

XeBr XeCl 激光同时振荡的研究 *

熊旭明 聂劲松 马树森 张兆平 王广昌 秦玉英

(中国科学院安徽光机所, 合肥 230031)

提要 本文报道了由 HCl/HBr/Xe/Ne 体系获得的 XeBr 与 XeCl 两种激光(282 nm, 308 nm)同时振荡。对同时振荡的过程作了初步的分析, 并在单独振荡的情况下研究了 HCl 对 XeBr 激光能量及寿命的影响与 HBr 对 XeCl 激光能量及寿命的影响。

关键词 同时振荡, XeCl, XeBr

1 引 言

实现激光器多波长同时振荡在学术及实际应用上的价值是很明显的, 尤其是在大气遥感、检测等科学研究方面, 这种高度同步的多波长激光器显然是方便的, 与多台激光器联合工作相比具有更多的优越性。国内外对这种多波长激光器已进行了初步的研究^[1~4]。鉴于准分子激光对杂质的高度敏感性以及不同卤素之间的交叉作用, 这种研究多限于单卤素多稀有气体元素体系, 如 KeCl 和 XeCl^[1], ArF 和 KeF^[2], HF 和 KeF^[3], XeF 和 KeF^[4], XeCl 和 Xe 原子^[5]。本文报道了在一台快放电紫外预电离准分子激光器上由多卤素 HBr/HCl/Xe/Ne 体系获得的 XeBr, XeCl 同时振荡, 两激光能量之比随脉冲数不断改变, 当两振荡波长能量之比为 1:1 时, 总能量为 10 mJ。

2 实验装置及结果

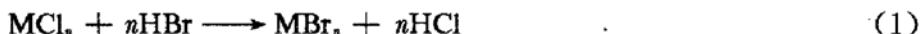
实验是在一台紫外光预电离准分子激光器上进行的。激光腔绝缘材料为有机玻璃, 电极为黄铜镀镍, 电极间距 2.0 cm, 长 80 cm, 腔体积约为 7 L。采用 C—C 能量转移放电结构。 $C_1 = 59$ nF, $C_2 = 21$ nF。实验测量装置如图 1 所示, 激光器输出的激光束分为两束, 90% 的能量供能量计记录能量值; 10% 的能量进入一台一米光栅摄谱仪监测波长。两激光的脉宽及相对强度由安装在摄谱仪板面上的两只光电二极管检测, 二极管响应时间为 1.5 ns, 由宽带记忆示波器显示波形并记录。整个系统均进行过校准及定标。

所用的气体中 HCl, HBr 为自制。HBr 为 60% 的氢溴酸用分析纯的 P_2O_5 脱水, 并经二级分析纯 P_2O_5 干燥塔干燥获得; HCl 为浓硫酸(98%)与分析纯的 NaCl 反应并经干燥获得, 其余气体纯度皆为 99.99%。

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1993 年 6 月 15 日, 收到修改稿日期: 1993 年 9 月 13 日

值得一提的是双波长激光器中的钝化过程,在进行过 HCl 钝化的器件中,抽干净后,加入 HBr 进行钝化,HBr 放入后,腔内淡黄色的氯化物尘埃迅速转变为颜色很深的溴化物尘埃。检测钝化后的剩余气体,证实为 HCl。即腔内存在 HBr 与金属氯化物的置换反应



其中 n 为整数。这样钝化的置换性将影响 XeBr, XeCl 双振荡中的 XeBr 的寿命。

在组分为 HCl/1.5 mbar, HBr/3 mbar, Xe/15 mbar, Ne/3000 mbar。放电电压为 29 kV 条件下,我们用摄谱仪观察到了 XeBr 与 XeCl 同时振荡的光谱图。XeCl 的 308 nm 激光谱为相距约 0.02 nm 的两条细线,而 XeBr 的激光谱有较宽的宽度。XeBr 的 282 nm 的输出光斑为两道平行长条,而 XeCl 的 308 nm 激光则表现为比较均匀的长方形光斑。这种现象的原因为 HBr 对预电离的紫外光有强烈的吸收。中央区域预电离相比之下很弱,而 HCl 对紫外的吸收相比之下弱一些^[5],因而光斑均匀的多。

