

XeF 激光器辐射谱研究

王 正 平

(美国加利福尼亚大学圣地亚哥分校应用力学和工程科学系)

傅淑芬 陈建文

(中国科学院上海光机所)

Investigation of XeF laser radiation spectra

C. P. Wang

(Department of Applied Mechanics and Engineering Science,
University of California, San Diego)

Fu Shufen Chen Jianwen

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

The spectral distribution of XeF laser light was investigated with second order spectra of a 2M grating spectroscope, 90 laser lines were obtained, and 57 of them were observed for the first time.

在稀有气体单卤化物准分子体系中, XeF 的基态是束缚态。尽管这一束缚态的键能仅为 0.15 电子伏, 但已经足以包含许多振动-转动能级。正是这一特性, 使得 XeF 的辐射谱具有丰富的振动-转动结构, 这一特性已为荧光谱的研究所证实^[1, 2]。

对 XeF 激光光谱的研究工作已有很多报导。最早的是 1975 年 Brau 和 Ewing^[3] 用强流电子束泵浦 Ar-Xe-F₂ 混合气体获得了 351 毫微米和 353 毫微米两条激光谱线。1976 年, C. P. Wang 用快放电方式又获得了 349 毫微米激光跃迁^[4]。对这些谱带的详细研究, 首先由苏联科学院光谱学研究所的 Ю.А. Кудрявцев 等做出^[5], 他们发现 351 毫微米线由三条线组成, 353 毫微米线由两条线组成, 共测得 6 条激光谱线。1978 年日本

东京 Kyoiku 大学光学研究所的 Midori Shimauchi 等人用 6.5 米光栅光谱仪拍 XeF 激光二级谱, 获得 40 条激光谱线, 并详细测量了各谱线的相对强度^[6]。

本文报导了用上海光学仪器厂生产的 31WII 2 米光栅光谱仪对 XeF 激光器辐射谱的研究结果, 共得到 90 条激光谱线, 它们均属 XeF $B^2\Sigma - X^2\Sigma$ 带跃迁, 其中 57 条是本实验获得的激光新谱线。

实验选用了紧凑结构的紫外预电离放电泵浦的准分子激光器。放电室为一直径 10 厘米的圆筒, 长 100 厘米, 一对长 80 厘米的黄铜电极用树脂胶固定在放电室内, 间距 2 厘米。Blumlein 电路由两个卷筒式电容器组成, $C_1 = 10$ 毫微法, 直接绕在圆筒型放电室

收稿日期: 1979 年 1 月 17 日。

上,它的两层铜箔的一端,分别焊在两个电极上; $C_2=20$ 毫微法,绕在一根直径5厘米的有机玻璃棒上,绕好后用带有开口的有机玻璃环固定,两个卷筒电容平行地紧靠放置。预电离火花板共计38个火花隙,用长2厘米、厚0.1厘米的不锈钢片胶在玻璃板上制成,火花隙间距0.1厘米,充电电容 C_3 是一商品瓷介质电容器, $C_3=10$ 毫微法。主放电和预电离由两个分开的直流高压电源充电,两路延时触发器相对延时在0.1~1微秒内连续可调,整个系统的等效电路示于图1。

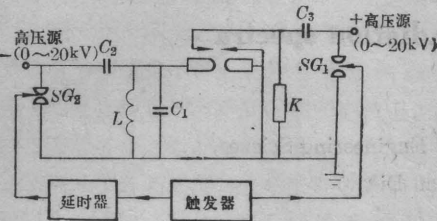


图1 紫外预电离放电装置等效电路

光学谐振腔由 $R=4$ 米的凹面全反射铝镜和波长3500埃反射率50%的平板介质膜组成。按气分比 $NF_3:Xe:He=1:3:96$ 充入500托的混合气体,主放电充到15千伏,不加预电离弧光很严重,放电集中在电极面的局部区域,激光输出很弱。加上预电离, C_3 充电到15千伏,延时~500毫微秒,放电呈一片均匀辉光,获得强的XeF激光。

