

S AND
PING

一个小型弧放电离子源

白 桂 彬

(北京师范大学低能核物理研究所)

摘 要

文中介绍的小型弧放电离子源,运用了弧放电及电子振荡相结合的原理,对源的一些基本参量及它们之间的变化关系进行了部分测量。引出离子流为 7 mA。它能产生多电荷离子。它的引出结构与高频离子源通用。此源在北京师范大学的 400KeV 离子注入机上得到了应用,运行稳定。

一、源的结构特点

这个小型弧放电离子源是综合了弧放电离子源和高频离子源及潘宁放电离子源的一些特点研制成的。此源与 Meyrand and Brown^[1] 报道的离子源的结构有几点不同: ①它是冷阴极;②阳极与两个阴极之间的电位不等,两个电压可分别调节;③引出结构与高频离子源通用,并有绝缘法兰及屏蔽。源的总体结构表示在图 1 中。

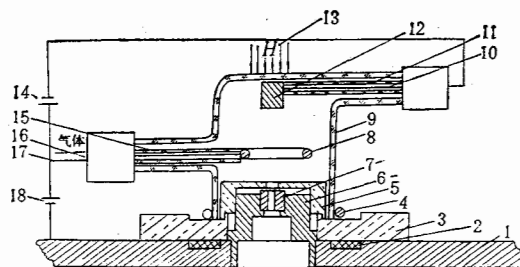


图 1. 小型弧放电离子源结构图

①法兰, ②橡皮, ③绝缘法兰, ④橡皮密封圈, ⑤屏蔽罩, ⑥吸极座(铁质), ⑦吸极 (LaB_6), ⑧阳极, ⑨石英玻璃放电室, ⑩对阴极引线, ⑪对阴极屏蔽管, ⑫对阴极, ⑬轴向磁场, ⑭对阴极电源, ⑮阳极屏蔽管, ⑯进气口, ⑰阳极引线, ⑱引出电源。

图 1 ⑩是钨质的环形阳极。图 1 ⑦是引出极,它起两个作用:一是作放电阴极;二是作为引出极。图 1 ⑧是对阴极,两个阴极都是由 LaB_6 构成,选用此种材料的原因是 LaB_6 的电子发射系数大,当然选用其他金属也可以。引出极与阳极之间的电位由电源图 1 ⑱调节。阳极与两个阴极之间的电位,可以相等,也可以不等。图 1 ⑨是石英玻璃放电室。图 1 ③是绝缘法兰。图 1 ⑤是屏蔽罩。由于石英材料耐热、绝缘,使用它减少了漏电流及

击穿现象；另一方面，由于石英复合系数小，使等离子体中的电子及离子得到较充分的利用。沿阳极及两个阴极的轴向设有一个 E 形电磁铁图 1 ④，磁力线通过铁质吸极座及铁质法兰图 1 ④ 构成回路，磁场强度在 0~4000 高斯之间连续可调。使用时，根据源的其他参量选择合适的数值。源的工作物质(气体)由图 1 ④ 处通入，进气量由一个针形阀门调节。引出系统与使用中的高频离子源通用^[2]，吸极可调高低。两种离子源在北京师范大学的 400KeV 离子注入机上可以交替使用。由于功率消耗小，靠自然冷却，橡皮密封即可。

