

## CuBr 激光器中溴的作用研究

赵裕兴 汤星里 梁宝根

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 本文通过计算和测量,研究和讨论了溴在 CuBr 激光器中的作用,并对几种现象和关系作出了解释。

## Study of role of bromine in CuBr lasers

Zhao Yuxing, Tang Xingli, Liang Baogen

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

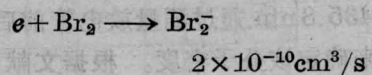
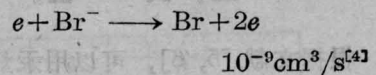
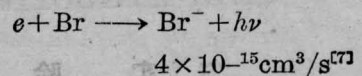
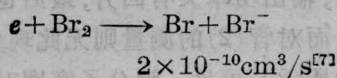
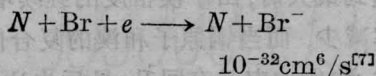
**Abstract:** The role of bromine in CuBr lasers was investigated by computation and experimental measurement and the explanations of some phenomena and relationship are given.

## 一、引言

由于卤化铜激光器的工作温度比较低(400~500°C),因此引起了人们的广泛兴趣。而溴化亚铜激光器则是这类器件的典型代表<sup>[1]</sup>。但目前这类激光器尚有不少问题值得研究,如放电不稳定性与电子温度随气体温度的变化关系等<sup>[2,3]</sup>。本文试图通过实验测量和计算来对溴分子在溴化铜激光器中的作用做一初步的研究,并对有关现象作出解释。

## 二、溴分子对电子密度影响的计算

CuBr 激光器中,在余辉期对电子密度有影响的主要反应为(与卤素有关):



这里  $N$  是缓冲气体密度,反应式右边是对应的反应速率和文献出处。第五个反应速率的估计和第二个速率差不多。

由于卤素主要在余辉期对激光工作产生影响,根据有关文献的计算和测量<sup>[4]</sup>,可假定在余辉期内  $\text{Br}^-$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{Br}$  的变化均为线性下降(其衰减方式对本文计算影响不大)则

$$\frac{dn_e}{dt} = \frac{dn_{e0}}{dt} + n_e N_{\text{Br}^-} \times 10^{-9} - N \cdot N_{\text{Br}}$$

$$\times n_e \cdot 10^{-32}$$

$$- n_e \cdot N_{\text{Br}_2} \times 4 \times 10^{-10} - n_e \cdot N_{\text{Br}} \times 4 \times 10^{-15}$$

这里  $dn_{e0}/dt$  为不存在卤素时的变化,由于这里只是一种估计,所以其值的选择对结

收稿日期: 1986年11月17日。

果不会有大的影响,  $N_e$  为  $x$  粒子密度 ( $x$  代表  $e^-$ , Br, Br<sub>2</sub>)。

图 1 给出了在固定  $N_{Br}$ 、 $N_{Br^-}$  的初始值时,  $N_{Br_2}$  由  $0.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  (曲线 a) 变化到  $0.75 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  (曲线 b) 时对电子密度变化的影响。可见, 随着  $N_{Br_2}$  的增加,  $n_e$  减少的速率加大, 即下次激发脉冲前的电子密度减少。

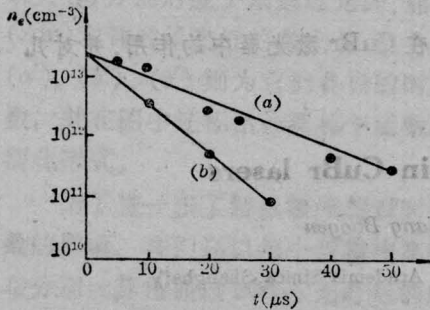


图 1 溴分子密度的变化对电子密度变化影响的计算

曲线(a):  $N_{Br_2} = 0.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ;  
曲线(b):  $N_{Br_2} = 0.75 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$

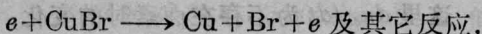
### 三、实验

根据文献 [5, 6], 可以用汞灯的特征谱线  $435.8 \text{nm}$  通过测量放电管前后的光强度比来确定该分子密度。根据文献 [6] 和我们的实验条件 (吸收长度约  $4 \text{cm}$ ) 求得溴分子密度与光强比的关系近似为:

$$N_{Br_2} \approx 2.553 \times 10^{14} \ln(I_0/I) \text{cm}^{-3}$$

实验装置如图 2 所示。实验中使用了二支放电管, 在管 (1) 的电极上绕有铜丝, 管 (2) 电极上则没有。

图 3(a) 给出了溴分子密度  $N_{Br_2}$  在激光器 (1) 中随放电时间的变化关系。对于这种变化关系, 我们解释如下: 由于放电管的温度不断升高, 故 CuBr 的密度增加。通过下一反应



致使溴分子的密度渐渐增加, 从而吸收增加,  $435.8 \text{nm}$  线的强度减少, 直到一个相对稳定

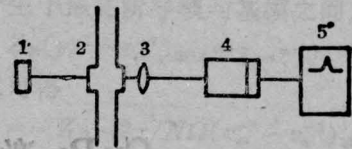
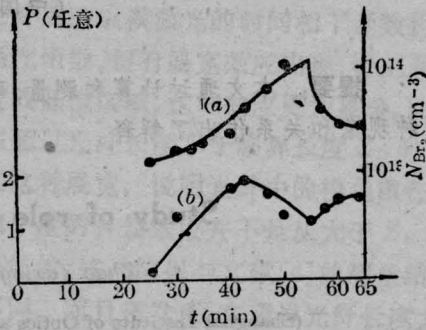


