

放电激励 XeF 激光器输出特性研究

傅淑芬 陈建文 刘妙宏
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

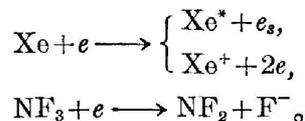
本文报导了紫外预电离高压 XeF 激光器的输出特性与各种参量的关系。用 Ne 代替 He 作稀释气体,使输出能量提高了 ~30%。在 2.5 大气压下,获得输出能量 250mj,总效率超过 1%。最后,根据 Boltzmann 输运方程的计算结果,讨论了 He-Xe 与 Ne-Xe 系统放电输运过程。

大量理论和实验研究表明^[1~3],影响 XeF 激光器能量提取效率的主要因素是上能级粒子的生成率、下能级的瓶颈效应和激活介质的本征吸收。以 Ne 代替 He,可以改进 XeF 激光器的性能。

本文报导了高压紫外预电离 XeF 激光器的实验结果。实验装置已在文献[4]中作过详细描述。我们系统地研究了 XeF 激光器输出能量对 Xe 分压、混合气体总气压、放电 E/N 值的依赖关系(E 为放电电场强度, N 为总粒子数密度)。

图 1 是在不同总气压时,输出能量随 Xe 分压的变化曲线。由图可见,对不同的总气压,有不同的最佳 Xe 分压。实验测得,在 2.5 大气压下,最佳 Xe 分压 ~1%,一个大气压以下 ~3%,当总气压很低时,例如总气压为 200 托时,Xe 分压要达 15% 以上才可产生振荡。

XeF 激光输出能量对 Xe 分压的这一依赖关系,不难从 XeF 激光的反应动力学得到解释。在 Ne/Xe/NF₃ 混合气体放电中,放电电子与 Xe 原子碰撞产生激发和电离,同时与 NF₃ 碰撞产生 F⁻ 离子:



激发态的 XeF^{*} 分子可以通过 Xe⁺ 与 F⁻ 的复合或 Xe^{*} 与 NF₃ 反应形成,显然这些反应形成的 XeF^{*} 数比例于 Xe 原子数;另一方面,Xe 原子数的增多将增加不利反应过程,这些过程将形成 Xe₂⁺ 或引起 XeF^{*} 的猝灭,Xe₂⁺ 是重要的吸收粒子,从而使激光能量下降。这两种相反过程综合的结果便决定了一个最佳 Xe 分压,显然,这一最佳分压与混合气体总气压有关。

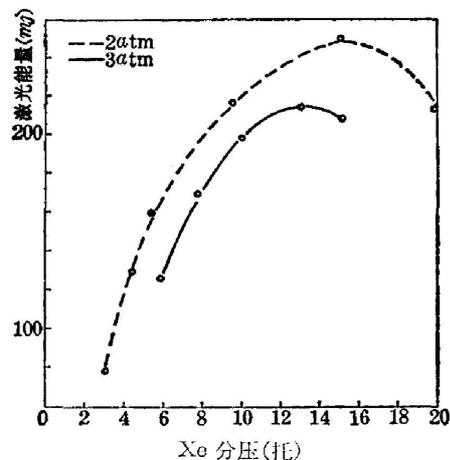


图 1 激光输出与 Xe 分压的关系
Ne-Xe-NF₃ 混合物 NF₃ 分压 3 托
 $E/N = 2.85 \times 10^{-16} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$

图2给出在相同气体比分的条件下, XeF激光能量随总气压的变化。放电 $E/N = 2.85 \times 10^{-16} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$, Ne-Xe-NF₃混合物含NF₃为3托, Xe为15托。由图可见, 2个大气压以上输出趋于饱和, 再增高气压, 输出随之下降, 这与XeCl的实验结果不同, 在XeCl激光器中, 输出随气压增高至3个大气压未出现饱和。可能的一个原因是气压升高时, Xe₂⁺增多, 而Xe₂⁺对XeF辐射波长的吸收有相当大的截面, 对XeCl辐射波长的吸收则较小^[5]。

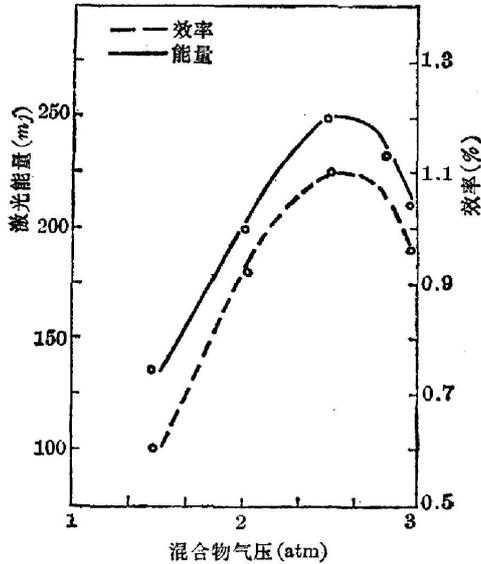


图2 激光能量与混合物总气压的关系

$E/N = 2.85 \times 10^{-16} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$
Xe分压15托, NF₃分压3托

