

氖原子弱光电流谱线的观测

王松岳 金巨广 孙孝忠

(中国科学院长春应化所)

Observation of weak optogalvanic spectral lines of atomic neon

Wang Songyue, Jin Juguang, Sun Xiaoshong

(Changchun Institute of Applied Chemistry, Academia Sinica, Changchun)

摘要: 应用光电流光谱技术, 在空心阴极放电管中首次观测到氖原子的 $2P_7 \rightarrow 4d_5$ 、 $2P_1 \rightarrow 4S_2$ 和 $2P_6 \rightarrow 4d_1$ 跃迁产生的三条弱谱线。

关键词: 氖原子光电流光谱, 空心阴极管

本文报道应用光电流光谱技术观测氖原子三条弱谱线的结果。这三条谱线在一般的光栅光谱仪中甚至在用傅里叶变换技术处理过的干涉图中^{[1]*}都观测不到。这是因为: (1) 593.1758 nm 谱线极弱; (2) 596.6043 nm 谱线与较强的 596.6179 nm 谱线的波长差很小; (3) 597.5011 nm 谱线夹在 597.4632 nm 和 597.5538 nm 两条谱线之间, 且谱线强度相差悬殊。

光电流光谱技术是以电学测量方法代替光学测量方法, 因此检测灵敏度和信噪比的限制主要取决于电干扰的程度。在观测弱信号时, 我们发现实验中的电干扰主要来自空心阴极放电管的高压电源、倍增管高压电源和 800 Hz 切光器电源。除采取屏蔽措施外, 我们还让镇流电阻 R 和耦合电容 C 尽量远离上述三种电源, 这样就把电干扰抑制到尽可能低的程度, 从而获得了比较满意的检测效果。实验装置与[2]中相似。在 593 nm 到 598 nm 波长范围内环型染料激光器单线输出功率为 100~250 mW, 线宽约 20 MHz, 频率稳定度为 100 MHz ($\sim 0.003 \text{ cm}^{-1}$)。Ne 原子由市售 Ne-Cu 空心阴极放电管提供。

测得的光电流谱图示于图 1~3 中。图 1 是以前未曾观测过的 $2P_7 \rightarrow 4d_5$ 跃迁谱线。图 2 是曾观察到的 $2P_2 \rightarrow 4S_1''$ 跃迁谱线和待测的 $2P_1 \rightarrow 4S_2$ 跃迁谱线(此跃迁上能级的间隔很大而波长间隔却很小)。图 3 是 $2P_6 \rightarrow 4d_1$ 跃迁的精细结构光谱。由于两条谱线的强度相差悬殊, 故同一谱图不能把两者的完整轮廓都记录下。为了记录下弱线, 我们只好舍弃

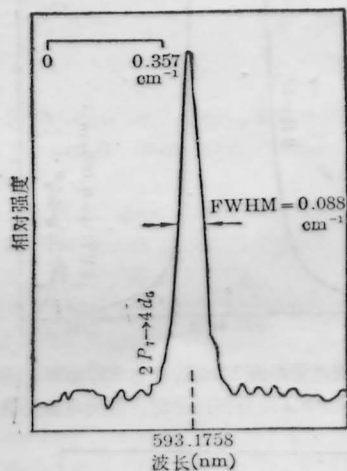


图1 放电管电流 7.5 mA, 功率 210 mW 的激光在 593.17 nm 附近扫描时测得的光电流光谱

强线的峰值部分, 幸好测得的谱线具有典型对称性, 因而可以方便地确定强线的中心。

本文中每个谱图都是几十个相同谱图中的一个。在取数据时, 考虑了仪器引起的误差和测量误差。

应用过去的方法^[2], 可测得图 4 所示的与 596.6043 nm ($2P_1 \rightarrow 4S_2$) 跃迁的光电流信号同时产生的 529.8194 nm ($2P_3 \rightarrow 4S_2$) 跃迁的直跃线荧光信号, 但观测不到最靠近 $4S_2$ 的 $4S_3$ 能级可能产生的四条碰撞诱导荧光(分别属于 $2P_2 \rightarrow 4S_3$ 、 $2P_5 \rightarrow 4S_3$ 、

