

激光激发的铀原子荧光光谱

王松岳 金昌泰 生明涛 王秀兰

(中国科学院长春应用化学研究所)

提要:以直流空心阴极灯作蒸气源,以若丹明6G染料激光作激发光源,简单方便地观测到铀原子的753.393、763.175和763.954 nm 荧光辐射。对消除以灯辐射为主的强背景作了详细讨论。

Laser excited fluorescence spectra of atomic uranium

Wang Songyue, Jin Changtai, Sheng Mingtao, Wang Xiulan

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

Abstract: Fluorescence radiation from atomic uranium were detected conveniently at 753.393, 763.175 and 763.954 nm when a dc operated hollow cathode lamp as uranium vapor source was irradiated by a CW ion laser pumped rhodamine 6G dye laser light. The elimination of intense background mainly attributed to the emission from the lamp are discussed in detail.

引言

激光激发的原子荧光法之所以引起人们广泛的兴趣,是因为它在确定与证实光谱的归属和能量传递的研究中,具有很大的用途^[1]。在分步激光激发的光谱实验研究中,有人使用脉冲空心阴极灯作为蒸气源对激光激发的原子荧光作了光谱测量^[2]。其方法的优点是激光激发荧光的探测是在空心阴极灯脉冲发光停止后进行的,避免了以灯辐射为主的背景干扰。然而激光辐照延迟时间要严格调节,以免原子蒸气冷凝而探测不到荧光信号。为了避免出现这种现象,我们采用了连续波激光辐照直流空心阴极灯的办法,并对灯辐射造成的强大背景作了相应的处理,从

而满意地探测到铀原子763.175 nm(激发波长为591.539 nm),763.954 nm(激发波长为575.815或597.150 nm)和753.393 nm(激发波长为607.729 nm)的荧光辐射。

实 验

实验使用的天然铀元素空心阴极灯是我所研制的。在保证稳定的条件下,工作电流可以通过高压稳流电源来调节。空心阴极灯溅射出铀原子的密度随电流强度增大而增大,70 mA时,原子密度达到饱和,其数量级为 10^{13} 原子/cm³。实验时使用的放电电流为35 mA左右,这时铀原子密度为 10^{10} 原子/cm³,在适当功率的激光辐照下,足以发射出可以探测到的荧光。实验装置见图1。若丹