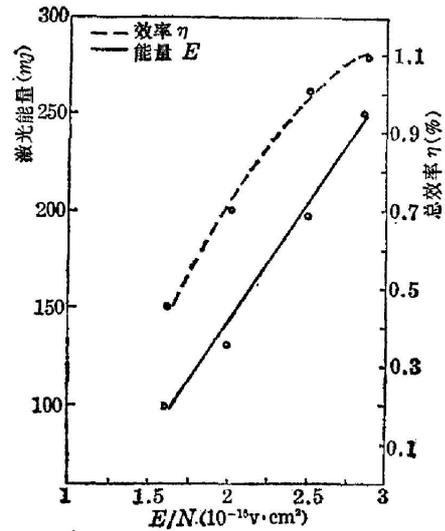


图3 激光能量和效率与 E/N 值的关系

Xe分压15托, NF₃分压3托
Ne-Xe-NF₃混合气体2.5大气压

图3是XeF激光输出能量与放电 E/N 值的关系曲线。在我们实验的 E/N 范围内, 激光能量随 E/N 值近似线性地增加, 但效率在 $E/N > 2.8 \times 10^{-16} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$ 后开始偏离线性, 最后趋于饱和。它的可能原因将在后面讨论。

在同一器件中, 充入He-Xe-NF₃混合气体, 3托NF₃, 15托Xe, 总气压2.5大气压, $E/N = 2.85 \times 10^{-16} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$, 获得XeF输出 $\sim 200 \text{ mJ}$ 。因此, 以Ne代替He, 能量增加 $\sim 30\%$ 。同时观察到He的放电远不如Ne稳定, 出现少量丝状亮区。

为了从放电的角度解释这一实验现象, 我们针对实验条件计算了Ne-Xe和He-Xe混合气体放电的 Boltzmann 输运方程, 并求出了有关的输运系数。结果示于图4、5、6。Xe分压2%, 总气压3个大压, 我们的实验对应 $E/N = 2.85 \times 10^{-16} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$ 。

我们看到, 在低 E/N 值时, He-Xe的高能电子小于Ne-Xe, 而在高 E/N 值, He-Xe的高能电子多于Ne-Xe。但对两种体系, 高能电子均随 E/N 的增加而增多, 因此可以达到Xe的激发电位(8.32eV)和Xe电离电位的电子亦增多, 激光输出随之增强。

图5和图6表明, 随着 E/N 的增加, Xe⁺的形成将逐渐成为主要的, 经离子通道形成XeF^{*}的量子效率

$$\eta_k = h\nu_{\text{XeF}} / E_{\text{Xe}^+} \simeq 29.2\%,$$

而激发态通道的量子效率

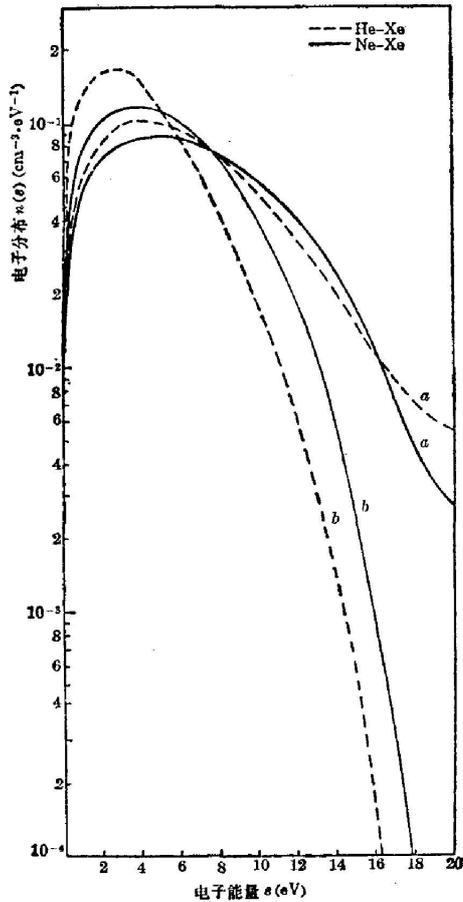


图4 电子能量分布
Xe分压2%，总气压3大气压
a. $E/N=3 \times 10^{-16} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$
b. $E/N=10^{-16} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$

