

微量低电离电位的添加物对 XeCl 准分子激光输出的影响

李昭临 车明瑜 高 越 胡雪金

(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

提 要

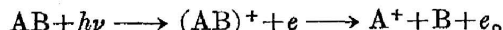
本文报道在 XeCl 准分子激光器中添加微量的氯苯(C₆H₅Cl)或四氯化碳(CCl₄),使激光输出能量提高约16%。

关键词: 准分子激光器。

一、引 言

为了提高快放电的紫外光预电离的准分子激光器的输出能量,实现大的激活截面的准分子激光输出是目前普遍感兴趣的研究课题^[1]。由于激光输出能量与紫外预电离的电子密度的对数线性相关,借助紫外光预电离产生的大于 $10^8/\text{cm}^3$ 的电子密度就可以得到大体积的均匀的放电等离子体,进而产生高能量的激光输出。所以,在大激励截面的准分子激光的形成中,紫外预电离是一个关键^[2]。

在一般的紫外光预电离的准分子激光器中,使激光介质预电离的紫外光是由置于气室内的预电离装置在高压击穿时产生的火花放电提供的。该紫外光照射工作介质和主电极,由体预电离和表面预电离共同提供电子。为了进一步提高这初始的电子密度,根据光化学原理,在激光混和气体中加入某些微量的低电离电位的化合物,使它们在紫外光作用下,迅速地发生单光子或多光子电离而产生电子:



这样,在很短的时间内(10^{-12}s),预电离的电子密度迅速地得到增强,并一起参与整个形成XeCl*准分子的动力学过程。

为了使这些分子发生光离解,可以采用处于气室之外的汞灯照射,或注入另一束紫外波长的激光。也可以直接利用激光介质中的预电离火花隙放电所产生的复盖 $1000\sim 3000\text{\AA}$ 的宽带连续紫外光作为光源,在早期的TEA二氧化碳激光器中,用直接添加苯、三乙胺等化合物的方法已证实了这种方法的可行性^[3]。后一种方法由于火花放电产生的紫外光强度有限,所以效果可能没有第一种明显,但是不必再设置一台激光器并解决同步问题,在装置上及操作上均大为简便、易行。但是XeCl准分子激光器,并且,激发态的XeCl*对许多分子及自由基的猝灭系数都很大,所以,对这些添加物分子的选择条件就苛刻得多。对于

XeCl 准分子激光来说,选择的分子必须满足以下两个条件:

(1) 在 1000~3000 Å 的紫外光照射下具有低电离电位及大的电离截面,能迅速电离而产生足够的电子密度。

(2) 在 3080 Å 的强激光场中不吸收而且对 XeCl* 的猝灭很小。

基于以上考虑,我们首次在一台激活截面为 2 cm × 2 cm 的 XeCl 准分子激光器的混和气体中加入微量的氯苯、四氯化碳,观察到激光输出能量提高 16%;同时,还研究了添加物气体密度对输出能量及添加物对激光光谱的影响。

二、实验结果及讨论

用于该实验的激光器采用类似于以前实验中的激光器的泵浦回路^[4]。采用平凹光学腔,腔长 1 m。输出能量用 PT-1 型能量计测量,输出光谱用 SIT-500C 型 OSA 监测。

1. 添加微量氯苯

氯苯(C₆H₅Cl)在常温下是液态,可以方便地加于激光混和气体之中。氯苯分子在紫外波段有连续吸收,波长大于 3000 Å 时吸收系数极小。我们曾用 3080 Å 的激光照射氯苯,并用分子束-四极质谱系统直接分析样品,没有观察到它的多光子电离及离解,氯苯分子的电离势为 9.07 eV^[5],在紫外光照射的瞬间,它的分子即经历单光子电离过程: C₆H₅Cl + hν → C₆H₅Cl⁺ + Cl + e。所产生的丰富的电子使整个预电离区及主放电区域的电子密度大为增强。

我们在 Xe:HCl:Ar = 15 mbar:6 mbar:1200 mbar 的激光混和气体中加入微量氯苯,

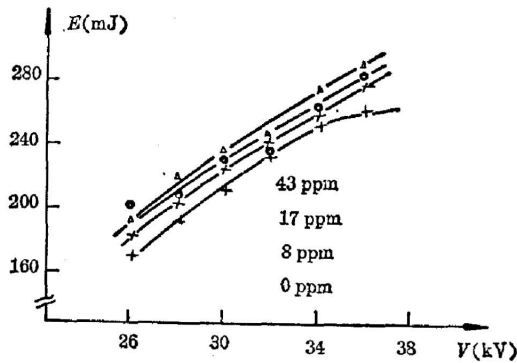


Fig. 1 The effect of C₆H₅Cl additive to the laser output energy

得到的实验结果示于图 1, 激光最大输出能量为 300 mJ, 激光光斑为 20 mm × 16 mm。与不加氯苯的情况相比, 相对能量约提高 16%。由于氯苯的添加量一般为几到几十个 ppm, 而混和气体中的氯化氢含量为 0.5%, 所以, 可以认为氯苯电离后产生的 Cl 对激光气体组成的影响可以忽略不计, 添加氯苯后, 激光能量的增加可以认为是由于预电离电子密度的增强所致。