* 文献[2]中测量用的光源是 U-Ne 空心阴极放电管。

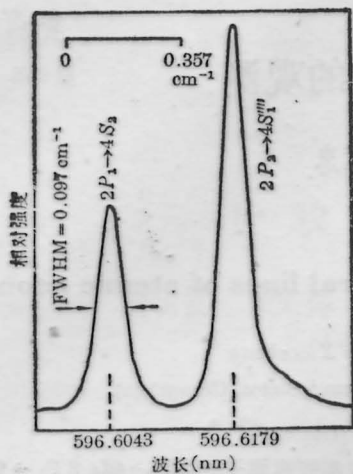


图2 放电管电流 20mA, 功率 120mW 的激光在 596.6nm 附近扫描时测得的光电流光谱

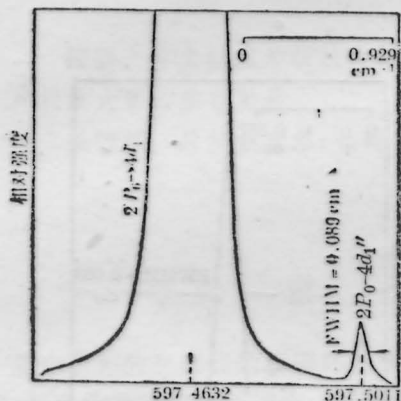


图3 放电管电流 10mA, 功率 150mW 的激光在 597.5nm 附近扫描时测得的光电流光谱

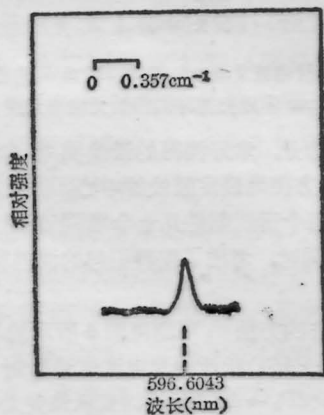


图4 放电管电流 20mA, 功率 120mW 的激光在 596.6043nm 附近扫描时测得的氩原子 529.8194nm 荧光信号

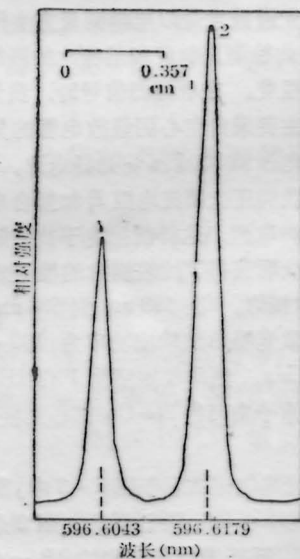


图 5

- 1—Eu II 596.6066 nm ($a^9D_3^o \rightarrow 2^7P_4$)
- + Ne I 596.6043 nm ($2P_1 \rightarrow 4S_2$);
- 2—Ne I 596.6179 nm ($2P_2 \rightarrow 4S_1''$)

(下转第 116 页)

$2P_7 \rightarrow 4S_3$ 和 $2P_{10} \rightarrow 4S_3$ 跃迁)中的任何一条。这表明 596.6043nm 谱线确属氩原子 $2P_1 \rightarrow 4S_2$ 的跃迁。直跃线荧光强度小且不产生最可能出现的碰撞诱导荧光, 表明 $2P_1 \rightarrow 4S_2$ 是一种弱跃迁。在激光与其他两条弱谱线共振时, 观测不到任何一条可能产生的非共振直跃线荧光($4d_1$ 能级可能产生 7 条, $4d_5$ 可能产生 8 条), 可认为这两种跃迁更加微弱。由于氩原子的各种态处于从 $L-S$ 耦合向 $j-j$ 耦合不同程度的过渡中, 所以本文按习惯采用 Paschen 表示法。

应该指出光电流光谱法的光谱分辨率要受到空心阴极放电引起多普勒增宽的限制。本方法测得的线宽约 0.1 cm^{-1} ($\sim 0.0036 \text{ nm}$), 与用光学高温计测得的绝对温度代入多普勒宽度公式算得的结果很接近。按照上述公式计算, Eu II 596.6066 nm 谱线与本实验测得的 Ne I 596.6043 nm 谱线的线核应部分地重叠, 根据瑞利判据, 两者不能分辨。因此, 在 Ne-Eu 空心阴极放电管中测得的未消多普勒宽度的 Eu II 596.6066 nm 谱线的强度^[3]应包括 Ne I 596.6043 nm 谱线的贡献。这一点可从图 5 得到证实。比较图 5 和图 2 之后可知, 在本实验的 Eu-Ne 放电管测得的重叠谱线中, Ne I 谱线对强度的贡献大于 Eu II 谱线。要想在空心阴极放电管中单独观测到未消多普勒宽度的 Eu II 596.6066 nm 谱线必须使用除氩以外的惰性气体作载气。

