

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0083-03

十焦耳级重复频率光抽运 XeF(C-A)激光器

于 力, 刘晶儒, 马连英, 易爱平, 黄 超, 安晓霞, 李 辉, 陈广宇

(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘要 研制了十焦耳级重复频率光抽运 XeF(C-A)激光器装置, 该装置主要由激光器单元和 XeF₂ 供气单元两部分构成。激光器气室长 167 cm, 高 20 cm, 宽 13 cm, 输出口径 5 cm×5 cm。抽运方式为双向光抽运, 激光谐振腔采用平凹腔, 腔长 210 cm, 输出耦合 10%。XeF₂ 供气单元可向激光器提供 XeF₂ 浓度为 $(0.6\sim 1.2)\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 的激光混合气体。完成了一系列重复频率激光实验, 激光器已实现 0.2~1 Hz 的重复频率运行, 首脉冲最大能量已达到 18.7 J, 激光脉宽约 1 μs, 总转换效率达到 2.5%。

关键词 激光技术; XeF(C-A)激光; 光抽运; 光解离

中图分类号 TN248.2+2 **文献标识码** A

10 J Level of Optically Pumping XeF(C-A) Laser Operating on Repetition Mode

YU Li, LIU Jing-ru, MA Lian-ying, YI Ai-ping, HUANG Chao,

AN Xiao-xia, LI Hui, CHEN Guang-yu

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

Abstract A 10 J level of optically pumping XeF(C-A) laser has been developed which can be operated on repetition mode. The laser system consists of a laser device and a XeF₂ generator. The laser chamber is 167 cm in length, 20 cm in height and 13 cm in width with an aperture of 5 cm×5 cm. The irradiation from a sectioned surface discharge is used to photolysis XeF₂. Lasing is investigated by employing a stable resonator with the length of 210 cm and the output coupling of 10%. The active mixed gases with XeF₂ concentration of $(0.6\sim 1.2)\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ can be obtained from XeF₂ generator. The lasing experiments have been performed and the laser can be operated in the repetitive rate of 0.2~1 Hz. At present, the maximum output energy of first pulse is 18.7 J and the total conversion efficiency of 2.5% is obtained. The duration of laser pulse is about 1 μs.

Key words laser technique; XeF(C-A) laser; optical pumping; photodissociation

1 引 言

近十年来, 飞秒激光在许多科学领域得到了广泛的应用。高强度的飞秒激光系统通常利用啁啾脉冲放大技术(CPA), 这需要很复杂而且昂贵的光学系统。最近, 人们提出了一种将飞秒激光脉冲在光抽运 XeF(C-A)激光中直接放大的新方法^[1,2]。XeF(C-A)激光辐射范围为 450~520 nm, 具有较高饱和能量密度(50 mJ/cm²), 70 nm 的增益带宽(允许的超短光脉冲放大可短到 10 fs), 波长可调谐等特性, 在水下探测、光通信、超短超强激光放大等领域有广阔的应用前景。

国际上不同的实验室研制了多种 XeF(C-A)激光器^[3~6]。但除了 Zuev 等^[3]曾获得过 1.6% 的最好水平外, 大部分激光装置的总转换效率均小于 1%。另外, 截止目前, 尚没有在文献中看到光抽运 XeF(C-A)激光重复频率运转的报道。西北核技术研究所从 1995 年开始一直在从事该领域的研究, 并取得了很大进展^[7~9]。

2 激光器装置

激光装置全貌见图 1, 主要由激光器单元和 XeF₂ 供气单元两部分构成。

基金项目: 国家 863 计划(AA846050)和国防科技基础研究基金(41302010201)资助课题

作者简介: 于 力(1969—), 男, 陕西西安人, 西北核技术研究所博士研究生, 副研究员, 主要从事激光技术及脉冲功率技术方面的研究。E-mail: yuli057@vip.163.com



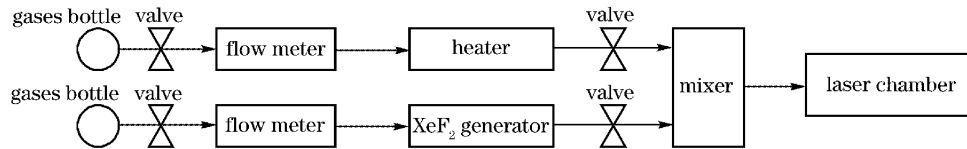
图 1 激光装置

Fig. 1 XeF(C-A) laser device

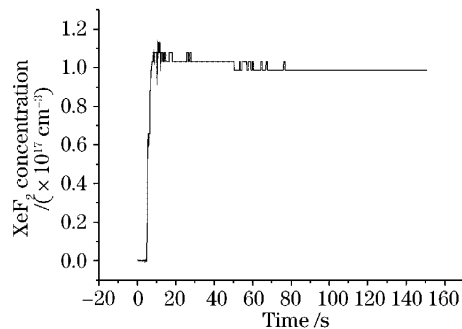
2.1 激光器单元

激光器气室长 167 cm, 宽 13 cm, 高 20 cm。抽运源以聚四氟乙烯材料作为放电基板安装在气室的侧面。输出窗采用布儒斯特窗, 口径 5 cm × 5 cm。抽运源结构与文献[8]类似, 采用单通道分段表面放电作为辐射源, 有效增益长度 120 cm, 总储能电容量为 24 μF , 工作电压 25 kV。谐振腔采用平凹腔, 输出镜对 450~510 nm 波段的透过率为 10%, 反射镜反射率优于 99.5%, 腔长 210 cm。

