 0.2 mJ 的谐波能量。为提高谐波输出能量,我们设计了利用腔内谐波获得双波长双脉冲的实验方案(见图 4)。

图 4 中第一路抽运调 Q Cr:LiSAF 可调谐激光器,由球面反射镜 M_1 , Q 开关 Q_1 , 色散棱镜组 P_1, P_2, P_3 和 P_4 , Cr:LiSAF 晶体 C_1 , 斜置带尖棱的平面全反射镜 M_4 , 45°斜置的分色镜 M_3 和平面腔镜 M_2 构成。带尖棱的平面反射镜的尖棱顶角都约为 35°,球面反射镜 M_1 和 M_6 的曲率半径为 4

m,对 900 nm 波段基波为全反射;Q 开关为 KD*P 晶体,用匹配率液密封。Cr:LiSAF 晶体棒的尺寸为 $\phi 5 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$,为中科院安光所研制,两端面镀有对基波增透膜层;聚光器为聚四氟乙烯紧包腔,通酒精冷却;色散棱镜组为 K9 玻璃按布儒斯特角磨制的四块棱镜;45° 分散镜 M_3 对基波为高反射,对其谐波为高透过;平面腔镜 M_2 和 M_7 对基波和谐波为高反射;氙灯由 100 μF 电容器供能,充电 $\leq 1300 \text{ V}$,闪光时间约为 80 μs ,与 Cr:LiSAF 晶体的荧光寿命基本匹配。BBO₁ 晶体为中心波长 900 nm 切割的二倍频晶体,BBO₂ 晶体为中心波长 900 nm 切割的三倍频激光晶体;氙灯闪光抽运 Cr:LiSAF 晶体,Q 开关瞬时导通光路,在第一路激光腔内产生波长为 λ_1 的光脉冲并不输出腔外,而是用于腔内产生谐波。波长 λ_1 的值由球面镜 M_1 的方位角确定。图中第二路灯抽运调 Q Cr:LiSAF 可调谐激光器的光学元件与第一路的相同,第二路激光脉冲波长 λ_2 的值由球面镜 M_6 的方位角确定,这个光脉冲也驻留在腔内用于腔内产生谐波。调整中,斜置的带尖棱的平面反射镜 M_4 的尖棱必须与第二路激光束的边缘相切。两路激光器分别调谐和分别调 Q 可方便地产生双波长双脉冲。两路氙灯分别闪光,它们之间由时间延迟器连接,通过调节延迟器可使输出的双脉冲间距在较大范围内连续可调。两路激

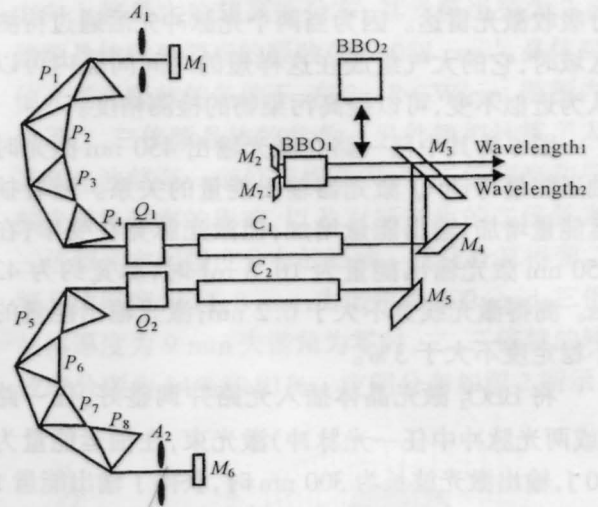


图 4 实验装置 2. M_1, M_6 : 后腔镜; A_1, A_2 : 光阑; Q_1, Q_2 : 调 Q 晶体; $P_1 \sim P_8$: 棱镜; C_1, C_2 : Cr:LiSAF 晶体; M_4, M_5 : 45° 全反射镜; M_3 : 双色镜; M_2, M_7 : 双色全反射镜; BBO₁, BBO₂: 谐波晶体

