

放电泵浦的多波长激光器

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)

1979年9月21日收到

提 要

采用高压紫外预电离放电装置和更换激励气体的方法,在一台器件上获得10个体系: F原子, Ne原子, N₂分子, N₂⁺离子, XeF, XeCl, XeBr, KrF, KrCl, ArF相干辐射,并给出了激光器件的有关参数和输出特性等。

一、前 言

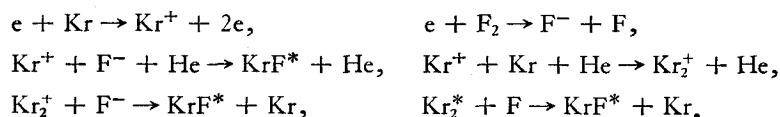
稀有气体卤化物准分子激光器出现以来,这个领域已取得了很大的成就,成了气体激光器中一个很活跃的分支,这是由它的特性决定的,例如:工作于紫外区域,很容易获得粒子数反转,能高效率、高重复率和可调谐运转等。

目前准分子激光器正沿着两个不同的技术途径向前发展,一是用强流相对论电子束激发以取得高能输出,用 Raman 转换压缩脉宽^[1],探索和寻求作为激光核聚变光源的可能性;二是用放电方式激发,积极研制高重复率^[2]可调谐长寿命^[3]运转器件,以满足许多应用的要求。

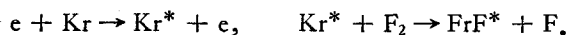
本文报道的是在高压紫外预电离放电泵浦器件中,采用更换激励气体的方法,获得的 XeF, XeCl, XeBr, KrF, KrCl, ArF 准分子激光器及 N₂, N₂⁺, F 原子, Ne 原子激光器的实验结果,并讨论了上述激光器的激发机理及输出特性等。

二、形成和猝灭动力学

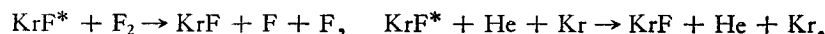
准分子形成和猝灭动力学过程与混合气体成份及气压有关,同时也依赖于激励方式。在紫外预电离高压放电装置中,三体过程是主要的^[4],形成过程为



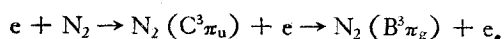
在低气压装置中,两体过程是主要的,



猝灭过程:

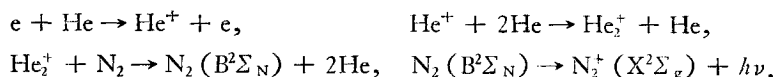


工作于第二正带的 N₂ 激光器则是靠电子碰撞激发:

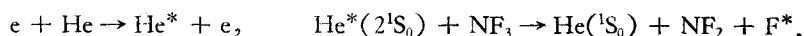


由于 $N_2(C^3\pi_u)$ ($v' = 0$) 比 $N_2(B^3\pi_g)$ ($v'' = 0$) 有较大的激发速率, 因此在 C-B 间能获得粒子数反转。

工作于第一负带的 N_2^+ 激光器的激发机构完全不同于上述两种类型激光器, 它依靠电荷转移获得粒子数集聚^[5], 形成过程为



而 F 原子激光器则是由于离解激发转移而形成粒子数反转^[6]:



上述介绍的几种激光器, 它们的共同点是上能级寿命短, 自发辐射几率大, 因此, 要求激发源具有很高的激发速率、即大电流、短脉冲、高电压放电。

三、输出特性

实验装置为一高压紫外预电离放电线路, 如图 1, 2 所示。

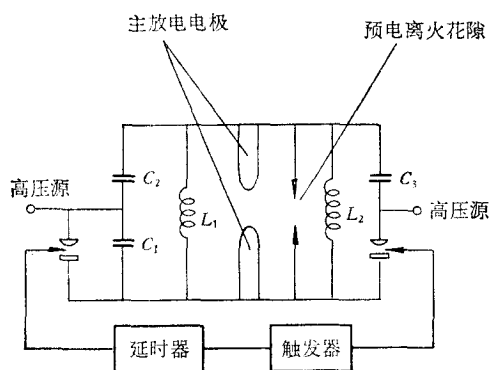


图1 放电等值线路图

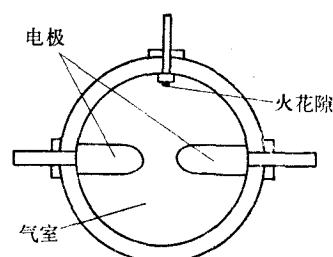


图2 装置结构简图

70 cm 长的黄铜电极, 间距 2 cm, 放置在内径为 7.6 cm 的尼龙圆筒中, 激活体积为 14 cm³。储能电容为 16 nf, 形成电容 8 nf。

