

用 HCD 灯作金属原子蒸气源的 激光光谱研究

胡企铨 殷立峰 张延平
景春阳 张桂燕 林福成

(中国科学院上海光机所)

摘要: 利用 Ne-Cu HCD 灯研究了金属原子蒸气源的光电流光谱和激光荧光光谱, 发现了 Cu $4p^2P_{3/2}$ 能级的表现寿命随灯电流增加而增大。认为这一现象起因于“共振俘获”效应。

Laser spectroscopic study on HCD lamps as a metal atomic vapor source

Hu Qiquan, Yin Lifeng, Zhang Yanping
Zhang Guiyan, Jing Chunyang, Lin Fucheng

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

Abstract: In this paper we report the experimental study of the metal atomic vapor, optogalvanic effect and laser fluorescence in the HCD lamps. The fact that the observed lifetime of Cu $4p^2P_{3/2}$ state increases with the discharge current is attributed to the radiation-trapping.

空心阴极放电(HCD)灯可以作为一种简便的进行激光光谱研究的金属原子蒸气源。文献[1]报道了利用 HCD 灯研究铀原子激光感生荧光光谱的结果。

为了获得高密度的原子蒸气, 作者采用了 HCD 灯脉冲供电、荧光探测在 HCD 灯脉冲放电结束后延时一段时间进行的工作方式。我们利用 HCD 灯作为原子蒸气源进行了光谱特性研究, 结果表明, HCD 灯除了可作为常规吸收和发射光谱研究的光源外, 还是好的激光光电流光谱和激光荧光光谱研究

原子蒸气源。

一、实验装置与测量方法

实验装置见图 1。所用的 Ne-Cu HCD 灯是商售的, 激光器是高重复频率(16kHz), 短脉冲(脉宽约 20 ns)、波长 510.6 和 578.2 nm、平均功率约为 100 mW 的 CuCl 蒸气激光器。用 0.5 m 光栅单色仪和高灵敏度、快响应的光电倍增管(R943-02)及高频

收稿日期: 1984年12月28日。

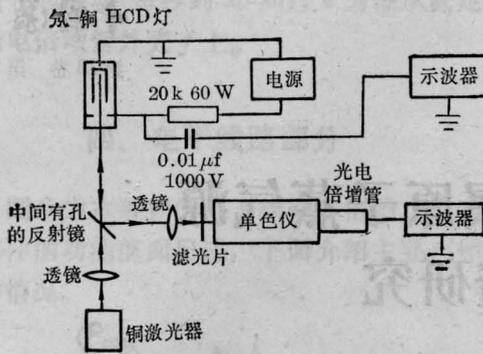


图1 实验装置

宽带脉冲示波器(400 MHz)记录光谱。为避免空间电荷效应影响,提高脉冲条件下光电倍增管的线性工作电流范围,在发热和功率允许范围内,尽可能减小了光电倍增管分压电阻值,并在分压电阻上并联了储能电容器^[3]。在单色仪的入射光阑处加滤光片,以遏制 HCD 灯散射激光的影响。

用两种 HCD 灯供电电源。在进行激光电流谱测量和小电流下的激光荧光光谱研究时,用高压直流稳压电源供电,电源的纹波电压及噪声均很小。为保证 HCD 灯正常工作不致过热,在大电流工作时采用占空比很大(10~1000)、方波脉宽可调(0.1~8 ms)、峰值电流可达 300 mA 的准连续电源供电。这一电源采用了高频可控硅控制,脉冲的上升、下降沿小于 $3 \mu\text{s}$ 。脉冲准连续电源的基本设计思想与文献[3]相同,但由于对供电电流要求较低,设计和制作都大大简化了。图 2 给出了该电源主电路的基本原理。

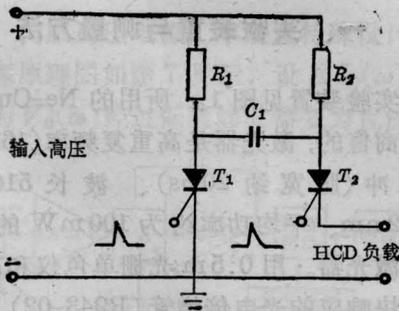


图2 准连续方波电源主电路电原理图

二、实验结果和讨论

1. HCD 灯发射光谱测量

利用方波脉冲准连续供电进行了 HCD 灯发射光谱特性的研究。图 3(a)和(b)分别给出了 Cu 324.8 nm 荧光和 Ne 588.2 nm 荧光的瞬态波形。由图 3(a)可见,在放电起始的 $50 \sim 100 \mu\text{s}$ 时间内,荧光强度由零逐渐增加直至稳定值。Cu 的其它波长荧光发射也具有相同规律。对其它 HCD 灯(Ne-Zn、Ne-Au、Ne-W、Ne-Nd、Ne-Ag 等)研究的结果表明规律相同,起始阶段时间也大致在同一数量级。没有观察到 HCD 中 Ne 荧光发射存在起始时间延迟现象,这一现象显然是起因于阴极溅射金属原子过程中的时间累积效应。对于 Ne-Na、Ne-K 等 HCD 灯,虽然也存在这种荧光发射的起始延迟现象,然而延迟时间随放电平均电流的增加(通过增加电源频率减小占空比来增加)而减小。这一点看来可以用随着平均电流增加,HCD 灯内热蒸发效应的增强来解释。

