

# 真空紫外惰性气体放电光源

关志远 赵振武 张宝光

## 一、引言

通常用于红外、可见和近紫外光谱区的各种热辐射源以及普通激发原子谱线的线光谱光源均不适于真空紫外光谱区。

本报告介绍了我们用直流高压激发充氩以及惰性气体的毛细管辉光放电得到强线谱光源。此光源可产生从900到1650埃氩分子线谱和1670到3000埃的氩分子连续谱，以及氩、氦等惰性气体原子共振线和一次电离的强线谱。另外，用电容火花放电激发此光源能产生氩的高次电离谱Ar II、Ar III、Ar IV、Ar V、Ar VI和Ar VII等（Ar I表示氩原子线，Ar II、Ar III等分别表示一次和二次电离线）。于是，该光源可在正入射真空紫外光谱区（500到2000埃）获得数百条各种不同气体的光谱线（包括氮、氧和碳的杂质线）。

线光谱不仅可以用于光谱仪器的波长标定，还可以用于光电子谱实验和各种光化学实验等。

## 二、光源结构及实验装置

我们采用类似Hunter型毛细管放电光源<sup>[1]</sup>。为了增加辉光放电的辐射强度，需要限制放电在窄的毛细管内进行，并使辐射沿毛细管轴向输出。毛细管由耐高温的石英玻璃制成，并通水冷却。光源采用外电极结构，阴极和阳极用纯铝制成，圆筒形，且全部通水冷却。阴极内表面进行氧化处理。电极和毛细管之间以及阳极和单色仪之间均用O型圈密封。光源结构如图1所示。

高纯氩、氦和氖等工作气体从光源阴极端入气口通入，并用微调针阀调节进气量。气体经真空紫外单色仪入射狭缝，从仪器的主体排气系统抽出，也可以专门从阳极侧面的排气口用泵抽出。