火花板产生一排亮的火花提供了预电离, 置于放电室一侧, 距电极中心 4 cm。

谐振腔内腔结构, 由 $R = 3$ m 的全反射铝镜和石英平板构成。

在上述器件上, 获得了表 1 所示的实验结果。

表中 XeBr 激光器是我们第一个用放电方式获得相干辐射的器件, BBr₃ 也是首次用来作为 XeBr 工作介质的新体系^[7]。

我们还仔细研究了以上体系的激光光谱。XeF, XeCl 是具有弱束缚基态的典型, 虽然这个基态键能很小, 但已在光谱上显出清楚而丰富的振动-转动结构。在低气压 (350 torr 左右) 下, 我们曾获得了 XeF 100 多条新的激光谱线, 这些线来自于激光上能级高振

表1 输出特性参数表

体 系	气 体 组 分	总 气 压	充 电 电 压	辐 射 波 长	体 能 密 度	输 出 能 量
XeF	NF ₃ :Xe:He = 0.5:2:100	(150—2000) torr	(8—20) kV	(347—353)nm	1.4J/l	20
XeCl	$\left. \begin{array}{l} \text{BCl}_3 \\ \text{CHCl}_3 \\ \text{CCl}_4 \\ \text{HCl} \end{array} \right\} \text{:Xe:He}$ =(0.1—0.2):(1—5):100	(300—2000) torr	(8—25) kV	(307—308)nm	1J/l	14
XeBr	$\left. \begin{array}{l} \text{BBr}_3 \\ \text{HBr} \end{array} \right\} \text{:Xe:He}$ =(0.1—0.2):(2—5):He	(500—2000) torr	(15—25) kV	281.8 nm	0.35J/l	5
KrF	NF ₃ :Kr:He = 0.1:6:100	(400—2000) torr	(15—25) kV	248.5 nm 249.0 nm	1.1J/l	16
KrCl	HCl:Kr:He = 0.1:5:100	1500 torr	20 kV	222.1 nm	0.57J/l	8
ArF	NF ₃ :Ar:He=0.15:10:100	(1500~2000) torr	(20~25)kV	193.3 nm		
N ₂	纯 N ₂ 或空气	(10~200)torr	(8—25) kV	337.1 nm	0.42J/l	6
N ₂ ⁺	$\left. \begin{array}{l} \text{纯 N}_2 \\ \text{空 气} \end{array} \right\} \text{:He}$ =(0.05—4):100	(760~2000) torr	(15~25) kV	427.8 nm	0.2J/l	3
Ne	纯 Ne	40 torr	20 kV	540.1 nm		
F	NF ₃ :He = 1:100	(10~200)torr	(10~20) kV	624.0 nm 634.8 nm 703.7 nm 712.9 nm 731.1 nm	0.1J/l	1.5

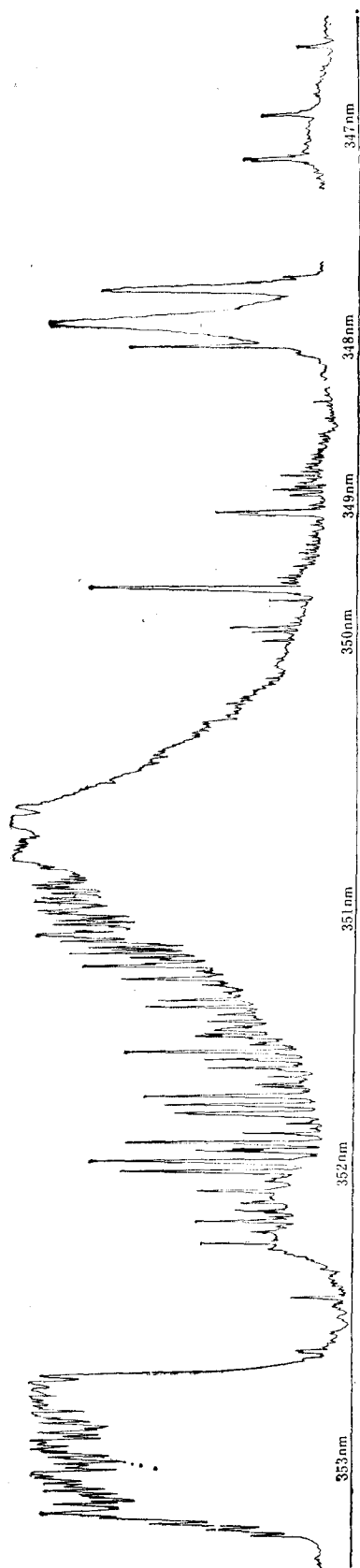
动态跃迁,其详细结果已在文献[8,9]中报道过。对于 XeCl 我们也获得了两个新振动带激光跃迁^[10]。而在高压情况下,由于强的振动弛豫,两种激光器的辐射谱均蜕化为几条谱线。来自上能级高振动态的跃迁全部消失,如图3,4所示。用调谐元件可得到单线振荡。

