

# 放电激励 $N_2^+$ 激光器输出特性研究

陈建文 傅淑芬 刘妙宏  
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文介绍了  $N_2^+$  激光器的实验结果。在 He- $N_2$  混合系统中, 总气压为 2 大气压时, 测得最佳  $N_2$  分压为 2.4 托, 并讨论和分析了  $N_2^+$  的形成和猝灭动力学。同时, 以 2 米光栅光谱仪的二级光谱测量了 427 nm 的激光光谱, 观察到 427 nm 由双线组成。

## 一、前 言

1974 年 Collins<sup>[1]</sup> 等和 Ishchenko<sup>[2]</sup> 等在 He- $N_2$  混合气体中, 分别以电子束和放电方式激发, 采用 He $_2^+$ - $N_2$  电荷转移机构, 获得了  $N_2^+$  激光器的相干辐射。其后, 人们又广泛地研究了  $N_2^+$  激光器的输出特性<sup>[3]</sup>, 激光光谱<sup>[4]</sup>, 辐射光束空间结构<sup>[5]</sup>等。

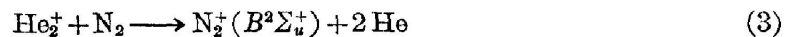
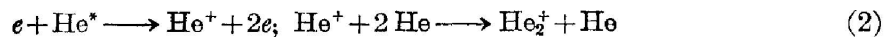
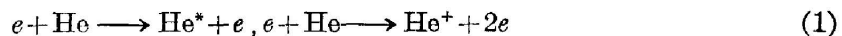
$N_2^+$  激光器在  $N_2^+$  的第一负带  $B^2\Sigma_u^+ - X^2\Sigma_g^+$  间跃迁, 目前已实现激光振荡的波长有 391 nm, 427 nm, 471 nm 和 523 nm。能量转换效率已高达 2%。

本文报导的是 Blumlein 放电激励的  $N_2^+$  激光器的实验结果, 总气压 2 个大气压, 充电电压 26 kV, 最高输出能量 2 mJ。

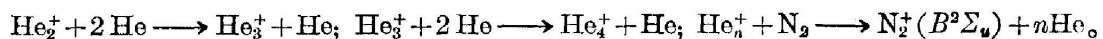
## 二 形成和猝灭动力学

$N_2^+$  与  $N_2$  的激发机构截然不同,  $N_2$  激光器是依靠电子和基态  $N_2$  分子直接碰撞激发获得粒子数反转。 $N_2^+$  则是通过 He $_2^+$  电荷转移得到粒子数反转。

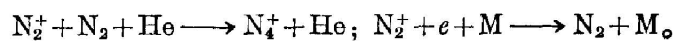
He $_2^+$ - $N_2$  电荷转移机理早在 30 年代就开始了研究。研究表明: He $_2^+$  的位能为 18.3 eV~20.3 eV, 复合成 He-He 的最大几率为 19 eV 左右, 正好和  $N_2^+$ (B) 发生共振转移, 因此有较大的反应截面。在高气压下,  $N_2^+$  形成如下的反应<sup>[3]</sup>:



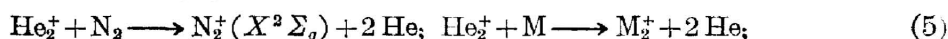
在特定温度下, 还可按下述过程反应<sup>[6]</sup>:



主要猝灭过程为:

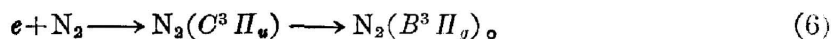


与  $N_2^+(B^2\Sigma_u)$  竞争的过程为:



式中 M 是杂质分子, 如  $O_2$  等。

当然在放电过程中还出现以下的反应:



通过以上分析可以看出: 为了有效地形成  $N_2^+$ , 激光器件应在较高的  $E/P$  值下工作, 以保证有较高的电子温度来形成  $He_2^+$ 。

### 三、输出特性

实验中所采用的高气压紫外预电离激光器已在文献 [7] 中作了描述。谐振腔是内腔式结构, 腔长 1 m, 由  $R=3$  m 的全反射铝镜和石英平板构成, 改变  $N_2$  分压和总气压, 研究了激光输出特性变化。

图 1 给出了激光输出随  $N_2$  分压变化的曲线。从图中可以看出: 存在一个最佳的  $N_2$  分压(为 2.4 托)。当  $N_2$  分压超过 3 托时, 就出现  $N_2$  的第二正带  $C^3\Pi_u-B^3\Pi_g$  跃迁(即反应 6)。

