

# 无外加氟施主产生 KrF 准分子 发射谱实验研究\*

李昌勇

(山西大学电子信息技术系 太原 030006)

胡天舒 马树森 张兆平

(中国科学院安徽光机所 合肥 230031)

**提要** 无外加氟施主情况下,在采用聚四氟乙烯面预电离板的准分子激光器中,分别用摄谱法和光电转换扫描法对放电激发 Kr/Ne 混合气体产生的有关紫外谱进行了分析,确定了 KrF 准分子的生成。研究了发射谱随各参量的变化关系。

**关键词** 无外加氟施主,聚四氟乙烯面预电离板,KrF 准分子发射谱

预电离技术是准分子激光器得以高效率运转和获得均匀光斑的关键技术。(表)面预电离是在高压下沿光滑表面首先爬电,从而使气体介质电离产生初始电子分布的一种预电离方式。其机制是:(1)不同介电常数介质交界面在非平行于界面电场的作用下要产生极化电荷;(2)此极化电荷层能够吸引一些空间带电粒子,从而易于爬电。

若准分子激光器无需外加卤素施主,能通过沿聚四氟乙烯面预电离板表面爬电产生氟或氟化物<sup>[1]</sup>,进而同惰性气体作用生成准分子,则预电离板起到预电离和释放卤素施主的双重作用,既避免了氟气对人体造成的危害,又降低了运转费用。文献[2]已经对无外加氟施主生成 XeF 准分子进行了探索性研究,肯定了 XeF 准分子的生成。本文就 KrF 准分子进行了类似研究,肯定了无外加氟施主 KrF 准分子的生成。

## 1 实验装置

器件结构和放电网络如图 1 所示。放电网络采用平板 Blumlein 电路,电容  $C_1, C_2$  为平板电容,由铜箔和聚酯薄膜加胶压制而成。电极材料为铝,表面镀镍。电极面形为  $R7.5$  圆柱面。电极上下两侧分别安装一条聚四氟乙烯面预电离板。电极长为 420 mm,电极间距为 16 mm。

实验系统方块图如图 2。摄谱仪为 WPG-100 型 1 m 光栅摄谱仪,色散率为 0.8 nm/mm,既能摄谱也能作单色仪用。示波器为 100 MHz 宽带示波器。倍增管型号为 EM19558QB,光阴极光谱响应灵敏度在 200~ 375 nm 范围内相差不超过 15%。摄谱仪入射狭缝宽为 0.1 mm,高为 1.8 mm。倍增管入射狭缝(即单色仪出射狭缝)宽约为 0.3 mm,高为 10 mm。采用光电扫描系统记录。分辨率  $\lambda/\Delta\lambda > 1000$ 。摄谱法记录。谱分辨率大于 3000。通过调节鼓轮读数来改变进

\* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1997-10-27; 收到修改稿日期: 1998-01-09

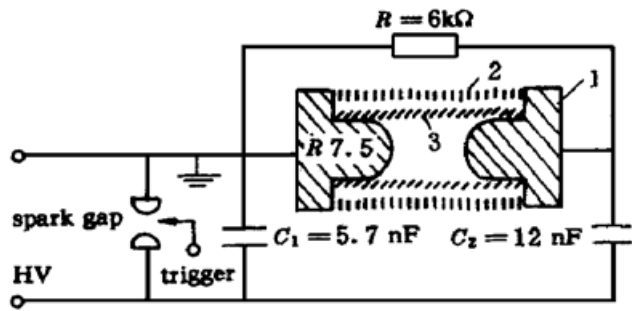


图 1 激光器结构和放电网络

1: 电极; 2: 激光腔外壳; 3: 聚四氟乙烯面预电离板

Fig. 1 The schematic diagram of the laser cavity with a discharge network  
1: electrode; 2: cavity wall;  
3: teflon plates for surface preionization

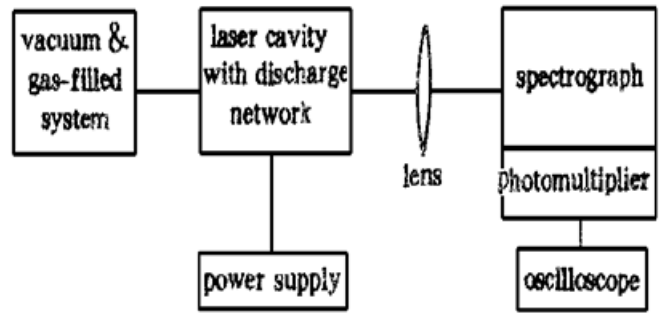


图 2 实验系统方块图

Fig. 2 The block diagram of the experimental system

入倍增管狭缝的波长, 每转动鼓轮一小格, 波长改变约为 0.28 nm。在 240~ 360 nm 范围内, 用汞灯标准谱分三段对鼓轮刻度与波长对应关系作了标定。逐格转动鼓轮得到的曲线与摄谱法得到的结果一致。文中相关的波长都用摄谱法作了精确标定。

