

20W 级高稳定度高效率 XeCl 准分子激光器的研究

余吟山 王华胜 李广寅 张志平 汪建业

(中国科学院安徽光机所)

Study of a 20W XeCl excimer laser with high stability and high efficiency

Yu Yinshan, Wang Huasheng, Li Guangyin, Zhang Zhiping, Wang Jianye

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei)

提要: 报道了一台中功率高稳定度高效率实用型 XeCl 准分子激光器及其工作特性。最大单脉冲能量为 405mJ, 最大平均功率达到 31W。不同电压下的转换效率均大于 1.4%, 最高达 1.8%。在工作电压为 22kV 左右时进行 10^6 次寿命试验, 其输出功率保持 15W, 波动性小于 $\pm 7\%$ 。

关键词: XeCl 准分子激光器

一、引言

为了使实用型高重复率准分子激光器稳定、可靠、长寿命运行, 其核心问题是不断提高激光器的电-光转换效率。本文在 10W 级实用型 XeCl 准分子激光器^[1]的研究基础上, 为提高转换效率做了以下工作: (1) 进一步改进张氏电极并拉长放电腔, 使之合乎最佳选择; (2) 改进预电离系统, 使之更强更匀; (3) 使放电电路匹配, 提高 C-C 能量转移效率; (4) 改进气体循环和冷却系统; (5) 改进光学系统。

其结果是放电贮能减少, 输出激光功率增加。与 10W 级器件相比, 20W 级激光头的体积重量基本不变, 电源体积重量均下降了 $\frac{1}{3}$ 。20W 级激光器的运行比 10W 级激光器更稳定、可靠、长寿命。

二、激光器的改进措施

2.1 腔体与光学系统

由于准分子激光器的放电有效长度在 500mm 时效率最高^[2], 本器件将电极放电区加长到 540mm, 电极面型为优选张氏曲线。改进后的电极间距为 20mm, 电极宽度 30mm。

谐振腔为平-平腔, 选用高反射率 ($>99.8\%$) 反射镜和高平行度石英输出镜, 两镜片间距增至 1000mm, 以改善光束质量。

2.2 放电回路的匹配和预电离的加强

激光器放电系统采用 C-C 能量转移回路和自动紫外预电离技术^[1]。

由文献[3]、[4]可知, C-C 能量转移从理论上讲在 $C_s/C_d=1$ 时有最高的能量转移效率。而在实用器件中还要考虑到 C-C 能量转移时电压增益的需要和回路的实际损耗, 如紫外预电离的耗能和闸流管的开关损失等。我们通过实验, 比较了不同 C_s/C_d 条件下的放电过程及效率特性^[5]。在本器件上我们选用 $C_s/C_d=1.33/1$, 获得了高能量输出和高转移率的统一。

均匀加强紫外预电离是提高效率的重要手段, 也是改善光束质量的重要措施之一。在提高火花针安装精度的条件下, 增加火花针密度 10%, 增加火花隙放电距离 25%, 增加 C_d 的容量。结果使输出能量及光束均匀性得以改善。

2.3 气体横向循环系统

激光器的高速横向循环系统是高重复率准分子激光器的关键技术之一。为进一步提高输出功率,

重新设计了一种结构合理的风扇和风速小的导风系统,具有风速快、噪音小、重量轻的特点。由于效率的提高,器件产生的热量也进一步减小,因此散热管的直径也缩小了10 mm,其位置也远离风口,风阻进一步减小。采取以上改进措施后,电极间的气体流速大于14 m/s,比原来增加一倍。

三、激光器运转特性

3.1 单脉冲能量

在两种不同气压下(HCl为4Torr, Xe为45 Torr, Ne的压力不同),改变放电电压,获得了输出能量的变化曲线。在3.5 Atm和30 kV电压条件下,连续测量10个脉冲,其脉冲能量平均值为405 mJ。