二、实验结果及使用情况

利用以上结构用 8 种气体作为源的工作物质进行了工作，引出了它们的离子束，并对源的一些参量及参量间的变化关系进行了部分测试。

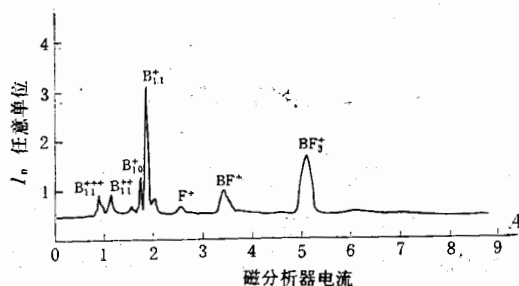


图 2 BF_3 的离子质谱

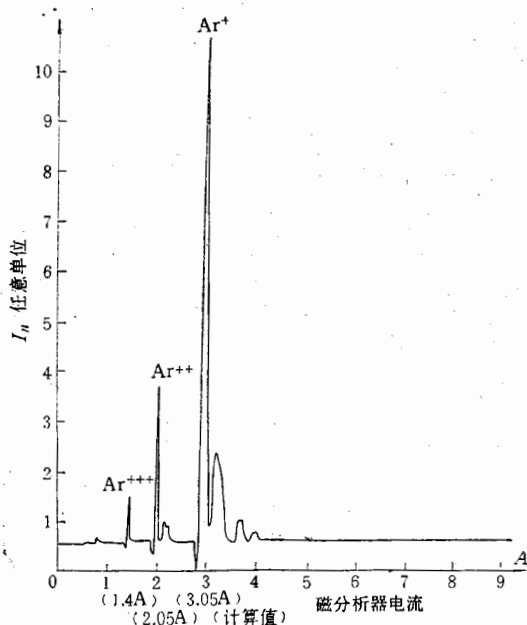


图 3 Ar 的离子质谱

1. 作
而异,一
2. 产
在谱中的
3. 次
①
的变化关
②

从图
佳值是不
的最佳值
最佳值,注
子束方面

到较充分的利用，根据源的其他个针形阀门调北京师范大学密封即可。

离子束，并对

1. 使用的 8 种气体是： BF_3 、 BBr_3 、 PCl_3 、 N 、 O 、 Ar 、 H 、 He 。引出离子流强度随气体而异，一般在 $1\sim 7\text{mA}$ 。 BF_3 和 Ar 的离子质谱展示于图 2 及图 3 中。

2. 产生并引出了多电荷离子。从图 2 和图 3 可以清楚地看出，带不同电荷数的离子在谱中的位置与理论计算相符。

3. 对几个基本参量的测量及观察结果：

① 引出离子流强度 (I_n) 与引出电压 (V_p) (即阳极环与引出阴极之间的电压) 之间的变化关系的测量结果展示于图 4 中。

② 引出离子流强度随弧压 (V_{arc}) 的变化关系的测量结果展示于图 5 中。

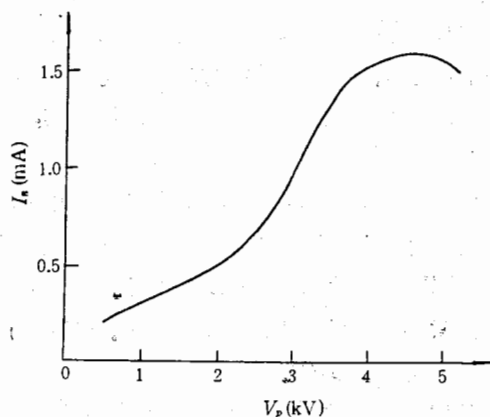


图 4 $I_n \sim V_p$ 的关系曲线

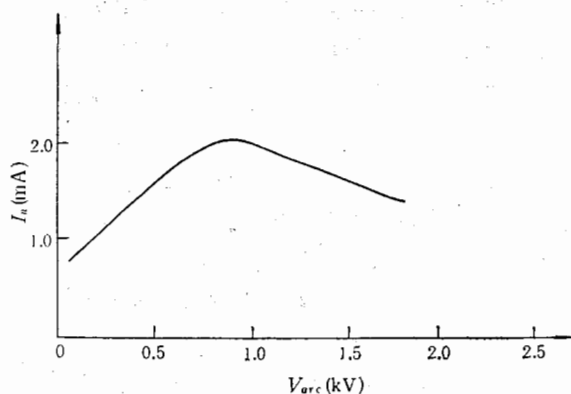


图 5 $I_n \sim V_{arc}$ 的关系曲线

从图 4 和图 5 可以看出，当引出离子束流最大时，引出电压 V_p 和弧压 V_{arc} 两者的最佳值是不一致的，引出电压的最佳值是 4kV 以上，而弧压（即阳极与对阴极之间的电压）的最佳值是 1kV 以下。这就说明，阳极对两个阴极的电压，应分别调节，而且都可调至最佳值，这对引出离子束流有好处。两个电压也可以调至相等，但在引出离子流及形成离子束方面不一定最佳。所以，根据该源的结构特点，采用了两个电压不等的方式。

③ 轴向磁场的变化对引出离子流及放电情况影响是很显著的。

由于此源结构上的特点,调节进气量,保持放电室内适当的气压,不加磁场,也不加阳极与对阴极之间的电压,只加阳极与引出极之间的电压,这时也能引出 0.5mA 左右的离子流。进气量再减小或增大,引出离子流都要降低,以至到零。

加上轴向磁场后引出的离子流有明显提高。在不加磁场而刚刚能维持放电的条件下,如弧压和引出电压都加上,只能引出 0.2mA 的离子流。这时再加上磁场,引出离子流为 6~7mA,离子流强度提高 30 倍。同时也因气耗的减少,减轻了真空泵的负载,对束流传输等都有好处。