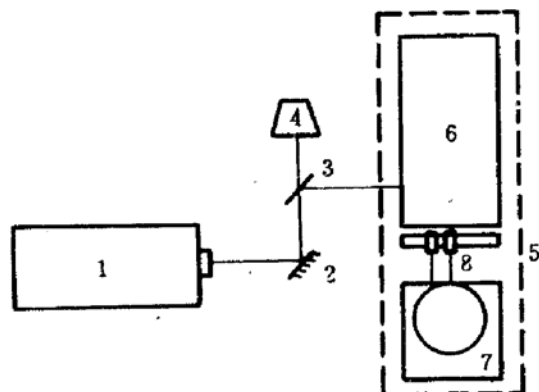


Fig. 1 Schematic of the experimental setup

- 1—Laser; 2—Reflective mirror; 3—Beam splitter;
4—Energy detector; 5—Shielding room;
6—Spectrograph; 7—Oscilloscope; 8—Photod

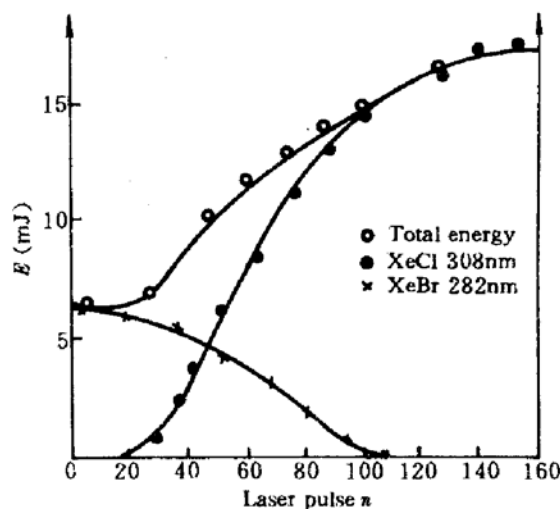


Fig. 2 Total laser energy, XeCl and XeBr laser energies as a function of pulse number

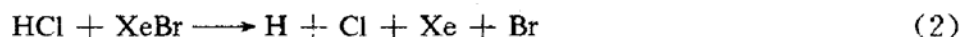
图 2 为在配比 HCl/1.5 mbar, HBr/3 mbar, Xe/15 mbar, Ne/3000 mbar 下测得的 282 nm 激光能量与 308 nm 激光能量的变化过程。开始时, XeBr 的 282 nm 激光能量较强,但随着 308 nm 激光振荡的建立, 282 nm 激光迅速减弱,所以双振荡一开始就是一个 282 nm 激光衰减, 308 nm 激光增强的过程,直到 282 nm 激光消失,而 308 nm 激光能量趋于恒定。从图上可以看到:在两种激光能量比为 1:1 时,总能量为 10mJ,而且由于 XeBr 激光寿命较短,双振荡寿命一般只有 80~90 个脉冲。

双振荡时 308 nm 与其 282 nm 两种激光脉冲波形与单独振荡时没有差别。308 nm 的脉宽约为 12 ns。282 nm 的脉宽约为 20 ns。

为了解双振荡中 XeBr 与 XeCl 两种激光产生通道的相互作用。以解释实验中观察到的能量变化。我们在 XeBr, XeCl 独立振荡的基础上研究了不同 HCl 浓度对 HBr/Xe/Ne/体系的 282 nm 激光的能量及寿命的影响,以及不同的 HBr 浓度对 HCl/Xe/Ne 体系的 308 nm 激光的能量及寿命的影响。

图 3 为不同 HCl 对 282 nm 激光寿命及能量的影响。其中曲线 I, II 为不加 HCl 时 XeBr 激光的能量曲线。I 的能量一开始有一上升的过程,是因为成份中的 HBr 量较多,而 HBr 在体

系中的作用有两个方面,一是作为准分子 XeBr 的主要来源,量多会使 XeBr 产生几率变大。二是 HBr 对 282 nm 激光有很强的吸收。起始时 HBr 量较多,吸收作用占优势,故能量较低,随着 HBr 被消耗,能量上升。当 HBr 被消耗到一定程度,HBr 对 282 nm 激光的吸收不再起主导作用,于是随着 HBr 浓度的下降能量下降。与 XeCl 激光相比 XeBr 激光寿命短是由于 HBr 缺乏再生机制,这也表明 XeBr 的产生与 HBr 密切相关。曲线 III, IV 为曲线 I 的配比中再分别加上 0.4 mbar 和 0.8 mbar 的 HCl 后的能量变化曲线。由图上可见,HCl 的加入不论对 282 nm 振荡的能量还是寿命都有不利的影响。分析其原因主要为 HCl 的离解能(4.4 eV)与 XeBr 的激发态能量(4.4 eV)接近,存在着 HCl 对 XeBr 较强的碰撞淬灭,即



