

## HCD 中铀基态原子衰变时间常数和亚稳态 原子寿命测量

景春阳 朱雷 殷立峰 罗才雁 林福成  
(中国科学院上海光机所, 201800)

**提要:** 利用窄脉冲和高重复率放电的铀空心阴极灯溅射的原子作为蒸气源, 用 CW 染料激光激发并以荧光法探测, 得到了铀基态原子的衰变时间常数和正稳态原子的寿命。

**关键词:** 铀, 衰变速率, 亚稳态, 寿命

### Measurement of decay time constant of ground and metastable states of U atoms in a HCD lamp

Jing Chunyang, Zhu Lei, Yin Lifeng, Luo Caiyan, Lin Fucheng  
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

**Abstract:** Using the sputtered atoms of a short pulse and high repetition rate uranium hollow cathode lamp as vapour source, a CW dye laser as exciting light, and detecting with fluorescence method, we have measured the time constant of decay in the ground state and the lifetime in the metastable state of U atoms in HCD lamp.

**Key words:** Uranium, decay rate, metastable state, lifetime

在激光分离铀同位素工程中, 铀原子亚稳态寿命是一个重要的光谱数据, 它涉及到能否利用某些低能亚稳态的问题。关于亚稳态寿命的测量, 过去已在 CuCl 正柱放电中测量过<sup>[1~3]</sup>, 也有人利用原子束方法测量过亚稳态寿命<sup>[4]</sup>。我们则利用较为简单的方法, 利用窄脉冲放电的 U 空心阴极灯(HCD)和 CW 染料激光激发, 测量了铀基态和亚稳态原子密度的时间衰变关系, 得到了铀基态原子衰变时间常数和亚稳态原子的寿命。

实验装置如图 1 所示。一个自制的 U-Kr 空心阴极灯作为铀蒸气源。该灯以 <sup>238</sup>U 材料为阴极, 阴极孔为  $\phi 3$  mm, 灯中充有缓冲气体 Kr。它由一台高重复率脉冲电源供电。在本实验中重复频率为 2 kHz。脉冲电流宽度为 500 ns, 幅度约 2 A, 占空比约为 1:1000。脉冲电流波形如图 2 所示。我们采用的窄脉宽高幅度电流放电, 一方面避免了放电激发对原子自由衰变的影响, 另一方面提供了更高的铀原子密度。因为在不增加平均供电功率下, 由于脉冲电流幅度比直流放电高得多, 能提供的铀原子密度也要高得多。这可由观测到的发射谱强度和共振荧光强度所证实。

激发光源为 380D 型环形染料激光器, 用一台国产氩离子激光器泵浦。染料激光器在稳

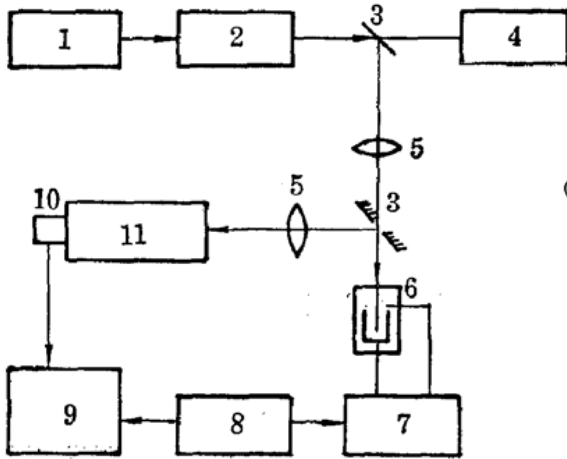


图1 实验装置方框图

1—Ar<sup>+</sup>激光器; 2—380D染料激光器; 3—反射镜;  
 4—波长计; 5—透镜; 6—U-KrHCD灯; 7—高重复  
 率脉冲电源; 8—脉冲信号发生器; 9—4400-Boxcar  
 积分器; 10—光电倍增管; 11—单色仪