光源内的气压用排气口端的热偶真空计测量。光源的实际气压值要大于测量值。

激发电源是实验室自装的直流负高压电源以及无外部火花间隙的电容火花放电电源（图2）两种。两种电源的接法都是使光源的阳极接地。

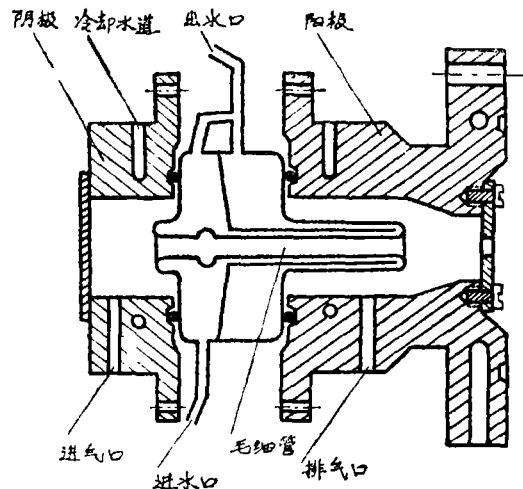


图1 惰性气体放电灯草图

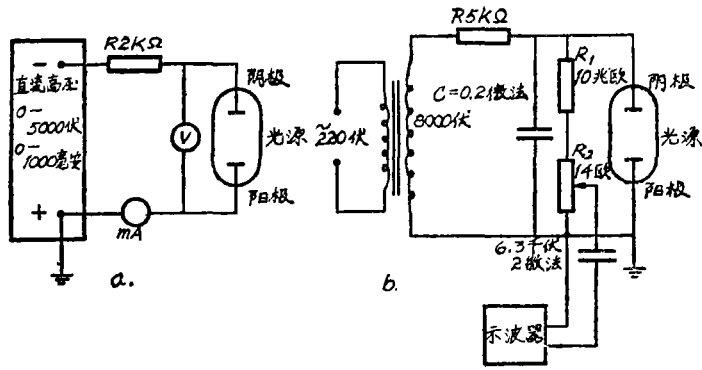


图2 电源草图

(a) 直流负高压电源 (b) 电容火花放电电源

在做光谱测量时，使用的单色仪是法国 Beaudouin 公司制造的 1 米正入射 Vodar—Romand 型真空紫外单色仪，光栅为表面镀铝的 1200 线/毫米凹面光栅。单色仪工作波段是 00 到 3000 埃，在 3000 埃处的分辨率为 0.5 埃（单色仪入射和出射狭缝为 20 微米时）。接收系统使用水杨酸钠荧光涂层加 GDB—23 光电倍增管，然后经直流放大器，再由记录仪记录光谱图。

### 三、光源毛细管尺寸及激发条件的最优化实验

我们对两种长度 ( $l=12, 18$  厘米) 且三种不同内径 ( $\phi=1.5, 3, 5$  毫米) 的六个毛细管分别充以氢气以及氦、氩等惰性气体，做了下述两个方面的实验，以便确定光源毛细管的最优尺寸和激发的最佳工作状态。这些实验包括：(1) 光源的着火电压  $U_0$  与充气压力  $P$  的关系。(2) 在不同光源充气压力时，光源的伏安特性曲线。

光源充以氢、氦和氩气时，不同气压下的着火电压曲线在图 3 给出。可以看出，每种工作气体都存在一个最低着火电压的气压值。当气压高于或低于该压力值时，光源的着火电压都将增大。毛细管内径对着火电压影响较大，毛细管愈细，着火电压愈高。毛细管的长度对着火电压的影响不明显，因为辉光正柱区的电位梯度很小，每厘米只有几伏量级。

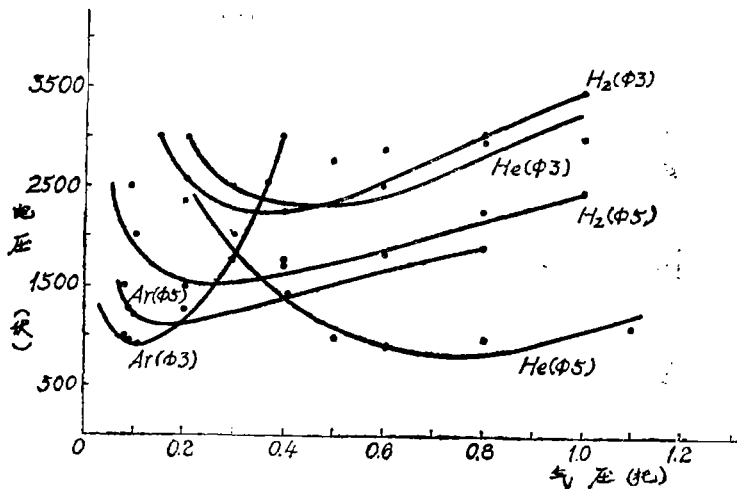


图3 光源充气压力与着火电压的关系

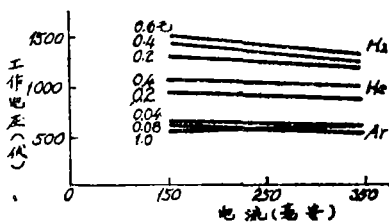


图4 放电灯的伏安特性曲线  
(放电灯  $l=18$  厘米,  $\phi=3$  毫米)

图4给出了毛细管放电灯在充氢、氦和氩气,用直流高压激发时的伏安特性曲线。可以看出,在直流100到400毫安范围内,放电灯的管压降基本保持不变,即灯工作在正常辉光放电区。在这个发光区,阴极没有全部用于发射,用于发射的阴极面积正比于放电电流。故阴极上的发射电流密度为一常数。要想得到大的发射电流,必须加大阴极表面面积。