3.2 平均功率

由于加快了气体横流速度,因此输出功率与重复率的线性范围明显增加,由原来的70 Hz^[1]提高到现在的90 Hz。在100 Hz、30 kV下输出功率达到31 W。图1显示了输出功率随电压上升的变化曲线。由图可见,该激光器的最佳工作电压范围在22~26 kV之间。

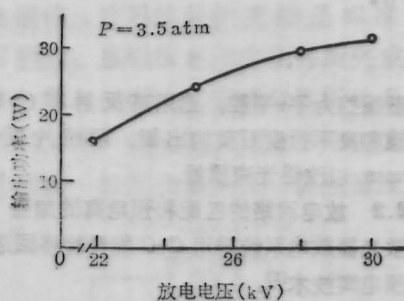


图1 激光器输出功率随电压的变化关系

3.3 稳定性

(1) 脉冲-脉冲能量稳定度

在放电电压为25 kV、重复率为1 Hz时,用热释电能探测器配SR8示波器测量100个连续脉冲的能量。其最大值与最小值相对其平均值的波动为±3.6%。在连续放电10⁶次后再次以同样条件测试时,获得了±2%的结果。10⁶次放电后的能量稳定度仍有±3.7%。这显示了激光器具有长期稳定放电的潜力。

(2) 平均功率稳定度

在22 kV、70 Hz条件下,以15 W功率连续输出60分钟,其间不改变任何放电参数,结果获得最大输出功率为15.1 W,最小输出功率为14.6 W,其波动性小于±2%。

3.4 效率特性

光电效率高是本器件一特色。储能电容 C_s 上释放的能量转换成预电离和激光能量的部分是我们需要的,其余部分对放电系统的高压元件和激光气体均会产生不利影响。在对激光器作了综合的改进之后,其转换效率在各种工作电压下都大于1.4%。在 $C_s=48.6\text{ nF}$, $C_s/C_a=1.2$, 3.5 atm, 25 kV条件下,转换效率达到1.83%。图2(a)、(b)分别给出了不同的 C_s 和 C_a 时激光输出能量和转换效率随工作电压的变化关系。

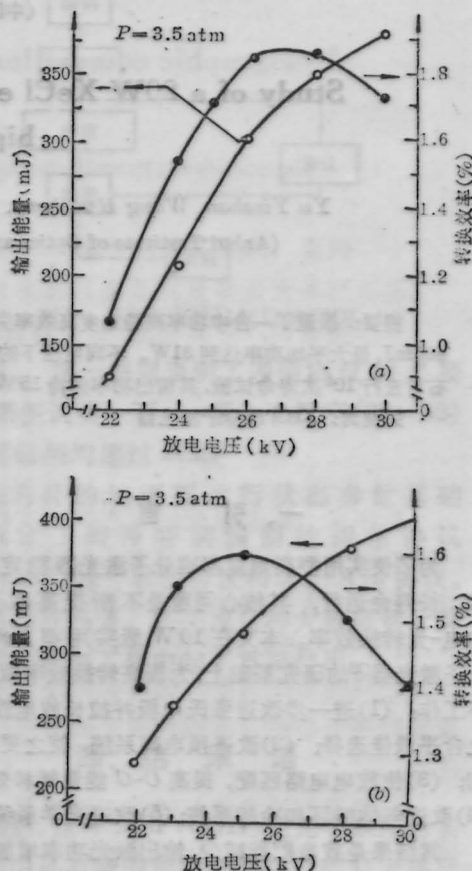


图2 激光器能量、效率随电压的变化曲线

$$(a) C_s/C_a = \frac{48.6 \text{ nF}}{40.5 \text{ nF}} = 1.2$$

$$(b) C_s/C_a = \frac{64.8 \text{ nF}}{48.6 \text{ nF}} = 1.33$$

3.5 一次充气放电寿命

在工作气压为3.5 atm,放电电压为22 kV(波动性±0.3 kV)、重复率为70 Hz条件下作了10⁶次寿命实验,每隔15分钟测量一次输出功率。其功率始终保持在15 W左右,因此,本激光器的一次充气放电寿命的潜力远大于10⁶次。