当以空气为介质时, 亦获得 427 nm 的激光输出, 但辐射能量明显下降。这是因为空气中含有较多的  $O_2$  和其他杂质分子, 增强了反应(5), 许多实验已证明,  $He_2^+-O_2$  间存在着电荷转移机构:

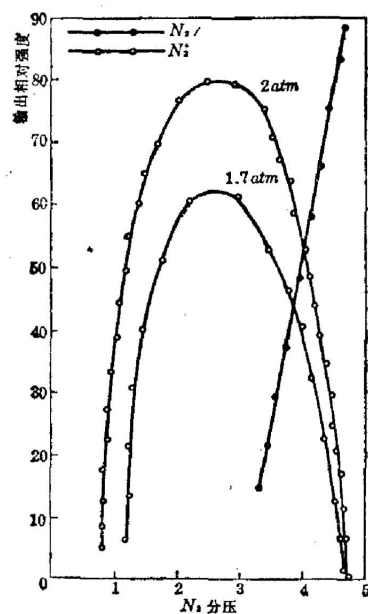


图 1  $N_2^+$ ,  $N_2$  输出强度随  $N_2$  分压变化的曲线

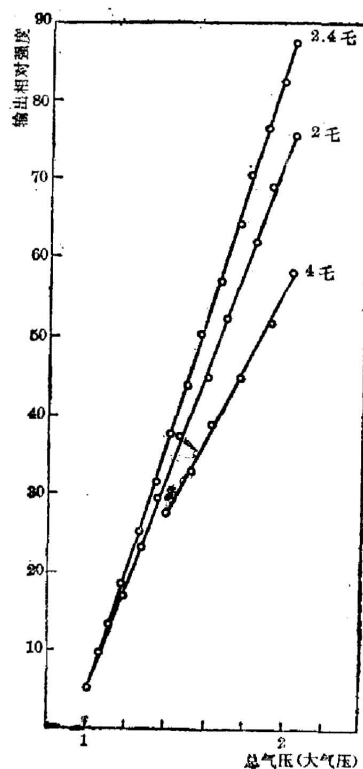


图 2  $N_2^+$  激光器输出随总气压的变化

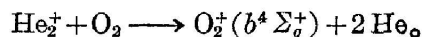


图 2 是  $N_2$  分压为 2 托、2.4 托、4 托时激光输出随总气压变化的曲线。图 3 给出了在恒定气压下，输出能量随充电电压变化的曲线，在本实验条件下，均未观察到饱和现象，因此  $N_2^+$  激光器有按比例扩大的可能性。

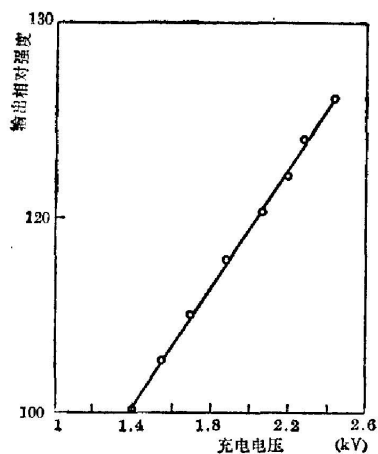


图 3  $N_2^+$  激光器输出随充电电压的变化

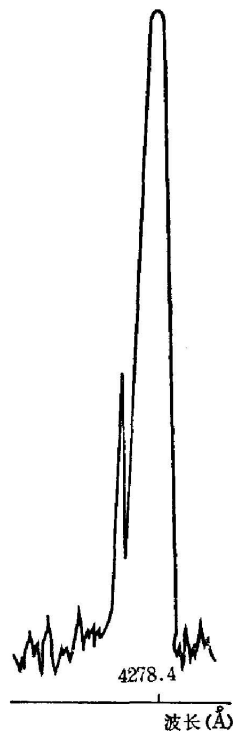


图 4  $N_2^+$  激光光谱的黑度曲线

#### 四、辐射光谱的研究

自从  $N_2^+$  激光器产生以来，对 4278 Å 辐射光谱已进行了许多研究。但或因使用的光谱仪色散率太小，或因接受到的激光能量衰减太大，总是只观测到一条 0—1 振动带、P 支转动光谱的  $N_2^+ B^2 \Sigma_u - X^2 \Sigma_g$  跃迁光谱线。

我们采用 2 米光栅光谱仪的二级光谱，观测到的 4278 Å 激光谱线是由两条谱线所组成，它们总是同时激射的，但强度差一个量级以上，其波长分别为 4278.06 Å 和 4278.42 Å。图 4 表示光谱的黑度曲线。光谱仪的光栅为 1200 lines/mm 的全息光栅，二级光谱的线色散率为 2 Å/mm。