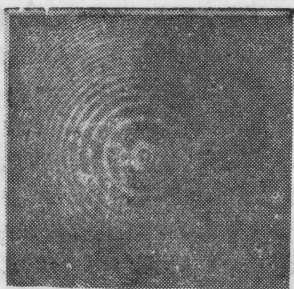


图4 若丹明 640 的激光调谐干涉环

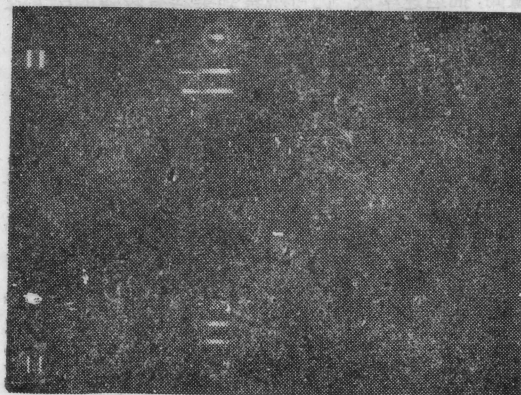


图 5

随泵浦能量的增大而加宽,反之变窄。用摄谱仪测得调谐范围为 622.7nm 到 645.6 nm。从图 3 可知,由于吸收带与荧光带在 575 nm 到 610 nm 范围内相互重叠,因而振荡不会在此范围产生。用 XeCl

(上接第 118 页)

还应当指出,在激光抽运下能级漂白以前,与诱导荧光强度一样,光电信号强度除了与激光功率、对应跃迁的自发发射系数有关外,还与激光入射前跃迁的上下能级集居数与统计权重比值之差 ($N_{m0}/g_m - N_{n0}/g_n$) 成正比^[4]。因此进一步提高检测灵敏度就与增加跃迁下能级集居数 N_{m0} 或减少跃迁上能级集居数 N_{n0} 有关。如果这个下能级是辐射激发态或这个上能级是更高一级跃迁中的一个下能级,并且能找到激发这些跃迁的激光器,采用光学双共振增强光电流光谱技术^[5-7]恰能解决这个问题。如果上述条件得不到满足,要想进一步提高检测灵敏度,只能通过改善单共振(单光子跃迁)光电流光谱法的实验技术或其他途径。至于光谱分辨率的提高,有希望的办法是采用消多普勒内调制光电流光谱技术^[8]。

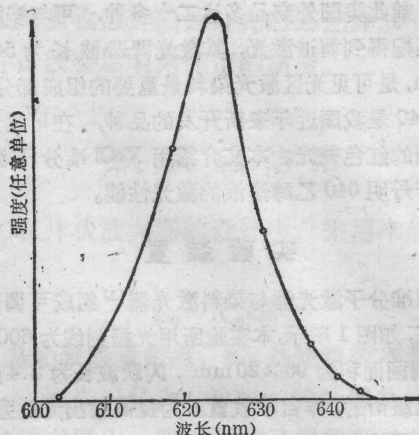


图 6 若丹明 640 激光的调谐曲线

准分子激光器泵浦,远离染料的自吸收区,而得到较宽的调谐范围,如图 6 所示。

在若丹明染料中,由于若丹明 640 特有的立体构型,取代基 R_1 的 N 原子 sp^3 轨道一对 N—H 键的氢原子,为两个脂环取代后,限制了这一对单键的自由旋转,减少了分子在激发过程中内能的消耗,它比熟知的若丹明 B 激光调谐波长红移^[8],用 XeCl 准分子激光器泵浦,其相对输出,若丹明 640 ($E=11.2\%$) 高于若丹明 B ($E=7.8\%$),为目前可见光区转换效率高、输出波长最长的激光染料。

参 考 文 献

- 1 江锦泉 *et al.*, 中国激光, (待发表)
- 2 陈上贤 *et al.*, 化学学报, **45**, 395 (1987)

(收稿日期: 1987 年 9 月 2 日)

参 考 文 献

- 1 Byron A. Palmer *et al.* "An atlas of Uranium Emission Intensities in a Hollow Cathode Discharge", LA-8251-MS Informal Report UC-345 Issued: July 1980, pp. 83-85
- 2 王松岳 *et al.*, 中国激光, **12**(8), 478 (1985)
- 3 景春阳 *et al.*, 光学学报, **6**(5), 396 (1986)
- 4 王松岳 *et al.*, 量子电子学, **3**(4), 348 (1986)
- 5 C. R. Vidal, *Opt. Lett.*, **5**(4), 158 (1980)
- 6 Rolf Engleman Jr. *et al.*, *Opt. Lett.*, **7**(11), 485 (1980)
- 7 金耀根 *et al.*, 中国激光, **14**(3), 163 (1987)
- 8 T. W. Hanch *et al.*, *Opt. Commun.*, **38**(1), 41 (1981)

(收稿日期: 1987 年 6 月 1 日)