由于采用了石英放电室,放电现象可以直接观察。当磁场强度由弱逐渐增强时,放电区则在阳极与两个阴极的中心轴线的周围区域由粗变细,形成一个亮柱(等离子体柱),直至被聚到不大于 $\phi 5\text{mm}$ 的直径内。这个柱形的放电区,是因为两个 LaB_6 阴极发射的大量电子和等离子体中的部分电子被磁场约束在这个区域做往复运动(振荡),电离气体形成的。

磁场将等离子体约束在 $\phi 5\text{mm}$ 的中心轴线的区域,其他区域不亮,说明那里电离不充分,这就造成了主电离区与非主电离区(暗区)有一个较大的温度梯度,柱形等离子体中的热量向放电室壁的传递就差,这有利于放电室的冷却。

④ 引出的离子束的横截面(一个方向)的密度分布。测量的结果是中间离子密度大,四周密度小,密度大的部分分布是均匀的。

⑤ 这个离子源的发射度测量结果是 150~200 毫米毫弧度。

⑥ 气耗 18~180CC/每小时。在这样的气耗下能正常工作,说明离子源对气压的适应范围较大。

⑦ 总耗功率不超过 300 瓦,所以靠自然冷却即可,不需专设冷却装置。

⑧ 寿命长。这里说的寿命,是指每清洗一次后可连续或累计工作的时间。

a. 利用 BF_3 、 PCl_3 、 BBr_3 、Ar、He、H 等几种气体轮换工作,累计时间在 200 小时以上。

b. 利用 He、H、Ar 等某一种单一的气体,每次工作时间要大大超过 200 小时。

寿命长,工作稳定,为实际的运行提供了方便。

4. 使用情况及其与原有高频离子源的比较。

① 使用情况。此源已在北京师范大学的 400KeV 离子注入机上投入使用,进行了离子注入,运行稳定。

② 与原有高频离子源的比较。我校原有的高频离子源,有其特点,而这个小型弧源与原高频离子源相比又有以下几点长处:

a. 引出离子流有提高。由于此源的吸极可以放到支撑它的法兰的位置上(图 1-1),吸极的端面就向下移 20~25mm,缩短了离子出吸极口后的漂移距离,离子一出吸极口就进入高真空区,马上得到聚焦和加速,再加其他条件,使此源引出的离子流比高频离子源提高 $\frac{1}{2}$ 倍。

b. 这个源能产生多电荷离子。除了单电荷离子外,还有带两个电荷和三个电荷的离

子。原高频离子源利用同样的装置及仪器,多年来未测出多电荷离子。

c. 此源不用高频振荡器,消除了高频对电子仪器的干扰,避免了高频对人体的损害。

用高频离子源时,发射度测试仪不能正常工作,有时还影响其他房间内的精密电子仪器的正常工作。而在同一个实验设备上,换上这个离子源,做同样的工作,发射度测试仪工作正常,对其他电子仪器的影响也极小,多次重复实验都是如此。

三、结 束 语

这个小型弧源,它能引出单电荷的离子,也能引出多电荷的离子。它的结构简单,直观性强,操作方便,工作稳定。而且功耗小,自然冷却,不用专设冷却装置,所以寿命长。由于使用了石英玻璃放电室及此种引线方式,再加上绝缘法兰、屏蔽罩等,使高压绝缘变得简单和可靠。由于漏电流小,就进一步提高了源的稳定性。引出结构及引出电源与原高频离子源可以通用。以上这些特点,有利于它的实际使用。

离子源组、加速器室及其他许多同志先后不同程度地支持过本项工作,向他们表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Meyrand R. C., Brown S. C., *Rev. Scient. Instrum.*, 30(1959), 110.
[2] Ma Mingxiu, Iao Wei, Bai Guibin, Zhang Tungxo, *Radiation effects*, 44(1979), 207.

A SMALL-SIZE ARC-DISCHARGE ION-SOURCE

BAI GUI-BIN

(Institute of Low Energy Nuclear Physics Beijing Normal University)

ABSTRACT

The article describes a small-size arc discharge ion source. Some of its basic parameters are measured by combining the arc discharge with the electron oscillation. The ion current is 7 mA. It can produce multi-charge ions. The extraction structure is commonly used by this source and the r.f. ion source. This ion source has been used in a 400 keV ion implanter in Beijing Normal University and it is stable in operation.

子,也不加阳
A 左右的离

放电的条件
引出离子流
负载,对束流

增强时,放电
电子体柱),直
发射的大量
离子气体形成

那里电离不
等离子体中

离子密度大,

对气压的适

在 200 小时

0 小时。

目,进行了

个小型弧源

(图 1-1),

出吸极口就
高频离子源

个电荷的