3.6 激光脉冲

在 22 kV 下激光脉宽为 25 ns, 光斑尺寸为 $23 \times 13 \text{ mm}^2$ 。通过拍摄不同距离的光斑, 算得光束发散角为 $1 \times 3.6 \text{ mrad}$ 。

倪晋智同志参加了部分实验工作, 胡向葵同志在测试中给予了帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

1 余吟山 *et al.*, 量子电子学, 5(1), 36(1988)

2 Gary Klauminer, *Laser & Applications*, September 1986, 75

3 M. Hiramatsu, T. Goto, *Rev. Sci. Instrum.*, 57(4), 534(1986)

4 邓国扬 *et al.*, 光学学报, 15(6), 332(1988)

5 王华胜 *et al.*, 光学学报(待发表)

(收稿日期: 1988年11月14日)

主-被动对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器

王世杰 陆海鹤 李士英 陈时胜 林礼煌 朱国英

(中国科学院上海光机所)

Experimental study of active-passive colliding pulse mode-locked Nd:YAG laser

Wang Shijie, Lu Hailuo, Li Shiyong, Chen Shisheng, Lin Lihuang, Zhu Guoying

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

提要: 报道主-被动和纯被动对撞脉冲锁模 Nd³⁺:YAG 激光器的实验研究结果。主-被动锁模激光脉宽为 15 ps, 激光输出序列脉冲能量起伏小于 $\pm 2\%$ 。被动锁模激光脉宽为 12 ps, 序列脉冲能量起伏小于 $\pm 10\%$ 。利用腔内插入标准具, 获得脉宽在 15~26 ps 间可变的锁模激光。实验还研究了非共振环形腔的激光偏振特性。

关键词: Nd:YAG 激光器, 对撞脉冲锁模

一、引 言

自 Fork 等入^[1]于 1981 年在环形对撞锁模染料激光器上实现亚微微秒激光脉冲输出以来, 已在环形对撞锁模染料激光研究方面做了大量的工作。Nd:YAG 对撞脉冲锁模激光的脉冲宽度达 10 ps 左右, 能量起伏不低于 $\pm 7\%$ 。输出稳定、脉冲宽度可变的超短脉冲激光一直是科研和实际应用中所追求的目标之一。我们在非共振环形腔中进行的主-被动和纯被动对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光的实验上获得最佳主-被动锁模激光能量起伏小于 $\pm 2\%$, 脉冲宽度为 15 ps, 平均单脉冲功率 15 MW。纯被动锁模激光脉冲宽度 12 ps, 激光能量起伏为 $\pm 10\%$, 平均单脉冲功率为 45 MW。利用腔内标准具在不同角度下透过率的变化获得脉宽可变 (15~26 ps) 的主-被动锁模激光。

二、实验装置

实验装置如图 1 所示。非共振环形腔由输出耦合镜 M_1 和非共振环结构组成, 其中 M_1 为 50% 平面反射镜并置于微调平台上; $M_3 = M_4$ 为 100% 平面全反镜; M_2 为 45°S 分量半透半反镜; Nd³⁺:YAG 棒产生的辐射光被分光镜 M_2 分解成两束强度近似相等而传播方向相反的光, 在两光束空间传播路径完全重合的理想情况下, 在 M_2 处相干迭加后几乎完全返回增益介质, 其“透射”损耗(图 1 中 A 方向透射光)由下式决定^[2]:

$$y = (T - R)^2 \quad (1)$$

其中 T 、 R 分别为分光板 M_2 的透射率和反射率。 M_3 、 M_4 为平面全反镜。

实验中采用厚度为 0.5 mm 的可循环流动染料盒, 将其置于微调平台上。可饱和吸收染料为五甲