



图3 用 Nomaski 显微镜拍摄的钨膜照片
(257.3 nm 光光强 2.8 kW/cm²; 气室温度 10°C;
He 气压 220 Torr; 沉积膜直径 5 μm)

了实验结果。

沉积得到的膜层用 Nomaski 显微镜进行观察, 如图 3 所示。

参 考 文 献

- [1] Z. Karny *et al.*; *Chem. Phys. Lett.*, 1978, **59**, No. 1, 33.
[2] D. J. Ehrlich *et al.*; *J. Electrochem. Society*, 1981, **128**, 2041.

(上海市激光技术研究所 曾永健 顾原岗 邱明新
1984年7月2日)

惰性气体红外跃迁的饱和光电流特性

Abstract: The saturation characteristics of infrared OGE of discharged positive column in Ne, Ar and Xe gases are measured. It is found that the spectral lines are homogeneously broadened, and the saturation intensity of transitions is independent on the sample concentration and the total pressure or the discharge current. The line width of the transition NeI 4S₁-5P₁ has been estimated.

饱和强度 I_s 是研究能级跃迁的一个重要参量。我们曾利用光电流效应 (OGE) 测量了 CO 介质的饱和强度^[1]。这里用 CO 激光器测量了正柱放电中氖、氩、氙高激发态跃迁的饱和 OGE 特性。

一、测量装置和主要结果

实验装置基本同[2], 激光束被等间隔的斩波器

调制后通过放电池, 用功率计测出光强, 光束面积为 0.125 cm²。光电压用选频放大器读数, 测量灵敏度 0.1 mV。

在本实验条件下 (CO 激光器输出功率密度 ≤ 8 W/cm²) 原子绝大部分跃迁的光电压正比于入射光强, 只观察到各有一条跃迁发生饱和 (见表 1)。

表 1 惰性气体发生饱和的跃迁

CO 激 光 谱 线		惰 性 气 体 的 跃 迁 能 级		光电流效应 $\Delta V/I$ (29.6 mV/W)
P 支跃迁	频率 (cm ⁻¹)	跃 迁	频率 (cm ⁻¹)	
9-8(19)	1859.8215	He7f ¹ F ⁰ -17d ¹ D ⁰	1859.8 ¹⁾	+5.8
16-15(17)	1692.65	He6f ¹ F ⁰ ₃ -9d ¹ D	1692.79 ²⁾	+149
14-13(22)	1722.2435	NeI4S ₄ -5P ₁ *	1722.2375 ³⁾	+饱和
13-12(20)	1755.2750	ArI5P[3/2] ₁ -4D[3/2] ⁰ ₂	1755.2846 ⁴⁾	-饱和
18-17(20)	1631.7153	XeI5D'[5/2] ⁰ ₃ -5F[9/2] ₄	1631.6334 ⁵⁾	+饱和

注: He 光电流效应数值取自 Fe: Xe=27:1, P₀=12.1 Torr, i₀=1.5 ma 下得到的。

* 用帕邢符号。

1) W. C. Martin; *J. Phys. Chem. Ref. Data.*, 1973, **2**, No. 2, 257.

2) Stanley Bashkin *et al.*; "Atomic Energy-Level and Grotrian Diagrams", 1975, **VI**, 9.

3) Peter W. Murphy; *J. Opt. Soc. Am.*, 1968, **58**, No. 9, 1203.

4) Stanley Bashkin *et al.*; "Atomic Energy-Level and Grotrian Diagrams", **VII**, North-Holland Publishing Company Amsterdam, Oxford, New York, 1978, 167.

5) Curtis J. Humphreys *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*, 1970, **60**, No. 10, 1309.

这三条跃迁的饱和光电电压幅度远大于其它跃迁的光电压, 和氦的 $6f^1F_3^0-9d^1D$ 相当。其中除氩的 $ArI5p[3/2]_1-4d[3/2]_2$ 的光电压为负值外, 其它全部是正号(吸收跃迁)。

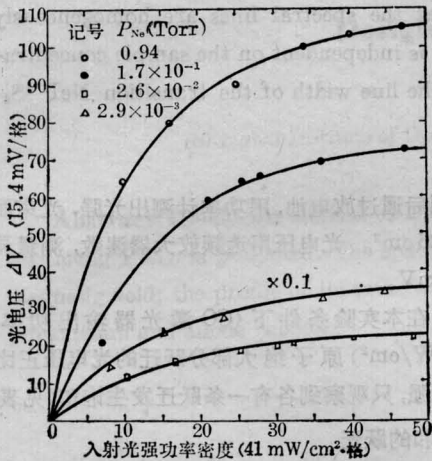
(1) 成分浓度对其跃迁饱和的影响

图 1 给出了在 3.5 Torr He-Xe-Ne 混合气体中测得的 $NeI4S_4-5P_1$ 的饱和光电电压曲线及其归一化结果, 实验中 He-Xe(5000:1) 比例固定。由图可见, $NeI4S_4-5P_1$ 的饱和强度与氦浓度无关, 其饱和光电电压曲线满足均匀展宽的方程:

