

# 连续波染料激光选择性激发的钠原子 双光子跃迁的观测

徐复兴 金昌太 金巨广 生明涛 王松岳

(中国科学院吉林应用化学研究所)

## 提 要

用氩离子激光泵浦的连续波染料激光选择性激发钠原子, 观察到钠原子  $3s-5s$  态的双光子跃迁。激发波长为  $6022.3$  埃 (相当于  $3s-5s$  态跃迁频率的一半)。可调谐染料激光在选定的波长范围内输出功率低于  $1$  毫瓦, 带宽为  $0.5$  埃。

## 一、引 言

自从1970年 L. S. Vosilenko 等人<sup>[1]</sup>提出了双光子跃迁对于无多普勒加宽的高分辨光谱学的应用潜力之后, 于1974年由美国的斯坦福大学等三个研究小组<sup>[2~4]</sup>分别地首次观察到无多普勒加宽的双光子跃迁。近年来在这一领域内获得了新的进展<sup>[5]</sup>, 很多实验室相继地开展了这方面的研究工作。这是因为基于双光子(或多光子)跃迁的无多普勒加宽的高分辨光谱学已成为非线性激光光谱学中具有实际应用意义的学科分支, 并将在原子物理、激光化学、结构分析化学、物理化学等方面获得应用。此外, 利用双光子跃迁以及分步激发, 得以对原子的高激发态, 特别是里德堡(Rydberg)态进行研究。很多研究工作表明, 某些原子的高激发态具有很长的辐射寿命, 具有很大的离化截面。因此这一优异的激发机制已成功地应用于同位素的分离, 核异构体和某些稀有元素的纯制以及单原子的检测上。

我们从现有的激光器件水平和其他实验

条件出发, 开展了钠原子蒸气的双光子跃迁的实验工作, 目的在于通过这一工作积累一些激光光谱资料, 并建立起必要的实验条件, 为深入一步的激光光谱以及激光分离同位素等方面的研究工作打下一定基础。

钠原子的能级图和双光子跃迁的激发方案示于图1。通常, 从基态  $3s$  到  $5s$  态或从  $3s$  态到  $4d$  态达到双光子吸收, 使  $5s$  或  $4d$  态集居, 接着  $5s$  或  $4d$  态的粒子伴随着辐射可见荧光跃迁到  $4p$  态, 再由  $4p$  态辐射紫外荧光而返回到基态  $3s$ 。

在我们的实验中通过检测  $4p$  到  $3s$  态

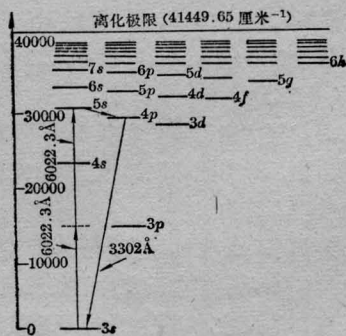


图1 钠原子能级图

收稿日期: 1979年1月3日。

的紫外荧光,观测了 $3s$ 到 $5s$ 态的双光子吸收。

## 二、实验和讨论

在本工作中所使用的连续波染料激光器是我所与兄弟单位协作共同研制的,其中氩离子激光器是我所研制的。氩离子激光器的最高输出功率为 $7\sim 8$ 瓦,我们使用的功率一般为 $3$ 瓦左右。连续波染料激光的调谐元件是双折射滤光片,由于我们使用的泵浦功率较低,调谐范围仅 $200$ 埃左右( $5800$ 埃到 $6000$ 埃),调谐后的带宽为 $0.5$ 埃。观测双光子跃迁的实验装置示意图见图2。实验过程中利用民主德国卡尔蔡司厂(Carl Zeiss)出品的GDM-1000型光栅单色仪监测染料激光输出波长,仪器的分辨率为 $0.5$ 厘米 $^{-1}$ 。我们采用的钠蒸气发生装置是一个接有排气台的石英管式炉,其结构见图3,石英管内径 $16$ 毫米,钠池深 $30$ 毫米,通激发光长度 $160$ 毫米,通荧光长度 $50$ 毫米,钠投入管长度 $100$ 毫米。为防止钠蒸气对通光窗口的污染,在窗口附近均采用循环水冷却。接收器是GDM-1000型单色仪的备用光电倍增管。为