Fig. 4 Experimental setup 2. M_1, M_6 : rear mirrors; A_1, A_2 : apertures; Q_1, Q_2 : KD*P crystals; M_1 : output coupler; $P_1 \sim P_8$: eight prisms; C_1, C_2 : Cr:LiSAF crystals; M_4, M_5 : 45° mirrors; M_3 : output mirror; M_2, M_7 : high reflectivity mirrors; BBO₁, BBO₂: BBO crystals

光器的腔长 $L \approx 850 \text{ mm}$, 波长 $\lambda \approx 900 \text{ nm}$, 则激光腔在平面腔镜和球面腔镜处的光束半径 ω_0 和 ω_1 分别为:

$$\omega_0 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^{1/2} [L(R-L)]^{1/4} = \left(\frac{0.9 \times 10^{-3}}{\pi}\right)^{1/2} [850(4000 - 850)]^{1/4} = 0.685 \text{ mm} \quad (1)$$

$$\omega_1 = \omega_0 \left[1 + \frac{L^2}{(\pi\omega_0^2/\lambda)^2}\right]^{1/2} = 0.685 \left[1 + \frac{850^2}{(\pi \times 0.995^2)/(0.9 \times 10^{-3})^2}\right]^{1/2} \approx 0.772 \text{ mm} \quad (2)$$

由上面的分析可知,在腔内加小孔可改善激光束的特性。我们在 Cr:LiSAF 棒和 Q 开关晶体之间加上 $\phi 1.5 \text{ mm}$ 的小孔光阑。该方案中两路激光脉冲之间的时序和间隔如图 5 所示。闪光时间约 80 μs ,通过调节延迟器,可先后产生光脉冲,各脉冲

分属于不同的波长。由于 Q 开关电路中的原因使双脉冲时间间隔有小于 10 μs 的涨落。时间间隔仅为数十微秒量级的双脉冲很适合用于检测大气污染差

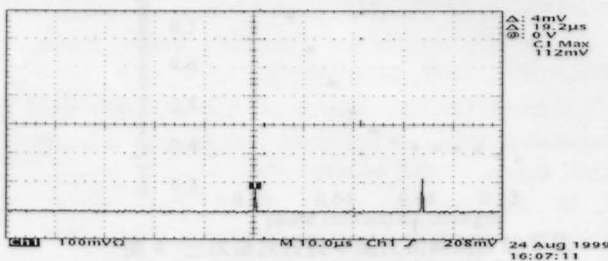


图 5 两个光脉冲的时间间隔图

Fig. 5 Diagram of the time interval of two pulses

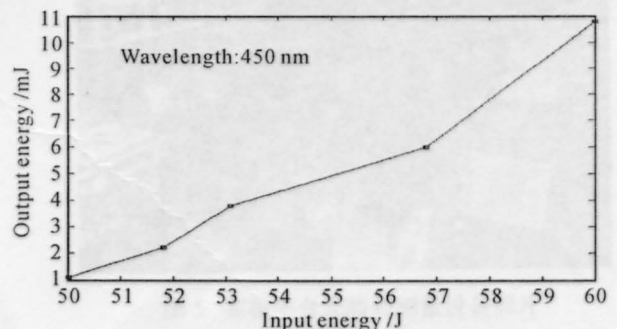


图 6 450 nm 激光束输出能量随输入能量的变化图

Fig. 6 Output energy of 450 nm laser versus input energy

分吸收激光雷达。因为当两个光脉冲先后通过待测区域时,它的大气组成在这样短的时间间隔内可以认为近似不变,可以提高污染物的检测精度。

图6为其中任一路在激光输出450 nm激光时抽运能量与调Q激光器输出能量的关系。随着抽运能量增加,输出能量增加,但激光脉宽在变窄;在450 nm激光输出能量为10.8 mJ时,脉宽约为42 ns。测得激光线宽不大于0.2 nm;激光输出能量的不稳定性不大于3%。

将BBO₂激光晶体插入光路并调整好,任一路(或两光脉冲中任一光脉冲)激光束,在抽运能量为60 J,输出激光波长为300 nm时,获得了输出能量1 mJ,脉宽约45 ns的三次谐波激光束。根据输出的要求,调整光路,可输出可调谐三次谐波。