摄谱仪光栅是一块1200条/毫米的全息光栅,闪耀波长7000埃,对应3500埃的二级谱。二级谱线色散率2埃/毫米,拍谱光路如图2所示。

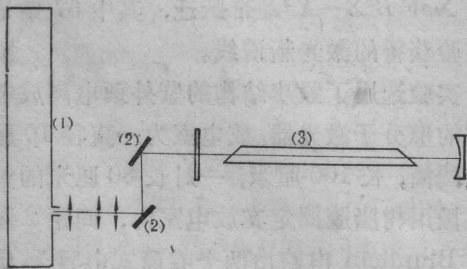


图2 摄谱光路示意图

(1)—光栅摄谱仪;(2)—全反铝镜;(3)—XeF激光器



图3 XeF激光光谱

表1 XeF激光波长表

| 组别 | 波长(埃) | 相对强度 | 组别 | 波长(埃) | 相对强度 |
|------------|----------|----------|------------|----------|------|
| 349 毫微米 | 3488.00 | 0.21 | | 3519.31* | |
| | 3488.80 | 2.60 | | 3519.59* | |
| | 3489.63 | 1.39 | | 3519.86* | |
| 350 毫微米 | 3502.50 | | 352 毫微米 | 3520.94* | |
| 351 毫微米 | 3510.48 | 64.58 | | 3521.24* | |
| | 3510.84 | 5.62 | | 3521.58* | |
| | 3511.19 | 100.00 | 3522.82 | | |
| | 3511.52* | 5.62 | 3523.51 | | |
| | 3511.68* | 5.26 | 3523.87 | | |
| | 3511.76* | 5.24 | 353 毫微米 | 3531.24* | |
| | 3511.87* | 5.41 | | 3531.52 | |
| | 3511.94* | 5.00 | | 3531.87 | |
| | 3512.06* | 5.39 | | 3531.94 | |
| | 3512.16* | 5.59 | | 3532.27 | |
| | 3512.44 | 91.67 | | 3532.34 | |
| | 3512.59* | 2.80 | | 3532.44 | |
| | 3512.70 | 1.35 | | 3532.60 | |
| | 3512.97* | 1.55 | | 3532.84* | 4.68 |
| | 3513.09* | 1.21 | | 3532.93 | 4.54 |
| 3513.17* | 2.09 | 3533.02* | | 4.47 | |
| 3513.30* | 4.78 | 3533.22 | | 4.30 | |
| 3513.40* | 3.37 | 3533.43* | | 3.54 | |
| 3513.59* | 1.13 | 3533.55* | | 1.87 | |
| 3513.79* | 2.43 | 3533.69 | | 3.2 | |
| 3513.92* | 4.99 | 3533.85* | 0.67 | | |
| 3514.10* | 0.67 | 3533.99 | 3.57 | | |
| 3514.20* | 1.60 | 3534.13* | 0.90 | | |
| 3514.30* | 3.17 | 3534.29 | 3.57 | | |
| 3514.47* | 0.30 | 3534.45* | 3.27 | | |
| 3514.56* | 0.80 | 3534.53 | | | |
| 3514.70* | 1.17 | 3534.67* | | | |
| 3514.94* | 0.94 | 3534.85 | | | |
| 3515.07 | 5.19 | 3534.99* | 0.27 | | |
| 3515.29* | | 3535.07 | 0.91 | | |
| 3515.49* | | 3535.21 | 2.21 | | |
| 3515.69* | | 3535.37 | 2.76 | | |
| 3515.94* | | 3535.46 | 1.12 | | |
| 3516.16* | | 3535.53* | 1.00 | | |
| 3516.66* | | 3535.64 | | | |
| 3516.90* | | 3535.84* | 0.97 | | |
| 3517.39* | | 3536.04* | | | |
| 3517.67* | | 3536.22* | | | |
| 3517.92* | | 3536.27* | | | |
| 3518.20* | | 3536.54 | 2.73 | | |
| 3518.46* | | | | | |
| 3518.73* | | | | | |

