

文章编号: 0258-7025(2001)03-0205-04

光抽运 XeF(C-A) 蓝绿激光器*

于 力 张永生 刘晶儒 胡志云 袁 孝

(西北核技术研究所 西安 710024)

提要 利用分段表面放电作为光抽运源,采用光解离 XeF₂ 技术,研制了一台 XeF(C-A) 蓝绿激光器。抽运源有效激活长度为 60 cm,单位长度的沉积功率为 4.5 MW/cm。在 250 Pa XeF₂/60 kPa Ar/40 kPa N₂ 条件下,采用平凹腔,输出耦合为 4%,获得了 XeF(C-A) 激光输出。对 XeF(C-A) 激光特性参数进行了测量,输出能量为百毫焦耳量级,最大能量达 167 mJ,激光脉宽 ~ 600 ns,辐射光谱范围 470 ~ 500 nm,发散角水平方向为 1.7 mrad,垂直方向为 3.7 mrad。

关键词 XeF(C-A) 激光,表面放电,光抽运

中图分类号 TN 248.5 文献标识码 A

Optically Pumped Blue-green XeF(C-A) Laser

YU Li ZHANG Yong-sheng LIU Jing-ru HU Zhi-yun YUAN Xiao

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024)

Abstract A blue-green XeF(C-A) laser optically pumped by a sectioned surface discharge based on photodissociation of XeF₂ has been developed. The pump source is a single-channel sectioned discharge on the Teflon surface with the average deposit power density of about 4.5 MW/cm in the first half period of the discharge. The effective active length is 60 cm. The aperture of laser cell is 10 cm × 10 cm and fused silica window with Brewster angle is used. A stable resonator with the length of 1.4 m consists of a spherical mirror of 5 m with the reflectivity of better than 99% and a flat mirror with the transmission of 4% in the spectral range 450 ~ 500 nm. Laser energy of more than 150 mJ in 600 ns is extracted from the medium with a gas mixture of 250 Pa XeF₂, 40 kPa N₂, 60 kPa Ar, with the total stored energy of 5.4 kJ. The wavelength of XeF(C-A) laser is in the range of 470-500 nm. The divergence angle was 1.7 mrad in horizontal and 3.7 mrad in vertical.

Key words XeF(C-A) laser, surface discharge, optical pump

1978 年, Bische^[1] 等以电子束激励 Xe₂ 灯为光源光解离 XeF₂ 首次获得了 XeF(C-A) 激光辐射, 自 XeF(C-A) 激光一问世, 就因其在蓝绿波段(425 ~ 525 nm) 的可调谐性受到科学界的广泛关注, 各国在此领域竞相开展深入研究。1979 年, 列别捷夫研究所的 Bosov^[2] 等利用爆炸线抽运技术光解离 XeF₂ 产生了 XeF(C-A) 激光辐射, 1984 年, Kashnikov^[3] 完成了分段表面放电光抽运 XeF(C-A) 激光器的研制, 其设计结构简单, 克服了爆炸线只能单次运转以及电子束抽运效率很低的弱点。目前, 该种类型激光器输出能量已达 117 J, 抽运源工作频率 1 Hz, 总转换效率达到 0.17%^[4]。近年来, 美国^[5]、法国^[6] 相继开展了新的研究, 主要目的是解决器件小型化和

重复频率工作等难题。由于 XeF(C-A) 激光的本征效率较高、饱和能量密度高、光谱带宽长等特点, 它在水下光源、水下探测、光通信、飞秒激光放大等科学、军事、工业领域具有广泛的应用前景。从 1995 年起, 我们开始采用表面放电光解离 XeF₂ 技术研制 XeF(C-A) 激光器, 已获得了 XeF(C-A) 激光^[7,8]。目前, 激光输出能量已超过百毫焦耳。

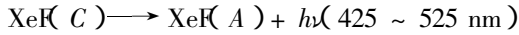
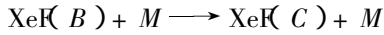
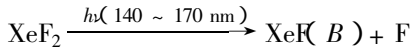
1 激光形成原理