也测量了 Ne-Cu HCD 灯荧光发射强度

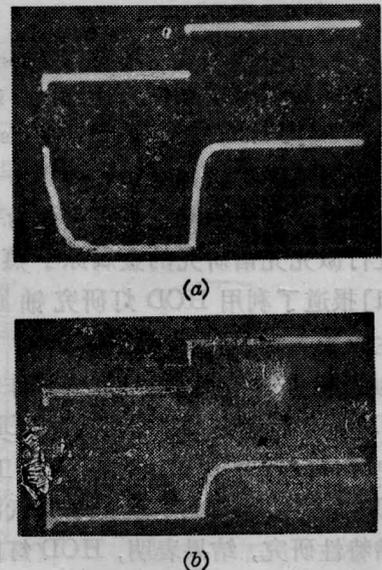


图3 Cu 324.8 nm(a)和 Ne 588.2 nm(b)的荧光发射谱波形(上)和相应的电流波形(下)

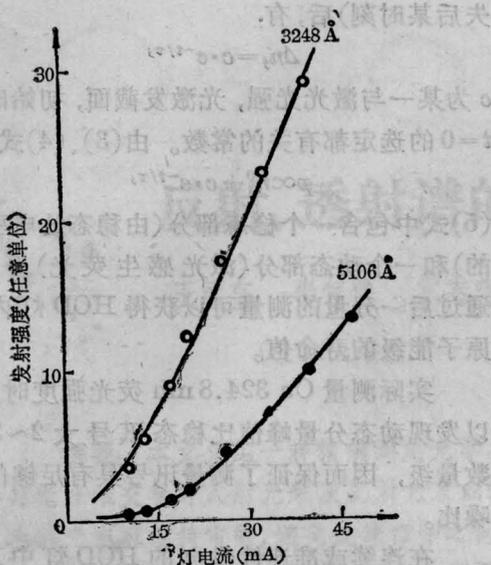


图4 Ne-Cu HCD Cu 谱线发射强度随灯电流的变化关系

随灯电流的变化关系, 见图4。这一关系显示了Cu原子蒸气随灯电流的增加关系, 它与过去报导的结果是一致的^[4]。

2. 光电流讯号和激光感生荧光

在稳态供电条件下, 测量了510.6 nm和578.2 nm激光激发Ne-Cu HCD灯的光电流讯号, 二种Cu共振波长具有相同形状的光电流讯号波形(见图5)。有意义的是, Cu 510.6、578.2 nm光电流讯号与一般的光电流讯号(如Ne 588.2 nm或590.2 nm符号相反, 说明Cu 510.6、578.2 nm共振激光的照射引起了HCD灯阻抗增加而不是通常的减少。

利用510.6 nm激光激发测量324.8 nm荧光讯号, 图6给出了几种HCD灯电流下

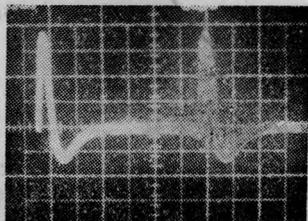
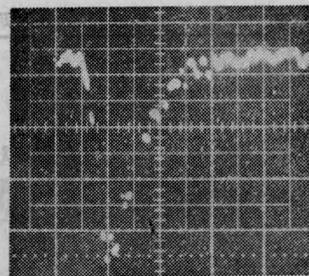
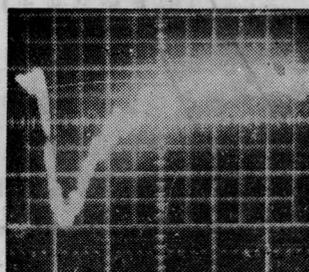


图5 Cu 510.6 nm 光电流讯号波形

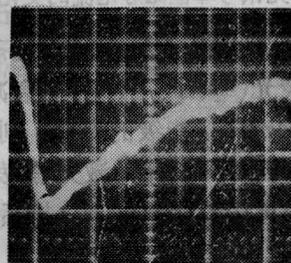
$I_{\text{HCD}}=18 \text{ mA}$, 纵坐标: 50 mV/div
横坐标: $10 \mu\text{s/div}$