在上述状态下工作的灯,辉光正柱区充满整个毛细管,并且它是辐射的主要来源。在正柱区内,正的和负的带电粒子数相等,称为等离子体区。在等离子体区电子数密度可达 $10^{10} \sim 10^{12}$ 个/厘米<sup>3</sup>。因自由电子数多,相互间的排斥力使电子能量减少。但另一方面,由于在等离子体区内有同等数量的正离子掺合着,这种电子间的排斥力会大大减弱。这样,电子在与原子或离子碰撞时,能使更多的原子和离子激发,产生较强的共振辐射。

通过实验可以断定,放电灯毛细管内径从1.5到5毫米,长度从12到18厘米范围均可得到较好的效果,不同工作气体的最佳充气压各不相同。

#### 四、光谱测试

当放电灯充以氢气并用直流高压激发时,在900到1650埃之间得到了连续弱背景上迭加的尖锐氢分子光谱线以及lyman线系原子共振线1215.7, 1025.7和972.5埃,其中1000到1400埃如图5所示,在1670到3000埃有氢分子的连续谱和迭加的光栅二级衍射线。分子氢没有给出特征分子带状光谱,因为氢分子振动能级间距与转动能级间距没有明显差别。

用直流高压激发氩时,除了得到很强的Ar I 1048.2和1066.7埃以及较强的Ar II 919.8和932.1埃以外,还有十多条Ar I线及三十多条Ar II线,但并未发现氩的二次以上电离线,而一次电离线Ar II和原子线Ar I相比弱得多。该测量是从1100埃到500埃每间隔100埃分段进行,

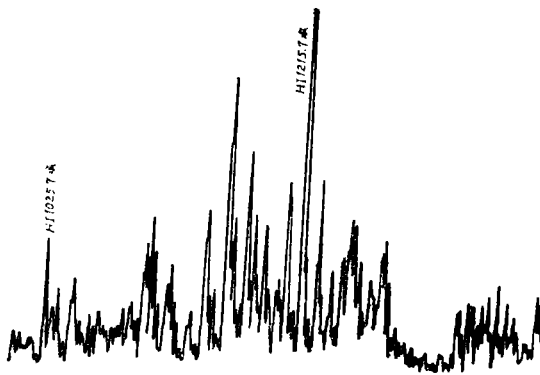


图5 氢分子光谱  
(毛细管  $l=18$  厘米,  $\phi=5$  毫米;  
 $I=200$  毫安,  $P=0.1$  托)

每段测量都依次增大单色仪的出射狭缝宽度。由于受单色仪工作波段的限制,氢线谱只测出He I 584.3, 537.0, 522.2, 515.6和512.1埃。He II即便测出,但强度很弱。如图6和图7所示,给出了直流高压激发的氩和氦线光谱图。

在一定气压下,我们测量了光谱线强度与直流通电电流的关系。从图8可以看出,除了少数几条强原子共振线因放大器饱和不明显外,大部份原子线及电离线的强度随放电电流的增加而线性增加。因为电流强度直接反映电子数的多少,电子数多,则电子与原子或离子间的碰撞几率就增多,因而受激原子或离子数亦增多。

在固定直流通电电流为300毫安时,我们测量了Ar I、Ar II的强线及H的L<sub>α</sub>线强度随



发，而电子与正离子的复合几率就增大，即复合发光机会变多，所以分子连续谱随气压升高而变强。

为了获得氩的高次电离光谱线，在放电灯充低压气体时通过电容火花放电进行激发。我们采用类似 P. Lec<sup>[2]</sup> 的电容火花放电源（图 2）。当线路参数取  $c = 0.2$  微法，限流电阻  $R = 5$  千欧姆，并且调整放电重复率为 100 周/秒，击穿电压为 3200 伏时，对 18 厘米长，3 毫米内径的毛细管充  $1.8 \times 10^{-2}$  托氩气。这时，在 1000 埃以下光谱区得到非常密集的电离线 Ar II、Ar III、Ar IV 和 Ar V。光谱线的识别主要借助 R. L. Kelly<sup>[3]</sup> 的各种元素真空紫外发射线表。