XeBr, KrCl 是排斥基态的典型,它们的光谱没有振动-转动结构,而是一个连续带,如图5,6所示。利用调谐元件可以得到窄线振荡。

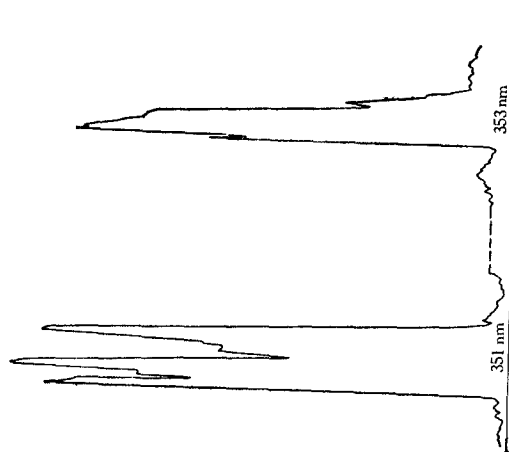
N₂⁺ 激光谱, Collins 等首先做了研究^[11],一直报道是单根谱线。我们分别用光栅光谱仪和固体 F-P 干涉仪观察到 N₂⁺ 激光器的主线 4278 Å 由两条线组成,如图7所示。

四、结 语

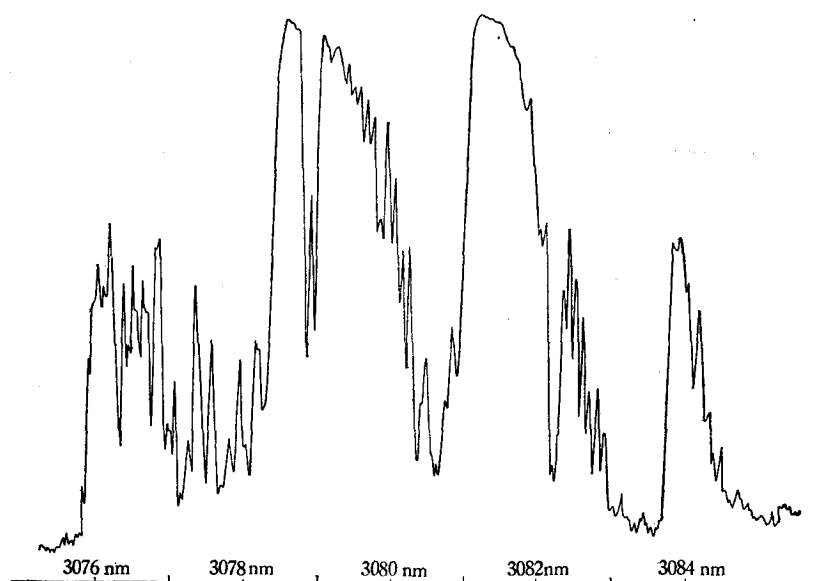
放电泵浦的多波长激光器,储能只有几个焦耳,就可以获得兆瓦功率输出,采取更换工作气体方法,可以在(730—190)nm的宽光谱范围内获得几百条强激光谱线,并且光子



(a) XeF 低气压激光光谱 (350 torr)



(b) XeF 高压激光光谱照度曲线
(2m 光栅光谱仪二级谱, 狭缝 10 μm)



(a) XeCl 低气压激光谱 (500 torr)

