

光栅自准直谐振腔及其双程放大光路的准直

郑国鑫, 赵学庆, 易爱平, 华恒祺, 刘晶儒

(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘要 高功率主振荡功率放大(MOPA)激光系统的光束质量取决于前端种子光的性能,而高质量种子光的获取取决于前端光学设计和有效的准直方法;XeCl 属于高增益介质,为有效抑制预放大器的放大自发辐射(ASE),要求前端提供较高的能量。描述了一种“一体化自放大”前端,振荡器主体为一台放电抽运 XeCl 准分子激光器,光栅自准直腔用于产生窄线宽、近衍射极限激光输出,利用该振荡器再进行双程放大形成最终的前端输出。自准直谐振腔是调试准直的关键环节,引入辅助准直光源和辅助谐振腔,得到了预定级次的激光振荡输出,并给出了调试中不同位置输出激光的能量及光强分布。实验获得了 8 mJ 的主振荡器激光能量输出,经过双程放大和望远镜扩束后输出激光能量达 60 mJ,线宽为 0.6 cm^{-1} ,光束发散角接近衍射极限,满足了后续放大需要。

关键词 激光技术; 准直技术; 自准直谐振腔; 主振荡器; 双程放大

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

Alignment of Self-Collimated Resonator and Its Two-Pass Amplification

ZHENG Guo-xing, ZHAO Xue-qing, YI Ai-ping, HUA Heng-qi, LIU Jing-ru

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xian, Shaanxi 710024, China)

Abstract The beam quality of the high power master oscillator and power amplifier (MOPA) system is mainly determined by the seed of master-oscillator which needs careful optical design and precise alignment. To suppress the high amplified spontaneous emission (ASE) level in the XeCl gain medium and extract the deposited energy efficiently, a higher seed energy is needed. A master-oscillator integrated with seed generation and self-amplification which meets the MOPA system requirement is described. A grating is used to form a self-alignment resonator to obtain narrow line-width and small divergence seed using a discharge-pumped XeCl excimer laser. To get enough energy, the seed is further amplified by another two-pass amplifier in the same device. The alignment of the self-collimated grating resonator is the key issue to obtain the designed parameters like pulse energy and narrow line-width. With the help of single transverse mode He-Ne laser and a preliminary plane-parallel cavity inserted before the grating, expected experimental results are obtained and the measured seed laser pulse energy and intensity distribution at different position are given. After removing the plane-parallel cavity, the seed pulse energy is about 8 mJ from the grating cavity and the energy is boosted to 60mJ with additional double pass amplification and extender telescope. And the line-width of the seed pulse is 0.6 cm^{-1} , near the diffraction limit, and meets the demand of the following amplification.

Key words laser technique; alignment technique; self-collimated resonator; master oscillator; two-pass amplification

1 引 言

目前,高功率激光主要采用主振荡功率放大(MOPA)技术以实现光束质量满足应用要求的高能激光输出^[1]。系统光束质量主要取决于前端振荡器的工作特性,而振荡器往往需要损失很多能量以获得高质量的种子光输出,通常为微焦耳量级甚至更小。为此,人们一直希望获得具有较高能量输出的种子源。1994年,中国科学院上海光学精密机械研究所向世清等^[2]采用了“一体化自放大”技术,从

实验上研究了激光器振荡—放大一体化的特性,获得了自放大输出的明显结果。

本文主要介绍了一种成功用于 XeCl 激光器系统的一体化自放大前端,主要包括基本结构、准直方法和实验结果。

2 前端基本结构

“一体化自放大”技术,即通过合适的光路将单一激光器件的增益区分为两部分:一部分用以构成

作者简介: 郑国鑫(1979—),男,陕西平利人,西北核技术研究所研究实习员,主要从事激光技术研究。

E-mail: zgxlean@hotmail.com

振荡源,输出高质量种子光;另一部分则用作放大器。也就是说,自振荡源产生的种子光反射回器件本身放大,获得高质量、较高能量光束输出,达到传统方法中两台或多台器件相同的效果,且无需器件之间的同步,便于后续放大。

Photon-1 是放电抽运准分子激光器,采用一体化自放大技术。Photon-1 采用紫外预电离双放电技术以实现较长激光脉宽输出,由 12 个半导体断路器(SOS)二极管组成的半导体断路器用于触发主间隙导通,之后的维持放电由通常的 C-C 转移回路完成^[3,4]。放电区域横截面积为 $3.8 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$,在充电电压为 18 kV,体积比: $\text{HCl}:\text{Xe}:\text{Ne}=1:10:1500$ 条件下,采用平行平面腔,最大单脉冲能量可达 1.5 J,激光脉宽 280 ns,较大的激活区和较长的脉宽为一体自放大技术的使用创造了条件,前端光路布局如图 1 所示。