从实验看出，电离谱线与电源的线路参数关系很大。电离程度不仅与击穿电压有关，而且与放电电容量及线路电感有关。根据激发能量  $E = \frac{1}{2}cV^2$  这一公式，要尽量选取大的  $c$  和  $V$  值。当电源参数选为  $c = 0.47$  微法， $R = 10.8$  千欧姆，放电重复率选为 100 周/秒，击穿电压升高到 5000 伏，且光源毛细管长 12 厘米，内径 1.5 毫米，充  $1.5 \times 10^{-2}$  托氩气时，在 440 到 900 埃得到了更密集的光谱线，其中 450 到 560 埃的光谱在图 10 中给出。此时，高次电离氩线变强，并且可以出现明显的 Ar VI 和 Ar VII 电离谱线。

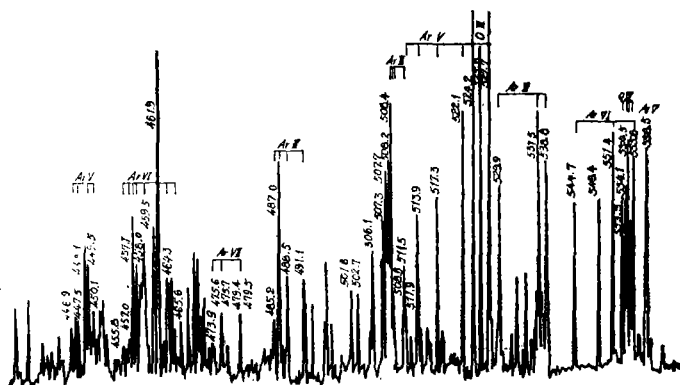


图10 氩火花谱

(毛细管  $l = 120$  毫米， $\phi = 1.5$  毫米， $P = 1.5 \times 10^{-2}$  托， $c = 0.47$  微法， $R = 10.8$  千欧姆， $V > 5000$  伏，放电重复频率 100 次/秒)

在用电容火花放电激发惰性气体辉光放电灯时，可通过示波器观察火花波形。并且通过调整光源的充气使波形稳定。当气压低时，放电次数减少，此时激发电压升高。如果调整到两个半周都有数次放电，则对接收系统干扰很大，以至无法进行光电测量。而且两个半周放电并不对称，这是由电极的不对称造成，即电极间隙导通只有一个方向是优先的。实验确定，只有每负半周为 1 到 4 次/秒的火花放电（图 11）才能得到稳定的光源输出。

用电容火花放电激发此类光源的最大缺点是稳定性差，阴极溅射比较严重，容易造成单色仪狭缝和光栅的污染。为克服这个缺点，可在光源和单色仪狭缝之间加一永久磁铁<sup>[4]</sup>，使带电粒子偏离开光输出方向。在设计加工新光源时我们已采纳这个方案。

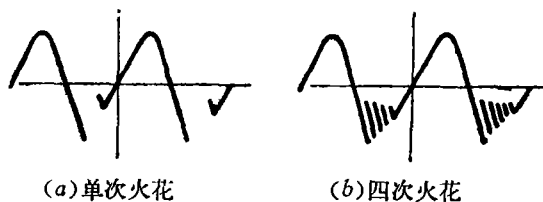


图11 具有稳定光源输出时的电容火花放电电波形

[附记]

吉林大学八二届物理系毕业生马辉和李萍同学在毕业设计时参加其中的电容火花放电激发氩高次电离谱工作。

### 参 考 文 献

- [1] J. A. R. Samson, «Techniques of Vacuum Ultraviolet Spectroscopy», Wiley, New York, 1967.
- [2] P. Lee, G. L. Weissler, J. O. S. A., 1952, 42, 2 80.
- [3] R. L. Kelly, "Vacuum Ultraviolet Emission Lines", UCRL 5612
- [4] W. R. Hunter, "Proceedings of X<sup>th</sup> Colloquium Spectroscopicum Internation", Spartan, Washington, 1963, 247.