

911A 型中空阴极离子源的改进

王志刚 方渡飞 施 伟 吴松茂

(复旦大学 上海 200433)

摘要 对从丹麦进口的 911A 型中空阴极离子源进行了重新设计, 经多次出束调试及改进, 离子源部件已基本国产化。气体束可达到 10^{-5} A; 固体束最大可达到 10^{-6} A, 一次填料可持续稳定地工作 5h 左右。

关键词 中空阴极离子源, 离子束流

1 离子源工作原理

我们使用的 DANFYSIK 1080-30 型同位素分离器能提供能量为 0-30keV 的各类单电荷离子束, 其中所用的离子源是 911A 型中空阴极离子源, 其结构如图 1 所示

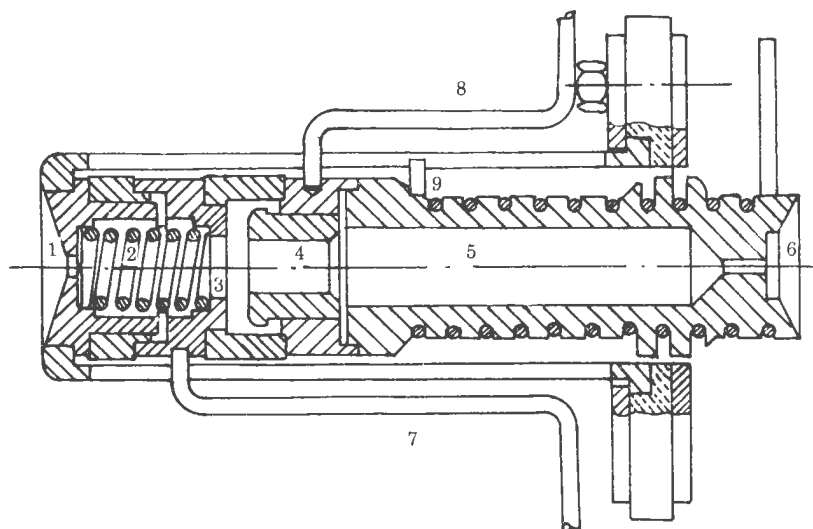


图 1 911A 型中空阴极离子源结构示意图

1. 阴极, 2. 灯丝, 3. 放电室, 4. 阳极, 5. 蒸发炉, 6. 进气管, 7. 灯丝电极, 8. 阳极电极 9. 蒸发炉电极

Fig. 1 Schematic drawing of 911A hollow cathode ion source

1. Cathode, 2. Filament, 3. Discharge cell, 4. Anode, 5. Oven, 6. Gas inlet, 7. Filament electrode, 8. Anode electrode, 9. Oven electrode

911A 型中空阴极离子源的工作原理是: 灯丝加热发射电子, 电子在由灯丝形成的空腔中与气体原子 (对固体物质则是经炉子加热后的气化物) 碰撞, 使其电离。当空腔中产生等离子体时, 阳极与灯丝之间的电位差完全落在灯丝附近的 No 等离子鞘上, 使电子在等离子体中作往返运动。此时, 在空腔中心的等离子体密度最高。整个离子源部分浮在 0-30kV 连续可调的电位上, 空腔中心的正离子被处于地电位的引出极引出, 引出的离子经静电单透镜聚

焦后再由双聚焦型 90°磁分析器进行质量分析, 提供单一质量数的单电荷正离子束。

2 离子源的国产化研究

原 911A 型离子源部件极易损耗, 安装麻烦, 而且进口价格昂贵。为了满足实验的需求, 我们借鉴美国橡树岭国立实验室对该离子源改进的成功经验^[1], 完成了对离子源的改造。除了阳极和限流孔的钨片外, 其余部分均已国产化。测量条件为: 引出的束流飞行约 6m, 经过一个 3mm 的限流孔到达法拉第筒。实验结果表明, 气体束 ($^{40}\text{Ar}^+$, 30keV) 最大可达到 3×10^{-5} A, 固体束 ($^{138}\text{Ba}^+$, 30keV) 最大可达到 8×10^{-6} A, 在一次填料的情况下可持续工作 5h 左右, 满足了我们实验的要求。

2.1 离子源的改进

改进后的离子源结构如图 2 所示。

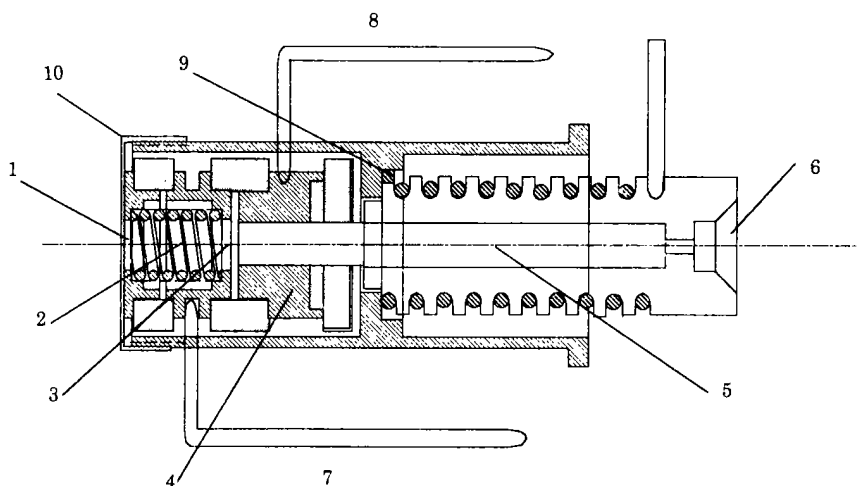


图 2 改进后的离子源结构图

1. 阴极, 2. 灯丝, 3. 放电室, 4. 阳极, 5. 蒸发炉, 6. 进气管, 7. 灯丝电极, 8. 阳极电极, 9. 蒸发炉电极, 10. 套筒帽子