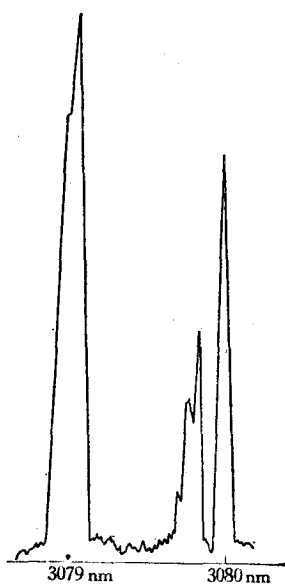
(b) XeCl 高气压激光光谱黑度曲线
(2m 光栅光谱仪三级谱, 狭缝 $10\ \mu\text{m}$)

图 4

能量可以高达 5 eV 以上。这对于光谱学, 光化学, 同位素分离等许多要求选择波长的应用, 提供了方便。

我们的实验证明, 以上体系均具有按比例放大的可能性, 因此提高工作气压, 扩大激

活区域,增大输入能量,可以进一步提高输出功率水平。

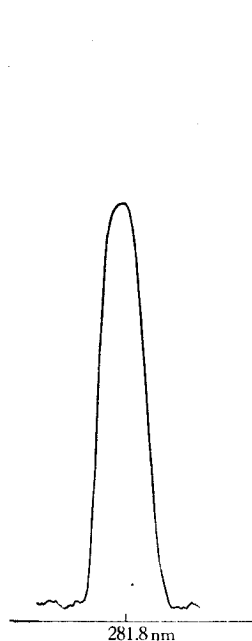


图5 XeBr 激光光谱黑度曲线
(1m 光栅光谱仪一级谱,
狭缝 20 μm)

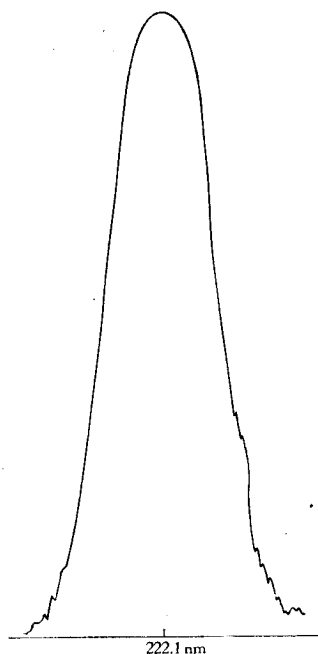


图6 KrCl 激光光谱黑度曲线
(2m 光栅光谱仪二级谱,
狭缝 20 μm)

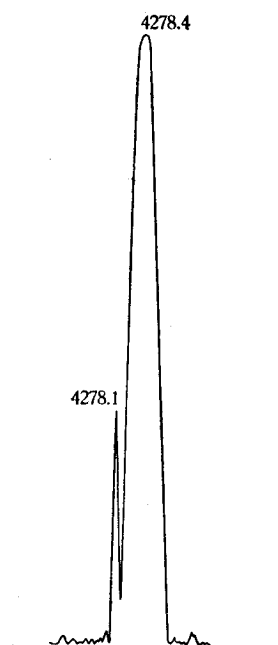


图7 N_2^+ 激光光谱黑度曲线
(2m 光栅光谱仪二级谱,
狭缝 5 μm)

参 考 文 献

- [1] J. R. Murray, *IEEE J. Q. E.*, **QE-15** (1979), 342.
- [2] C. P. Wang *et al.*, *IEEE J. Q. E.*, **QE-15** (1979), 318.
- [3] P. Burlamacch, *Opt. Commu.*, **26** (1978), 233.
- [4] D. E. Rothe *et al.*, *Opt. Commu.*, **22**(1977), 265.
- [5] 陈建文、傅淑芬、刘妙宏, 激光, 待发表.
- [6] C. S. Willett *et al.*, Introduction to gas lasers; Population Inversion Mechanisms Pl58.
- [7] 傅淑芬、陈建文、刘妙宏, 科学通报, **12** (1978), 727.
- [8] 傅淑芬、陈建文、刘妙宏, 电子学报, **2** (1979), 98.
- [9] 王正平、傅淑芬、陈建文, 激光, **9**(1979), 1.
- [10] 陈建文、傅淑芬、刘妙宏, 科学通报, 待发表.
- [11] C. B. Collins *et al.*, *A. P. L.*, **24** (1974), 477.

DISCHARGE-PUMPED MULTIWAVELENGTH LASER

Fu Shu-fen Chen Jian-wen Liu Miao-hong

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

ABSTRACT

The coherent radiation of ten species, F , Ne , N_2 , N_2^+ , XeF , XeCl , XeBr , KrF , KrCl , ArF were obtained by using a high pressure UV pre-ionization discharge device and varying lasing gases in a laser. The laser parameters and the output behaviour were also given.