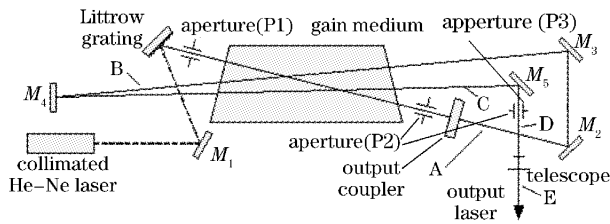


图 1 前端结构示意图

Fig. 1 Structure of the front-end

2.1 振荡源

谐振腔由 Littrow 自准直光栅(光栅常数: 1800 线/mm)和输出镜(透射率 70%)组成,中间插入一对直径 3 mm 的小孔限模,从而得到一个窄线宽、束散角近衍射极限的种子光输出。光栅方程表示为

$$m\lambda = d(\sin \alpha \pm \sin \beta), \quad (1)$$

式中 m 为光栅的衍射级次, λ 为波长, d 为光栅常数, α, β 分别为入射角和衍射角。当光栅以自准直状态工作时,相当于一块高效的平面反射镜,可对主振荡器输出光束进行频谱选择。这时衍射角、入射角都等于闪耀角,即 $\alpha = \beta = \varphi_L$, 则(1)式可以写成

$$m\lambda = 2d \sin \varphi_L. \quad (2)$$

当光栅常数 d 和自准直衍射级次 m 确定时,入射角 φ_L 可由所选波长 λ 确定。如果选用一级衍射光沿原路返回,对于波长 308 nm 的 XeCl 激光由(2)式可以得出 $\varphi_L = 16.1^\circ$ 。对波长求导得

$$d\lambda = 2d \cos \varphi_L d\varphi_L / m. \quad (3)$$

可以看出,由于光在腔内往返多次,每一次线宽

都将得到压缩。光栅自准直谐振腔的线宽与光栅常数 d 有关,光栅常数越小,光栅分辨率就越高,线宽越窄^[5]。线宽也与入射角正切成反比,即入射角 φ_L 越大,线宽 $\Delta\lambda$ 越窄,高衍射级对应大入射角,因此选取较高衍射级工作,有利于获得更窄线宽。

2.2 双程放大

根据 Photon-1 自身结构特点,合理利用增益区,在振荡源输出种子光的情况下安排对种子光的双程放大光路,如图 1 所示:种子光经过全反镜 M_2 和 M_3 ,通过激光器的抽运区实现单程放大,经过全反镜 M_4 的激光经反射后再次通过激光器抽运区完成双程放大。另外,前端输出在全反镜 M_5 后增设望远镜扩束,以实现与后续放大器的口径匹配。

3 准直方法

光学准直直接关系到前端的输出性能,其中 Littrow 光栅是准直的难点,由于波长为 308 nm 的激光处于紫外波段,属于不可见光,需借助于可见模拟光源进行准直。但考虑到光栅对特定波长的自准直特性,需要构建辅助平行平面腔,利用 308 nm XeCl 激光动态调节光谱级次。由于辅助平面腔及其可见准直光源影响了光程正常传播,在光栅准确定位后,撤掉光路中辅助准直元件,引入固定准直光源,进行后续光路调节。对于振荡源光路,可以分为辅助准直光源(半导体激光器)的调节、平行平面腔的调节、光栅自准直谐振腔的调节三个步骤。

3.1 辅助准直光源的调节

以两个限模小孔为光学基准来定位辅助准直光源,在谐振腔所在光学平台上适当位置固定辅助准直光源(半导体激光器)和辅助镜 M (如图 2),调节半导体激光器及辅助镜使辅助准直光从窗口两端的限模小孔中心通过。

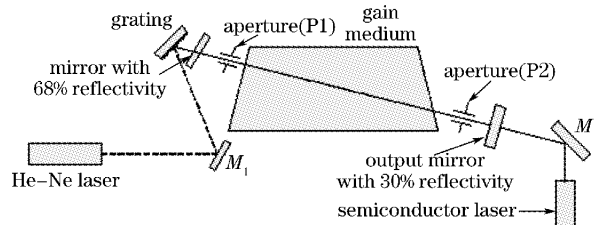


图 2 谐振腔调节示意图

Fig. 2 Alignment of master oscillator

3.2 平行平面腔的调节

在光栅及小孔 P1 之间插入一块反射率为 68% 的平面镜,在另一侧小孔 P2 后放置透射率 70% 的

平面镀膜镜作为输出镜,平行平面腔构建完成。但是由于不同波长激光在光学元件中引起色差,使得平行平面腔的调节和实际要求有所差异。因此,实验中通过观察 Photon-1 输出激光在光谱干板上形成的光斑,调节腔镜使其符合要求。

3.3 光栅自准直谐振腔的调节

由于理论计算出波长 308 nm 的 XeCl 准分子激光选用一级衍射时,自准直角 $\varphi_L = 16.1^\circ$,将光栅调整到与激光器窗口约成 16° 的位置后固定。此时,激光的一级衍射在小孔光阑附近,为精确调节光栅一级衍射光通过小孔光阑,在小孔光阑上固定穿孔相纸,可以较清晰地在相纸上观察到一级衍射光,调节光栅使其一级衍射光进入小孔。撤掉辅助平面镜,用光谱干板观察激光光斑来准直光栅。