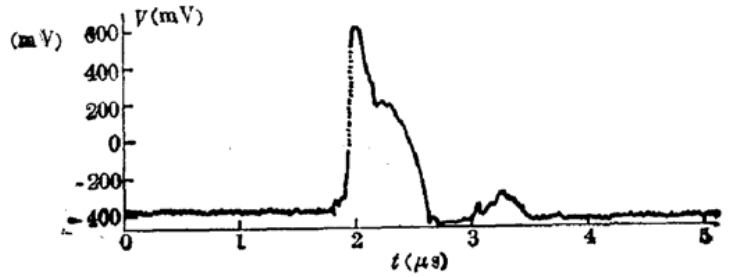


图2 脉冲电流波形

频状态下工作，线宽约1MHz。染料激光束经透镜聚焦后穿过呈45°放置的带孔反射镜射入铀灯的阴极孔中。

探测是通过接收感生荧光进行的。来自空心阴极灯的荧光经反射镜反射后，由透镜聚焦

在单色仪的入射狭缝上，光电倍增管接收荧光信号，最后送到4400 Boxcar积分器中进行处理和记录。由于很高的重复频率和对信号的平均处理，得到了很光滑的曲线。

我们测量了铀基态和亚稳态原子密度衰变的时间关系曲线。对于基态，染料激光在591.5nm与基态铀原子(5f<sup>3</sup>6d7s<sup>2</sup>-<sup>5</sup>L<sub>6</sub><sup>0</sup>)共振，把基态原子激发到能量为16900 cm<sup>-1</sup>的共振能级(5f<sup>3</sup>6d7s7P-<sup>7</sup>M<sub>7</sub><sup>±</sup>)，探测到763.2nm