XeF(C-A) 激光的激活介质是 XeF₂ 饱和蒸气。XeF₂ 是一种无色透明的晶体, 在常温下其饱和蒸气压为 2 ~ 5 × 133 Pa。XeF(C-A) 激光的形成过程如下: XeF₂ 分子吸收 140 ~ 170 nm 波段的真空紫外光被光解离后主要形成 B 态 XeF(B) 分子, 由于 C 态能级比 B 态低大约 0.1 eV, B 态分子通过与缓冲气体的分子或原子碰撞弛豫形成 C 态 XeF(C) 分子,

* 863-416 主题资助项目。

收稿日期 2000-08-16; 收到修改稿日期 2000-10-13

其能级寿命约 100 ns, C 态作为上能级向下能级 A 态跃迁产生 XeF(C-A) 辐射, 辐射范围为 425 ~ 525 nm, A 态极不稳定, XeF(A) 分子迅速分解为 Xe 和 F 原子, XeF 分子势能曲线如图 1 所示。XeF₂ 光解离产生 XeF(C-A) 辐射的反应方程如下:



式中, M 为缓冲气体的分子或原子, 通常实验中用 N₂ 和 Ar 作为缓冲气体。

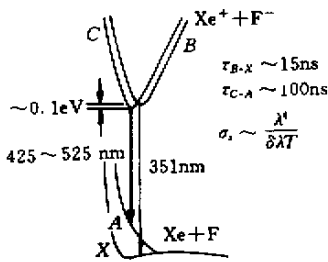


图 1 XeF 分子势能曲线

Fig.1 Potential diagram of the XeF system

2 激光器结构及实验系统

表面放电具有击穿电压低、电流密度大、辐射亮度高、光辐射可从可见光延伸到真空紫外区等特点, 因此, 表面放电是用来光解离 XeF₂ 产生 XeF(C-A) 激光的理想抽运源。

抽运源结构与文献 [8] 中的类似, 4 个放电间隙构成的放电通道沿轴线方向位于聚四氟乙烯绝缘板的上表面, 总有效放电长度 60 cm。触发电极埋于绝缘基板下表面的槽中, 与主电极绝缘。当快点火脉冲到达触发电极后, 电场发生剧烈畸变, 同时主电极间产生表面滑闪, 从而诱导大电流表面放电。每对主电极与 1 个 CBB35-3 型高压脉冲电容器并联, 总电容为 12 μF, 由高压直流电源供电, 充电电压 25 ~ 30 kV。

激光器气室用不锈钢制成, 容积为 76 cm × 35 cm × 35 cm, 气室内表面需经 XeF₂ 钝化。由于 XeF(C-A) 辐射的增益系数比较小, 一般约 2 × 10⁻³ cm⁻¹ 左右, 为尽可能减小腔内损失, 输出窗采用布儒斯特窗, 口径为 10 cm × 10 cm, 谐振腔采用平凹稳

定腔, 腔长 1.5 m, 全反镜曲率半径 R = 5 m, 对中心波长 480 nm 辐射的反射率为 99.5%, 输出镜为 96%。为了抑制 XeF(B-X) 辐射, 腔镜对 351 nm 波长的反射率均小于 10%。充气工艺采用 N₂/Ar 气体将 XeF₂ 吹入气室的方法, XeF₂ 的初始浓度用自行研制的 XeF₂ 浓度实时监测仪监测。Ar 和 N₂ 的纯度好于 99.999%。

光学测量系统如图 2 所示, 分别测量激光能量、激光脉冲及激光光谱。1 为激光气室, 由 2 和 3 构成激光谐振腔, 4 为 480 ± 30 nm 的带通滤光片, 5, 7 为分束片, 6 为激光能量计, 8 为光电二极管, 9 为摄谱仪。