激光器在重复频率运行情况下, 要求激光混合气体在气室内流动平稳、分布均匀。为了达到这一

图 2 XeF₂ 供气单元结构示意图Fig. 2 Schematic diagram of XeF₂ generator system

XeF(C-A)激光器重复频率运转时, 要求进入激光气室的 XeF₂ 气体的浓度保持在一定的范围内 ($0.6 \sim 1.4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)。可以通过调节 XeF₂ 气体发生器加热温度、支气路流速及主气路流速来实现对 XeF₂ 浓度的控制。图 3 为加热温度 65 $^{\circ}\text{C}$, 支气路流

图 3 XeF₂ 浓度曲线Fig. 3 XeF₂ concentration curve

目的, 在气室顶部设有两层气体分流结构, 见图 1。其中第二层为喇叭形进气口, 每一个喇叭口正好对应抽运源的一个放电间隙, 这样使激活区内的气体在重复频率条件下能够获得充分的置换。此外, 气室内顶端还有一层筛网进一步匀化气体。气室下部连接两个喇叭形排气口。

2.2 XeF₂ 供气单元

光抽运 XeF(C-A)激光的激活介质为 XeF₂, XeF₂ 经光解离后反应产物为 Xe, F 原子, 这两种产物不能再复合为 XeF₂。因此, 为了实现激光器的重复频率运转, 必须有供气单元不断地给气室中提供新鲜的 XeF₂。XeF(C-A)激光器以 Ar, N₂ 为缓冲气体, 比例为 Ar:N₂ = 3:2, 预先将按比例混合好的缓冲气体装入气瓶中。XeF₂ 供气单元的结构示意图如图 2 所示, 其工作原理是: 将 Ar, N₂ 混合气体分为两路, 主气路经流量计和加热器进入预混器; 支气路经流量计流进 XeF₂ 气体发生器中, 并从该发生器中携带出一定浓度的 XeF₂ 流进预混器。两路气体充分混合后进入激光气室, 气室内的 XeF₂ 浓度由浓度探测计实时监测。

速 1 L/s, 主气路流速 10 L/s 情况下气室内的浓度曲线, 可以看到, 气室内 XeF₂ 浓度在 $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 附近保持超过 150 s。

3 实验结果

激光实验应用了双向光抽运技术。抽运源辐射能力可以根据 XeF₂ 光解离波时空关系计算, XeF₂ 光解离波反映了 XeF(C-A)荧光层在时间、空间上的变化。XeF₂ 光解离波的发展图像通过分幅相机拍摄获得, 图 4 是三幅光解离波图像, 条件为放电电压 30 kV, XeF₂ 初始浓度为 $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 图中明亮的大半圆环是 XeF₂ 光解离波, 小半圆环是放电等离子体。每幅的曝光时间是 5 ns, 幅间隔为 250 ns, 第一幅与放电电流起点相距 570 ns。辐射源在 140~170 nm 波段内的光子出射通量 ϕ 可根据下述公式^[5,10] 计算

$$\phi = \frac{R}{r} \times V_{pdw} \times N_0, \quad (1)$$

式中 R 为解离波半径, r 为放电等离子体半径, V_{pdw} 为解离波发展速率, N_0 为 XeF_2 初始浓度。计算得到解离波发展平均速率为 12 km/s, 光子出射通量为 5×10^{23} photon/(s · cm²), 由此计算辐射亮度温度高于 25 kK。

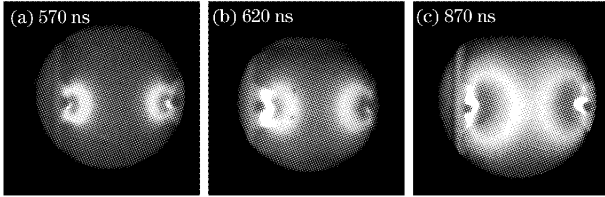


图 4 双向抽运条件下的 XeF_2 光解离波图像

Fig. 4 Two photodissociation waves propagating in counter directions

从图 4 可以看到激光增益区域相对单向抽运得到了明显的增大, 特别是当相对的两个解离波在中心光轴处汇合的时候, 增益均匀性获得了显著的提高。

激光实验在以下条件下完成: 工作电压 25 kV, 总储能电容 24 μF , 激光器输出耦合率 10%, 气室内总气压 100 kPa, $\text{Ar}:\text{N}_2 = 3:2$, XeF_2 初始浓度控制在 $(0.6 \sim 1.2) \times 10^{17}$ cm⁻³ 范围内。激光脉冲用 GD51Q 光电管测量, 输出能量用 QE50 能量计探测。一系列重复频率激光实验结果表明, XeF_2 的初始浓度在较宽的范围内激光器均有较高的能量输出。激光器可以实现 0.2~1 Hz 的重复频率运转, 每次运转 5 个脉冲。目前, 激光器最佳运转状态首脉冲输出能量已达到 18.7 J, 其余 4 个脉冲输出能量均超过 10 J, 激光脉宽约 1 μs 。总转换效率最高达到 2.5%, 该指标是当前同类激光器的最好水平。