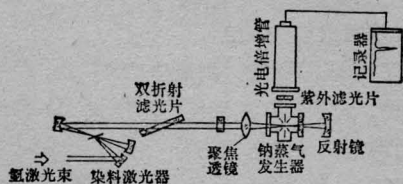


图2 钠双光子跃迁实验装置图

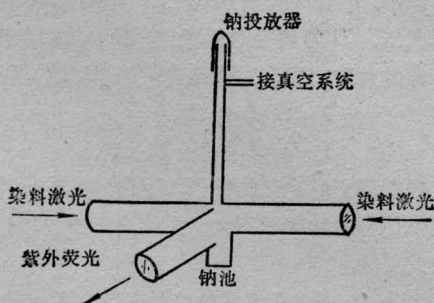


图3 钠蒸气发生装置

了消除激发光和其他杂散光对接收信号的干扰,我们在光电倍增管前加了一片滤光片(通带 $3000$ 埃至 $4000$ 埃,在 $3303$ 埃处透过率为 $34\%$ ),并采取了其它屏蔽措施。

为了获得可靠的实验结果,我们在实验过程中反复验证激发光和其他杂散光对待测信号可能造成的干扰。在此基础上把染料激光的输出调谐到所要求的波长 $6022.3$ 埃(相当于 $3s-5s$ 跃迁频率的一半),并且通过焦距为 $130$ 毫米的透镜把它聚焦到钠炉的作用区,接着把钠炉加热(此时钠炉的真空度高于 $1\times 10^{-4}$ 托),随着钠炉内温度升高,作用区的气压开始上升,表明已经开始发生钠蒸气。这时微调激光腔内的双折射滤光片,使染料激光的输出在 $6022.3$ 埃附近缓慢地扫描,当钠炉温度上升到 $250^{\circ}\text{C}$ 时,在记录器上就显示出很锐的信号,然后我们把激光输出在离开 $6022.3$ 埃的区域内进行调谐,结果无论在长波侧或短波侧都没有信号,然而当我们重新把染料激光调到 $6022.3$ 埃时,信号又重新出现(见图4),这样就断定记录器上所显示的信号是我们观测的由 $3s-5s$ 跃迁而辐射的紫外荧光(波长为 $3303$ 埃),从而确认了我们观测的可靠性。这一实验完成之后,我们试图观察 $3s-4d$ 的双光子跃迁,实现这一跃迁所要求的激发波长为 $5787.3$ 埃。遗憾的是,我们所用的染料激光在这一波长范围光强已经很弱,而且出现脉动,因此,目前还没有观察到 $3s-4d$ 的双光子跃迁。

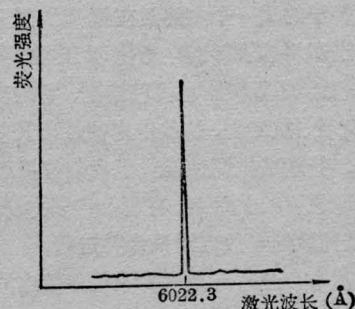


图4 双光子跃迁紫外荧光记录谱图

此外, 我们的实验装置上虽然已经造成了两束传播方向相反的激光光束同时作用到钠炉的作用区(在钠炉的通光窗口的另一端放置一个焦距为 110 毫米的球面反射镜), 但是这只能增强所需要的荧光信号, 而不能获得无多普勒加宽的双光子跃迁。因为我们目前所用的染料激光带宽为 0.5 埃, 而为了获得无多普勒加宽的双光子跃迁, 需将染料激光的带宽压缩到  $10^{-3}$  埃, 此外聚焦透镜和球面反射镜应该匹配, 并且具有精细的、稳定的微调机构, 以便尽可能使两束传播方向相反的光束接近于同轴。