其它原因可能有: 1) 放电产生的 Cl_2 及 HCl^+ 对 282 nm 激光有一定的吸收作用^[6]; 2) 放电中产生的金属氯化物与 HBr 的置换反应(1)消耗了部分 HBr; 3) 放电中产生的 XeCl 对 XeBr 的淬灭及对 282nm 激光的吸收; 4) HCl 对 Xe 的竞争。

图 4 为不同浓度的 HBr 对 XeCl 的 308nm 激光的寿命与能量的影响。由于浓度配比远离 XeCl 激光的最佳配比值,实验中的 XeCl 激光寿命、能量与目前能达到的值相比是很小的,但这并不影响我们考察能量与寿命的相对变化数值。从图中可以看到,0.5 mbar 和 1 mbar HBr 的加入使 XeCl 激光能量迅速下降,这说明 HBr 对 XeCl 激光有很强的抑制作用。随着放电次数的增加 HBr 被分解消耗,HBr 对 308 nm 激光的抑制作用也就不断减弱,308 nm 的激光输出能量也就不断上升,直到 HBr 分解殆尽,308 nm 的能量趋于一恒定值。而这一恒定值对与不同的 HBr 初始浓度是不同的,故可以认为 HBr 分解后的产物 Br_2 对 XeCl 振荡亦有抑制作用。

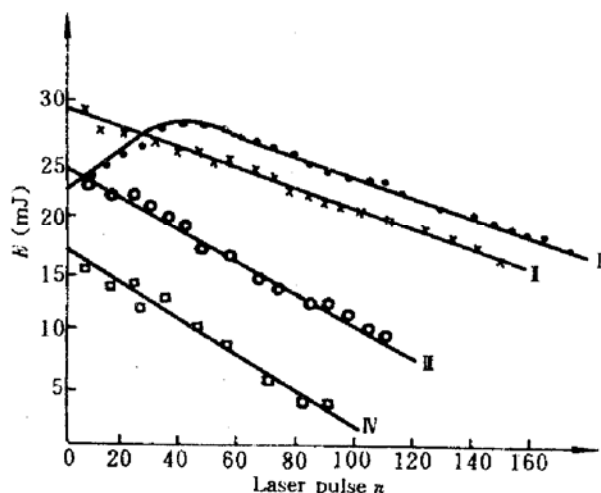


Fig. 3 The influence of HCl on the lifetime and energy of XeBr laser

- I Xe/25 mbar HBr/4.3 mbar Ne/3000 mbar
- II Xe/25 mbar HBr/3 mbar Ne/3000 mbar
- III Xe/25 mbar HBr/3 mbar Ne/3000 mbar HCl/0.4 mbar
- IV Xe/25 mbar HBr/3 mbar Ne/3000 mbar HCl/0.8 mbar

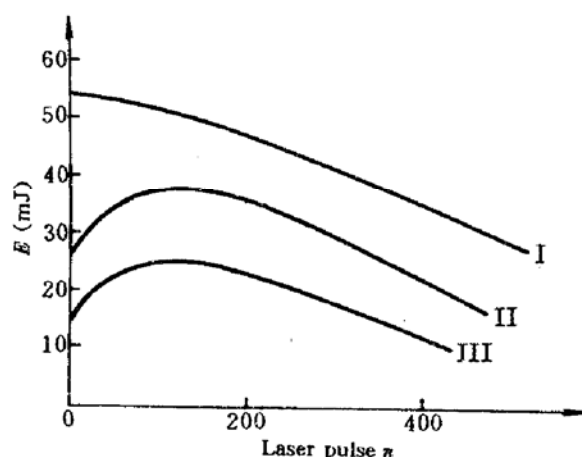
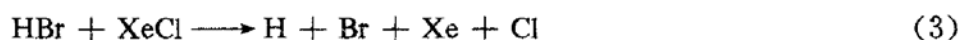


Fig. 4 The influence of HBr on the lifetime and energy of XeCl laser

- I Xe/8 mbar HCl/1 mbar Ne/3000 mbar
- II Xe/8 mbar HCl/1 mbar Ne/3000 mbar HBr/0.5 mbar
- III Xe/8 mbar HBr/1 mbar Ne/3000 mbar HCl/1 mbar