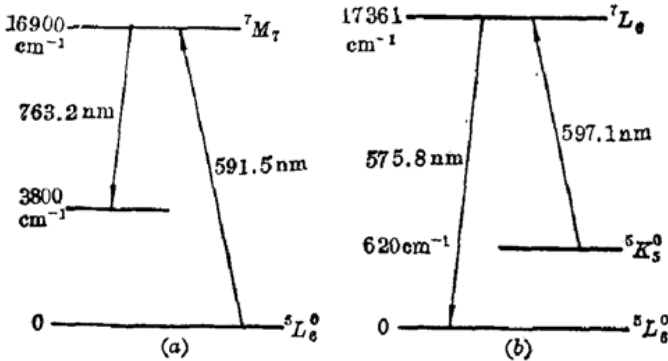


图3 U原子能级图

感生荧光(见图3(a))，得到基态原子衰变的时间关系曲线(见图4(a))。对于亚稳态，以597.1

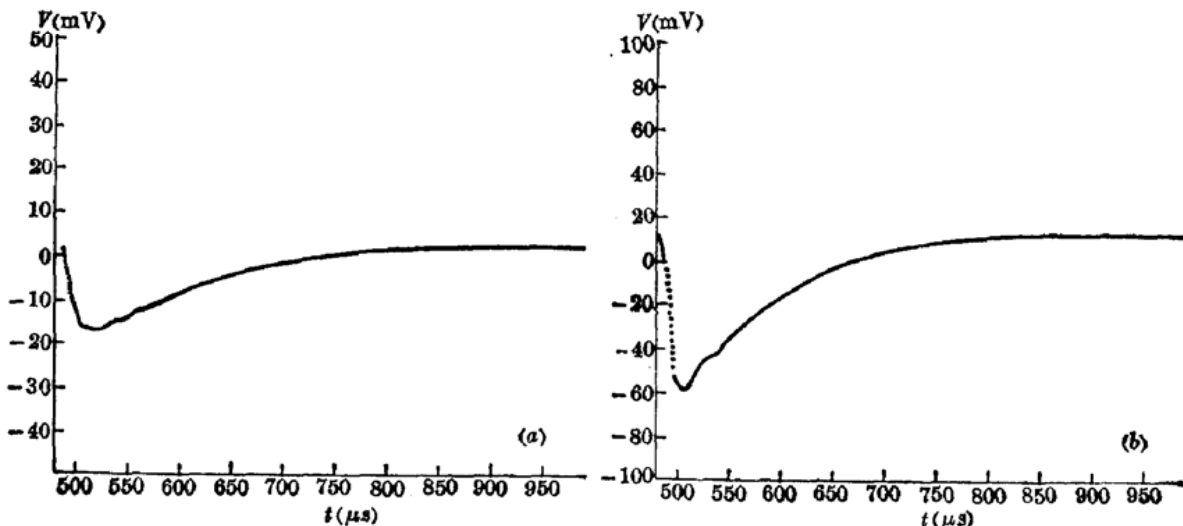


图4 在脉冲HCD灯中，基态(a)和亚稳态(b)U原子密度衰变的时间关系

nm 激光与铯亚稳态原子共振, 从  $620 \text{ cm}^{-1}$  激发到共振能级  $17361 \text{ cm}^{-1}$ , 探测从共振能级到基态的  $575.8 \text{ nm}$  荧光(见图 3(b)), 得到反映  $620 \text{ cm}^{-1}$  亚稳态原子密度衰变的时间关系曲线(见图 4(b))。

利用脉冲放电的溅射效应可在 HCD 灯中产生铯原子蒸气, 脉冲结束后铯原子密度将衰变。我们以基态原子的衰变时间常数  $\tau_g$  (即  $n = n_0 e^{-\frac{t}{\tau_g}}$ ) 来表征铯原子密度的这一衰变特征。

根据上述曲线用计算机进行最小二乘法拟合处理得到基态铯原子衰变时间常数  $\tau_g = 120 \mu\text{s}$ , 亚稳态实测的表观寿命  $\tau_1 = 100 \mu\text{s}$ 。假定亚稳态碰撞衰变寿命和基态的衰变时间常数相同, 则有

$$\tau_M = \left( \frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2} \right)^{-1}$$

其中  $\tau_M$  为 HCE 铯亚稳原子寿命,  $\tau_1$  为亚稳态原子的表观寿命,  $\tau_2$  为亚稳态原子的扩散衰变寿命。将  $\tau_1 = 100 \mu\text{s}$ ,  $\tau_2 = \tau_g = 120 \mu\text{s}$  代入上式, 即可得到  $\tau_M = 600 \mu\text{s}$ 。

实验中发现, 当激发的激光功率由强逐渐减弱时, 测得的衰变常数和寿命有增长趋势, 说明存在着抽空效应, 即在测量的脉冲周期里, 每一时刻粒子数密度都受前面时间泵浦抽运的影响而减小, 因而使实际衰变曲线变形。鉴于这种情况, 在测量中已尽量减弱激发光强, 以降低抽空效应的影响。

空心阴极灯中缓冲气体 Kr 的存在对衰变时间常数或寿命会发生影响。对基态铯原子来说, 如果没有 Kr 的存在, 溅射的铯原子将直飞落到器壁上, 正是由于 Kr 的存在并与铯原子发生碰撞才使铯原子存在较长时间。对于亚稳态铯原子来说情形则正好相反, 碰撞缩短了寿命, 所以,  $\tau_M$  小于实际寿命。至于其他激发原子寿命都很短, 在几百 ns 以内, 对  $500 \text{ ns}$  放电脉冲结束后数  $\mu\text{s}$  进行的测量没有影响。当然 Kr 气压的高低对测量的影响程度将有所不同, 这将在今后的实验中要进一步研究的。

由于抽空效应的存在和其他因素的影响, 铯  $620 \text{ cm}^{-1}$  亚稳态的寿命应在  $600 \mu\text{s}$  以上。

### 参 考 文 献

- 1 Noble, M. Nerheim, *J. Appl. Phys.*, **48**(8), 3244(1977)
- 2 V. A. Kelman *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **14**(11), 1460(1984)
- 3 A. A. Isaev *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **16**(11), 1517(1986)
- 4 杜清 *et al.*, 光学学报待发表

(上接第 726 页)

小时。10 mW 室温 CW 器件寿命已大于 4000 小时。

### 参 考 文 献

1. H. Kressel *et al.*, *Semiconductor LDs and Heterojunction LEDs*, Academic Press, New York, 1977
2. D. Botez, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-18**(5), 865(1982)
3. R. Lang *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-15**(15), 718(1979)
4. K. Aiki *et al.*, *Appl. Opt.*, **17**(2), 3264(1978)