Fig. 2 Schematic drawing of the improved ion source

1. Cathode, 2. Filament, 3. Discharge cell, 4. Anode, 5. Oven, 6. Gas inlet, 7. Filament electrode, 8. Anode electrode, 9. Oven electrode, 10. Cap

2.1.1 在整体结构上, 新型离子源采用炉子与阳极、灯丝分体安装的结构。以前在安装旧离子源时, 需先将灯丝帽、灯丝、灯丝底座 (图 1 中的 1, 2, 3) 装成一个整体, 然后从底部依次将灯丝、阳极、炉子装入; 最后将离子源安装在底座上, 再接上各个电极。如出现阳极短路或灯丝断路, 必须全部拆掉重新安装。改进后的离子源安装时, 先将套筒和炉子安装在底座上, 然后将阳极、灯丝等依次装入套筒, 最后由带螺纹的套筒帽将灯丝压紧, 因此如重新安装灯丝或阳极时, 只须打开套筒帽进行操作, 而不必全部拆掉重装。因此, 与旧离子源相比, 在安装上要方便得多。

2.1.2 由于灯丝要承受很大的电流 ($\sim 20\text{A}$), 因而以前经常出现灯丝引出电极烧结或断路的现象。我们将灯丝电极由原来的单根钽丝的点接触改为由一条钽片的面接触。同时对灯丝底座也作了相应的改进, 这样, 灯丝与电极的接触电阻大为降低, 而且不易烧结。

2.1.3 现在使用的钽钨灯丝发射电子能力比一般纯钨灯丝强, 因此正常工作状态时的灯丝电

流比以前低 2–3 A, 而且较以前更容易激发。往往将灯丝电流加至 20 A, 然后放入氩气至 5×10^{-3} Pa, 不必加大电流冲击即可自行激发。

2.1.4 我们设计的新型炉子在总长度上比原来的增加约 1/3, 内径也比以前的大, 这样就可以装更多的填料, 束流持续时间也可以更长。

2.2 大束流的获取

2.2.1 离子源放电室各部件之间以及它们与蒸发炉之间必须有很好的气密性, 否则蒸发出的气体或氩气将通过部件之间的缝隙漏到放电室外, 这样就难以维持正常的放电条件, 会降低离子输出效率。我们在蒸发炉的进气口和近放电室端口处放置适量的石英棉, 一方面防止抽真空时炉子内填料被抽出, 另一方面也使二者之间有了很好的气密性。

2.2.2 炉子内所用的填料一般是具有很强吸湿性的氯化物, 它们很容易吸收空气中的水分而形成水合氯化物 ($RCl \cdot mH_2O$), 在抽真空时形成极难挥发的氯氧化物 ($R(ClO)_n$), 使填料的使用效率降低。因此, 出束前需要在真空环境中将离子源的炉子通以 2–3 A 的电流烘烤几个小时, 以脱去结晶水。另外, 我们在烘烤过程中还通以适量氩气流, 这样既利于将水分抽出, 又可有效地防止氯氧化物的形成, 还可防止烘烤造成的填料烧结导致气流不畅。

根据我们的经验, 在出束前 2–3 h 内将灯丝电流逐步加到 20 A, 等真空抽到 6×10^{-4} Pa 左右再出束, 可以避免由于灯丝大电流时大量放气造成的工作不稳定和高压打火短路等现象的发生。这样激发后的离子源往往可以很快进入正常工作状态。

2.2.3 离子源内部等离子体放电是一个很复杂的过程, 因此在了解离子源的基本行为上目前还存在一些问题。但我们在大量实践的基础上, 已摸索到较佳的放电条件。

我们发现在出束时离子源阳极电流在约 0.2 A 和 1 A 处工作状态较稳定 (称为“鞍点”), 通过调节阳极电压、灯丝电流、氩气流等参数, 将阳极电流调至鞍点处, 就可以达到离子源的稳定工作状态。在 1 A 的鞍点处, 灯丝电流一般在 20 A, 阳极电压 40–50 V, 出气体束时调节气流量使真空度为 ~ 5 mPa; 出固体束时为 1–5 mPa, 因为出固体束时一方面需要适量的气流维持正常放电条件, 另一方面适当减小气流, 有助于减少氩气与固体蒸气之间的放电竞争, 可获得较大的固体束流。

参 考 文 献

1 Pegg D. University of Tennessee at Knoxville and ORNL (Private communication)

Improvement of 911A hollow cathode ion source

Wang Zhigang Fang Dufei Shi Wei Wu Songmao
(Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract

After many tests the 911A hollow cathode ion source was redesigned and rebuilt. Now it is much easier to maintain than the original model. For gaseous materials the maximum beam current can reach to the order of 10^{-5} A, while for solid matters to the order of 10^{-6} A. The beam current is fairly stable and able to last for about five hours.

Key words Hollow cathode ion source, Ion beam current