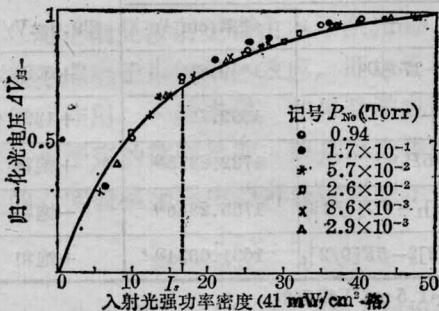
$$\Delta V_{归-} = \frac{\alpha I}{1+I/I_s} \quad (1)$$

这里 α 是归一化系数(V/W), I 是入射光强。

随着氦浓度的增加, OGE 明显增大。这是主要引起能级跃迁吸收系数增大的缘故, 而动态阻抗的作用不大。



(a) 测量结果。



(b) 归一化结果

图 1 $NeI4S_4-5P_1$ 的饱和光电电压曲线与 Ne 浓度的关系

测量条件: He:Xe:Ne=5000:1:Ne, $P_0=3.5$ Torr, $i_0=3$ ma

$$\Delta V_{归-} = \frac{15I}{1+I/I_s}, I_s=0.7 \text{ W/cm}^2$$

还测量了 He-Ne、He-Ar、He-Xe 放电中氦、氩、氙浓度对其饱和 OGE 曲线的影响, 结果同上。归一化饱和 OGE 曲线与成分浓度无关。

(2) 饱和效应与总气压的关系

对于压力加宽的跃迁, 其线宽正比于气压, 因此, 饱和强度随气压升高而增大。但是, 实验结果表明惰性气体高激发态跃迁的饱和特性与气压无关。

测量了在不同气压下 $ArI5P[3/2]_1-4D[3/2]_2$ 和 $XeI5F[9/2]_4-5D^1[5/2]_3$ 的光电压随入射光强的变化, 图 2 和图 3 是它们的归一化结果。可见饱和

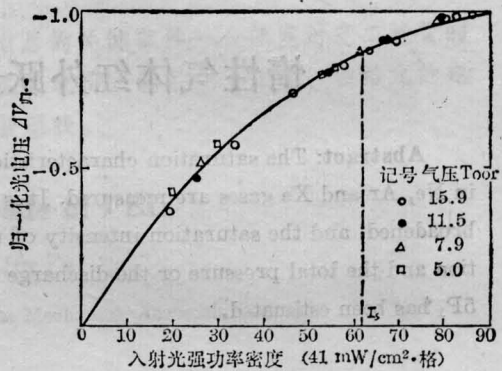


图 2 $ArI5P[3/2]_1-4D[3/2]_2$ 的归一化饱和光电电压结果

测量条件: He:Ar=12.6:1, $i_0=2.1$ ma

$$\Delta V_{归-} = \frac{5.26I}{1+I/I_s}, I_s=2.56 \text{ W/cm}^2$$

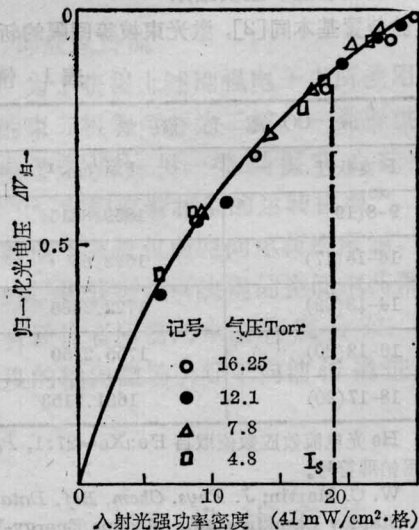


图 3 $XeI5D^1[5/2]_3-5F[9/2]_4$ 的归一化饱和光电电压结果

测量条件: He:Xe=27:1, $i_0=1.5$ ma

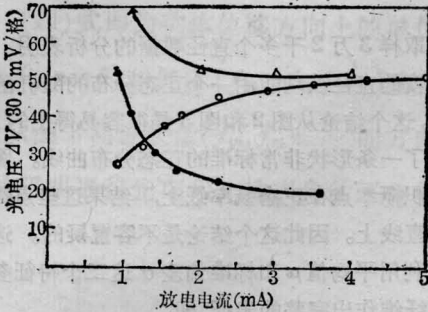
$$\Delta V_{归-} = \frac{18.1I}{1+I/I_s}, I_s=0.78 \text{ W/cm}^2$$

