

文章编号: 0258-7025(2003)01-0001-04

# 气体组份和峰化电容对脉冲 HF 激光输出特性的影响

柯常军, 万重怡, 吴 谨

(中国科学院电子学研究所, 北京 100080)

**摘要** 研究了气体组份和峰化电容对紫外光预电离脉冲 HF 激光器性能的影响。实验发现最佳气体混合比为  $\text{SF}_6/\text{C}_2\text{H}_6 = 20:1$ , 峰化电容和主放电电容的最佳比为  $C_p/C_s = 0.3$ , 在最佳气体混合比时, 最大激光脉冲能量和对应的总气压随充电电压的提高而增大。另外, 激光脉冲宽度随气压的升高而减小。得到了 400 mJ 的能量输出, 脉冲峰值功率为 1.5 MW, 激光能量比输出达  $31.7 \text{ J/l} \cdot \text{atm}$ , 最大电光转换效率约为 2.2%。

**关键词** 激光技术; 脉冲 HF 激光器; 紫外光预电离; 峰化电容

中图分类号 TN 248.5 文献标识码 A

## Influence of Mixture Component and Peaking Capacitor on the Performance of an UV Preionized Pulsed HF Laser

KE Chang-jun, WAN Chong-yi, WU Jin

(Institute of Electronics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract** The influence of the peaking capacitor and the pressure of mixture gas on the performance of UV preionized pulsed HF laser is investigated. There exist an optimum mixing ratio ( $\text{SF}_6/\text{C}_2\text{H}_6 = 20:1$ ) and an optimum capacitor ratio ( $C_p/C_s = 0.3$ ). In addition, the laser pulse width decreases as the gas pressure increases. Under the optimum mixing ratio the maximum attainable output energy and the optimal pressure increase with increase of the charging voltage. The laser gives laser output energy up to 400 mJ with a maximum electric efficiency about 2.2% and the specific energy  $31.7 \text{ J/l} \cdot \text{atm}$ .

**Key words** laser technique; pulsed HF laser; UV preionization; peaking capacitor

## 1 引言

由于 HF 激光是  $2.5 \sim 3.6 \mu\text{m}$  波段的高效强红外辐射源, 与链式 HF 激光器相比非链式脉冲 HF 激光器具有脉冲峰值功率高、易于操作、没有腐蚀和爆炸的危险等优点, 因而近年来高能放电引发的非链式脉冲 HF 化学激光器在国际上日益受到关注, 发展尤为迅速<sup>[1~3]</sup>。通常采用  $\text{SF}_6$  和  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  或  $\text{C}_3\text{H}_8$  等的混合气作为激活介质, 通过放电引发化学反应从而形成振动激发态的 HF, 完成激光的抽运过程。众所周知, 稳定的放电是获得高效和高质量的激光输出的重要保证, 而  $\text{SF}_6$  的强电负性使得稳定放电更为困难, 常用的稳定放电技术有采用

阻性电极、电晕预电离、火花预电离、半导体预电离等多种<sup>[4,5]</sup>。本文报道了紫外光预电离脉冲 HF 激光器输出特性的实验研究。用  $\text{SF}_6$  和  $\text{C}_2\text{H}_6$  混合气, 研究了气体成分、气压和峰化电容对激光器输出特性的影响。

## 2 实验装置

实验中采用紫外光预电离横向放电结构引发化学反应<sup>[6]</sup>。预电离系统和主放电电极都放在同一个充满反应混合气的钢制圆筒中, 两端用 NaCl Brewster 窗口密封。激光腔由曲率半径为 8 m 的镀金高反射凹面镜和未镀膜的 ZnSe 平面镜组成,

收稿日期: 2001-10-11; 收到修改稿日期: 2001-11-26

作者简介: 柯常军(1973 ), 男, 博士, 主要从事高功率激光器研究。E-mail: laser@mail.ie.ac.cn

腔长为 1.4 m。主电极是一对放电宽度为 1 cm, 放电长度为 50 cm 的 Chang 造型铝电极, 电极间距 2 cm。为保证得到稳定的放电, 主电极两侧用电容耦合的钨针火花放电阵列产生强烈的紫外光辐射, 使整个放电体积形成体预电离。为了保证尽可能小的电感, 放电回路的连线采用短的宽铜带。用充氮气的球隙作为放电开关  $G$ , 图 1 是激光放电回路简图。储能电容  $C_s$  的变化范围为 12.8~58.7 nF, 充电电压从 20 kV 到 34 kV 变化, 预电离电容  $C_y$  总量为 12.6 nF, 峰化电容  $C_p$  的变化范围为 0~30 nF。激光脉冲能量用 Gentec ED500 能量计测量, 激光脉冲波形用 HgCdTe 探测器(液氮冷却)探测, 然后到 Tektronix TDS-220 数字示波器上显示。