(a) $I_{\text{HCD}}=5 \text{ mA}$



(b) $I_{\text{HCD}}=40 \text{ mA}$



(c) $I_{\text{HCD}}=100 \text{ mA}$

图6 不同灯电流下Cu 324.8 nm 激光感生荧光讯号

纵坐标: 10 mV/div ; 横坐标: 10 ns/div

324.8 nm 荧光衰减曲线。除了起始阶段受到激光脉冲影响外, 曲线的后面部分是指衰减。

图7给出了光电流讯号(510.6 nm激光激发)和激光感生荧光(324.8 nm)峰值随灯电流的变化关系, 它们接近线性变化关系, 与图4所示的HCD灯荧光发射强度随灯电流的变化关系大致可以对应得起来。

3. Cu $4p^2P_{3/2}$ 能级寿命的测量

以Ne-Cu HCD灯作为Cu原子蒸气源, 通过放电使Cu的亚稳态 $4s^2D_{5/2}$ 达到一定的集居数。利用510.6 nm脉冲激光把Cu原

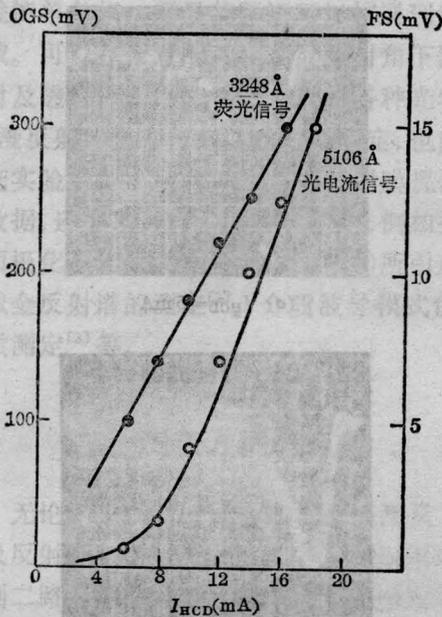


图7 510.6nm 光电流讯号与 324.8nm 激光感生荧光讯号峰值随灯电流的变化关系

子从 $4s^{22}D_{5/2}$ 态共振激发到 $4p^2P_{3/2}^0$ 态, 测量了 324.8nm 荧光 ($4p^2P_{3/2}^0 \sim$ 基态) 衰减曲线, 可以得到 Cu $4p^2P_{3/2}^0$ 能级的寿命。利用放电理论和速率方程对共振脉冲激光激发下 HCD 灯内各能级集居数变化进行分析后可知^[5]:

$$\frac{d\Delta n_j}{dt} = -\Delta n_j/\tau_j + [(n_i^0 - n_j^0) + (\Delta n_i - \Delta n_j)]\sigma_{ij}I_{ij}(t) \quad (1)$$

式中 Δn_j 和 Δn_i 分别为共振上、下能级集居数对稳态值 n_j^0 和 n_i^0 的偏离值; σ_{ij} 为 i 能级到 j 能级的光激发截面; $I_{ij}(t)$ 为激光光强; τ_j 为共振上能级在 HCD 中的寿命。如果激光脉冲的作用时间足够短, 则在激光作用后, 方程(1)变为

$$d\Delta n_j/dt = -\Delta n_j/\tau_j \quad (2)$$

这是一个普通的指数衰减函数, 衰减的时间常数即能级寿命 τ_j 。

能级集居数的变化可以通过测量该能级的自发辐射荧光强度 P 上获得。此时有:

$$P \propto n_j = n_j^0 + \Delta n_j \quad (3)$$

而由(2)式, 在合适的 $t=0$ 时刻(激光作用消

失后某时刻)后, 有:

$$\Delta n_j = c \cdot e^{-t/\tau_j} \quad (4)$$

c 为某一与激光光强, 光激发截面, 初始时刻 $t=0$ 的选定都有关系的常数。由(3)、(4)式有:

$$p \propto n_j^0 + c \cdot e^{-t/\tau_j} \quad (5)$$

(5)式中包含一个稳态部分(由稳态放电引起的)和一个动态部分(激光感生荧光)分量。通过后一分量的测量可以获得 HCD 灯内该原子能级的寿命值。

实际测量 Cu 324.8nm 荧光强度时, 可以发现动态分量峰值比稳态讯号大 2~3 个数量级, 因而保证了测量讯号具有足够的讯噪比。

在连续或准连续供电的 HCD 灯中, 由于电子碰撞、原子碰撞等引起的谱线加宽比较小, 对能级寿命的影响也比较小, 因此 HCD 灯内原子能级寿命与真实寿命的差别也很小。

由图 6 可见, 放电电流对 Cu $4p^2P_{3/2}^0$ 能级的表观寿命影响很大。利用不同灯电流下 Cu 324.8nm 荧光衰减曲线计算了 Cu $4p^2P_{3/2}^0$ 能级表观寿命随电流的变化状况, 图 8 给出