光强与气压无关, 光电电压曲线仍满足均匀展宽形式, 只是跃迁的 OGE 随气压的升高而增大。

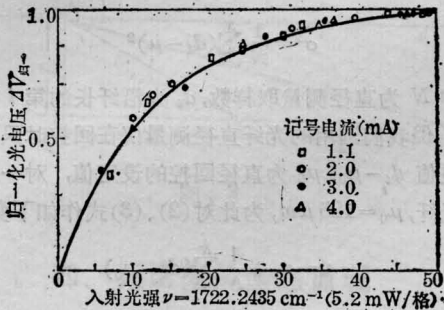
NeI4S₄-5P₁ 的结果亦相同。

(3) 放电电流的影响

在无噪声的放电条件下, 测量了在不同放电电流下的饱和光电电压效应。尽管在一定入射光强下, 氖、氩、氙所感生的光电电压随电流的变化各有特点(见图4), 但将不同放电电流下测得的饱和光电电压归一化后, 却与电流无关。



(a) 光电电压随放电电流的变化



(b) NeI4S₄-5P₁ 的归一化饱和光电电压结果

图4 饱和光电电压与放电电流的关系

测试条件:

△——NeI4S₄-5P₁, He: Xe: Ne=5.4:2×10⁻⁴:1, P₀=3.5 Torr, I=260 mW。●——ArI5P[3/2]₁-4D[3/2]₂, He: Ar=12.6:1, P₀=7.9 Torr, I=452 mW。○——XeI5D¹[5/2]₃-5F[9/2]₄, He: Xe=27:1, P₀=12.1 Torr, I=114mW

二、讨论

在稳态光电流光谱研究中, 人们已发现在固定放电条件下, 介质吸收(或辐射)的光所引起管压降的变化 ΔV 可用下式表示:

$$\Delta V = KQI \quad (2)$$

这里 K 是与放电状态有关的一个系数, Q 是介质的吸收(或增益)系数, I 是入射光的强度。

对于近共振感应跃迁, 当跃迁为均匀展宽时介质的吸收系数可表示为:

$$Q(\nu) = \frac{Q(\nu_0)}{1 + \left(\frac{\nu - \nu_0}{\Delta\nu_c}\right)^2 + I(\nu)/I_s(\nu_0)} \quad (3)$$

这里 ν 和 $I(\nu)$ 分别是入射光的频率和光强, $\nu_0, \Delta\nu_c, Q(\nu_0)$ 和 $I_s(\nu_0)$ 分别是介质跃迁的中心频率、线宽、中心频率处的吸收系数和饱和强度。

当 $I \ll I_s$ 时, 光电电压近似正比于入射光强, 随着 I 增大, 则光电电压发生饱和现象, 并按(3)式变化。由于实验中氖、氩饱和跃迁频率与入射光的频差极小(低于 0.01 cm⁻¹), 而参照[3]测得 K_r 原子高激发态的线宽很宽(达 0.1 cm⁻¹), 故 $\left(\frac{\nu - \nu_0}{\Delta\nu_c}\right)^2$ 项可忽略, 这和本实验结果也是吻合的。因此氖、氩的光电流效应可作为共振感应跃迁来对待, 通过测量其饱和光电电压曲线来测量其饱和强度。由于是近共振跃迁, 实际的饱和强度应小于测量值。

由饱和强度的公式^[4]:

$$I_s = \frac{2\pi hc \Delta\nu}{\tau A_{u \rightarrow i} \lambda^3} \quad (4)$$

便可估算出跃迁的线宽。

查得 NeI4S₄-5P₁ 的爱因斯坦跃迁几率 A_{4S₄-5P₁} 为 0.239 × 10⁶ s⁻¹[5], 估计 τ_{4S₄} ≤ 20 ns, I_s 为 0.7 W/cm², 求得 NeI4S₄-5P₁ 的线宽 ≤ 2100 MHz。它远大于多普勒线宽(160 MHz)和压力加宽值, 与 K_r 的结果相当[3]。因此气压和浓度的变化并不明显地影响光电电压饱和曲线。

大量的光电流光谱实验表明, 尽管 CO 激光谱线频率和惰性气体相应的原子能级跃迁频率不严格一致, 但是由于高激发态跃迁的线宽比较大, 还是发生了许多近共振的感应跃迁, 从而对用线调谐激光器来进行原子气体的光电流光谱分析提供了方便。

参 考 文 献

- [1] 王裕民等;《光学学报》, 1984, 4, No. 6, 507.
- [2] 归振兴等;《光学学报》, 1984, 4, 1131.
- [3] K. Kawakita et al.; Opt. Commun., 1983, 48, No. 2, 121.
- [4] D. J. Jackson et al.; Opt. Commun., 1981, 37, No. 1, 23.
- [5] Peter. W. Murphy; J. Opt. Soc. Am., 1968, 58, No. 9, 1203.

(中国科学院上海光机所 归振兴 王裕民
张顺怡 1984年6月15日收稿)