#### 五、讨 论

就一般情况而言，对于一特定的激射体积，输出能量依赖于所有的受激分子数，即依赖于气压。因此，在气体激光器中，总是力图在高气压下运转。在  $N_2^+$  激光器中，尽管总气压很高，但有效工作介质的  $N_2$  分压只有几个托，最佳  $N_2$  分压为 2.4 托。这严重地限制了输

出能量的提高。一旦  $N_2$  分压升高时, 辐射从  $4278 \text{ \AA}$  逐步过渡到  $3371 \text{ \AA}$ 。这是因为在放电过程中存在着反应<sup>[6]</sup>。

我们采用 Boltzman 输运方程<sup>[8]</sup>来计算 He- $N_2$  混合体系中的平均电子能量:

$$\bar{\varepsilon} = \int \varepsilon n(\varepsilon) d\varepsilon,$$

式中:  $n(\varepsilon)$  是能量  $\varepsilon$  的归一化电子数密度, 计算结果如图 5 所示。

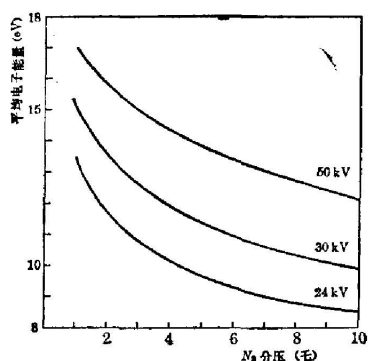


图 5 He- $N_2$  混合系统中的平均电子能量

由图 5 可以看出: 随着  $N_2$  分压的提高, 平均电子能量下降, 在实验条件范围内, 平均电子能量为  $10 \sim 15 \text{ eV}$ 。He 的电离电位为  $24.6 \text{ eV}$ ,  $N_2 C^3 I I_u$  激发电位为  $11 \text{ eV}$ , 可见,  $N_2$  分压的提高对  $N_2^+$  形成不利。在 He- $N_2$  混合系统中, 存在着  $N_2(C^3 I I_u)$  态和  $N_2^+$  的竞争, 从而限制了  $N_2$  分压的提高。

## 六、结 束 语

$N_2^+$  激光器于可见光谱区域工作, 所使用的工作气体价廉而易得, 器件的运转寿命长, 可望在全息照相、干涉计量、泵浦染料激光器等方面获得应用。

最后要指出的是, 类似于  $N_2^+$  激光器激发机构, 还有许多体系, 例如:  $He_2^+-CO_2$ ,  $He_2^+-O_2$ ,  $He_2^+-Cd$  等等, 可以预言, 它们亦可获得相干辐射。

## 参 考 文 献

- [1] C. B. Collins, A. J. Cunningham *et al.*; *A. P. L.*, 1974, **24**, No. 10 (15 May), 477.
- [2] В. Н. Ищенко, В. Н. Лисицын *и др.*, *Письма ЖЭТФ*, 1974, **19**, №. 7 (5 Apr), 429.
- [3] J. B. Laudenslager, T. J. Pacala; *A. P. L.*, 1976, **29**, No. 9 (1 Nov), 580.
- [4] D. E. Rothe, K. O. Tan; *A. P. L.*, 1977, **30**, No. 3 (1 Feb), 152.
- [5] V. E. Brazovskii, V. N. Lisitsyn; *Sov. J. Q. E.*, 1978, **8**, No. 9 (Sep), 1293.
- [6] C. B. Collins, J. M. Carroll *et al.*; *A. P. L.*, 1976, **28**, No. 9 (1 May), 535.
- [7] 陈建文, 傅淑芬, 刘妙宏; 《物理学报》, 1980, **29**, No. 6 (Jun), 799.
- [8] 陈建文, 傅淑芬; 《光学学报》, 1981, **1**, No. 4 (Jul), 321.

## Study of performance for discharge excited $N_2^+$ laser

CHEN JIANWEN FU SHUFEN AND LIU MIAOHONG

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

(Received 8 December, 1980)

### Abstract

The experimental results for  $N_2^+$  laser are presented. The measured optimum partial pressure of  $N_2^+$  was 2.4 torr at a total pressure of 2 atm. in He/ $N_2$  mixture. Kinetics of formation and quenching are analysed and discussed. The spectra of the  $N_2^+$  laser at 427.8 nm were determined with the second order spectra of a 2-meter grating spectrometer. We observed that the 427.8 nm line is a doublet.