图 5 是典型的 5 个连续脉冲的波形, 重复频率为 0.2 Hz。注意到第一脉冲的能量及波形与其余脉冲有较大的差别, 后 4 个脉冲能量相对较稳定。造成这种结果的原因是激光器运转第一脉冲前, 气室中的混合气体为 $\text{XeF}_2, \text{Ar}, \text{N}_2$, 第一脉冲后, XeF_2 分解为 $\text{Xe}, \text{F}, \text{F}$ 原子又结合为 F_2 , 这些产物均对 $\text{XeF}(\text{C-A})$ 激光形成起猝灭作用。重复频率运转中, 这些产物不能完全地排出气室外, 造成激光输出能量的衰减。运转后 4 个脉冲时, 气室内气体成分相对稳定, 因此输出能量也相对稳定。这方面的工作有待进一步改进。

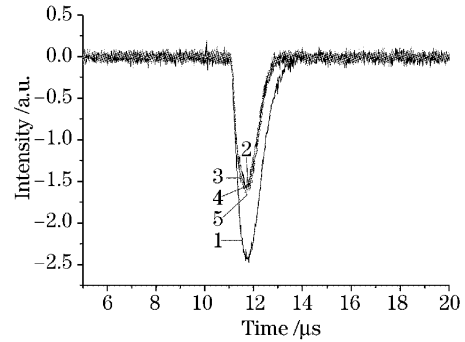


图 5 5 个脉冲的激光波形

Fig. 5 Laser waveforms of 5 pulses

4 结 论

研制了十焦耳级重复频率光抽运 $\text{XeF}(\text{C-A})$ 激光器装置, 激光器已实现了 0.2~1 Hz 的重复频率运转, 每次运转 5 个脉冲。目前, 激光器首脉冲最大输出能量已达到 18.7 J, 激光脉宽约 1 μs , 总转换效率达到 2.5%。该指标是当前同类激光器的最好水平。

参 考 文 献

- 1 L. Mikheev, K. Levchemko, S. Mamaev *et al.*. Direct amplification of frequency doubled femtosecond pulse from Ti:Sapphire laser in photochemically driven $\text{XeF}(\text{C-A})$ active media [C]. *SPIE*, 2004, **5448**: 384~392
- 2 V. I. Tcheremiskine, M. L. Sentic, L. D. Mikheev. Amplification of ultrashort laser pulses in the photolytically driven $\text{XeF}(\text{C-A})$ active medium [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, **81**: 403~405
- 3 V. S. Zuev, G. N. Kashnikov, S. B. Mamaev. XeF laser with optical pumping by surface discharges [J]. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1992, **22**(11): 973~979
- 4 L. D. Mikheev, D. B. Stavrovskii, V. S. Zuev. Photodissociation XeF laser operating in the visible and UV regions [J]. *J. Russian Laser Research*, 1995, **16**(5): 427~475
- 5 M. L. Sentic, V. I. Tcheremiskine, C. Delaporte Ph. $\text{XeF}(\text{C-A})$ laser pumped by formed-ferrite open discharge radiation [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **70**(10): 1198~1200
- 6 B. A. Kaecht, R. D. Fraser, D. J. Wheeler *et al.*. Optical pumping of the $\text{XeF}(\text{C-A})$ and iodine 1.315- μm lasers by a compact surface discharge system [J]. *Opt. Eng.*, 2003, **42**(12): 3612~3621
- 7 Li Yu, Jingu Liu, Zhiyun Hu *et al.*. Experimental study on $\text{XeF}(\text{C-A})$ laser pumped by surface discharge radiation [C]. *Proc. International Conference on Laser '97*, 1998. 83~87
- 8 Yu Li, Zhang Yongsheng, Liu Jingru *et al.*. Optically pumped blue-green $\text{XeF}(\text{C-A})$ laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(3): 205~208
于力, 张永生, 刘晶儒等. 光抽运 $\text{XeF}(\text{C-A})$ 蓝绿激光器 [J]. *中国激光*, 2001, **A28**(3): 205~208
- 9 Yu Li, Liu Jingru, Ma Lianying *et al.*. Joule level XeF laser operating in the blue-green region [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(7): 930~934
于力, 刘晶儒, 马连英等. 焦耳级光抽运 XeF 蓝绿激光器 [J]. *光学学报*, 2005, **25**(7): 930~934
- 10 V. S. Zuev, L. D. Mikheev. *Photochemical Lasers* [M]. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1984