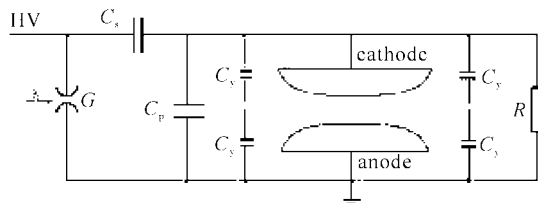


图 1 激光放电回路

Fig. 1 Laser discharge circuit

### 3 激光输出特性

利用以上装置在很大的气压范围内都获得了激光输出, 激光输出能量与混合气的总气压及混合比有很大的关系。图 2 是不同充电电压下, 保持  $SF_6$  气压不变, 激光输出能量和  $C_2H_6$  分压的关系曲线。可以看出开始时激光能量随  $C_2H_6$  气压增大而快速增长, 然后达到最大, 进一步增大  $C_2H_6$  气压会引起激光输出能量缓慢下降。由图 2 可看出在不同电压下, 存在最佳的气压比  $SF_6/C_2H_6 = 20:1$ 。当  $SF_6$  气压一定时, 在相同的电压下从  $SF_6$  中分解出的 F 原子数目不变。在  $C_2H_6$  气压较低时, 不足以提供形成激发态 HF 分子所需的  $C_2H_6$  分子。因此激光能量随  $C_2H_6$  气压增大而快速增长, 进一步增大  $C_2H_6$  气压会引起激光输出能量缓慢下降, 是由于过量的  $C_2H_6$  分子会引起激发态的 HF 分子快速弛豫<sup>[7]</sup>。

图 3 给出了最佳气压比时激光能量和总气压的依赖关系。不难看出在较低气压时, 激光能量随气压提高而增大, 达到最大值后开始下降。不同的充电电压对应着不同的最佳气压值, 随着充电电压的提高, 所能得到的最大激光能量和对应的最佳气压值也相应增大。以上现象可以这样解释, 为了使

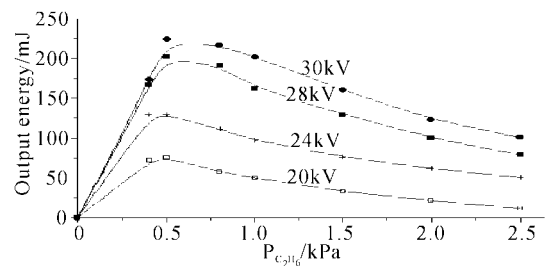


图 2 激光输出能量随乙烷分压的变化关系

Fig. 2 Dependence of output radiation energy on  $P_{C_2H_6}$  in the working mixture ( $P_{SF_6} = 10$  kPa,  $C_s = 26$  nF)

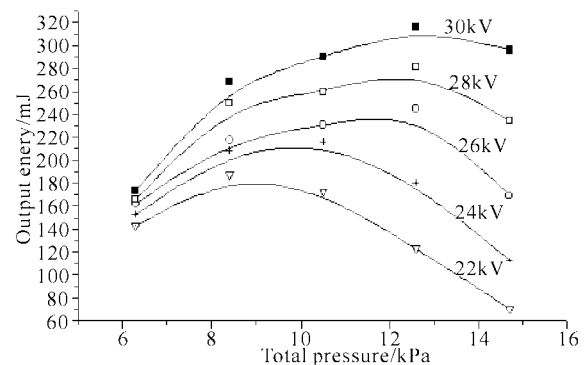


图 3 激光输出能量随总气压的变化关系

Fig. 3 Dependence of output energy on the pressure in a mixture of the  $SF_6 : C_2H_6 = 20:1$  composition ( $C_s = 58.7$  nF)

$SF_6$  分子有效地离解出 F 原子, 存在最佳的  $E/P$  值, 因而最佳气压值随充电电压的提高而增大。在特定的充电电压下, 当气压较低时, 电子的平均能量较大, 除了生成有效的 F 原子外, 有的  $SF_6$  分子的离解产物是 F 离子而不是 F 原子, 还有一部分能量变成了热能。当气压增大到某一特定值时, 即达到最佳的  $E/P$  值时, 电子的平均能量和  $SF_6$  分子的离解能接近, 此时的有效离解截面最大, 因而生成 F 原子的效率也最高。当气压继续增大时, 电子的平均能量小于  $SF_6$  分子的离解能, 不能有效生成激光抽运反应必需的 F 原子, 因而激光输出能量也随之下降, 实验观察也证明了这一点。当  $E/P$  值进一步增大时, 放电过渡到弧光。