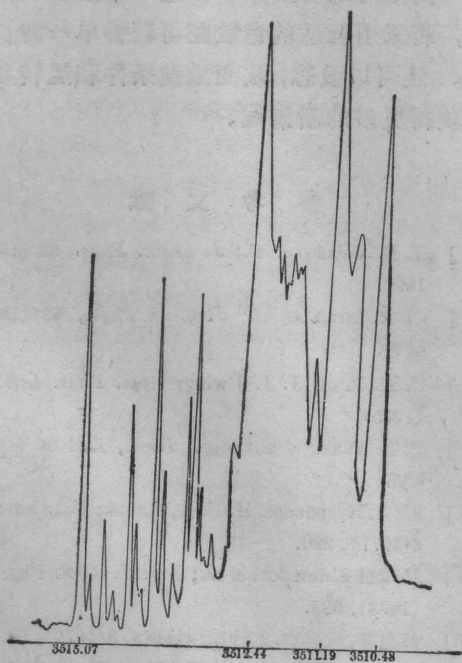
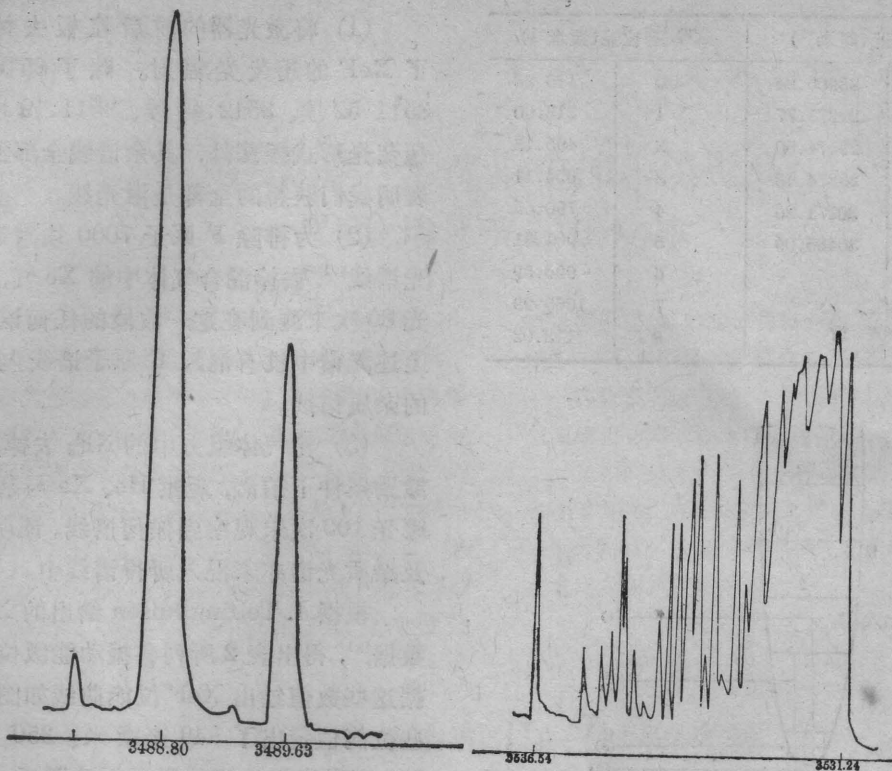


图4 XeF激光黑度曲线

器件输出端距光谱仪三透镜组约4米。用上述系统对XeF激光器的辐射谱进行了研究，摄得二级光谱如图3所示。测得的谱线波长和相对强度列在表1中。

波长测量精度 ± 0.01 埃，其中标有“*”者为本实验观测到的激光新谱线。最强的3511.19埃线的强度定为100，其余谱线标出相对这一最强线的强度，小于0.2的线文中未标出相对强度值。图4是各谱线的黑度曲线。

为从光谱中排除荧光和杂质谱线，做了

表2 XeF B²Σ⁻, X²Σ⁻ 能级各振动带位能

| B ² Σ 态位能(厘米 ⁻¹) | | X ² Σ 态位能(厘米 ⁻¹) | |
|---|----------|---|---------|
| v'=0 | 28965.94 | v''=0 | 110.23 |
| 1 | 29271.77 | 1 | 313.90 |
| 2 | 29574.60 | 2 | 495.13 |
| 3 | 29874.43 | 3 | 654.11 |
| 4 | 30171.26 | 4 | 790.65 |
| 5 | 30465.09 | 5 | 904.81 |
| | | 6 | 996.59 |
| | | 7 | 1065.99 |
| | | 8 | 1113.02 |