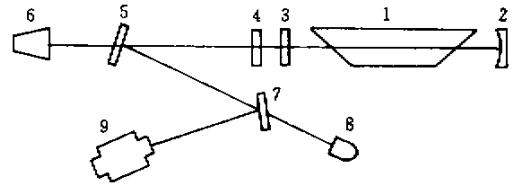


图 2 光学实验系统示意图

Fig.2 Schematic drawing of the laser system

3 实验结果与讨论

3.1 抽运源参数

分段放电抽运源要求多段放电间隙同步, 否则将不能产生激光振荡, 文献 [3] 指出, 放电分散性需小于 250 ns。为了满足这样的要求, 我们用同一电极触发多段放电间隙, 触发脉冲峰值大于 20 kV, 上升沿时间小于 100 ns, 触发机理是介质阻挡放电形成表面滑闪诱导主电极间产生大电流放电。在这种触发方式下, 多段间隙放电同步性很好, 分散性小于 150 ns, 多段间隙放电电流波形如图 3 所示。放电第一半周期为 6.5 μs, 回路等效电感 1.5 μH, 峰值电流约 38 kA, 平均沉积能量密度为 4.5 MW/cm。从电流波形可以看出, 放电等离子体的阻抗与电源阻抗匹配得相当不好, 在放电的第一个半周期内沉积能量仅占总储能的 35% 左右。因此, 进一步减小回路电感以及调整阻抗匹配可以提高利用效率和抽运能力。

对于光解离 XeF(C-A) 激光器而言, 抽运源的抽运能力取决于放电辐射产生的 140 ~ 170 nm

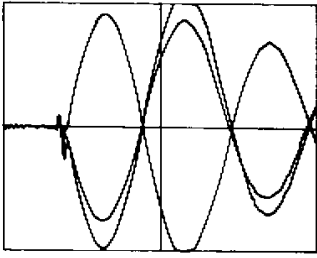


图 3 多间隙放电电流波形

Fig.3 Waveform of the multisection discharge currents

波段的光子通量,该波段光子通量越大抽运能力越强。光子通量与光解离波发展速度成正比,测量光解离波速度便可以计算光子通量以及放电等离子体亮度温度。辐射光强度 $I(t)$, 140 ~ 170 nm 辐射区的光子通量 $\Phi(t)$ 以及最大光子通量 Φ_m 与 XeF₂ 初始浓度 N_0 及解离波发展速度 V_{pdw} 的关系分别由式 (1) ~ (3) 表示^[9]

$$I(t) = \frac{1.8836 \times 10^{32}}{\lambda^4 \left\{ \exp \left[\frac{1.4378 \times 10^7}{\lambda T_b(t)} \right] - 1 \right\}} \quad (1)$$

$$\Phi(t) = \int_{140}^{170} I(t) d\lambda \quad (2)$$

$$\Phi_m = N_0 \times V_{pdw} \quad (3)$$

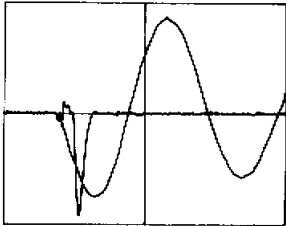


图 5 激光脉冲和放电电流波形

Fig.5 Laser and current waveform

光解离波用高速条纹相机拍摄,为了较精确地测量解离波发展速度,在光路中垂直于光轴方向放置了一组小孔,孔径 3 mm,每个孔间隔 10 mm,这样可以将光解离波分割为若干层。获得的光解离波发展照片如图 4 所示,最下边一层是放电等离子体发展图像,上边两层是解离波发展图像,每层中心间距 13 mm,其斜率即解离波发展速度。通过计算,解离波发展速度为 20 ~ 25 km/s, 140 ~ 170 nm 波段的光子通量 $\Phi_m \approx 1.6 \times 10^{23}$ 光子/cm²·s, 等离子体亮度温度 $T_b \approx 20 \times 10^3$ K。