实验所用 Kr 气和 Ne 气的纯度均优于 99.99%。

## 2 KrF 准分子生成的确认与分析

### 2.1 纯 Ne 与 Kr/Ne 放电摄谱对照与分析

图 3 是摄谱图。上面是  $P_{Kr} = 10 \text{ mbar}$ ,  $P_{Ne} = 140 \text{ mbar}$  混合气体放电谱; 中间是汞灯谱; 下面是纯 Ne 气 150 mbar 放电谱。从图上可以清楚地看出, 纯 Ne 气放电谱在 248 nm 附近呈极窄线状结构, 经汞灯定标精确确定波长为 247.8 nm, 这与碳原子发射谱 247.8 nm 相吻合, 又根据放电多次后观察到预电离板和电极表面有大量黑色粉末产生, 确定了此谱是碳原子谱。而 Kr/Ne 混合气体发射谱在 248 nm 附近是弥散的带状结构, 谱的中心强两边渐渐变弱, 具有典型的 KrF ( $B \rightarrow X$ ) 准分子谱特征。

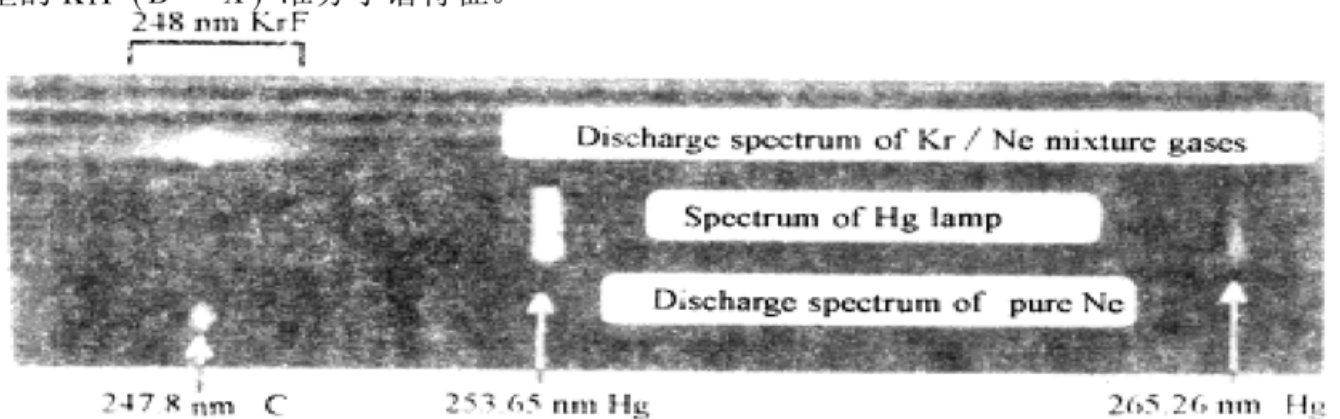


图 3 无外加氟施主放电激发 Kr/Ne 混合气体和纯 Ne 产生的 248 nm 谱的摄谱对照图

Fig. 3 Comparison between 248 nm spectral photographs excited by discharge in Kr/Ne mixture and in pure Ne without an additional fluorine donor

## 2.2 纯 Ne 与 Kr/Ne 放电扫描谱对照及分析

图 4 中实线是  $P_{\text{Ne}} = 480 \text{ mbar}$ ,  $P_{\text{Kr}} = 20 \text{ mbar}$  的混合气体放电扫描曲线, 虚线是纯 Ne 气 500 mbar 放电扫描曲线。从图上可明显看出 Kr/Ne 混合气体放电谱是线状谱与带状谱的叠加。这与摄谱得到的结果非常一致。线状谱是 C 的 247.8 nm 原子谱。带状谱的谱峰在 248.5 nm 附近, 与 KrF 准分子 ( $B \rightarrow X$ ) 发射谱一致。

从图上测出带状谱线宽(FWHM) 约为 2.4 nm, 这与文献上报道的结果(约  $2 \text{ nm}^{[3]}$ ) 一致。

另外在 249.0 nm 处还可以观察到一个小小的凹陷, 这与许多文献<sup>[3,4]</sup> 报道的结果惊人地一致。

在图 4 加 Kr 的扫描谱上还能观察短波方向有较弱谱峰, 在不同气体分压条件下也能多次观察到它们(图 5), 说明这两个谱峰是客观存在的。这与文献上报道的 KrF 发射谱<sup>[3,4]</sup> 完全一致。它是 KrF 准分子 B 态的高振动能级到 X 基态的跃迁。