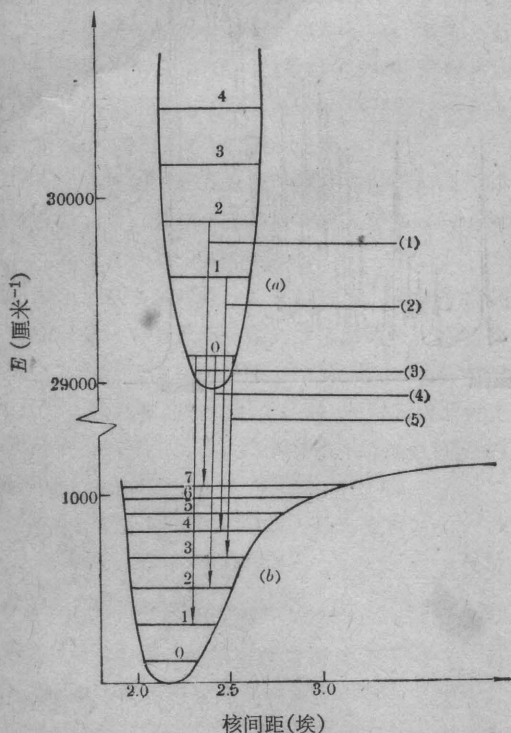


图5 XeF 位能曲线

(1)—350 毫微米; (2)—351 毫微米; (3)—349 毫微米;
 (4)—351 毫微米; (5)—353 毫微米;
 (a)—XeF*(B²Σ); (b)—XeF(X²Σ)

表3 各谱线组所属振动跃迁 (v' → v'')

| 辐射波长(毫微米) | 所属振动带 |
|-----------|-------|
| 349 | 0~1 |
| | 2~5 |
| 350 | 2~7 |
| | |
| 351 | 0~2 |
| | 1~4 |
| | 2~8 |
| 353 | 0~3 |
| | |

以下鉴别工作:

(1) 将激光器的前后腔板去掉, 得到了 XeF 的超荧光辐射。除了 3510.48 埃、3511.52 埃、3512.44 埃、3511.19 埃谱线以超荧光形式振荡外, 其余谱线全部消失。这表明我们获得的全部是激光线。

(2) 为排除 F 原子 7000 埃附近的超荧光谱线^[7], 去掉混合气体中的 Xe 气, 拍谱、曝光 30 次未测到在这一波段的任何谱线, 证明上述光谱中没有混入 F 原子谱线与 NF₃ 中的杂质谱线。

(3) 将气体组分中的 NF₃ 去掉, 在同样激励条件下拍谱, 观察 He、Xe 与杂质光谱, 曝光 100 次未观察到任何谱线。证明 Xe、He 及杂质光谱亦未混入所得谱线中。

根据 J. Tellinghuisen 给出的 XeF 光谱数据^[8], 得出表 2 所列各振动能级位能值, 根据这些数值绘出 XeF 位能曲线如图 5。由这些位能值定出了 349 毫微米、350 毫微米、353 毫微米组中谱线所属振动跃迁, 列于表 3。

由上可以看出, XeF 是一个多波长激光器, 若采用合适的色散腔可获得单一波长输出。还可以设想, 改变激发条件和运转参数可获得更多的新谱线。

参 考 文 献

- [1] J. E. Velazco et al.; *J. Chem. Phys.*, **62** (1975), 1990.
- [2] C. A. Brau et al.; *J. Chem Phys.*, **63** (1975), 4640.
- [3] C. A. Brau, J. J. Ewing; *Appl. Phys. Lett.*, **27** (1975).
- [4] C. P. Wang et al.; *Appl. Phys., Lett* **28** (1976), 435.
- [5] Ю. А. Кудрявцев, Н. П. Кузьмина; *Кван электр.*, **4**(1977), 220.
- [6] Midori Shimauchi et al.; *Jap. J. Appl. Phys.*, **17** (1978), 523.
- [7] 傅淑芬, 陈建文, 刘妙宏; 《物理》, **8**(1979), 68.
- [8] J. Tellinghuisen et al.; *J. Chem Phys.*, **64**(1976), 4796.