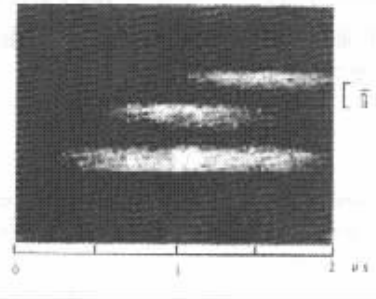


图 4 光解离波发展图

Fig.4 Photograph of photolysis wave

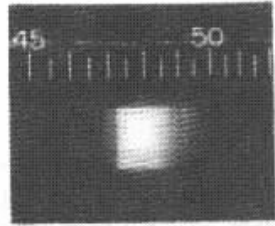


图 6 激光光谱

Fig.6 Laser spectrum

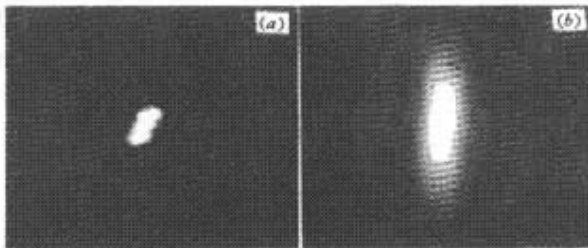


图 7 激光远场焦斑(a)和近场光斑(b)

Fig.7 Far-field(a) and near-field(b) of the laser beam

3.2 激光特性参数

在 250 Pa XeF₂/60 kPa Ar/40 kPa N₂ 条件下,采

用平凹腔,输出耦合为 4%,获得了 XeF(C-A) 激光输出。输出能量为百毫焦量级,最大能量达 167 mJ。

用 GD-51 光电管测量了激光脉冲, 脉冲波形与放电电流波形的相对位置如图 5 所示, 激光脉宽约 600 ns, 放电电流开始约 2.0 μ s 后激光脉冲到达最大值。我们注意到电流峰值远落后于激光峰值, 也就是说, 尚未最大限度地利用抽运功率, 因此激光输出能量有望进一步提高。用 E498 石英摄谱仪拍摄了 XeF(C-A) 激光光谱, 如图 6 所示。辐射范围为 470 ~ 500 nm, 谱线中的吸收线是由于 Xe 离子对光谱的吸收造成的。激光远场焦斑和近场光斑如图 7 所示, 远场焦斑尺寸 0.7 mm \times 1.5 mm; 近场光斑尺寸 1.5 cm \times 3.7 cm, 激光发散角在水平方向约 1.7 mrad, 在垂直方向约 3.7 mrad。XeF₂ 经光解离后不能再生, 在尚无气体循环系统的条件下, 激光器处于单次运行水平。

参 考 文 献

- 1 W. K. Bischel, H. H. Nakano, D. J. Eckstrom *et al.*. A new blue-green excimer laser in XeF. *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **34**(9):565 ~ 567
- 2 N. G. Basov, V. S. Zuev, A. V. Kanaev *et al.*. Laser action due to the bound-free C(3/2)-A(3/2) transition in the XeF molecule formed by photodissociation of XeF₂. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1979, **9**(5):629 ~ 629
- 3 G. N. Kashnikov, N. P. Kozlov, V. A. Platonov *et al.*. Xenon fluoride(C-A) visible-emitting laser pumped optically by radiation from a sectioned surface discharge. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1984, **14**(10):1422 ~ 1423
- 4 V. S. Zuev, G. N. Kashnikov, S. B. Mamaev. XeF laser with optical pumping by surface discharges. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1992, **22**(11):973 ~ 979
- 5 B. A. Knecht, R. D. Fraser, D. J. Wheeler *et al.*. Compact XeF(C-A) and iodine laser optically pumped by a surface discharge. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(9):1011 ~ 1013
- 6 M. L. Sentis, V. I. Tcheremiskine, Ph. C. Delaporte *et al.*. XeF(C-A) laser pumped by formed-ferrite open discharge radiation. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **70**(10):1198 ~ 1200
- 7 L. Yu, J. R. Liu, Zh. Y. Hu *et al.*. Experimental study on XeF(C-A) laser pumped by surface discharge radiation. *Proceedings of International Conference on Laser 's 97*, 1997. 82 ~ 86
- 8 Zh. Y. Hu, J. R. Liu, L. Yu *et al.*. Experimental study on XeF(C-A) laser pumped by sectioned surface discharge. 5th National Youth Academic Symposium of Laser Science and Technology, Xi'an, 1999. 455 ~ 458
- 9 R. E. Beverly III. Kinetic modeling of the photolytic XeF(C-A) laser. *Appl. Phys. B*, 1993, **56**:147 ~ 156