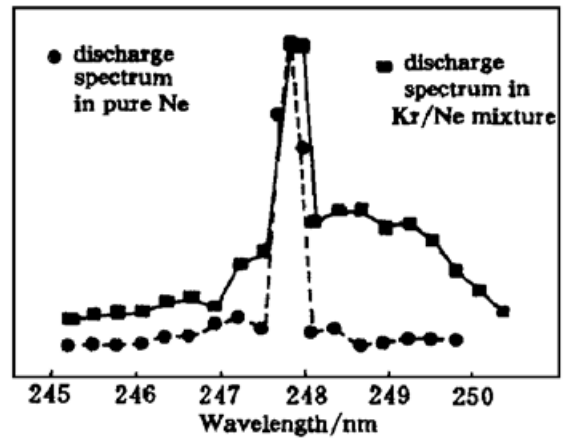


图 4 Kr/Ne 混合气体放电与纯 Ne 气放电扫描谱对照。实线:  $P_{\text{Kr}} = 20 \text{ mbar}$ ,  $P_{\text{Ne}} = 480 \text{ mbar}$ ; 虚线:  $P_{\text{Ne}} = 500 \text{ mbar}$

Fig. 4 Comparison between the scanning spectra produced by discharge in Kr/Ne mixture and in pure Ne

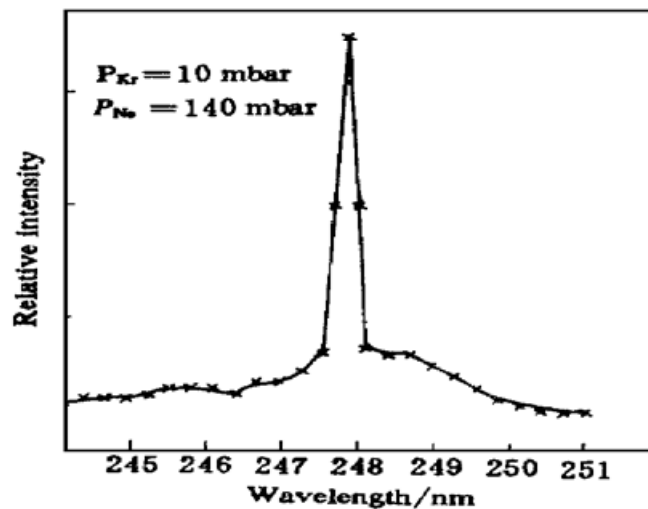


图 5 在  $P_{\text{Kr}} = 10 \text{ mbar}$ ,  $P_{\text{Ne}} = 140 \text{ mbar}$  混合气体中放电获得的扫描谱

Fig. 5 The scanning spectrum produced by discharge in the Kr/Ne mixture.  $P_{\text{Kr}} = 10 \text{ mbar}$ ,  $P_{\text{Ne}} = 140 \text{ mbar}$

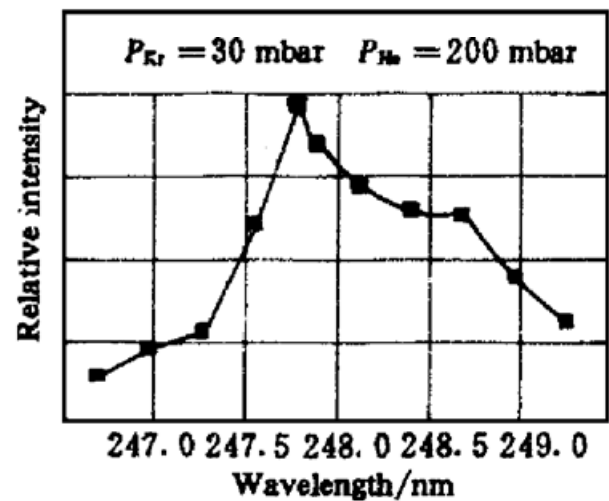


图 6 提高 Kr 组分比例后 KrF 248 nm 谱强度增强的扫描曲线

Fig. 6 The scanning curve of the 248 nm spectrum increased by raising the Kr partial pressure

在  $P_{\text{Kr}} = 30 \text{ mbar}$ ,  $P_{\text{Ne}} = 200 \text{ mbar}$  的 Kr/Ne 混合气体中放电, 测出 248 nm 附近强度随波长的变化曲线如图 6 所示。图上的线状谱与带状谱没有清晰界线了, 这是由于带状谱相对增强引起的, 说明在此气体配比条件下能生成更多的 KrF 准分子 B 能态粒子。

在纯 He 与 Kr/He 中也作了类似于上面的扫描谱对照与分析, 结果表明在 Kr/He 中放电也生成了 KrF 准分子。

## 2.3 KrF 248 nm 发射谱强度随放电次数变化情况

图 7 是在  $P_{\text{Ne}} = 140 \text{ mbar}$ ,  $P_{\text{Kr}} = 10 \text{ mbar}$  的混合气体中放电获得的无外加氟施主产生的 KrF 248 nm 和 C 原子 247.8 nm 发射谱在重复频率为 1 Hz 条件下相对强度随放电时间也即