我们利用获得的450 nm和300 nm附近输出

的激光束作为有合作反射镜的差分吸收激光雷达的双脉冲双波长光源进行测量空气中SO₂和NO₂含量的研究,获得了一定的实验结果。

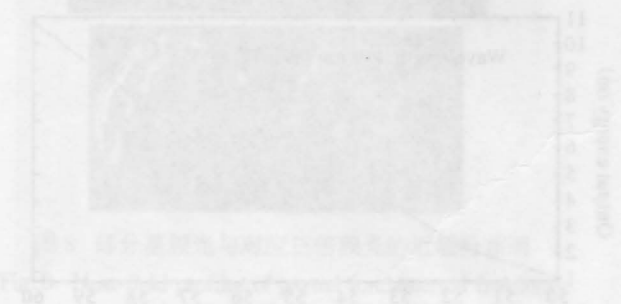
参 考 文 献

- 1 S. A. Payne, L. L. Chase, L. K. Smith *et al.*. Laser Performance of LiSrAlF₆:Cr³⁺. *J. Appl. Phys.*, 1989, **66**(3):1051~1056
- 2 J. P. Wolf. 3-D monitoring of air pollution using mobile "all-solid-state" lidar systems. *Optics and Photonics News*, Special Issue/Remote Sensing, 1995, Jan. 27
- 3 Yuan Shuangchen, Hou Xun, Wang Shuicai. Dual-wavelength Cr:LiSAF laser. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 1996, **25**(8):768 (in Chinese)
- 4 Wang Dongmei, Ni Wengjun, Xia Runyu *et al.*. Flashlamp pumped Cr:LiSAF laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(3):209~210 (in Chinese)

$$(1) \quad \frac{dE}{dt} = \eta \cdot P_{pump} - \frac{E}{\tau} - P_{out}$$

$$(2) \quad \frac{d\tau}{dt} = -\frac{\tau}{\tau_0} + \frac{E}{E_0}$$

图6为其中任一路在激光输出450 nm激光时抽运能量与调Q激光器输出能量的关系。随着抽运能量增加,输出能量增加,但激光脉宽在变窄;在450 nm激光输出能量为10.8 mJ时,脉宽约为42 ns。测得激光线宽不大于0.2 nm;激光输出能量的不稳定性不大于3%。



我们利用获得的450 nm和300 nm附近输出的激光束作为有合作反射镜的差分吸收激光雷达的双脉冲双波长光源进行测量空气中SO₂和NO₂含量的研究,获得了一定的实验结果。

参 考 文 献

- 1 S. A. Payne, L. L. Chase, L. K. Smith *et al.*. Laser Performance of LiSrAlF₆:Cr³⁺. *J. Appl. Phys.*, 1989, **66**(3):1051~1056
- 2 J. P. Wolf. 3-D monitoring of air pollution using mobile "all-solid-state" lidar systems. *Optics and Photonics News*, Special Issue/Remote Sensing, 1995, Jan. 27
- 3 Yuan Shuangchen, Hou Xun, Wang Shuicai. Dual-wavelength Cr:LiSAF laser. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 1996, **25**(8):768 (in Chinese)
- 4 Wang Dongmei, Ni Wengjun, Xia Runyu *et al.*. Flashlamp pumped Cr:LiSAF laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(3):209~210 (in Chinese)

Author	Title	Journal	Year
S. A. Payne, L. L. Chase, L. K. Smith <i>et al.</i>	Laser Performance of LiSrAlF ₆ :Cr ³⁺	<i>J. Appl. Phys.</i>	1989
J. P. Wolf	3-D monitoring of air pollution using mobile "all-solid-state" lidar systems	<i>Optics and Photonics News</i>	1995
Yuan Shuangchen, Hou Xun, Wang Shuicai	Dual-wavelength Cr:LiSAF laser	<i>Acta Photonica Sinica</i>	1996
Wang Dongmei, Ni Wengjun, Xia Runyu <i>et al.</i>	Flashlamp pumped Cr:LiSAF laser	<i>Chinese J. Lasers</i>	1999