4 双程放大光路的调节

光栅自准直谐振腔输出种子光能量较低,直接扩束后注入到后续放大器的种子光光强很小,放大器增益介质的存储能量将难以提取,即放大器的提取效率很低。为了解决这一矛盾,对 Photon-1 激光器的光路进行了合理的设计,增加了双程放大光路(如图 1),以对输出种子光进一步放大,提高激光能量。在实际调节过程中,由于涉及到激光束要通过 Photon-1 抽运区、小孔光阑 P3(直径 6.5 mm)和望远镜扩束系统的中心,同时要考虑进入后续放大器窗口的位置,因此我们采用叉丝和分划板同时使用的方法,通过观察望远镜后及放大器窗口前光斑,使得激光束同时通过激光器抽运区、小孔光阑和望远镜系统的中心。

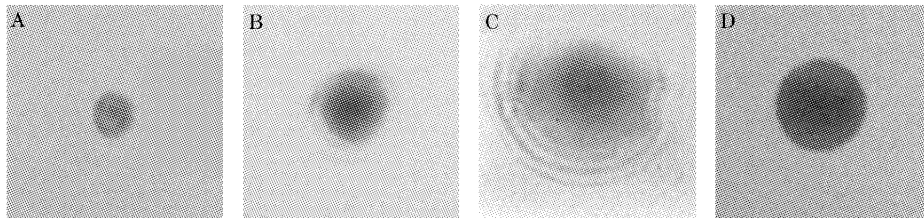


图 4 不同位置光强分布图。能量(A:8 mJ, B: 28 mJ, C:180 mJ, D: 70 mJ),
光斑大小(A: 3 mm, B: 7 mm, C: 25 mm, D: 6.5 mm)

Fig. 4 Intensity distribution in different positions. Energy (A:8 mJ, B: 28 mJ, C:180 mJ, D: 70 mJ),
Size of laser pattern (A: 3 mm, B: 7 mm, C: 25 mm, D: 6.5 mm)

6 结 论

利用光栅色散腔,采用“一体化自放大”技术,借助辅助准直光源及元件调节主振荡及双程放大光

5 实验结果

激光器工作介质为 HCl, Xe, Ne 混合气体,体积比为 1:10:1500,总气压 253 kPa;主开关缓冲气体为 N_2 气,气压 243 kPa;主电容充电电压 18 kV。图 3 是实验中示波器采集的激光器放电电流(I_1, I_2)波形、半导体断路器电流波形和激光脉冲波形。

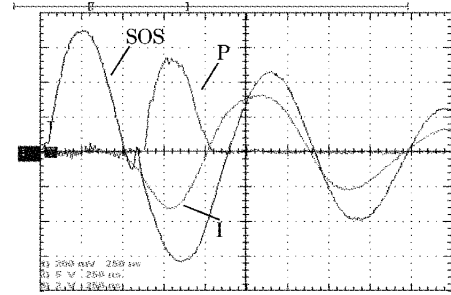


图 3 电流及激光脉冲波形

Fig. 3 Waveform of current and laser pulse

为了精确准直主振荡器及双程放大光路,利用能量计和光谱干板在光路中不同位置(如图 1 中 A, B, C, D, E 点)测量和记录输出能量、光斑大小(直径)及光强分布(如图 4)。在谐振腔输出光路上加入一套束散角、线宽测量系统,利用透镜聚焦来测量激光发散角,经激光束分析仪(LBA)分析后得到:主振荡束散角在 X 方向为 0.261 mard, Y 方向为 0.2284 mard;双程放大后束散角在 X 方向为 0.0864 mard, Y 方向为 0.065 mard。同时利用分析标准具测量激光线宽,用 CCD 获得标准具干涉分布图样,经计算得到前端输出激光线宽约 0.6 cm^{-1} 。

路,获得了较高能量、高质量的种子光:输出能量约 60 mJ,线宽约 0.6 cm^{-1} ,束散角在 X 方向为 0.0864 mard, Y 方向为 0.065 mard。结果表明,前端结构设计合理,准直方法可靠。

参 考 文 献

- 1 Louis A. Rosocha, John A. Hanlon, John Mcleod *et al.*. Aurora multikilojoule KrF laser system prototype for inertial confinement fusion [J]. *Fusion Technology*, 1987, **11**(1): 497~500
- 2 Xiang Shiqing, Lou Qihong, Ye Zhenhuan *et al.*. An integral XeCl excimer laser device with self amplification [J]. *Chinese J. Lasers*, 1994, **A21**(11): 869~874
向世清, 楼祺洪, 叶震寰 等. 一体化 XeCl 准分子激光振荡-放大系统 [J]. *中国激光*, 1994, **A21**(11): 869~874
- 3 E. Kh. Baksht, A. N. Panchenko, V. F. Tarasenko. Discharge lasers pumped by generators with inductive energy storage [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1999, **35**(3): 261~266
- 4 E. Kh. Baksht, A. N. Panchenko, V. F. Tarasenko. Efficient long-pulse XeCl laser with a prepulse formed by an inductive energy storage device [J]. *Quantum Electron.*, 2000, **30**(6): 506~508
- 5 Zhang Guowei. Tunable Lasers [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002. 180~182
张国威. 可调谐激光技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002. 180~182