HBr 对 XeCl 激光有强抑制作用的机理还不很明确。HBr 对 308nm 激光虽有吸收^[5],但吸收截面很小,据计算只能解释 5%左右的能量损失,显然不是主要原因。HBr 的离解能(3.78 eV)小于 XeCl 的激发态能量(4.0 eV),故 HBr 对 XeCl 应有较强的淬灭作用



反应可能为影响 XeCl 激光的主要原因。Br₂ 对激光的影响主要在于 Br₂ 与 HBr 相比对 308 nm 激光有较大的吸收截面^[5], 同时 Br₂ 对 XeCl* 也有较强的淬灭作用。

与 HCl 对 XeBr 激光的影响相比, HBr 对 XeCl 影响中令人奇怪的一点是 HBr 的加入对 XeCl 激光的寿命并无影响。分析其原因可能为由于 HBr 与 HCl 钝化的相互作用, 初始加入的 HBr 与器壁上的金属氯化物作用, 置换出了部分 HCl, 使 HBr 的加入对 XeCl 激光的寿命没有表现出明显的不利影响。

少量的 H₂ 的加入使双振荡能量与寿命都略有下降, 这一点与加 H₂ 对单独 XeBr 激光的影响相同^[6]。增加 Xe 的含量使双振荡能量有所上升, 但增加幅度极小。

由于 XeBr、XeCl 双波长同时振荡激光器中两激光通道的交叉淬灭及吸收作用, HCl 对 XeBr 振荡的能量及寿命都有不利的影响; HBr 对 308 nm 振荡的不利影响更大一些, 使双振荡的组分限制在 HCl 及 HBr 都较低的一个范围内。同时由图 2 可以看出双振荡寿命比较短, 给双振荡的实用化带来困难。双振荡寿命短的主要原因是 XeBr 激光寿命短, 在一般情况下, XeBr 激光由于缺乏 HBr 再生机制, 寿命是很短的。但通过一定手段, 引入 HBr 的再生机制, 可以使 XeBr 激光寿命大大延长, 从而大大延长双振荡的寿命。例如, 引入催化剂可获得一定的 HBr 再生速率, 文献[7]报道了采用铂网做催化剂, 置于气体循环通道上, 使 HBr 由放电分解成的 H₂ 与 Br₂ 在 Pt 催化下再生成 HBr, 减缓了 HBr 浓度的下降, 使 XeBr 的激光寿命提高了一个数量级。另一个提高 XeBr 激光寿命的办法是在气体循环通道上设置一个 Br₂ 与 H₂ 过滤器及一个 HBr 补充器, 使由 HBr 分解产生的有害物被滤除, 同时不断补充 HBr, 以弥补由于 HBr 分解而造成的 HBr 浓度下降, 使 HBr 浓度基本保持不变, 从而大大提高 XeBr 的寿命, 也即双振荡的寿命。以上工作正在筹划之中。

参 考 文 献

- 1 马树森, 姚永邦等. 中国激光, 1985, 12(9): 521
- 2 *Laser + Elektro - Optic*, 1976, 8(2): 20
- 3 G. K. Vasil'ev, V. I. Gur'ev. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1990, 20(8): 911
- 4 (a) R. A. Sauerbrey et al. *IEEE. J. Quant. Electr.*, 1989, QE-22(2): 230
(b) Shigexu Yameguchi et al. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1991, QE-27(6): 1288
- 5 Hideo Okabe. 小分子光化学. 汤国庆, 白玉白等译. 长春: 吉林人民出版社, 1982. 192
- 6 Torn Mizunami, Keiji Takagi. *J. Appl. Phys.*, 1992, 71(4): 15
- 7 George Balog et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1979, 35(10): 727

Study of the Dual Oscillation of XeBr and XeCl Laser

Xiong Xuming, Nie Jingsong, Ma Susen

Zhang Zhaoping, Wang Guangchang, Qin Yuying

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academic Sinica, Hefei 230031)

Abstract A bi-wavelength laser oscillation at 282 nm and 308 nm in a mixture of HCl/HBr/Xe/Ne is reported. The process of the dual oscillation have been analyzed. A investigation is also made about the density influence on HCl on the energy and lifetime of XeBr lasers well as HBr on XeCl laser's.

Key words dual oscillation, XeCl, XeBr