收稿日期:1986年2月3日。

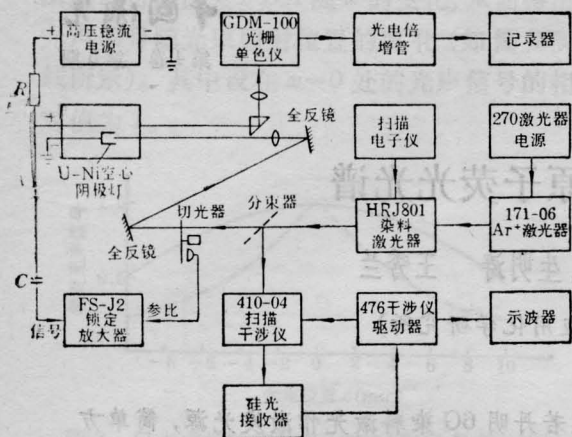


图1 激光激发荧光辐射及利用光电流效应稳频实验装置示意图

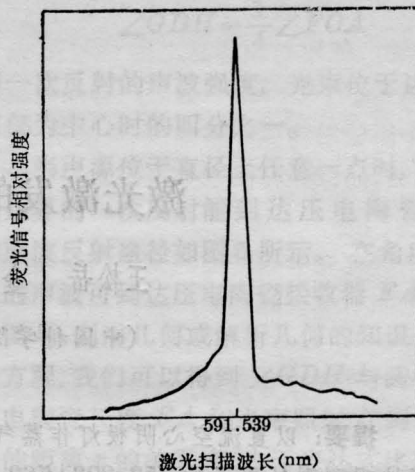


图2 激光在 591.539nm 附近扫描时铀原子的 763.175 nm 荧光信号

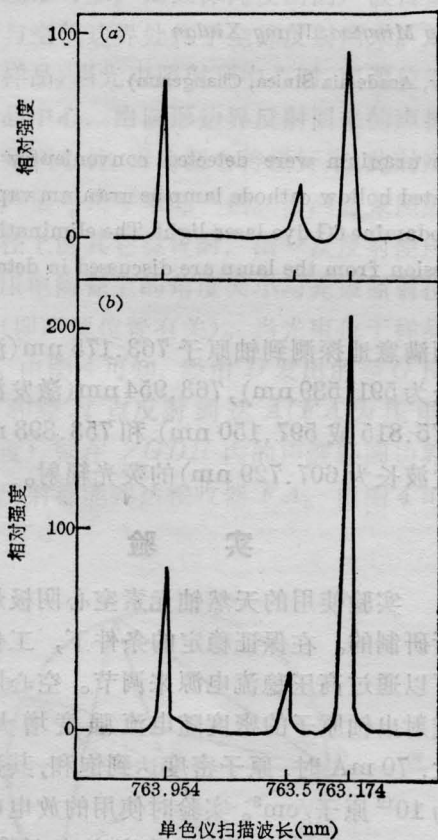


图3 空心阴极灯铀原子发射光谱

- (a) 没有激光照射时;
(b) 8 mW 的 591.539 nm 激光照射时

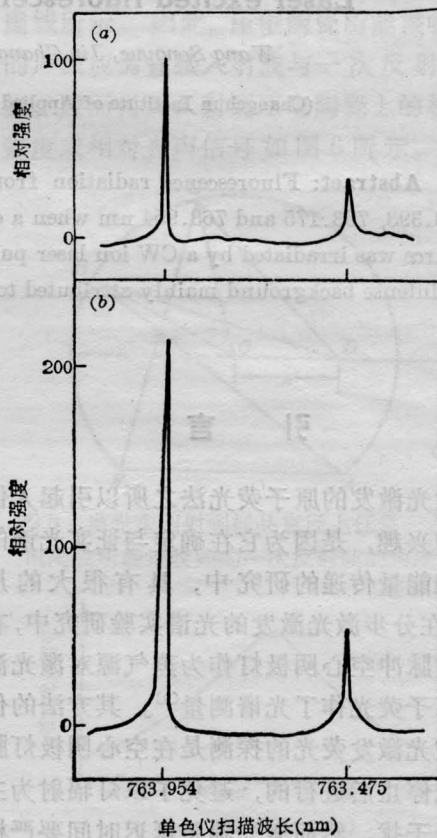


图4 空心阴极灯铀原子发射光谱

- (a) 没有激光照射时;
(b) 30 mW 的 575.815 nm 激光照射时

明 6 G 染料激光经分束镜反射出一小部分照射到扫描干涉仪 (Spectra-Physics Model 410-04) 上, 用于监控单频扫描; 大部分激光透过分束镜, 由透镜聚焦在空心阴极灯的孔穴中。实验过程中, 用双光栅单色仪 (民主德国 Carl Zeiss 厂 GDM-1000 型) 粗略地选定激发的激光波长和记录铀原子的荧光信号及发射光谱。激发波长选定后, 扫描电子仪产

生的三角波驱动染料激光器中的扫描干涉仪和检流片, 在上述波长附近扫描。如果双光栅单色仪的输出固定在荧光波长位置, 就可记录到如图 2 所示的以灯辐射为背景的荧光信号。当激发的波长选好并稳定时, 单色仪的输出波长扫描后就可记录到如图 3、4、5 和 6 所示的铀原子发射光谱。没有激光照射时的发射光谱示于图的上部, 以作比较。

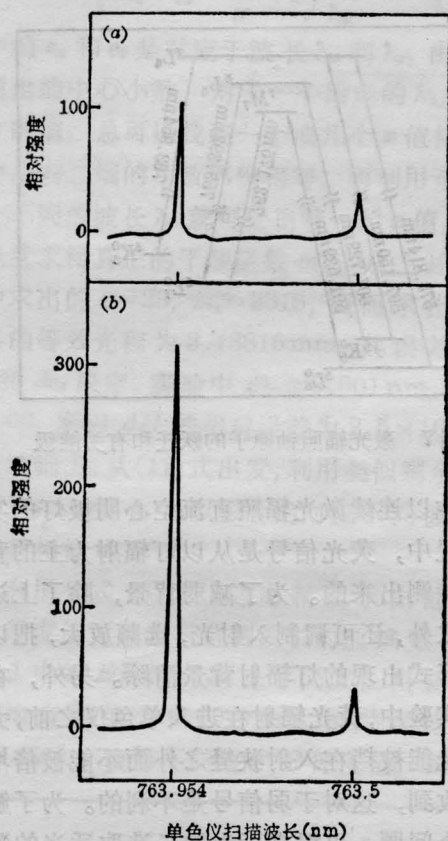


图 5 空心阴极灯铀原子发射光谱

- (a) 没有激光照射时;
(b) 23 mW 的 597.150 nm 激光照射时

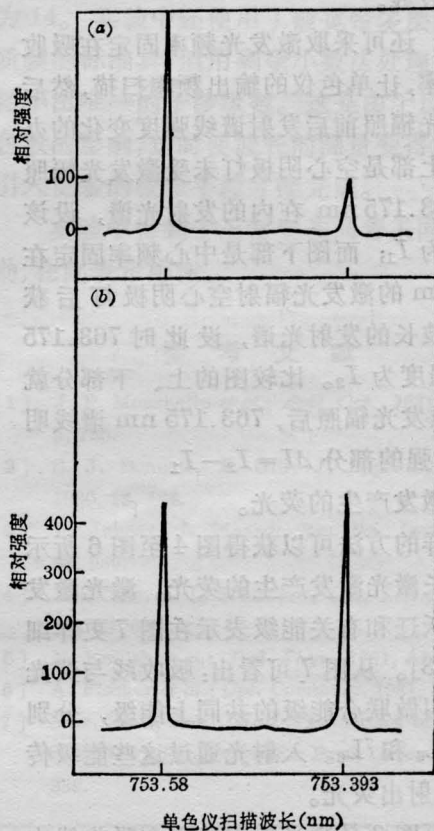


图 6 空心阴极灯铀原子发射光谱

- (a) 没有激光照射时;
(b) 20 mW 的 607.729 nm 激光照射时

结果与讨论

图 2 是激光在 591.539 nm 附近扫描时, 铀蒸气被激发而产生的 763.175 nm 荧光信号。图中的背景主要是铀原子的 763.175 nm 发射谱线造成的。应当指出, 该谱线是铀原