总之, 我们的实验工作表明, 现有的激光器件已经能够进行诸如双光子吸收光谱的观测, 但是为了开展无多普勒加宽的超高分辨光谱学和高激发态光谱学方面的研究, 还必

须在激光器件的水平上进一步提高(如提高输出功率, 精细调谐, 扩展调谐范围, 提高器件稳定性能), 并在弱荧光信号的探测器及低密度的电离离子的检测方面开展相应的工作。

### 参 考 文 献

- [1] Л. С. Василенко, В. П. Чеботаев и др.; *Письма в ЖЭТФ*, 1970, **12**, №3, 161~165.
- [2] T. W. Hänsch, K. C. Hervey *et al.*; *Opt. Commun.*, 1974, **11**, 50.
- [3] F. Biraben, B. Cognac *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1974, **32**, 643.
- [4] N. D. Levenso, N. Bloembergen; *Phys. Rev. Lett.*, 1974, **32**, 645.
- [5] V. S. Letokhov; *Science*, 1975, **190**, No 4212, 344~351. *Optics and Laser Technology*, 1978, **10**, No 1.

## He-Ne 管制造工艺中的几点改革

为确保 He-Ne 管的使用寿命, 我们对 250 毫米长内腔式 He-Ne 激光管的制造工艺作了几点改革。

### 1. 严格检查玻璃质量

玻璃与钨杆的封接件, 一般称为玻璃珠。玻璃与钨杆的结合部, 是空气漏进管子的两个主要潜在渠道之一。根据封接理论和实践经验, 我们总结了检查玻璃质量是否合格的四条标准: (1)氧化钨膜层颜色正常, 最好是棕红色, 金黄色也可以; (2)氧化钨膜层及其附近无气泡; (3)氧化钨膜层无起层及龟裂现象; (4)钨杆表面无纵向沟纹, 钨杆内部无裂纹。

### 2. 采用新型粘结剂

粘结反射膜片的环氧有机粘结剂所在部位, 是空气漏进管子的又一个主要潜在渠道。经过试验, 我们选用了四川富顺的晨光化学工业研究院的 CGY-331 光学环氧树脂有机粘结剂, 它的真空密封性、抗老化性、抗潮性、抗放电腐蚀性以及机械强度都比较好, 特别是抗潮性能优于我们曾采用过的其他型号的环氧有机粘结剂, 有利于管子寿命的提高。

### 3. 玻壳除气与放电清洗合并进行

老工艺中, 通常是把玻壳除气与放电清洗分别先后进行的, 从而使一部分杂质附着在玻壳上。我们的方法是: 在进行玻壳除气的过程中, 烘箱温度维持

在  $350\sim 380^{\circ}\text{C}$ , 此时同时充入 He 气, 对铝电极和毛细管进行放电清洗处理。充 He 气压一般为 6~9 托, 放电电流为 20~30 毫安, 每次处理时间 3~5 分钟, 反复充气, 反复放电处理数次。这种方法克服了一部分杂质附着于玻壳壁上的缺点, 能较彻底地除去管内的杂质。

### 4. 修正最佳充气值

为了使 He-Ne 管达到最佳功率输出, 有一个最佳充气值。对于 250 毫米长的内腔式 He-Ne 激光管, 实验得出其最佳充气值为:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{He}} \cdot P_{\text{Ne}} &= 7:1 \\ P \cdot D &= 3.6 (\text{托} \cdot \text{毫米}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中,  $P_{\text{He}}$ 、 $P_{\text{Ne}}$  为分气压,  $P$  为 He、Ne 混合气的总气压,  $D$  为放电毛细管的内径。我们从提高管子寿命的角度出发, 对最佳充气值(1)式作了修正:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{He}} \cdot P_{\text{Ne}} &= 9:1 \\ P \cdot D &= 4.0 (\text{托} \cdot \text{毫米}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

根据修正后充气的管子, 下台时的输出功率既偏离最佳输出功率值不大, 又能达到适当增长管子寿命的目的。

(重庆光学机械研究所 殷一贤)