$$\eta_e \approx 42.4\%$$

这是 E/N 值升高后激光效率降低的一个原因。

比较 He-Xe、Ne-Xe 系统的输运系数，可以发现如下差别：

(1) 在我们的实验条件下，He-Xe 系统到弹性过程的功率输运比 $\sim 12\%$ ，Ne-Xe 系统只有 1% ；

(2) 在两个系统中， Xe^+ 、 Xe^* 速率处在同一量级内，但在我们计算的电子能量范围内，He 的激发速率比 Ne 激发速率小两个量级(图中未画出)；

(3) 在 He-Xe 系统中，直接电子轰击形成 Xe^+ 所占功率输运比 $\sim 55\%$ ，而对 Ne-Xe 系统只有 $\sim 38\%$ ，大量电子-离子对的快速形成是 He-Xe 放电不如 Ne-Xe 稳定的一个原因；

(4) 对 He-Xe 系统，放电功率到 He 激发功率

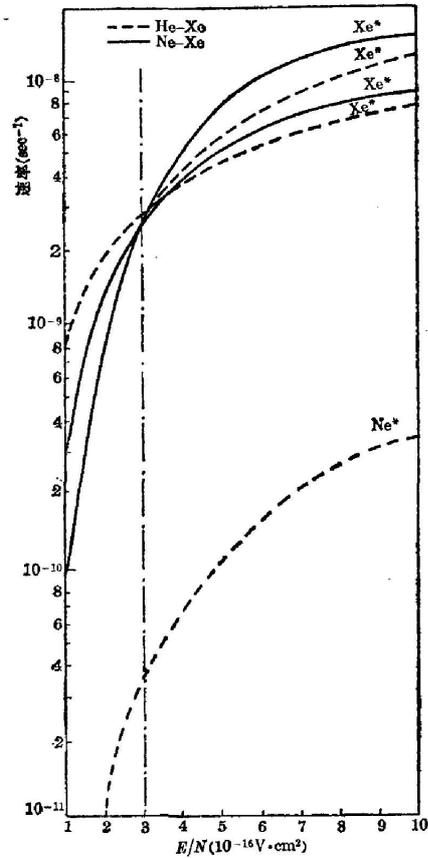


图5 He-Xe 和 Ne-Xe 混合气体中激发和电离速率与 E/N 值的关系
Xe分压2%，总气压3大气压

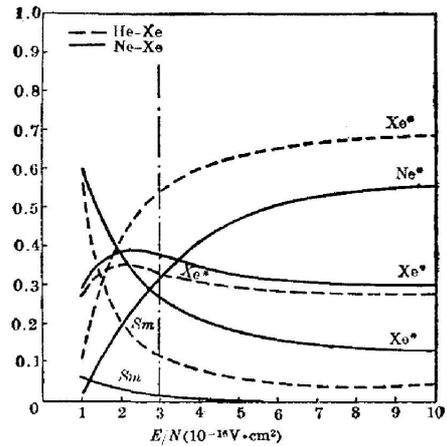


图6 He-Xe 和 Ne-Xe 混合气体中放电能量的功率输运比
Xe分压2%，总气压3大气压。 S_m 表示弹性过程

输运比小于 10^{-10} , 因此我们可以视 He 为透明的, 不参予能量输运; 而对 Ne-Xe 系统, Ne 激发所占功率输运比在很高 E/N 值时可达 50% ($E/N \sim 10^{-15} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$), 它的能量通过与 Xe 的 Penning 反应(5)转换给 Xe^+ 。因此 Ne 同时起输运能量的作用。

以上只是从输运过程的角度所做的几点讨论。要进一步理解输出特性与各种参量的关系, 必须对整个动力学过程进行详细计算, 此工作将另行报导。

参 考 文 献

- [1] Rokni *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1978, **QE-14**, No. 7 (Jul), 464.
- [2] J. C. Hsia *et al.*; *A. P. L.*, 1979, **34**, No. 3 (1Feb), 208.
- [3] L. F. Chanpaghe *et al.*; *A. P. L.*, 1977, **31**, No. 8 (15 Oct), 513.
- [4] Chen Jianwen, Fu Shufen *et al.*; *A. P. L.*, 1980, **37**, No. 10 (15 Nov), 800.
- [5] W. R. Wadt *et al.*; *A. P. L.* 1977, **31**, No. 10 (15 Nov), 672.

Radiant performance studies of discharge excited XeF lasers

FU SHUFEN, CHEN JIANWEN AND LIU MIAOHONG

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

(Received 4 October 1980)

Abstract

This paper reports the dependence of the radiant performance of a UV-preionized XeF laser on the varied parameters. The output energy of 250 mj was obtained with a mixture gas pressure of 2.5 atm., using Ne as the buffer. Base on the calculation of Boltzmann's transfer equation, discharge transfer processes in He-Xe and Ne-Xe mixture were discussed.