随放电次数的变化曲线。在放电 5~ 6 min, 即约 330 次后, 两者同时达到最大值。之后由于打出的杂质逐渐增多, 对 KrF 谱的猝灭作用增强, 导致 KrF 谱强度迅速下降, 大约在 80~ 90 min (约 5000 次) 之后不能再观察到了。247.8 nm 谱主要是 C 的原子谱, 同时也包含有 KrF 准分子谱。对照纯 Ne 放电 247.8 nm 谱随放电次数的变化情况(图 8) 可知, 到达最大值之后由于 247.8 nm KrF 准分子谱的衰减引起了 247.8 nm 叠加谱渐渐衰减。在放电约 20 min 之后, 强度趋于某一恒定值, 说明每次放电中它的上能级粒子数都稳定在某一量值。这与纯 Ne 放电 247.8 nm 情况类似。

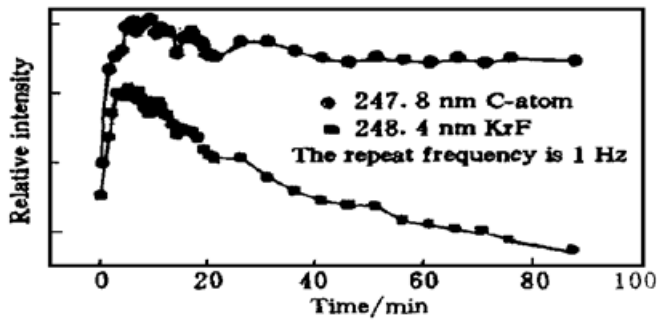


图 7 C 原子 247.8 nm 与 KrF 248 nm 谱随放电时间 (即放电次数) 的变化情况

重复频率  $f = 1$  Hz,  $P_{\text{Ne}} = 140$  mbar,  $P_{\text{Kr}} = 10$  mbar

Fig. 7 The C-atom 247.8 nm and the KrF 248.4 nm spectral intensities as a function of discharge time or numbers of discharge in the Kr/Ne mixture

$P_{\text{Ne}} = 140$  mbar,  $P_{\text{Kr}} = 10$  mbar

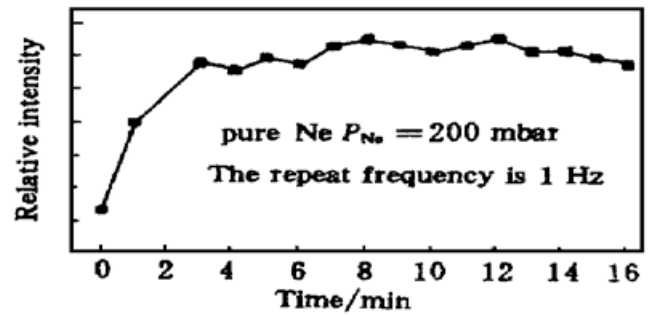


图 8 纯 Ne 气放电 247.8 nm 谱随时间的变化情况

Fig. 8 The C-atom 247.8 nm spectral intensity as a function of discharge time or numbers of discharge in pure Ne.  $P_{\text{Ne}} = 200$  mbar

## 参 考 文 献

- 1 R. E. Beverly. Light emission from high-current surface-spark discharge. North-Holland. E. Wolf, Progress in Optics, 1978, 357~ 411
- 2 Li Changyong, Ma Shusen, Qin Yuying *et al.*. XeF excimer UV emission spectrum excited by discharge with surface preionization over the teflon plate. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **A25**(3): 220~ 224 (in Chinese)
- 3 Edited by Ch. K. Rhodes. Excimer Laser. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1979. 87
- 4 Joel Tellinghuisen, A. K. Hays, J. M. Hoffman *et al.*. Spectroscopic studies of diatomic noble gas halides. Analysis of bound-free emission from XeBr, XeI, and KrF. *J. Chem. Phys.*, 1976, **65**(11): 4473~ 4482

## An Investigation of the KrF Excimer Emission Spectrum without an Additional Fluorine Donor

Li Changyong

(Department of Electronics and Information Science, Shanxi University, Taiyuan 030006)

Hu Tianshu Ma Shusen Zhang Zhaoping

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

**Abstract** Without an additional fluorine donor, the Kr/Ne mixture was excited in an excimer laser with teflon surface preionization plates. The relative UV spectrum was analyzed by ways of spectrography and opto-electric scanning. The formation of KrF excimer was affirmed. The relations of emission spectrum with parameters were studied.

**Key words** without additional fluorine donor, teflon surface preionization plate, KrF excimer emission spectrum