子的较强辐射, 作为背景, 对信号的干扰很大。为了让激光波长扫描到铀原子的 591.539 nm 吸收峰时, 763.175 nm 荧光信号能够清晰地被记录到, 我们在尽可能保证记录器低噪音的基础上, 适当地放宽单色仪的入射狭缝, 尽可能选取记录器上低的放大

倍率,并通过调节仪器零点,把作为背景的强大辐射信号调到零点线附近,荧光信号就突出于零点线之上。经过这一处理,既解决了文献[2]所担心的问题——直流空心阴极灯的强发射会把信号淹没,又使实验技术简化。

荧光信号是激光在吸收线附近扫描时产生的,因而前者的一切特征与后者相似。所以我们可以用激光激发方式,用荧光信号来研究吸收线。

此外,还可采取激发光频率固定在吸收线中心频率,让单色仪的输出频率扫描,然后比较激发光辐照前后发射谱线强度变化的办法。图3上部是空心阴极灯未受激发光辐照时包括763.175 nm在内的发射光谱,设该谱线强度为 I_1 ;而图下部是中心频率固定在591.539 nm的激发光辐照空心阴极灯后获得的相同波长的发射光谱,设此时763.175 nm谱线强度为 I_2 。比较图的上、下部分就可看出:激发光辐照后,763.175 nm谱线明显增强,增强的部分 $\Delta I = I_2 - I_1$ 就是激光激发产生的荧光。

用同样的方法可以获得图4至图6所示的其他波长激光激发产生的荧光。激光激发铀原子的跃迁和有关能级表示在图7更详细的资料见[3]。从图7可看出:吸收线与荧光线有一个叫做联合能级的共同上能级,分别为 7M_7 、 5L_6 和 7L_6 。入射光通过这些能级传递能量,辐射出荧光。

图3至图6是激光频率稳定在吸收线中心频率情况下单色仪的输出频率扫描获得的。因此要求在输出频率扫描过程中,特别是扫描到荧光线的频率时,激光频率必须保持稳定。在没有专门的稳频设备条件下,我们利用光电流效应进行稳频,即一面观察IS-J2锁定放大器的表头指示,一面调节扫描电子仪的工作点,以保证激光频率与吸收线中心频率共振。

应当指出,图2与图3的763.175 nm谱线的性质不同,前者的轮廓与线宽与

591.539 nm谱线一样,空心阴极灯中原子谱线为多普勒加宽线,线宽量级为GHz;而后的轮廓和线宽与591.539 nm谱线无关,其线宽由单色仪性能决定,测量结果约20 GHz。用前一种方法观测荧光,对激光稳频要求条件低,可直接获得信号,并可通过荧光信号研究吸收线的性质。后一方法不需要激光扫描装置且可直接看出发射谱线的增强。

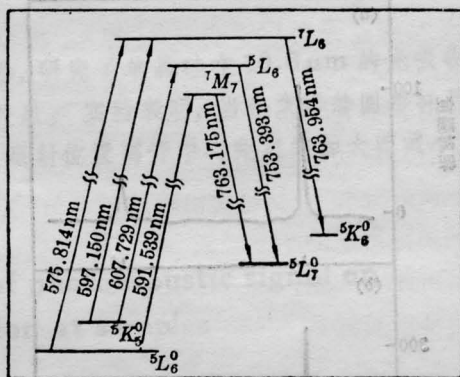


图7 激光辐照铀原子的跃迁和有关能级

在以连续激光辐照直流空心阴极灯的实验装置中,荧光信号是从以灯辐射为主的背景中检测出来的。为了减弱背景,除了上述办法之外,还可调制入射光,选频放大,把以直流形式出现的灯辐射背景消除。另外,在上述实验中,荧光辐射在进入单色仪之前,大部分光能被挡在入射狭缝之外而不能被倍增管接收到,这对于弱信号是不利的。为了解决这个问题,可根据荧光波长选取适当的狭带滤光片代替单色仪。

感谢孙孝忠、徐俊等同志提供的帮助。

参 考 文 献

- [1] Rolf Engleman Jr., Richard A. Keller; *Opt. Lett.*, 1980, **5**, No. 11, 465.
- [2] E. Miron et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, No. 10, 737.
- [3] Jean Blaise, Leon J. Radziemski Jr.; *J. Opt. Soc. Am.*, 1976, **63**, No. 7, 644.