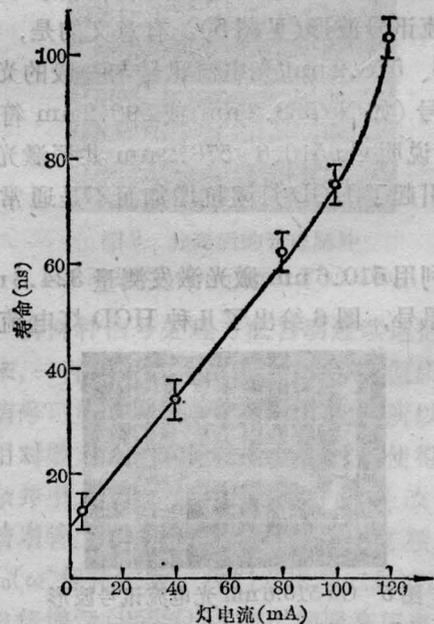


图8 Cu $4p^2P_{3/2}^0$ 能级表观寿命随灯电流的变化

了这一表观寿命随电流的变化关系, 电流的增大大增加了 Cu $4p^2P_{3/2}^0$ 能级的表观寿命。在利用同样方法测量 Ne 高激发态寿命时没有发现这一现象, 因此 Cu 能级表观寿命随电流增大的原因不在于电子和原子碰撞的结果。由于 Cu 324.8 nm 基态跃迁具有很大的跃迁几率, 因此在原子蒸气密度大时“共振俘获”效应将大大影响能级的表观寿命^[6]。HCD 灯电流对溅射原子蒸气密度影响很大^[4], 在大电流工作时, 高原子蒸气密度引起的强“共振俘获”将导致 Cu $4p^2P_{3/2}^0$ 能级表观寿命的大大增加。把图 8 的寿命曲线外推到 HCD 灯电流等于零的情况, 可以得到 Cu $4p^2P_{3/2}^0$ 能级寿命 $\tau = 10.0 \pm 2.0$ ns, 与过去

的结果^[7]: 9.7 ns 是相当符合的。

清华大学无线电电子学系郝素君讲师和黄容同学参加了本文中的部分实验工作。

参 考 文 献

- [1] E. Miron *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, No. 10, 737.
- [2] J. M. Harris *et al.*; *Anal. Chem.*, 1976, **48**, No. 14, 2095.
- [3] 殷立峰等;《中国激光》, 1984, **11**, No.12, 747.
- [4] 殷立峰等;《光学学报》, 1984, **4**, No. 4, 294.
- [5] F. J. de Hoog, G. J. Collins; "Sputtering in a Hollow Cathode Laser Discharge", Phenomena in Ionized Gases 1977, Berlin, Contributed Papers, Part I, p. 307.
- [6] C. S. Lin *et al.*; "Copper Halide Laser Research", AD/AO42484, 1977.

一种提高激光功率稳定性的仪器

盐城市光电仪器厂和上海测试技术研究所共同研制并生产出一种可以大幅度地提高 He-Ne 激光功率输出稳定度的仪器——LPS-II 激光稳功率仪。市场上出售的 He-Ne 激光器, 输出功率起伏比较大, 一般都在 $\pm 5\%$ 左右。把这种激光器放在这种功率稳定仪器后, 激光器输出的功率稳定性便可以大幅度地提高, 功率起伏小于 0.05%, 稳定性提高了 100 倍。样品经有关单位试用, 并于日前由盐城

市科委组织中国科学院、各工业部门和地方有关研究所、部分高等院校一共 32 个单位 48 名专家教授进行了现场测试鉴定, 确认仪器性能优良。

该仪器使用光电调制方法实施功率稳定。目前也只有少数几个工业发达的国家能生产这种高稳定功率仪。

(纪钟)

“激光针灸新方法”通过鉴定

由烟台市科委和卫生局主持的“激光针灸新方法”鉴定会于 1985 年 10 月 24 日在山东省烟台市召开, 与会专家教授一致同意为科学技术新成果。

目前国内外激光针灸均系用激光对体表穴位进行照射, 由于穿透率低等原因, 治疗范围和疗效受到一定限制。由烟台市芝罘区医科所和烟台山医院协作进行的“激光针灸新方法”科研项目是以极细光

导纤维通过新创制的空心针灸针将氦-氖激光导入组织、穴位深部直接照射, 明显提高激光功率密度, 初步取得满意的临床效果, 开辟了激光针灸临床治疗的新途径, 将针灸和激光治疗结合起来, 吸取了二者的优点, 在国内外是一个创新。就现有资料看, 具有先进性和实用性, 有较大的医疗技术效益和社会效益。

(田道正)