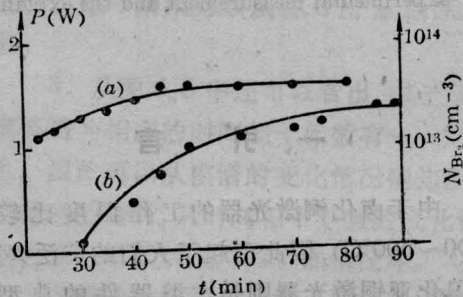
图 2 实验装置

1—汞灯; 2—放电管; 3—透镜;  
4—单色仪和光电倍增管; 5—示波器



(a) 放电管 (1) 中溴分子密度  $N_{Br_2}$ 、输出功率  $P$  随放电时间  $t$  的变化关系

曲线(a): 溴分子密度  $N_{Br_2}$ , 曲线(b): 输出功率  $P$



(b) 放电管 (2) 中溴分子密度  $N_{Br_2}$ 、输出功率  $P$  随放电时间  $t$  的变化关系

曲线(a): 溴分子密度  $N_{Br_2}$ ; 曲线(b): 输出功率  $P$

图 3

值。55 分钟时, 由于电极上电流产生的热量使铜丝的温度升高, 并部分气化, 自由铜原子进入放电管和溴进行复合, 由于如下反应



等, 致使溴的密度减少,  $435.8 \text{nm}$  线强度增加, 直到一相对稳定值。再看输出功率。输出达到最大时, 由于溴密度的继续增加, 输出功率减少, 而当铜原子和溴的复合使  $N_{Br_2}$  减少时, 输出功率又有回升, 最后也达到一稳定值。而对管 (2) 的测量则无此现象出现, 如图 3(b) 所示。可见, 溴分子密度对输出功率有

影响。溴分子密度越高，输出越低。从比较也可以看出，在电极上绕铜丝可以比较有效地减少溴分子密度。

#### 四、输出功率和气体温度的关系

实验测量了输出功率  $P$ 、整流电流  $i$  和溴分子密度  $N_{Br_2}$  随温度的变化关系，结果如图 4 所示。在此，我们保持输入功率基本不变，改变外部保温条件以变化放电管温度。由图 4 可见，在最佳温度以上，如果再增加温度，电流将下降，溴分子密度将增加，输出功率则下降。由此可以得出，输出功率随温度进一步增加而下降的原因之一是：随着温度的升高， $N_{Br_2}$  的密度增加。根据前面的计算和这里电流下降的实验结果可以得出，溴分子的密度增加加快了余辉期电子密度的减少，这种脉冲前电子密度的减少，也就是使泵浦速率减少，结果输出功率下降。

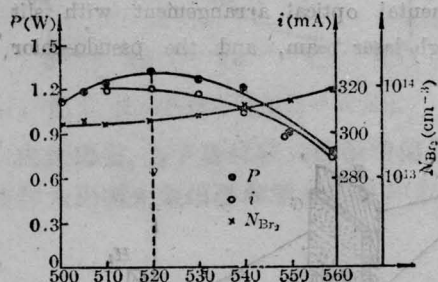


图 4 其它条件不变时，输出功率  $P$ 、电流  $i$ 、溴分子密度  $N_{Br_2}$  与管壁温度  $T$  之间的关系

另一可能的原因是余辉期电子密度的减少，减少了电子对铜亚稳态原子的消激发作用，使初始亚稳态密度增加，从而使输出功率减少。

#### 五、电子温度与气体温度的关系

据文献[2]报道，卤化铜激光器中的电子温度与气体温度的关系与纯铜激光器中的很

不相同。根据前面的计算和实验，可以解释为：在一定温度以上，随着温度的增加，溴分子密度使余辉期电子密度衰减速率加快，初始电子密度减少，由于

$$\frac{dT_e}{dt} \propto \frac{e^2 E^2}{m_e \nu} + \sum_j \frac{N_m N_{ij} r_{ij}^2 \Delta \varepsilon_{ij}^p}{n_e}$$

这里第一项是电场对电子的加热，第二项是由于潘宁电离对电子平均能量的贡献。文献[2]指出，潘宁电离的作用时间  $\sim 80$  ns，故第二项同样会在激发期(几百毫微秒)内对电子温度产生影响，可以看出，电子密度的减少将使电子温度升高。

#### 六、结 论

通过以上的讨论，溴分子在 CuBr 激光器中对其工作状态和物理过程有很大的影响，可归纳如下：

1. 溴分子密度增加减少输出功率；
2. 溴分子密度增加升高电子温度(在一定气体温度以上)。

可见，要得到一个稳定可靠、有一定输出功率的实用 CuBr 激光器，必须有效地抑制该密度的增加。

#### 参 考 文 献

- 1 Gabay I, Smilanski L A et al. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977Q; **E-13**: 364
- 2 Emilio Sovero, Che Jenchen, Culick F E C. *J. Appl. Phys.*, 1976; **47**(10): 4538~4542
- 3 Kushner N J. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1981; **QE-17**(8): 1555~1565
- 4 Kushner N J. *J. Appl. Phys.*, 1980; **51**(6): 3020~3032
- 5 Mandich Mary et al. *J. Chem. Phys.*, 1982; **77**(2): 702
- 6 Astadjov D N et al. *Opt. Commun.*, 1984; **51**(2): 85
- 7 Harstao Kenneth G. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1983; **QE-19**(1): 88