采用不同储能电容  $C_s$  时激光器的电效率(激光能量与电容存储能量之比)与充电电压的关系曲线如图 4 所示。当  $C_s = 58.7$  nF 时, 最大激光能量达 400 mJ。但最高的电效率只有 1.4%。当  $C_s = 12.8$  nF 时, 激光能量虽然不大, 但电效率均可达到 2% 以上。大电容时电效率低的原因是由于相应较长的放电电流脉冲和大的能量注入导致不均匀放电引起

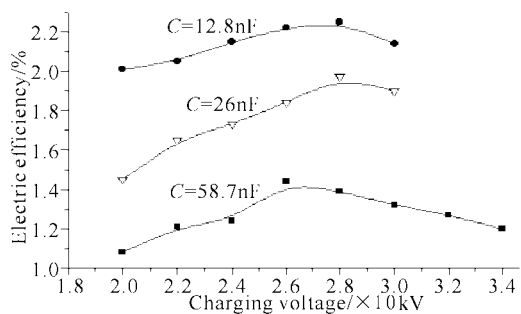


图 4 不同电容的电光转换效率随充电电压的变化关系

Fig. 4 Dependence of the technical efficiency on charging voltage for different capacitors

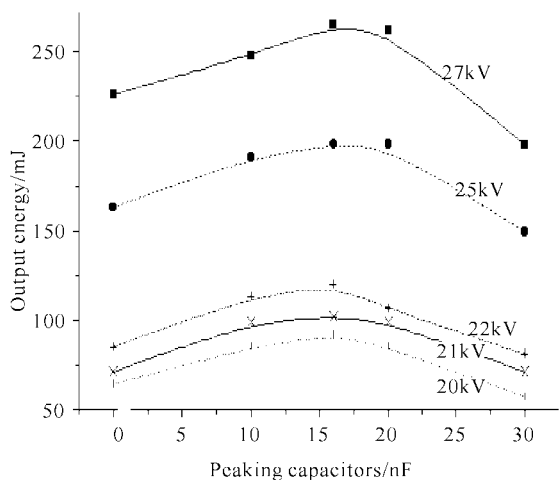


图 5 激光输出能量与峰化电容的关系

Fig. 5 Laser output as a function of the peaking capacitors  $C_p$  for different charging voltages

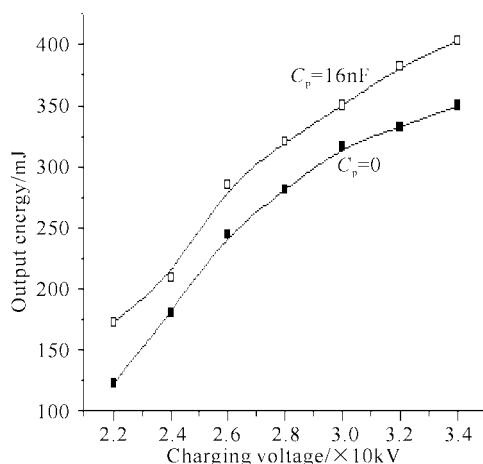


图 6 不同电容比时激光输出与充电电压的关系

Fig. 6 Output energy as a function of charging voltage for  $C_p/C_s = 0.3$  and  $0$

的。由此可见,为获得大的激光能量输出需采用大电容,为获得高的电效率需采用较小的电容。

在放电电极两端并联峰化电容  $C_p$  可以提高横向放电 HF 激光器的放电稳定性。峰化电容  $C_p$  起加强预电离和减小放电回路电感的作用,因而可以提高有效注入能量和电光转换效率。对于每一种激光器都存在最佳的电容比  $C_p/C_s$ , 这个比值与回路的电感有关<sup>[8]</sup>。实验中最佳电容比是通过固定  $C_s = 58.7 \text{ nF}$  不变,  $C_p$  从 0 到 30 nF 变化来确定。图 5 给出了激光输出能量随峰化电容的变化关系,对于每一个特定的电压值,最大的激光输出都在  $C_p = 16$