氯苯添加量的不同对激光输出的影响是不一样的。在添加量较少($n \sim$ 几十 ppm)时, 输出能量随氯苯添加量的增大而

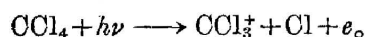
增加。因为根据单光子电离速率表达式: $(dN/dt) = I\sigma N_0$ 。I 为预电离的紫外光光强, σ 为电离截面, N_0 为添加气体的密度。在 I、 σ 值一定的前提下, 有 $(dN/dt) \propto N_0$ 这说明添加氯苯的量增大时, 电子密度增加从而激光输出能量也随之增加。另一方面, 还必须考虑电子密度的空间分布。根据比尔定律, 预电离紫外光的穿透距离近似由 $L = (1/\sigma N)$ 式确定^[6], 其中 σ 是电离截面, 氯苯在这个波长范围电离截面 $\sigma \approx 10^{-16} \text{ cm}^2$, 当含量在 8~43 ppm 范围时, $L \approx 20 \sim 70 \text{ cm}$, 也就是说, 在预电离区域附近 20~70 cm 范围内可产生较高的电子密度, 这样, 主放电区域正好处于这个范围之内。如果添加量增加到 100 ppm 以上,

则 L 下降至几个厘米, 这对电子密度的空间分布均匀性不利, 所以说低的浓度就会允许有深的穿透。

由于氯苯在 3080 \AA 仍有极小的吸收, 当添加量太大时, 它对 3080 \AA 激光的吸收会导致激光输出的减少。实验表明, 当氯苯含量为 122 ppm 时, 激光输出能量反而有所下降。所以添加物的含量不宜过高, 最好控制在几十 ppm 以内。

2. 添加微量四氯化碳(CCl_4)

四氯化碳的电离势为 $11.28 \text{ eV}^{[5]}$, 在紫外光作用下的光电离过程为^[7]:



它的吸收带完全在 2300 \AA 以内, 用 3080 \AA 的激光照射, 也同样观察不到它的电离及离解。添加微量 CCl_4 于激光混和气体后, 得到类似于 $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ 的结果(示于图 2)。与氯苯不同的是, 由于四氯化碳在 3080 \AA 基本上没有吸收, 所以当添加量增大到 100 ppm 以上, 只要不影响激光混和气体的配气比, 尽管激光输出的增加已不明显, 但也不会使激光输出下降, 而且在连续激射几千个脉冲并存放几天后, 激光输出能量也没有变化。所以, 认为四氯化碳是一种比较好的增强紫外预电离的添加物。

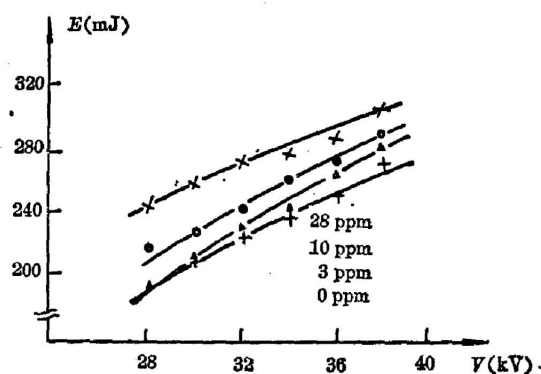


Fig. 2 The effect of CCl_4 additive to the laser output Energy

3. 添加微量四氯化碳(CF_4)

四氯化碳电离势较高, 为 $15.52 \text{ eV}^{[5]}$ 。在添加 CF_4 的实验中并没有观察到任何能量的提高。

由于氯苯及四氯化碳电离过程中产生的 Cl 可以进一步与激光介质中的 HCl 与电子碰撞后产生的 Cl 一起作为氯的供体来形成 XeCl^* , 所以, 它们的加入对激光输出光谱不可能有任何影响。我们用 OSA 对上述过程进行监测, 证明除了原来的 3080 \AA 的主激光谱线外, 没有发现任何输出光谱的改变。

三、结 论

我们的实验证明了在准分子激光介质中可以方便地加入微量液态的低电离电位的化合物, 从而增强紫外预电离的电子密度, 进而使激光输出能量得到提高。这对大激活截面的准分子激光的形成及输出能量的提高有明显的作用。这种方法不必改变激光器的结构及其他参数, 而只是利用光化学原理来改善激光器的运行, 这在实用化大能量的紫外光预电离的准分子激光器的研究中是很有现实意义的。

沈德立、曹洪如、陈永荣和赵震声等同志参加了这一项工作。

参 考 文 献

[1] S. Watanabe, A. Endoh; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, 41, No. 9 (Sep), 799~801.

- [2] Shin Sumida *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1981, **52**, No. 4(Apr), 2682~2686.
[3] H. J. Sequin *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1974, **QE-10**, No. 3(Mar), 311~319.
[4] 胡雪金, 李昭临等; 《光学学报》, 1985, **5**, No. 10(Oct), 881~885.
[5] Gerhard Herzberg; *«Molecular Spectra & Molecular Structure»*, (Gerhard Herzberg, Van Nostrand Reinhold Company, Canada, 1966).
[6] Ali Javan, J. S. Levine; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1972, **QE-8**, No. 11(Nov), 827~832.
[7] Arthur, S. Werner B. P. Tsai *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1974, **60**, No. 9(Sep), 3650~3658.

Effect of additive with low ionization potential on output energy of a XeCl excimer laser

LI ZHAOLIN, CHE MINYU, GAO YUE AND HU XUEJIN
(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 20 October 1986; revised 2 March 1987)

Abstract

The additive with low ionization potential at extremely low concentration can be used to improve the level of preionization of XeCl excimer laser. The additives of C_6H_5Cl and CCl_4 have been used in our experiment, the enhancement of laser output energy up to 16% is observed. This is of specially important for the development of large cross-section rare gas halide discharge.

Key Words: excimer laser.