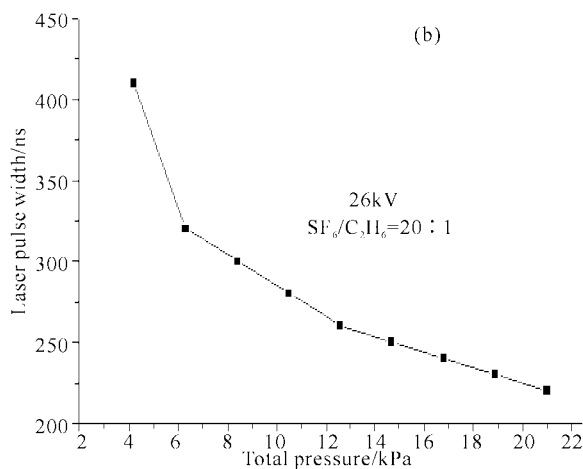
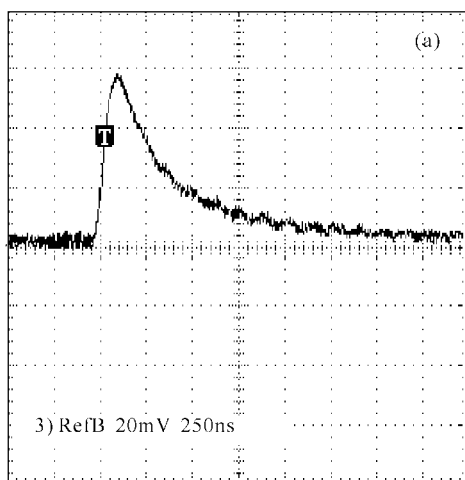


图 7 (a) 典型的激光脉冲波形;

(b) 激光脉宽随气压的变化曲线

Fig. 7 (a) Typical oscillogram of the laser pulse;

(b) Laser pulse widths as a function of total pressure

nF 时得到,因而最佳的电容比  $C_p/C_s \approx 0.3$ 。如图 6 所示,在 22~34 kV 的充电电压范围内,  $C_p/C_s \approx 0.3$  与  $C_p/C_s = 0$  时相比较,激光输出能量有 15%~30% 的提高。

典型的激光脉冲波形如图 7(a) 所示。实验过程中发现电容的大小对激光脉冲宽度的影响不大,激光脉冲宽度(FWHM)随气压的变化关系如图 7(b) 所示,激光脉宽随气压的升高而减小。这是由于随气压的升高,粒子间的弛豫过程加快造成的。

## 4 结 论

从实验上研究了紫外光预电离横向放电脉冲 HF 激光器的激光输出特性,发现存在最佳气体混合比为 20:1,对于每一特定充电电压存在与最大激光脉冲能量对应的最佳总气压。峰化电容和主放电电容的最佳比为  $C_p/C_s = 0.3$ 。另外,激光脉冲宽度随气压的升高而变窄。此器件在总气压为 10.5 kPa,充电电容为 58.7 nF,峰化电容为 16 nF,充电电压为 34 kV 时获得了 400 mJ 的激光能量输出,脉冲峰值功率为 1.5 MW,激光能量比输出达 31.7 J/l · atm,最大电光转换效率约为 2.2%。

致谢 作者感谢刘世明研究员和周锦文副研究员等的热情帮助。

## 参 考 文 献

- 1 V. V. Apollonov, K. N. Firsov. High-power non-chain HF (DF) lasers initiated by self-sustained volume discharge [C]. *SPIE*, 1998, **3574**:374~384
- 2 B. Lacour, C. Gagnol, P. Prigent. High average power HF/DF laser [C]. *SPIE*, 1998, **3574**:334~340
- 3 I. L. Butzykin, S. D. Velikanov, P. A. Evdokimov. Experimental study of pulse-periodic DF laser operation with up to 1200 Hz repetition rate and about 25 W average power [C]. *SPIE*, 2001, **4184**:162~165
- 4 K. R. Rickwood. A comparison of methods of electrically excited small pulsed HF lasers suitable for medical applications [J]. *Opt. Comm.*, 1997, **136**:480~486
- 5 F. G. Goryunov, K. V. Gurkov, M. I. Lomaev *et al.*. Pulsed chemical electric discharge SF<sub>6</sub>-H<sub>2</sub> laser [J]. *Quantum Electron.*, 1994, **24**(12):1064~1066
- 6 Ke Changjun, Wan Chongyi, Sheng Yugang. Electric-discharge non-chain pulsed HF laser [J]. *Laser Journal* (激光杂志), 2001, **22**(6):28~29 (in Chinese)
- 7 J. K. Hancock, W. H. Green. Vibrational deactivation rates of HF ( $\nu = 1$ ) by CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> and ClF<sub>3</sub> [J]. *J. Chem. Phys.*, 1974, **59**(12):6350~6357
- 8 T. Y. You, K. S. Low. Optimum capacitor ratio in a transversely excited atmospheric CO<sub>2</sub> laser [J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1993, **64**(1):71~75